



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103534913 B

(45) 授权公告日 2016.01.20

(21) 申请号 201280016975.2

H02K 1/22(2006.01)

(22) 申请日 2012.04.04

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

2011-085640 2011.04.07 JP

CN 101874337 A, 2010.10.27, 说明书第 11-65 段, 图 1-15.

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013.09.30

CN 1138234 A, 1996.12.18, 说明书第 9 页第 1 行 - 第 28 页 23 行、图 1, 12-14.

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2012/000678 2012.04.04

JP 2010022185 A, 2010.01.28, 全文.

JP 2010279165 A, 2010.12.09, 全文.

JP 2010136523 A, 2010.06.17, 全文.

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/137056 EN 2012.10.11

US 2004178696 A1, 2004.09.16, 全文.

JP S54124110 A, 1979.09.26, 全文.

JP 2008312307 A, 2008.12.25, 全文.

JP 2010136524 A, 2010.06.17, 全文.

(73) 专利权人 丰田自动车株式会社

地址 日本爱知县丰田市

审查员 彭维娜

(72) 发明人 山田英治 水谷良治 平本健二

中井英雄 蓑岛纪元

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限

责任公司 11219

代理人 沈同全 车文

(51) Int. Cl.

H02K 19/26(2006.01)

H02K 19/12(2006.01)

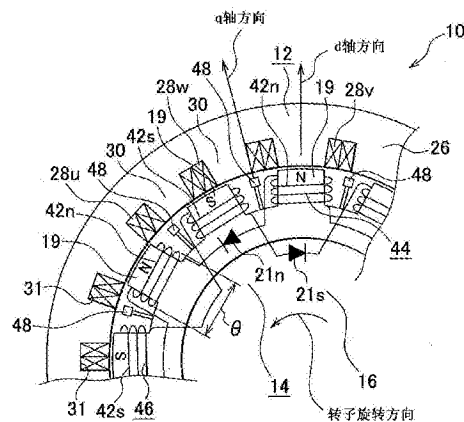
权利要求书2页 说明书23页 附图20页

(54) 发明名称

旋转电机和用于该电机的控制器

(57) 摘要

一种定子(12)具有定子芯(26)和缠绕在定子芯(26)或者定子(12)的齿(30)上的定子绕组(28u、28v、28w)。转子(14)具有:转子芯(16);缠绕在转子芯(16)或者转子(14)的齿(19)上的绕组(42n、42s);和布置于在周向方向上相邻的两个转子齿(19)之间的磁性辅极(48)。转子(14)进一步具有二极管(21n、21s),该二极管(21n、21s)是磁特性调整部,该磁特性调整部使得由于在转子绕组(42n、42s)中产生的电动势而出现在齿(19)中的磁特性在转子芯(16)的周向方向上改变。



CN 103534913 B

1. 一种旋转电机,在所述旋转电机中,定子和转子被布置成彼此面对,所述旋转电机的特征在于,

所述定子(12)包括:

定子芯(26);

定子齿(30),所述定子齿(30)布置在所述定子芯上的、在所述定子的周向方向上彼此间隔开的多个位置处;和

多个定子绕组(28u、28v、28w),所述定子绕组缠绕在所述定子芯和所述定子齿中的至少一个上,并且

所述转子(14)包括:

转子芯(16);

转子齿(19),所述转子齿(19)布置在所述转子芯上的、在所述转子的周向方向上彼此间隔开的多个位置处;

多个转子绕组(42n、42s),所述转子绕组缠绕在所述转子芯和所述转子齿中的至少一个上;

磁性辅极(48),所述磁性辅极(48)布置在所述转子齿中的、在所述转子的周向方向上彼此相邻的相邻两个转子齿之间;和

磁特性调整部,所述磁特性调整部使得由于所述转子绕组(42n、42s)中产生的感应电动势而出现在所述转子绕组(42n、42s)内侧或者多个转子齿(19)中的磁特性在所述转子芯(16)的周向方向上改变,

其中:

所述磁性辅极(48)从所述转子芯(16)朝向所述定子(12)突出;并且

所述磁性辅极(48)包括磁性的远端部分(54)和非磁性的基础部分(52)。

2. 根据权利要求1所述的旋转电机,其中:

所述磁性辅极(48)从所述转子芯(16)的外周表面朝向所述定子(12)突出;并且

所述磁性辅极包括基础部分和远端部分(54),所述远端部分(54)的在所述转子的周向方向上的厚度(T2)大于所述基础部分(52)的在所述转子的周向方向上的厚度(T1)。

3. 根据权利要求2所述的旋转电机,其中

所述基础部分和所述远端部分经由阶梯部分(56)联接。

4. 根据权利要求1至3中的任一项所述的旋转电机,其中:

所述转子绕组(42n、42s)被连接到整流元件(21n、21s),所述整流元件中的每个整流元件均是所述磁特性调整部,使得所述转子绕组中的、在所述转子的周向方向上彼此相邻的两个转子绕组中的所述整流元件的正向方向彼此相反;并且

所述整流元件(21n、21s)被构造成通过对由于所述感应电动势的产生导致的流过所述转子绕组的电流进行整流,使得流过在周向方向上彼此相邻的所述转子绕组的电流的相位彼此不同从而在A相和B相之间交替。

5. 根据权利要求1至3中的任一项所述的旋转电机,其中

所述转子绕组(42n、42s)中的每个转子绕组在所述转子的周向方向上的宽度小于与 180° 电角度相对应的宽度。

6. 根据权利要求5所述的旋转电机,其中

所述转子绕组 (42n、42s) 中的每个转子绕组在所述转子的周向方向上的宽度等于与 90° 电角度相对应的宽度。

7. 一种旋转电机驱动系统, 其特征在于包括:

根据权利要求 1 至 6 中的任一项所述的旋转电机;

驱动部分 (36), 所述驱动部分驱动所述旋转电机; 和

控制部分 (38), 所述控制部分控制所述驱动部分 (36), 其中

所述控制部分 (38) 包括减小脉冲迭加装置, 所述减小脉冲迭加装置被构造成将具有减小脉冲方式的减小脉冲电流迭加在用于使得电流流过所述定子绕组的 q 轴电流指令上, 从而产生在从磁极方向超前 90° 电角度的方向上的场磁通, 所述磁极方向是所述转子绕组的绕组中心轴线的方向。

8. 一种旋转电机驱动系统, 其特征在于包括:

根据权利要求 1 至 6 中的任一项所述的旋转电机;

驱动部分 (36), 所述驱动部分驱动所述旋转电机; 和

控制部分 (38), 所述控制部分控制所述驱动部分 (36), 其中

所述控制部分 (38) 包括减小 / 增加脉冲迭加装置, 所述减小 / 增加脉冲迭加装置被构造成将具有减小脉冲方式的减小脉冲电流迭加在用于使得电流流过所述定子绕组的 q 轴电流指令上, 从而产生在从磁极方向超前 90° 电角度的方向上的场磁通, 所述磁极方向是所述转子绕组的绕组中心轴线的方向, 并且所述减小 / 增加脉冲迭加装置被构造成将具有增加脉冲方式的增加脉冲电流迭加在用于使得电流流过所述定子绕组的 d 轴电流指令上, 从而产生在所述磁极方向上的场磁通。

旋转电机和用于该电机的控制器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种转子和定子被布置成彼此面对的旋转电机,和一种旋转电机驱动系统。

背景技术

[0002] 如在日本专利申请公报 No. 2009-112091 (JP2009-112091A) 中描述地,已经能够利用一种旋转电机,在该旋转电机中转子设有转子绕组,并且利用由定子产生并且包括空间谐波的旋转磁性通过转子绕组感应出电流,从而在转子中产生扭矩。在 JP2009-112091A 中描述的旋转电机配备有定子和沿着径向布置在定子内侧的转子。定子具有设置在定子芯上的、在转子的周向方向上彼此间隔开的多个位置处的齿。围绕定子的齿,通过集中绕组方法缠绕多个相位的定子绕组。通过使得多个相位的交流电流通过该多个相位的定子绕组,能够产生在周向方向上旋转的旋转磁场。

[0003] 此外,转子具有设置于在转子芯上的、在转子的周向方向上彼此间隔开的多个位置处的凸极。转子绕组缠绕在每个凸极上。转子绕组彼此电分离。二极管被连接到分离的转子绕组中的每个转子绕组。连接到在转子的周向方向上彼此相邻的两个转子绕组的二极管在彼此相反的方向上被连接到它们的相应的转子绕组,使得流过两个相邻转子绕组的电流的方向是彼此相反的。由此,当直流电流在二极管的整流方向上流过每个转子绕组时,在周向方向上彼此相邻的两个凸极的磁性方向是彼此相反的,并且因此磁体形成在每个凸极中使得 N 和 S 极在转子的周向方向上彼此交替。

[0004] 在这种旋转电机中,凸极被吸引到定子的旋转磁场使得磁阻转矩作用于转子上。此外,由于定子的旋转磁场的空间谐波成分,具有不同于旋转磁场的基本成分的频率的磁通变化出现。由于这个磁通变化,感应电动势在转子绕组中产生,并且由感应电动势在凸极处形成的磁场与定子的旋转磁场互相作用,从而能够使得与磁体扭矩相对应的扭矩作用于转子上。因此,转子被驱动以与旋转磁场同步地旋转。附带说一句,除了日本专利申请公报 No. 2009-112091 (JP2009-112091A),本发明的相关技术文献有关还包括日本专利申请公报 No. 2007-185082 (JP2007-185082A)、日本专利申请公报 No. 2010-98908 (JP2010-98908A)、日本专利申请公报 No. 2010-110079 (JP2010-110079A)、日本专利申请公报 No. 2004-187488 (JP2004-187488A) 和日本专利申请公报 No. 2009-183060 (JP2009-183060A)。

发明内容

[0005] 本发明提供一种能够有效地增加扭矩的旋转电机,和一种配备有该旋转电机的旋转电机驱动系统。

[0006] 根据本发明的第一方面的旋转电机是这样一种旋转电机,在该旋转电机中,定子和转子被布置成彼此面对,并且旋转电机的特征在于定子包括:定子芯;定子齿,该定子齿布置在定子芯上的、在定子的周向方向上彼此间隔开的多个位置处;和多个定子绕组,该定

子绕组缠绕在定子芯和定子齿中的至少一个上,并且转子包括:转子芯;转子齿,该转子齿布置在转子芯上的、在转子的周向方向上彼此间隔开的多个位置处;多个转子绕组,该转子绕组缠绕在转子芯和转子齿中的至少一个上;磁性辅极,该磁性辅极布置在转子齿中的、在转子的周向方向上彼此相邻的相邻两个转子齿之间;和磁特性调整部,该磁特性调整部使得由于转子绕组中产生的感应电动势而出现在转子绕组或者该多个转子齿内侧的磁特性在转子芯的周向方向上改变。

[0007] 根据上述根据本发明的第一方面的旋转电机,因为磁性辅极被布置于在周向方向上彼此相邻的转子齿之间,所以磁场的由定子产生并且与转子绕组关联的空间谐波并且具体地空间二阶谐波能够被辅极增加,并且磁通的改变能够增加,并且通过转子绕组感应出的电流能够增加。这导致转子磁性力增加,从而能够有效地在大部分的操作区域中增加扭矩。

[0008] 在根据本发明的第一方面的、前面的旋转电机中,辅极可以从转子芯朝向定子突出,并且辅极可以包括磁性的远端部分和非磁性的基础部分。

[0009] 根据该构造,能够防止从转子的变成 S 极的转子齿到变成 N 极的转子齿地穿过转子芯的内部的磁通被任何辅极的基础部分短路,并且能够有效地防止应该穿过齿从而在转子和定子之间产生磁性吸引力的磁通减小。因此,转子绕组的自感应的增加能够受到抑制,从而通过转子绕组形成的感应电流能够进一步增加,并且旋转电机的扭矩能够进一步增加。

[0010] 此外,在根据本发明的第一方面的、前面的旋转电机中,辅极可以从转子芯的外部周向表面朝向定子突出,并且辅极可以包括基础部分和远端部分,该远端部分的在转子的周向方向上的厚度大于基础部分的在转子的周向方向上的厚度。在该构造中,例如,整个辅极可以由磁性材料形成,或者辅极的基础部分和其远端部分可以分别地由非磁性材料和磁性材料形成。

[0011] 根据前面的构造,通过减小辅极的基础部分的在周向方向上的厚度,使得穿过基础部分的磁通饱和是可能的。因此,能够防止从转子的变成 S 极的转子齿到变成 N 极的转子齿地穿过转子的内部的磁通被辅极的基础部分短路。因此,能够有效地防止应该穿过齿从而在转子和定子之间产生磁性吸引力的磁通减小。因此,因为转子绕组的自感应的增加能够受到抑制,所以在转子绕组中出现的感应电流能够增加,并且扭矩能够增加。

[0012] 进而,在根据本发明的第一方面的旋转电机中,基础部分和远端部分可以经由阶梯部分结合。

[0013] 进而,在根据本发明的第一方面的旋转电机中,转子绕组可以被连接到每个均是磁特性调整部的整流元件,使得转子绕组中的、在转子的周向方向上彼此相邻的两个转子绕组中的整流元件的正向方向彼此相反,并且整流元件可以被构造成通过对由于感应电动势的产生而导致的流过转子绕组的电流进行整流,使得流过在周向方向上彼此相邻的转子绕组的电流的相位彼此不同从而在 A 相和 B 相之间交替。

[0014] 进而,在根据本发明的第一方面的旋转电机中,转子绕组中的每个转子绕组的在转子的周向方向上的宽度可以小于与 180° 电角度相对应的宽度。

[0015] 进而,在根据本发明的第一方面的旋转电机中,转子绕组中的每个转子绕组的在转子的周向方向上的宽度可以等于与 90° 电角度相对应的宽度。

[0016] 根据本发明的第二方面的旋转电机驱动系统是如下一种旋转电机驱动系统,该旋转电机驱动系统的特征在于包括:根据本发明的第一方面的旋转电机;驱动旋转电机的驱动部分;和控制驱动部分的控制部分,其中,该控制部分包括减小脉冲迭加装置,该减小脉冲迭加装置用于将具有减小脉冲方式的减小脉冲电流迭加在用于使得电流流过定子绕组的 q 轴电流指令上,从而产生在从磁极方向超前 90° 电角度的方向上的场磁通,所述磁极方向是转子绕组的绕组中心轴线的方向。附带说一句,前述减小脉冲电流意味着以脉冲方式急剧地减小并且然后急剧地增加的脉冲电流(这适用于全部说明书和权利要求)。此外,减小脉冲电流的脉冲波形可以是任何波形,包括矩形波、三角形波或者由多条曲线和直线形成为凸出形状的波。

[0017] 根据本发明的第二方面的旋转电机驱动系统,实现能够在防止过大的电流流过定子绕组时在大部分区域之上增加扭矩并且进一步在低旋转速度区域中增加扭矩的旋转电机是可能的。例如,在该多个相位的定子绕组是三相定子绕组的情形中,即使当在对于一个相位(例如, W 相)的定子绕组执行脉冲电流的迭加之前通过一个相位(例如, W 相)的定子绕组的电流的绝对值高于流过其它相位(例如, U 相和 V 相)的定子绕组的电流的绝对值时,减小脉冲电流的迭加也在以脉冲方式减小流过所有的相位的绕组的电流的绝对值时增加在转子绕组中产生的感应电流。因此,在抑制是通过所有的定子绕组的电流的定子电流的峰值时即使在低旋转速度区域中也增加旋转电机的扭矩是可能的。另外,通过使用辅极而增加旋转磁场的由定子产生并且与转子绕组关联的空间谐波并且具体地空间二阶谐波是可能的,从而磁通的改变能够增大,并且通过转子绕组感应出的电流能够增加,并且在低旋转速度区域中的旋转电机的扭矩能够增加。

[0018] 根据本发明的第三方面的旋转电机驱动系统是这样一种旋转电机驱动系统,该旋转电机驱动系统的特征在于包括:根据本发明的第一方面的旋转电机;驱动旋转电机的驱动部分;和控制驱动部分的控制部分,其中,该控制部分包括减小/增加脉冲迭加装置,该减小/增加脉冲迭加装置将具有减小脉冲方式的减小脉冲电流迭加在用于使得电流流过定子绕组的 q 轴电流指令上,从而产生在从磁极方向超前 90° 电角度的方向上的场磁通,所述磁极方向是转子绕组的绕组中心轴线的方向,并且该减小/增加脉冲迭加装置将具有增加脉冲方式的增加脉冲电流迭加在用于使得电流流过定子绕组的 d 轴电流指令上,从而产生在磁极方向上的场磁通。附带说一句,前述增加脉冲电流意味着以脉冲方式急剧地增加然后急剧地减小的脉冲电流(这适用于全部说明书和权利要求)。此外,增加脉冲电流的脉冲波形可以是任何波形,包括矩形波、三角形波,或者由多条曲线和直线形成为凸出形状的波。

[0019] 根据本发明的第三方面的旋转电机驱动系统,实现能够在防止过大的电流流过定子绕组时在大部分区域之上增加扭矩并且进一步在低旋转速度区域中增加扭矩的旋转电机是可能的。即,通过在 q 轴电流命令上迭加减小脉冲电流并且在 d 轴电流命令上迭加增加脉冲电流,在包含在要求的电流限制范围内的所有的相位的电流时增大在转子绕组中产生的感应电流是可能的。进而,因为增加脉冲电流在 d 轴电流命令上迭加,所以由 d 轴电流命令产生并且穿过 d 轴磁路的磁通的变化数能够增大。与在与 q 轴电流命令相对应的 q 轴磁路中相比,能够使得在与 d 轴电流命令相对应的 d 轴磁路中的贯通气隙更小,从而磁阻减小。因此,增加 d 轴磁通的变化量对于增加扭矩是有效的。因此,在抑制所有的相位的定子

电流的峰值时即使在低旋转速度区域中也增加通过转子绕组感应出的电流和因此旋转电机的扭矩是可能的。此外,由于辅极,增加旋转磁场的由定子产生并且与转子绕组关联的空间谐波并且具体地空间二阶谐波是可能的,从而磁通的改变能够增大,并且通过转子绕组感应出的电流能够增加,并且在低旋转速度区域中的扭矩能够增加。

[0020] 根据本发明的旋转电机和旋转电机驱动系统,实现能够通过使得旋转磁场的大量的谐波成分与转子绕组关联而有效地增加扭矩的旋转电机是可能的。

附图说明

[0021] 将在下面参考附图描述本发明的示例性实施例的特征、优点以及技术和工业意义,其中类似的附图标记表示类似的元件,并且其中:

[0022] 图 1 是示出在根据本发明的实施例的旋转电机中是整流元件的二极管被联接到转子绕组的状态的概略图表;

[0023] 图 2 是在省略二极管的示意时示出图 1 的旋转电机的一部分的概略截面视图,该部分在周向方向上延伸并且其中定子的一部分和转子的一部分彼此面对;

[0024] 图 3 是图 2 所示部分 A 的放大和详细视图;

[0025] 图 4 是示出在本发明的实施例中由流过转子绕组的感应电流产生的磁通在转子中流动的方式的概略图表;

[0026] 图 5 是示出在图 1 所示旋转电机器中在改变转子绕组沿着周向方向的周向宽度 θ 时计算转子绕组的磁链的振幅(变化宽度)的结果的图表;

[0027] 图 6A 是以不同的定子电流示出的作为从利用并不具有任何辅极的对照实例的旋转电机执行的模拟获得的结果的旋转速度 - 扭矩特性的图表;

[0028] 图 6B 是以不同的定子电流示出的作为从利用对照实例的旋转电机执行的模拟获得的结果的在转子磁动势和旋转速度之间的关系的结果的图表;

[0029] 图 7A 是以不同的定子电流示出的作为从利用本发明的实施例的旋转电机执行的模拟获得的结果的旋转速度 - 扭矩特性的图表;

[0030] 图 7B 是以不同的定子电流示出的作为从利用本发明的实施例的旋转电机执行的模拟获得的结果的在转子磁动势和旋转速度之间的关系的结果的图表;

[0031] 图 8A 是示出作为从利用并不具有任何辅极的对照实例和实例 1、2 执行的模拟获得的结果的转子绕组的空间谐波磁链的图表;

[0032] 图 8B 是示出作为利用对照实例和实例 1、2 执行的模拟的结果的转子绕组的自感应的图表;

[0033] 图 8C 是示出作为从利用对照实例和实例 1、2 执行的模拟获得的结果的通过转子绕组的转子的感应电流的图表;

[0034] 图 8D 是示出作为从利用对照实例和实例 1、2 执行的模拟获得的结果的旋转电机的扭矩的图表;

[0035] 图 9A 是示出作为从利用并不具有任何辅极的对照实例执行的模拟获得的结果的空间谐波的磁通线的概略图表;

[0036] 图 9B 是示出作为从利用本发明的实施例执行的模拟获得的结果的空间谐波的磁通线的概略图表;

[0037] 图 10A 是示出作为从利用并不具有任何辅极的对照实例执行的模拟获得的结果的由转子的感应电流形成的磁通线的概略图表；

[0038] 图 10B 是示出作为从利用实例 1 执行的模拟获得的结果的由转子的感应电流形成的磁通线的概略图表,在本发明的实施例中,在实例 1 中,每个辅极的基础部分由磁性材料制成；

[0039] 图 10C 是示出作为从利用实例 2 执行的模拟获得的结果的由转子的感应电流形成的磁通线的概略图表,本发明的实施例中,在实例 2 中每个辅极的基础部分由非磁性材料制成；

[0040] 图 11 是示出根据本发明的实施例的旋转电机驱动系统的总体构造的图表；

[0041] 图 12 是示出在本发明的实施例中的控制装置的构造的框图；

[0042] 图 13A 是示出依据 d 轴电流命令值 I_{d*} 、迭加后 q 轴电流命令值 I_{qsum*} 和三个相位的电流在本发明的实施例中定子电流的时间依赖变化的实例的图表；

[0043] 图 13B 是示出与图 13A 相对应的转子磁动势的时间依赖变化的图表；

[0044] 图 13C 是示出与图 13A 相对应的马达扭矩的时间依赖变化的图表；

[0045] 图 14A 到 14C 是示出在 q 轴电流是恒定值(图 14A)的情形中、减小脉冲电流在 q 轴电流上迭加的情形的早期(图 14B)和减小脉冲电流在 q 轴电流上迭加的情形的晚期(图 14C)在本发明的实施例中磁通穿过定子和转子的方式的概略图表；

[0046] 图 15 是示出在于定子电流上迭加增加脉冲电流的旋转电机驱动系统中,通过 U 相定子绕组的电流(定子电流)和在转子绕组中出现的感应电流(转子的感应电流)的实例的图表；

[0047] 图 16A 和 16B 是示出在根据本发明另一个实施例的旋转电机中,当脉冲电流在 q 轴电流上迭加时出现的改变的转子的概略图表；

[0048] 图 17 是用于示意在本发明的实施例中脉冲电流的迭加状态改变的实例的、示出在旋转速度和旋转电机的扭矩之间的关系图表；

[0049] 图 18 是示出根据本发明的实施例的旋转电机的转子的另一个实例的概略图表；

[0050] 图 19 是示出根据本发明的实施例的旋转电机的转子的再一个实例的概略图表；
并且

[0051] 图 20 是示出根据本发明的实施例的旋转电机的转子的又一个实例的概略图表；
并且

[0052] 图 21 是示出根据本发明的实施例的旋转电机的转子的进一步实例的概略图表。

具体实施方式

[0053] 将在下文中参考附图描述本发明的实施例。图 1 到图 3 是示出本发明的实施例的图表。图 1 是示出在根据本发明的实施例的旋转电机中是整流元件的二极管被联接到转子绕组的状态的概略图表。图 2 是在省略二极管的示意时示出图 1 的旋转电机的一部分的概略截面视图,该部分在周向方向上延伸并且其中定子的一部分和转子的一部分彼此面对。图 3 是图 2 所示部分 A 的放大和详细视图。如在图 1 中所示,用作电动机或者发电机的旋转电机 10 包括定子 12 和转子 14,定子 12 被固定到外壳(未示出),而转子 14 在径向方向上布置在定子 12 的内侧从而在其间留出预定空隙地面对定子 12 并且转子 14 能够相对于定子

12 旋转(术语“径向方向”(有时由术语径向示意)指的是与转子 14 的旋转中心轴线正交的任何径向方向,并且在下文中“径向方向”的含义在以下说明中是相同的,除非另有示意)。

[0054] 此外,定子 12 包括:定子芯 26;齿 30,所述齿 30 布置在定子芯 26 上的、在定子的周向方向上的多个位置处;和具有多个相位(更加具体地,三个相位,即,u 相、v 相和 w 相)的定子绕组 28u、28v 和 28w,所述定子绕组 28u、28v 和 28w 围绕各个齿 30 布置,即,缠绕在各个齿 30 上。具体地,在定子芯 26 的内部周向表面上,是沿着径向向内(朝向转子 14)突出的多个定子齿的齿 30 在围绕转子 14 的旋转中心轴线的周边的方向上被彼此间隔开地布置并且因此在各个齿 30 之间形成狭槽 31(附带说一句,“周向方向”指的是沿着以圆的中心处于转子的旋转中心轴线上方式绘制出的所述圆的任何方向,并且术语“周向方向”的含义在以下说明中是相同的除非另有示意)。定子芯 26 和齿 30 利用磁性材料一体形成。

[0055] 通过利用短节距集中绕组方法使得金属丝穿过狭槽 31,多个相位的定子绕组 28u、28v 和 28w 缠绕在各个齿 30 上。由于定子绕组 28u、28v 和 28w 以前面的方式在齿 30 上缠绕,所以磁极得以构造。然后,通过使得多个相位的交流电流通过多个相位的定子绕组 28u、28v 和 28w,在周向方向上并置的齿 30 被磁化,从而定子 12 产生在周向方向上旋转的旋转磁场。附带说一句,定子绕组不限于绕组缠绕在定子齿上的构造,而是除定子齿之外还能够缠绕在定子芯上。

[0056] 由齿 30 形成并且从其远端表面延伸的旋转磁场作用于转子 14 上。在图 1 所示实例中,三个相位(u 相、v 相和 w 相)的三个定子绕组 28u、28v 和 28w 所缠绕的三个齿 30 构成极对。

[0057] 转子 14 包括:中空柱形转子芯 16;齿 19,即转子齿,该齿是从转子芯 16 的外部周向表面上的在其周向方向上的多个位置沿着径向向外(朝向定子 12)突出的凸起,并且是主要凸极;和多个转子绕组 42n 和 42s。转子芯 16 和齿 19 利用磁性材料被形成为一体。更加具体地,多个第一转子绕组 42n 通过集中绕组方法在转子 14 的周向方向上每隔一个齿 19 地缠绕,并且多个第二转子绕组 42s 通过集中绕组方法缠绕在如下的齿 19 上,该齿 19 与设有第一转子绕组 42n 的前述齿 19 相邻并且是在周向方向上的另外的齿的另一组齿。此外,包括该多个第一转子绕组 42n 的第一转子绕组电路 44 和包括该多个第二转子绕组 42s 的第二转子绕组电路 46 分别与二极管 21n 和二极管 21s 连接,每一个二极管是磁特性调整部并且是整流元件。即,第一转子绕组 42n 和第二转子绕组 42s 通过集中绕组方法缠绕在转子芯 16 上的在周向方向上的多个位置处。此外,在转子 14 的周向方向上布置在每隔一个的部位处的第一转子绕组 42n 被以串联和以连续(或者环状)方式电连接,并且是整流元件和第一二极管的二极管 21n 插入在第一转子绕组 42n 的串联连接电路的一部分中并且被串联连接于此。以该方式,第一转子绕组电路 44 得以构造。所有第一转子绕组 42n 缠绕在用作相同磁极(N 极)的齿 19 上。

[0058] 此外,第二转子绕组 42s 被以串联和以连续(或者环状)方式电连接,并且是整流元件并且是第二二极管的二极管 21s 被串联连接到第二转子绕组 42s 的串联连接电路的一部分。以该方式,第二转子绕组电路 46 得以构造。所有第二转子绕组 42s 缠绕在用作相同磁极(S 极)的齿 19 上。此外,缠绕于在周向方向上彼此相邻的两个齿 19 上的转子绕组 42n 和 42s(形成异性极的磁体)彼此电分离。

[0059] 此外,通过二极管 21n 和 21s 实现的转子绕组 42n 和 42s 的电流的整流方向彼此

相反使得在转子 14 的周向方向上彼此相邻的两个齿 19 形成相反的磁极的磁体。即,二极管 21n 和二极管 21s 彼此反向地连接到在周向方向上相互交替的转子绕组 42n 和转子绕组 42s,使得电流流过转子绕组 42n 的方向和电流流过转子绕组 42s 的方向,(即,利用二极管 21n 和 21s 的整流方向),即,二极管 21n 和 21s 的正向方向彼此相反。此外,转子绕组 42n 和 42s 中的每个转子绕组的绕组中心轴线在径向方向上延伸。然后,二极管 21n 和 21s 分别对由于旋转磁场感应出的电磁力导致的流过转子绕组 42n 和 42s 的电流进行整流,从而使得流过在转子 14 的周向方向上彼此相邻的两个转子绕组 42n 和 42s 的电流的相位为相互交替的 A 相和 B 相,该旋转磁场由定子 12 产生并且包括空间谐波。A 相电流在每个相应的齿 19 的远端侧中产生 N 极,而 B 相电流在每个相应的齿 19 的远端侧中产生 S 极。即,为转子 14 设置的整流元件是二极管 21n 和二极管 21s,二极管 21n 和二极管 21s 是分别被连接到转子绕组 42n 和转子绕组 42s 的第一整流元件和第二整流元件。此外,二极管 21n 和 21s 每个均独立地分别对由于感应电动势而感应出的流过转子绕组 42n 和 42s 的电流进行整流,使得布置于在周向方向上的多个位置处的齿 19 的由流过转子绕组 42n 和转子绕组 42s 的电流确定的磁特性在周向方向上交替地改变。因此,该多个二极管 21n 和 21s 引起归因于在转子绕组 42n 和 42s 中产生的感应电动势的该多个齿 19 的磁特性在周向方向上交替地改变。在该构造中,二极管 21n 和 21s 的数目能够被减小为两个,并且因此不象在下面参考图 18 描述的另一个实施例,转子 14 的绕组的结构能够得以简化。此外,转子 14 被同心地固定到被以可旋转方式支撑在外壳(未示出)上的旋转轴 22 的径向外侧(见图 18 和图 20 等,因为图 1 没有示出旋转轴 22)。附带说一句,在由树脂等制成并且具有电绝缘性质的绝缘体等介于转子绕组 42n 和 42s 中的每个转子绕组和齿 19 中的相应的一个齿之间时,转子绕组 42n 和 42s 中的每个转子绕组可以缠绕在齿 19 中的相应的一个齿上。

[0060] 此外,转子绕组 42n 和 42s 中的每个转子绕组在转子 14 的周向方向上的宽度 θ 被设定为小于转子 14 的与 180° 电角度相对应的宽度,并且转子绕组 42n 和 42s 通过短节距绕组方法缠绕在齿 19 上。更加优选地,转子绕组 42n 和 42s 在转子 14 的周向方向上的宽度 θ 被设定为等于或者基本等于转子 14 的与 90° 电角度相对应的宽度。对于转子绕组 42n 和 42s 的截面面积加以考虑地,转子绕组 42n 和 42s 的宽度 θ 在这里能够由转子绕组 42n 和 42s 的截面的中心宽度表示。即,转子绕组 42n 和 42s 的宽度 θ 能够由在转子绕组 42n 和 42s 中的每个转子绕组的内部周向表面之间的在周向方向上的间隔和在其外部周向表面之间的在周向方向上的间隔的平均值表示。附带说一句,转子 14 的电角度由转子 14 的机械角度乘以转子 14 的极对的数目 p 的乘积表示(电角度 = 机械角度 $\times p$)。因此,转子绕组 42n 和 42s 中的每个转子绕组的在周向方向上的宽度 θ 满足以下表达式(1),其中 r 是从转子 14 的旋转中心轴线到转子绕组 42n 和 42s 的距离。

$$[0061] \quad \theta < \pi \times r/p \dots (1)$$

[0062] 将在以后详细地解释宽度 θ 以该方式受到限制的原因。

[0063] 特别地,在该实施例中,转子芯 16 包括多个辅极 48,每个辅极 48 布置于在转子 14 的周向方向上彼此相邻的两个齿 19 之间的位置处,诸如在周向方向上彼此相邻的两个齿 19 之间的中心位置处。由于至少一部分由磁性材料制成,所述每个辅极 48 是磁性的。例如,如在图 2 和图 3 中所示,每个辅极 48 被设置在狭槽 50 的底部的周向中央部分上,该狭槽 50 是在转子芯 16 的外部周向表面上形成在沿着周向相邻的两个齿 19 之间的凹槽部分,

使得辅极 48 沿着径向向外,即,朝向定子 12 突出。每个辅极 48 具有由非磁性材料形成的基础部分 52,和被结合到基础部分 52 的远端侧并且由磁性材料形成的远端部分 54。基础部分 52 的、是在转子 14 的径向方向上的内端的基端被一体地结合并且固定到转子芯 16 的外部周向表面。因此,该多个辅极 48 被设置成从转子芯 16 的外部周向表面朝向定子 12 突出,并且每个辅极 48 由磁性远端部分 54 和非磁性基础部分 52 构造。此外,基础部分 52 和远端部分 54 中的每个在周向方向上的截面中具有基本矩形的截面形状。然而,基础部分 52 和远端部分 54 的形状不限于该实例。

[0064] 此外,如在图 3 中所示,使得基础部分 52 在周向方向上的厚度 T_1 小于远端部分 54 在周向方向上的厚度 T_2 ($T_1 < T_2$),并且因此阶梯部分 56 被设置于在远端部分 54 和基础部分 52 之间的联接部分处。阶梯部分 56 沿着转子 14 的径向方向面向内。基础部分 52 被结合到远端部分 54 的阶梯部分 56 的沿着径向面向内的表面的周向中央部分。即,远端部分 54 和基础部分 52 经由阶梯部分 56 结合。附带说一句,虽然在图 3 所示实例中,转子绕组 42s 和 42n 由具有矩形截面形状的方形金属丝或者扁平矩形金属丝形成,但是这不是限制性的。例如,转子绕组 42s 和 42n 还能够由具有圆形截面形状的圆金属丝形成。此外,远端部分 54 能够由与转子芯 16 的材料相同的材料例如磁性钢板、磁性材料诸如钢等形成。作为对照,基础部分 52 由非磁性材料诸如树脂、包括不锈钢等的非磁性金属等形成。

[0065] 附带说一句,当辅极 48 被与由磁性材料制成的转子芯 16 一体地形成时,辅极 48 还能够通过将每个辅极 48 的基础部分 52 消磁形成。例如,在辅极 48 和配备有齿 19 的转子芯 16 被一体地形成之后,每个辅极 48 的基础部分 52 能够通过由在供应镍时执行的激光照射过程消磁。此外,能够通过将由不锈钢等制成的非磁性材料部分联接到远端侧磁性材料部分构造每个辅极 48,并且如此形成的辅极 48 能够通过焊接等而被结合到独立的转子芯 16 的某些部分。此外,由非磁性材料诸如树脂等制成的基础部分 52 能够与齿 19 和远端部分 54 分开地制造,并且能够经由接合部分等被以机械方式结合到独立的转子芯 16 的某些部分和远端部分 54。例如,提供每个辅极 48 的基础部分 52 的基端部分设有截面面积从相邻部分的截面面积急剧地增加的增大部分,并且在转子芯 16 的外部周向表面的某些部分中形成基端部分 52 所结合到的孔部分,并且能够与辅极 48 的增大部分接合的接合部分形成在每个孔部分的深的内侧部分中的构造,并且然后通过使增大部分弹性变形时将每个辅极 48 的增大部分插入孔部分之一中从而增大部分被与孔部分的接合部分接合来将每个辅极 48 的基础部分 52 联接到转子芯 16 也是可能的。进而,在类似的构造中,将每个辅极 48 的远端部分 54 以机械方式联接到在辅极 48 的基础部分 52 上形成的扩大部分也是可能的。

[0066] 此外,在转子 14 侧上,如在图 4 中的概略示意图中所示,二极管 21n 和 21s 分别被连接到转子绕组 42n 和 42s,转子绕组 42n 和 42s 缠绕于在转子 14 的周向方向上彼此相邻的齿 19 上。在由定子 12 (图 1 和 2) 产生的、具有谐波的旋转磁场与转子绕组 42n 和 42s 关联时,在电流的方向分别地受到二极管 21n 和 21s 限制时,通过转子绕组 42n 和 42s 感应电流,从而齿 19 被磁化从而两个相邻齿 12 变成相互不同的磁极部分。在该情形中,由感应电流产生的磁通在如由图 4 中的箭头 α 示出的流向中在齿 19 和转子芯 16 中流动。

[0067] 回过来参考图 1,在该实施例中的旋转电机 10 由转子 14 和定子 12 构成,该定子 12 沿着径向布置在转子 14 的外侧从而面对转子 14。根据如此构造的旋转电机 10,利用具

有空间谐波并且由定子 12 产生的旋转磁场通过转子绕组 42n 和 42s 感应出电流并且因此在转子 14 上产生扭矩是可能的。具体地,产生围绕定子 12 的旋转磁场的磁动势的分布不是正弦分布(包含仅基本成分),而是由于三个相位的定子绕组 28u、28v 和 28w 的布置,和依赖于齿 30 和狭槽 31 的定子芯 26 的形状而包含谐波成分的分布。特别地,在集中绕组方法中,三个相位的定子绕组 28u、28v 和 28w 并不相互交迭,使得在定子 12 中的磁动势分布中出现的谐波成分的振幅水平增加。例如,在通过三相集中绕组方法形成定子绕组 28u、28v 和 28w 的情形中,是输入电频率的(时间)三阶成分的空间二阶成分的振幅水平增加。由于定子绕组 28u、28v 和 28w 的布置和定子芯 26 的形状在磁动势中出现的谐波成分被称为空间谐波。

[0068] 此外,因为通过使得三相交流电流通过三相定子绕组 28u、28v 和 28w 而围绕定子 12 的齿 30 形成的旋转磁场(基本成分)作用于转子 14 上,所以转子 14 的齿 19 受到旋转磁场吸引从而转子 14 的磁阻减小。由此,扭矩(磁阻转矩)作用于转子 14 上。

[0069] 进而,当具有围绕齿 30 形成的空间谐波成分的旋转磁场与转子 14 的转子绕组 42n 和 42s 关联时,空间谐波成分在转子绕组 42n 和 42s 中引起具有与转子 14 的旋转频率不同的频率的磁通变化(旋转磁场的基本成分)。由于该磁通变化,在转子绕组 42n 和 42s 中产生感应电动势。由于感应电动势的产生而流过转子绕组 42n 和 42s 的电流分别被二极管 21n 和 21s 整流成一个方向(直流电)。然后,当齿 19,即,转子齿在由二极管 21n 和 21s 整流的直流电流分别流过转子绕组 42n 和 42s 时而被磁化时,齿 19 用作磁极固定的磁体(或者 N 极或者 S 极)。因为利用二极管 21n 和 21s 进行的通过转子绕组 42n 和 42s 的电流的整流方向如上所述是彼此相反的,所以磁体在齿 19 中形成从而 N 极和 S 极在周向方向上彼此交替。齿 19 (带有固定极的磁体)的磁场与由定子 12 产生的旋转磁场(基本成分)互相作用,从而吸引和排斥作用出现。在由定子 12 产生的旋转磁场(基本成分)和齿 19 (磁体)的磁场之间的电磁相互作用(吸引和排斥作用)还能够引起扭矩(与磁体扭矩相对应的扭矩)作用于转子 14 上,并且转子 14 与由定子 12 产生的旋转磁场(基本成分)同步地旋转。因此,通过使用供应到定子绕组 28u、28v 和 28w 的电力,能够使得旋转电机 10 用作产生动力(机械动力)的电动机。

[0070] 进而,根据该实施例的旋转电机 10,设置了被设置在转子 14 的齿 19 之间的辅极 48 并且每个辅极 48 的一部分由非磁性材料形成。因此,与转子绕组 42n 和 42s 关联的、由定子 12 产生的旋转磁场的空间谐波,具体地空间二阶谐波,能够被辅极 48 增加,并且磁通的改变能够增加,并且在转子绕组 42n 和 42s 中感应出的电流能够增加。结果,转子磁性力能够增加,并且扭矩能够有效地在大的区域范围例如基本上整个操作区域等中增加。

[0071] 此外,辅极 48 被结合到转子芯 16 的在转子 14 的周向方向上彼此相邻的两个齿 19 之间的外部周向表面从而朝向定子 12 凸出,并且辅极 48 具有由非磁性材料形成的基础部分 52 和由磁性材料形成的远端部分 54。因此,能够防止从转子 14 的变成 S 极的齿 19 到变成 N 极的齿 19 地穿过转子芯 16 的内部的磁通被任何辅极 48 的基础部分 52 短路,并且能够有效地防止穿过齿 19 从而在转子 14 和定子 12 之间产生磁性吸引力的磁通减小。因此,转子绕组 42n 和 42s 的自感应的增加能够受到抑制,从而通过转子绕组 42n 和 42s 形成的感应电流能够进一步增加,并且旋转电机 10 的扭矩能够进一步增加。

[0072] 此外,每个辅极 48 具有基础部分 52 和远端部分 54,该远端部分 54 被结合到基础

部分 52 并且其周向厚度 T2 大于基础部分 52 的相应的厚度。因此,通过减小基础部分 52 在周向方向上的厚度 T1,能够使得穿过基础部分 52 的磁通达到饱和状态。因此,这还有效地防止应该穿过齿 19 以便在转子 14 和定子 12 之间产生磁性吸引力的磁通减小,并且抑制转子绕组 42n 和 42s 的自感应的增加。因此,在转子绕组 42n 和 42s 中出现的感应电流能够增加,并且旋转电机 10 的扭矩能够增加。

[0073] 作为对照,在上述 JP2010-279165A 中描述的旋转电机中,无任何辅极设置在相邻凸极之间,该凸极与设有转子绕组并且在转子的周向方向上彼此相邻的转子齿相对应,并且因此在有效增强扭矩的方面存在改进的空间。即,也在 JP2010-27965A 中描述的旋转电机中,通过由定子产生的旋转磁场的谐波成分引起的磁场的变化由通过转子绕组产生的感应电流产生扭矩。然而,空间谐波大量通过设置在转子上的相邻凸极之间的高磁阻空间,并且因此存在不能增加磁通的可能性。因此,在有效增强转子的扭矩的方面存在改进的空间。

[0074] 此外,上述 JP2007-185082A、JP2010-98908A 和 JP2010-11079A 每一件均描述利用脉冲电流的迭加的场绕组型同步机器,但是没有公开能够通过使得旋转磁场的大量的空间谐波与转子绕组关联而有效地增加扭矩的任何装置。

[0075] 此外,上述 JP2004-187488A 描述了一种具有如下的定子的旋转电机,在该定子中,多个主齿设置在定子芯的内部周向表面上并且辅齿设置于在相邻主要齿之间的狭槽部分中,并且当线圈缠绕在每个主要齿上时,线圈的外部周向表面紧密地接触相邻辅齿。此外,上述 JP2009-183060A 描述了一种具有配备有永磁体的转子的旋转电机,其中,在定子的周向方向上的绕组极的节距不同于另一个绕组极的节距。然而,应该指出在 JP2004-187488A 和 JP2009-183060A 中描述的结构都不是通过使得旋转磁场的大量的空间谐波与转子绕组关联而有效地增加扭矩的结构。在 JP2007-185082A、JP2010-98908A、JP2010-11079A、JP2004-187488A 和 JP2009-183060A 中描述的结构中,如果旋转电机的芯厚度增加以便增加扭矩,则这将变成增加旋转电机的尺寸的因素或者引起成本增加和重量增加。此外,如果定子电流增加以便增加扭矩,则这也将成为增加铜损失并且因此降低燃料经济性,并且增加逆变器的尺寸,并且引起成本增加、重量增加,或者可安装性和冷却性质劣化的因素。根据该实施例的旋转电机 10,前面的不便能够全部得以解决。

[0076] 此外,在该实施例中,因为转子绕组 42n 和 42s 在转子 14 的周向方向上的宽度 θ 如在前面的表达式(1)中叙述地受到限制,则由旋转磁场的空间谐波在转子绕组 42n 和 42s 中产生的感应电动势增加。具体地,磁通的由于空间谐波而与转子绕组 42n 和 42s 关联的振幅(变化宽度)受到转子绕组 42n 和 42s 在周向方向上的宽度 θ 影响。图 5 示出在改变转子绕组 42n 和 42s 在周向方向上的周向宽度 θ 时计算磁链的与转子绕组 42n 和 42s 关联的振幅(变化宽度)的结果。在图 5 中,依据电角度示出线圈宽度 θ 。如在图 5 中所示,随着线圈宽度 θ 从 180° 减小,磁链的与转子绕组 42n 和 42s 关联的变化宽度增加。因此,与全节距绕组方法相比,通过使得线圈宽度 θ 小于 180° ,即,通过利用短节距绕组方法设置转子绕组 42n 和 42s,由于空间谐波,磁链的振幅增加。

[0077] 因此,在旋转电机 10 (图 1)中,通过使得齿 19 在周向方向上的宽度小于与 180° 电角度相对应的宽度并且通过利用短节距绕组方法将转子绕组 42n 和 42s 缠绕在齿 19 上,由空间谐波在转子绕组 42n 和 42s 中产生的感应电动势有效率地增加。结果,作用于转子 14 上的扭矩能够有效率地增加。

[0078] 进而,如在图 5 中所示,在线圈宽度 θ 为 90° 的情形中,由于空间谐波磁链的振幅变得最大。因此,为了进一步增加磁通的由于空间谐波而与转子绕组 42n 和 42s 关联的振幅,优选的是转子绕组 42n 和 42s 在周向方向上的线圈宽度 θ 等于(或者基本等于)转子 14 的与 90° 电角度相对应的宽度。因此,优选的是转子绕组 42n 和 42s 在周向方向上的宽度 θ 满足(或者基本满足)以下表达式(2),其中 p 是转子 14 的极对的数目,并且 r 是从转子 14 的旋转中心轴线到转子绕组 42n 和 42s 的距离。

$$[0079] \quad \theta = \pi \times r / (2 \times p) \dots (2)$$

[0080] 以该方式,由空间谐波在转子绕组 42n 和 42s 中产生的感应电动势能够最大化,并且因此由感应电流产生的通过每个齿 19 磁通能够最有效率地增加。结果,作用于转子 14 上的扭矩能够更加有效率地增加。具体地,如果宽度 θ 大大地超过与 90° 相对应的宽度,则很可能在彼此抵消方向上的磁动势与转子绕组 42n 和 42s 关联,并且随着宽度 θ 从与 90° 相对应的宽度减小,这个可能性减小。然而,如果宽度 θ 变得大大地小于与 90° 相对应的宽度,则与转子绕组 42n 和 42s 关联的磁动势的幅度大大地下降。因此,通过设定与大约 90° 相对应的宽度相等的宽度 θ ,能够防止前面的不便。因此,优选的是转子绕组 42n 和 42s 在周向方向上的宽度 θ 基本等于与 90° 电角度相对应的宽度。

[0081] 此外,在旋转电机 10 中,通过控制相对于转子位置的电流超前角,即,通过定子绕组 28u、28v 和 28w 的交流电流的相位来控制转子 14 的扭矩也是可能的。进而,还能够通过控制通过定子绕组 28u、28v 和 28w 的交流电流的振幅来控制转子 14 的扭矩。此外,因为改变转子 14 的旋转速度还改变转子 14 的扭矩,所以还能够通过控制转子 14 的旋转速度控制转子 14 的扭矩。

[0082] 附带说一句,在前面的说明中,关于每个辅极 48,基础部分 52 由非磁性材料形成,而远端部分 54 由磁性材料形成,并且远端部分 54 在周向方向上的厚度 T_2 大于基础部分 52 在周向方向上的厚度 T_1 。然而,该实施例不限于该构造。例如,在每个辅极 48 的形状保持与图 1 到图 3 所示形状相同时,包括基础部分 52 和远端部分 54 的每个辅极 48 整体能够由磁性材料形成。

[0083] 可替代地,采用每个辅极 48 的整体由磁性材料形成,并且每个辅极 48 在周向方向上的厚度在基础部分 52 和远端部分 54 之间一致并且因此不存在阶梯部分 56 (图 3) 的构造也是可能的。然而,在该情形中,不能有效地防止应该穿过齿 19 从而在转子 14 和定子 12 之间产生磁性吸引力的磁通减小,并且不能获得抑制转子绕组 42n 和 42s 的自感应增加的效果。因此,能够增加在转子绕组 42n 和 42s 中感应出的电流的效果小于在图 1 到 3 所示构造中。然而,同样在该情形中,获得了能够增加与转子绕组 42n 和 42s 关联的空间谐波,具体地,空间二阶谐波的效果,从而旋转电机 10 的扭矩增加。

[0084] 因此,在每个辅极 48 的整体由磁性材料形成的情形中,优选的是如在图 1 到图 3 所示上述构造中,远端部分 54 在周向方向上的厚度 T_2 大于基础部分 52 在周向方向上的厚度 T_1 。在该情形中,能够有效地防止应该穿过齿 19 从而在转子 14 和定子 12 之间产生磁性吸引力的磁通减小,并且转子绕组 42n 和 42s 的自感应的增加能够受到抑制,并且能够进一步提高旋转电机 10 的扭矩。”

[0085] 同时,只要每个辅极 48 的基础部分 52 由非磁性材料形成,即使当每个辅极 48 在周向方向上的厚度在基础部分 52 和远端部分 54 之间是相同的时,也如在每个辅极 48 的整

体由磁性材料形成并且远端部分 54 在周向方向上的厚度 T2 大于基础部分 52 在周向方向上的厚度 T1 的情形中一样获得了能够提高旋转电机 10 的扭矩的效果。即,即使在前一情形中,能够有效地防止应该穿过齿 19 从而在转子 14 和定子 12 之间产生磁性吸引力的磁通减小,并且转子绕组 42n 和 42s 的自感应的增加能够受到抑制。

[0086] 因此,在该实施例中,优选地,每个辅极 48 的远端部分 54 由磁性材料形成,并且其基础部分 52 由非磁性材料形成,并且使得每个辅极 48 的基础部分 52 在周向方向上的厚度 T1 和该辅极 48 的远端部分 54 在周向方向上的厚度 T2 相等。可替代地,每个辅极 48 的整体可以由磁性材料形成,并且可以使得远端部分 54 在周向方向上的厚度 T2 大于基础部分 52 在周向方向上的厚度 T1。更加优选地,如在图 1 到图 3 所示上述构造中,每个辅极 48 的远端部分 54 由磁性材料形成而该辅极 48 的基础部分 52 由非磁性材料形成,并且使得远端部分 54 在周向方向上的厚度 T2 大于基础部分 52 在周向方向上的厚度 T1。

[0087] 接着,将与利用从本发明排除的作为对照实例的旋转电机执行的模拟的结果一起地描述为了确认配备有辅极 48 的实施例的效果而执行的模拟的结果。在以下说明中,与图 1 到图 4 所示元件相当的元件由相同的附图标记表示。首先,参考图 6A 和图 6B,将描述利用对照实例的结果。图 6A 是以不同的定子电流示出的作为从利用并不具有任何辅极 48 的对照实例的旋转电机执行的模拟获得的结果的旋转速度 - 扭矩特性的图表。在这里应该指出,在这个模拟中使用的对照实例的旋转电机是除了在转子 14 上未在相邻齿 19 之间配备有凸极的辅极 48 之外,具有与图 1 到图 3 所示基本相同的构造的旋转电机。利用对照实例的这种构造,执行用于发现在扭矩和旋转速度之间的关系模拟。图 6A 示出模拟结果。图 6A 所示的示意 E1A、E2A... 示意当供应定子电流,即,通过定子绕组 28u、28v 和 28w 的电流时三相交流电流的有效值是不同的,并且示意定子电流的有效值按照 E1、E2... 的次序逐渐地减小。

[0088] 如在图 6A 中所示,在对照实例的旋转电机中,在低旋转速度区域中扭矩是小的,但是在中间旋转速度区域中,最大扭矩变大,并且从中间旋转速度区域到高旋转速度区域,扭矩变得更小。

[0089] 图 6B 是以不同的定子电流示出的作为从利用对照实例的旋转电机执行的模拟获得的结果的在转子磁动势和旋转速度之间的关系关系的图表。表示在图 6A 中的电流的示意 E1A、E2A... 与在图 6A 中的含义相同,并且在图 6A 和图 6B 中相同的示意表示定子电流的相同的有效值(这还适用于图 7A 和图 7B)。在图 6B 中,垂直轴线以安培 - 匝数表示转子磁动势。因为所有的转子绕组 42n 和 42s 的匝数是相等的,所以在图 6B 中的垂直轴线与在转子绕组 42n 和 42s 中感应出的转子的感应电流相对应。如根据图 6B 所示结果清楚地,随着旋转速度增加,转子磁动势逐渐地增加到预定旋转速度。

[0090] 作为对照,图 7A 和图 7B 示出利用图 1 到 3 所示实施例的旋转电机 10 执行的模拟结果。图 7A 以不同的定子电流示出的作为从利用本发明的实施例的旋转电机 10 执行的模拟获得的结果的旋转速度 - 扭矩特性的图表。如根据在图 6A 和图 7A 之间的比较清楚地,如与对照实例相比较,在本发明的实施例中,对于相等的定子电流,最大扭矩更高;例如,与图 6A 所示对照实例中的最大扭矩 1.0 相比,对于定子电流的有效值 E1A,在图 7A 所示实施例中的最大扭矩是 1.032,即,在该实施例中的最大扭矩具有大约 3% 的增量。在旋转速度 $f_{1\min}^{-1}$ 下,与由图 6A 中的 E1A 产生的扭矩 1.0 相比,由图 7A 中的 E1A 产生的扭矩是 1.45,

即具有 45% 的增量。在旋转速度 $F_{2\min}^{-1}$ 下, 与由图 6A 中的 E1A 产生的扭矩 1.0 相比, 由图 7A 中的 E1A 产生的扭矩是 2.0, 即, 增加到图 6A 的两倍。附带说一句, 在图 6A 和图 7A 中, 沿着垂直轴线的标度分划和沿着水平轴线的标度分划在两个图表之间分别表示相等的幅值。因此, 已经确认, 与对照实例相比, 该实施例能够基本上在旋转速度的整个区域中增加扭矩。

[0091] 图 7B 是以不同的定子电流示出的作为从利用本发明的实施例的旋转电机执行的模拟获得的结果的在转子磁动势和旋转速度之间的关系图表。如根据在图 6B 和图 7B 之间的比较清楚地, 已经确认在该实施例中, 能够使得转子磁动势在旋转速度的基本上整个区域之上大于在对照实例中, 并且还使得在转子绕组 42n 和 42s 中产生的转子的感应电流在旋转速度的基本上整个区域之上大于在对照实例中。附带说一句, 在图 6B 和图 7B 中, 沿着垂直轴线的标度分划和沿着水平轴线的标度分划在两个图表之间分别表示相等的幅值。

[0092] 接着, 将参考图 8A 到图 8D 基于计算结果确认利用辅极 48 实现的效果和在每个辅极 48 的基础部分 52 由非磁性材料形成的情形中实现的效果。图 8A 是示出转子绕组 42n 和 42s 的空间谐波磁链的图表, 并且图 8B 是示出转子绕组 42n 和 42s 的自感应的图表。图 8C 是示出通过转子绕组 42n 和 42s 的转子的感应电流的图表, 并且图 8D 是示出旋转电机的扭矩的图表。在图 8A 到图 8C 中的每一幅图中, 在未设有辅极 48 的对照实例的上述旋转电机和实例 1、2 的旋转电机之间进行比较。实例 1 是设有完全地由磁性材料形成的辅极 48 的、基于图 1 到图 3 所示的上述实施例的旋转电机。实例 2 是设有远端部分 54 由磁性材料形成而基础部分 52 由非磁性材料形成的辅极 48 的、基于图 1 到图 3 所示的上述实施例的旋转电机。在图 8A 到图 8D 中, 垂直轴线的标度分划表示在对照实例的磁链、自感应、感应电流和扭矩的值被定义为 1 时的磁链、自感应、感应电流和扭矩的相对值。

[0093] 如根据图 8A 清楚地, 转子绕组 42n 和 42s 的空间谐波磁链在对照实例中是小的, 并且在实例 1 和 2 这两者中是大的。更加具体地, 空间谐波磁链在实例 1 中比在实例 2 中稍微地更大。此外, 如根据图 8B 清楚地, 转子绕组 42n 和 42s 的自感应在整个辅极 48 由磁性材料形成的实例 1 中最大, 并且在对照实例和实例 2 中是一样小的。认为这是由于在实例 1 中通过齿 19 到辅极 48 的基础部分 52 的磁通的短路引起的。如根据图 8C 清楚地, 转子的感应电流按照对照实例、实例 1 和实例 2 的次序逐渐地增加。认为这是由于如在图 8B 中所示在实例 1 中的自感应的增加引起的。此外, 如根据图 8D 清楚地, 旋转电机的扭矩根据它们的不同的转子感应电流按照对照实例、实例 1 和实例 2 的次序逐渐地增加。从这些结果, 也能够理解在该实施例中, 旋转电机 10 的扭矩能够增加, 并且能够通过利用非磁性材料形成每个辅极 48 的基础部分 52 获得进而更大的效果。

[0094] 接着, 参考图 9A 和图 9B, 将描述关于旋转电机的空间谐波的磁通的模拟的结果。图 9A 和图 9B 是每副均示出空间谐波的磁通的概略图表。图 9A 示出上述对照实例的情形, 并且图 9B 示出图 1 到图 3 所示实施例的情形。附带说一句, 虽然图 9A 示出看起来是辅极 48 的构造, 但是模拟结果是出于没有设置任何辅极 48 的假设计算的(这同样适用于图 10A (在以后描述))。在图 9A 和图 9B 中, 在转子 14 和定子 12 之间的相位关系是相同的。在该情形中, 定子 12 的齿 30 面对与辅极 48 相对应的、由“1”示意的位置。

[0095] 根据模拟结果, 能够理解, 在设有辅极 48 的、图 9B 所示实施例中, 与在未设有辅极

48 的、图 9A 所示对照实例中相比,空间二阶谐波的更多的磁通与转子绕组 42n 和 42s 关联从而穿过辅极 48。此外,在图 9B 中,辅极 48 被布置成离开狭槽 50 的底部部分,并且该实施例也能够被以该方式构造。在该情形中,例如,通过在辅极 48 的轴向端部处将该辅极 48 结合到设置在转子 14 在轴线方向上的两个相对端上的金属板或者端板等来构造辅极 48。

[0096] 接着,参考图 10A 到图 10C,描述了关于由旋转电机的转子的感应电流引起的磁通的模拟的结果。图 10A 到图 10C 是每幅均示出由转子的感应电流形成的磁通的概略图表。图 10A 示出上述对照实例的情形。图 10B 示出每个辅极 48 的基础部分 52 由磁性材料制成的图 1 到图 3 所示实施例的实例 1 的情形。图 10C 示出每个辅极 48 的基础部分 52 由非磁性材料制成的实施例的实例 2 的情形。在全部的图 10A 到图 10C 中,在转子 14 和定子 12 之间的相位关系是相同的。在该情形中,在图 10A 中由 M1 表示的定子 12 的齿 30 和在图 10A 中由 M2 表示的转子 14 的齿 19 部分地在径向方向上彼此面对。模拟结果示意在图 10B 所示实例 1 中,因为每个辅极 48 的基础部分 52 由磁性材料形成,所以大量的磁通穿过由 M3 表示的基础部分 52。因此,能够理解通过辅极 48 短路的磁通增加了转子绕组 42n 和 42s 的电感。

[0097] 在另一方面,在图 10A 所示不带辅极 48 的对照实例和每个辅极 48 的基础部分 52 由非磁性材料形成的图 10C 所示实例 2 中,不象实例 1,无任何磁通通过辅极 48 短路,从而转子绕组 42n 和 42s 的电感的增加能够大于在实例 1 中地受到抑制。结果,根据空间二阶谐波与转子绕组 42n 和 42s 的磁链能够增加并且转子绕组 42n 和 42s 的电感的增加能够受到抑制的图 10C 所示实例 2,使得旋转电机 10 的扭矩进而更大是可能的。

[0098] 接着,参考图 11 到图 14C,将描述包括前面的实施例的旋转电机的、本发明的实施例的旋转电机驱动系统 34。附带说一句,已经通过在旋转电机 10 的 q 轴电流上迭加脉冲电流为了除了前述扭矩增加效果之外在低旋转速度区域中增加扭矩的意图设计了图 11 到图 14C 所示实施例。

[0099] 图 11 是示出本发明的实施例的旋转电机驱动系统的总体构造的图表。本发明的实施例的旋转电机驱动系统 34 包括旋转电机 10、是驱动旋转电机 10 的驱动部分的逆变器 36、控制逆变器 36 的控制装置 38 和是电源部分的电力存储装置 40,并且由此驱动旋转电机 10。旋转电机 10 的构造与图 1 到图 3 所示旋转电机 10 的构造相同。在以下说明中,与图 1 到图 3 所示元件相同的元件由相同的附图标记表示。

[0100] 电力存储装置 40 被设置成直流电源,并且是可充电和可放电的,并且例如由二次电池构成。逆变器 36 具有 U 相、V 相和 W 相的三相臂 Au、Av 和 Aw,并且三相臂 Au、Av 和 Aw 中的每个均具有串联连接的两个开关元件 Sw。每个开关元件 Sw 是晶体管、IGBT 等。二极管 Di 与每个开关元件 Sw 反向并联连接。进而,臂 Au、Av 和 Aw 中的每个的中点被连接到构成旋转电机 10 的定子线圈 28u、28v 和 28w 中的相应的相位的一个定子线圈的端侧。关于定子绕组 28u、28v 和 28w,每个相位的定子绕组被相互串联连接,并且不同相位的定子绕组 28u、28v 和 28w 在中性点处连接。

[0101] 此外,电力存储装置 40 的正电极侧和负电极侧分别被连接到逆变器 36 的正电极侧和负电极侧。电容器 68 连接在电力存储装置 40 和逆变器 36 之间使得电容器 68 与逆变器 36 并联连接。控制装置 38 例如根据从车辆的油门踏板传感器(未示出)等输入的加速命令信号计算旋转电机 10 的目标扭矩,并且根据与目标扭矩等相应的电流命令值控制每

个开关元件 Sw 的开关操作。控制装置 38 接收表示由设置在至少两相定子绕组(例如,绕组 28u 和 28v)处的电流传感器 70 检测到的电流值的信号,和表示由旋转角度检测部分 82(图 12)诸如分析器等检测到的旋转电机 10 的转子 14 的旋转角度的信号的输入。控制装置 38 包括具有中央处理单元(CPU)、存储器等的微型计算机,并且通过控制逆变器 36 的开关元件 Sw 的开关来控制旋转电机 10 的扭矩。控制装置 38 可以包括具有不同功能的多个独立的控制器。

[0102] 这个控制装置 38 能够通过构成逆变器 36 的开关元件 Sw 的开关操作将来自电力存储装置 40 的直流电力转换成三相,即 u 相、v 相和 w 相的交流电力并且供应与定子绕组 28u、28v 和 28w 的相位相对应的相位的电力。根据如上所述的控制装置 38,能够通过控制通过定子绕组 28u、28v 和 28w 的交流电流的相位(电流超前角)控制转子 14(图 1 到图 3)的扭矩。旋转电机驱动系统 34 被安装用于例如在配备有作为驱动动力源的发动机和牵引马达的混合动力车辆、燃料电池车辆、纯电动车辆等中用作车辆驱动动力发生设备。附带说一句,作为电压转换部分的 DC/DC 转换器可以连接在电力存储装置 40 和逆变器 36 之间从而电力存储装置 40 的电压能够升高并且然后被供应到逆变器 36。

[0103] 图 12 是示出在控制装置 38 中的逆变器控制部分的构造的图表。控制装置 38 包括电流命令计算部分(未示出),减小脉冲迭加装置 72、减法器 74 和 75、PI 计算部分 76 和 77、三相 / 两相转换部分 78、两相 / 三相转换部分 80、旋转角度检测部分 82、脉冲宽度调制(PWM)信号发生部分(未示出)和门电路(未示出)。

[0104] 电流命令计算部分遵循预先制备的表格等根据依据从使用者输入的加速指令计算的旋转电机 10 的扭矩命令值计算与 d 轴和 q 轴相对应的电流命令值 I_d^* 和 I_q^* 。在这里应该指出,d 轴沿着是转子绕组 42n 和 42s 的绕组中心轴线的方向的磁极方向,而 q 轴沿着在旋转电机 10 的周向方向上从 d 轴超前 90° 电角度的方向。例如,在如在图 1 中所示规定转子 14 的旋转方向的情形中,以如由图 1 中的箭头示意的关系规定 d 轴方向和 q 轴方向。此外,电流命令值 I_d^* 和 I_q^* 分别是是 d 轴电流分量的命令值的 d 轴电流命令值和是 q 轴电流分量的命令值的 q 轴电流命令值。通过使用上述 d 轴和 q 轴,能够通过矢量控制确定通过定子绕组 28u、28v 和 28w 的电流。

[0105] 三相 / 两相转换部分 78 根据由设置在旋转电机 10 中的旋转角度检测部分 82 检测到的旋转电机 10 的旋转角度 θ 和由电流传感器 70 检测到的两相电流(例如,v 相和 w 相的电流 I_v 和 I_w) 计算两相电流的 d 轴电流值 I_d 和 q 轴电流值 I_q 。仅由电流传感器 70 检测两相电流的原因在于,因为三相的电流的和为零,所以能够通过计算得到另一相位的电流。然而,检测 U 相、V 相和 W 相的电流并且根据检测到的电流值计算 d 轴电流值 I_d 和 q 轴电流值 I_q 也是可能的。

[0106] 减小脉冲迭加装置 72 具有:产生减小脉冲电流的减小脉冲发生部分 84;和加法部分 86,该加法部分 86 以恒定周期迭加减小脉冲电流 I_{qp*on} ,即,将其相加到,q 轴电流命令值 I_q^* ,并且向相应的减法器 75 输出通过相加获得的迭加后的 q 轴电流命令值 I_{qsum}^* 。此外,与 d 轴相对应的减法器 74 确定在 d 轴电流命令值 I_d^* 和通过利用三相 / 两相转换部分 78 转换获得的 d 轴电流 I_d 之间的偏差 δI_d ,并且将偏差 δI_d 输入到与 d 轴相对应的 PI 计算部分 76。

[0107] 此外,与 q 轴相对应的的减法器 75 确定在迭加后的 q 轴电流命令值 I_{qsum}^* 和通

过利用三相 / 两相转换部分 78 转换获得的 q 轴电流 I_q 之间的偏差 δI_q , 并且将偏差 δI_q 输入到与 q 轴相对应的 PI 计算部分 77。PI 计算部分 76 和 77 通过基于预定增益执行 PI 计算来确定关于输入偏差 δI_d 和 δI_q 的控制偏差, 并且计算与控制偏差相对应的 d 轴电压命令值 V_d^* 和 q 轴电压命令值 V_q^* 。

[0108] 两相 / 三相转换部分 80 基于在从旋转电机 10 的旋转角度 θ 获得的以后的 1.5 个控制周期时的预测角度, 即, 预测位置, 将从 PI 计算部分 76 和 77 输入的电压命令值 V_d^* 和 V_q^* 转换成三相, 即, u 相、v 相和 w 相的电压命令值 V_u 、 V_v 和 V_w 。电压命令值 V_u 、 V_v 和 V_w 被 PWM 信号发生部分 (未示出) 转换成 PWM 信号, 并且 PWM 信号被输出到门电路 (未示出)。门电路通过选择控制信号所应用到的开关元件 S_w 来控制开关元件 S_w 的开 / 关状态。因此, 控制装置 38 将流过定子绕组 28u、28v 和 28w 的定子电流转换成 dq 轴坐标系以获得 d 轴电流分量和 q 轴电流分量, 并且通过包括反馈控制的矢量控制控制逆变器 36 从而获取与目标扭矩相对应的每一个相位的定子电流。

[0109] 图 13A 是依据 d 轴电流命令值 I_d^* 、迭加后的 q 轴电流命令值 I_{qsum}^* 和三相的电流示出在本发明的实施例中的定子电流的时间依赖变化的实例的图表。图 13B 是示出与图 13A 相对应的转子磁动势的时间依赖变化的图表。图 13C 是示出与图 13A 相对应的马达扭矩的时间依赖变化的图表。图 13A、图 13B 和图 13C 在图表中示出仿真结果, 在每幅图表中, 非常短的时间被以放大的比例示出, 即, 被沿着横向方向放大。因此, 虽然在旋转电机的驱动期间 U 相、V 相和 W 相电流实际上为正弦波, 但是图 13A 示出在脉冲电流被迭加之前和之后电流是线性的。

[0110] 如在图 13A 中所示, 图 12 所示减小脉冲迭加装置 72 仅在 q 轴电流命令值 I_q^* 上迭加减小脉冲电流。d 轴电流命令值 I_d^* 是对应于扭矩命令计算的恒定值。因此, 通过减小脉冲迭加装置 72 以恒定周期在 q 轴电流命令值 I_q^* 上迭加以脉冲方式减小并且然后增加的电流命令。附带说一句, 如在图 13A 中所示, 即使当命令脉冲电流为矩形波形时, 脉冲电流有时也由于响应延迟而实际上变成与如由中断线 β 示出的曲线组合的脉冲形式。此外, 减小脉冲电流的脉冲波形可以是任何波形, 包括矩形波、三角形波或者由多条曲线和直线形成为凸出形状的波。

[0111] 如果减小脉冲电流被以上述方式迭加, 则例如在最大电流流过一个相位的定子绕组并且相等的电流流过其它两个相位的定子绕组并且相等电流的和流过该一个相位的定子绕组的情形中, 电流的绝对值减小。例如, 图 13A 示出最大电流流过 W 相的定子绕组 28w 并且相等的电流流过其它两个相位, 即, U 相和 V 相的定子绕组 28u 和 28v, 并且相等电流的和流过 W 相的定子绕组的情形。在该情形中, 双箭头 γ 示出电流的限制范围, 并且中断线 P 和 Q 示出在设计时要求的电流的容许极限。具体地, 由于与各种构成部件诸如逆变器 36 的容量等的关系, 要求电流的值处于中断线 P 和 Q 之间。利用这些条件, 流过 W 相的定子绕组 28w 的电流的值处于容许极限的附近。在该情形中, 减小脉冲电流的迭加减小三相的电流值的绝对值, 但是根据电流的改变在定子 12 上的旋转磁场的空间谐波的磁通改变增加。因此, 如在图 13B 中所示, 转子磁动势增加, 并且如在图 13C 中所示, 马达扭矩增加。此外, 因为在正侧上的 U 相和 V 相的脉冲电流的峰值下降并且在负侧上的 W 相的脉冲电流的峰值升高, 所以三相的电流能够被包含在电流的限制范围 (由图 13A 中的双箭头 γ 表示的范围) 内。

[0112] 这将进一步参考图 14A 到图 14C 详细地解释。图 14A 到图 14C 示出在 q 轴电流是恒定值(图 14A)的情形中、减小脉冲电流在 q 轴电流上迭加的情形的早期(图 14B)和减小脉冲电流在 q 轴电流上迭加的情形的晚期(图 14C)在本发明的实施例中磁通穿过定子和转子的方式的概略图表。在图 14A 到图 14C 中,设有三相的定子绕组 28u、28v 和 28w 的齿 30 并不沿着径向面对设有转子绕组 42n 和 42s 的齿 19,使得齿 30 面对在转子 14 的周向方向上彼此相邻的两个齿 19 之间的中间位置。在这种状态下,在定子 12 和转子 14 之间流动的磁通是如由图 14A 到图 14C 中的实线箭头 R1 和虚线箭头 R2 示意的 q 轴磁通。

[0113] 图 14A 与迭加后的 q 轴电流命令值 I_{qsum*} 是恒定值的图 13A 所示状态 A1 相对应,而图 14B 与在图 13A 中的迭加后的 q 轴电流命令值 I_{qsum*} 上出现减小脉冲电流的早期,即,命令值 I_{qsum*} 急剧地减小的、在图 13A 中的状态 A2 相对应。此外,图 14C 与在图 13A 中的迭加后的 q 轴电流命令值 I_{qsum*} 上出现减小脉冲电流的晚期周期,即,命令值 I_{qsum*} 急剧地增加的、在图 13A 中的状态 A3 相对应。

[0114] 首先,如在图 14A 中所示,在出现减小脉冲电流之前的迭加后的 q 轴电流命令值 I_{qsum*} 恒定的状态期间,如由实线箭头 R1 示出地,磁通从 W 相的齿 30 经由在位置 A 和 B 处的齿 19 之间的空间通过在位置 A 和 B 处的齿 19 流动到 U 相和 V 相的齿 30。在该情形中,正电流流过 U 相和 V 相的定子绕组 28u 和 28v,并且负的大电流流过 W 相的定子绕组 28w。然而,在该情形中,由通过齿 30 的基本成分引起的磁通不发生任何改变。

[0115] 在另一方面,如在图 14B 中所示,在出现减小脉冲电流的早期期间,即,在 q 轴电流急剧地减小的状态期间,通过定子绕组 28u、28v 和 28w 的电流的绝对值在减小的方向上改变,并且明显地由于从图 14A 所示状态改变,磁通如由中断线箭头 R2 示出地在相反的方向上流动。附带说一句,磁通的改变可以是磁通在与图 14A 所示磁通方向相反的方向上流动的定子电流的正值和负值的实际的倒数。在任何情形中,磁通在于位置 A 处的齿 19 的 N 极改变成 S 极的这种方向上在位置 A 处在齿 19 中流动,并且感应电流趋向于在用于抑制磁通的流动的这种方向上流过在位置 A 处的齿 19 的转子绕组 42n,并且电流在图 14B 中的箭头 T 的方向上的流动不被二极管 21n 阻挡。在另一方面,在位置 B 处的齿 19 中,磁通在使得在位置 B 处的齿 19 的 S 极得以加强的这种方向上流动,并且感应电流趋向于在用于抑制磁通流动的这种方向上,即,在用于使得在位置 B 处的齿 19 变成 N 极的这种方向上流过在位置 B 处的齿 19 的转子绕组 42s;然而,电流在该方向上的流动被二极管 21s 阻挡,并且因此电流并不流过在位置 B 处的转子绕组 42s。

[0116] 随后,如在图 14C 中所示,在出现减小脉冲电流的晚期期间,即,在 q 轴电流急剧地增加的状态期间,通过定子绕组 28u、28v 和 28w 的电流的大小在增加的方向上改变,并且磁通如由图 14C 中的实线箭头 R1 示出地在与图 14B 中的磁通的方向相反的方向上流动。在该情形中,磁通在加强在位置 A 处齿 19 的 N 极的这种方向上在位置 A 处的齿 19 中流动,并且感应电流趋向于在用于抑制磁通的流动的这种方向上,即,在使得在位置 A 处的齿 19 变成 S 极的这种方向(与二极管 21n 的方向相反的方向 X)上流过在位置 A 处的齿 19 的转子绕组 42n;然而,因为在图 14B 中电流已经流动,所以至少在某个时间期间电流逐渐地减小。此外,在位置 B 处的齿 19 中,磁通在使得在位置 B 处的齿 19 的 S 极趋向于改变为 N 极的这种方向上流动,并且感应电流趋向于在用于抑制磁通的流动的这种方向上流过在位置 B 处的齿 19 的转子绕组 42s,并且电流在图 14C 中的箭头 Y 的方向上的流动不被二极管 21n 阻

挡。结果,如由图 13B 和 13C 中的 B2 示意地,由于减小脉冲电流在 q 轴电流上迭加,转子磁动势增加,并且马达扭矩增加。

[0117] 此外,当减小脉冲电流变为零并且状态恢复图 14A 的状态时,通过转子绕组 42n 和 42s 的电流逐渐地下降。然而,通过循环地迭加减小脉冲电流,能够获得增加扭矩的效果。附带说一句,虽然以上已经描述了当通过 W 相的定子绕组 28w 的电流变得最大时迭加减小脉冲电流的情形,但是通过 U 相和 V 相的绕组 28u 和 28v 的电流的情形与上述相同。

[0118] 根据上述旋转电机驱动系统 34,实现能够在防止过大的电流流过定子绕组 28u、28v 和 28w 时在整个区域之上增加扭矩并且进一步在低旋转速度区域中增加扭矩的旋转电机 10 是可能的。例如,在多个相位的定子绕组 28u、28v 和 28w 是三相的定子绕组的情形中,即使当在对于一个相位(例如,W 相)的定子绕组执行脉冲电流的迭加之前通过一个相位(例如,W 相)的定子绕组的电流的绝对值高于流过其它相位(例如,U 相和 V 相)的定子绕组的电流的绝对值时,减小脉冲电流的迭加也在以脉冲方式减小流过所有的相位的绕组的电流的绝对值时增加了在转子绕组 42n 和 42s 中产生的感应电流。因此,在抑制是通过所有的定子绕组 28u、28v 和 28w 的电流的定子电流的峰值时,即使在低旋转速度区域中也增加旋转电机 10 的扭矩是可能的。进而,由于辅极 48 (图 1 到图 3),由定子 12 产生的旋转磁场的与转子绕组 42n 和 42s 关联的空间谐波,具体地,空间二阶谐波增加,并且磁通的改变增加,并且在转子绕组 42n 和 42s 中产生的感应电流进一步增加,并且在低旋转速度区域中的扭矩进一步增加。此外,因为无需在转子 14 侧上设置磁体,所以实现具有较少磁体的构造和高扭矩构造这两者是可能的。

[0119] 进而,如在图 13A 中所示,通过在 q 轴电流命令上迭加减小脉冲电流,流过一个相位的定子绕组例如 W 相的定子绕组 28w 的电流的绝对值被以脉冲方式减小。然而,本发明不限于以脉冲方式改变的电流的峰值的顶点接近零的模式。例如,迭加后 q 的轴电流命令 I_{qsum*} 的减小脉冲电流的减小幅度 E (图 13A)能够增加,使得流过 W 相的定子绕组 28w 的负电流在上升到 0 的附近之后增加到正侧。在该情形中,同样,增加由空间谐波引起的 q 轴磁通的改变量并且因此增加扭矩而不过度地增加定子电流是可能的。

[0120] 在于上述 JP2007-185082A 中描述的同步机器的情形中,脉冲电流在转子中形成电磁体。在该机器中,转子绕组被设置成在转子的外周边部分上沿着直径方向地越过转子地缠绕在转子上,并且整流元件被连接到转子绕组,使得在转子的沿着直径方向的相对侧处形成两个不同的磁极。因此,即便脉冲电流在 q 轴电流上迭加,用于形成两个磁极的感应电流也相互抵消,从而不能够通过转子绕组产生感应电流。具体地,该构造不能够通过在 q 轴电流上迭加脉冲电流来产生扭矩。

[0121] 此外,在于上述 JP2010-98908A 中描述的同步机器的情形中,以脉冲方式增加并且然后减小的增加脉冲电流在 d 轴电流和 q 轴电流上迭加,并且因此,存在流过定子绕组的电流的峰值可能过度地升高的可能性。此外,在上述 JP2010-11079A 中描述的同步机器没有公开为了实现能够在防止过大的电流流过定子绕组时即使在低旋转速度区域中也增加扭矩的旋转电机而在 q 轴电流上迭加减小脉冲电流的任何装置。

[0122] 例如,图 15 示出在具有不同于实施例的构造的一个实例中,在于定子电流上迭加增加脉冲电流的旋转电机驱动系统中通过 U 相定子绕组的电流(定子电流)和通过转子绕组形成的感应电流(转子的感应电流)的实例。除了替代减小脉冲电流地迭加增加脉冲

电流之外,图 15 所示实例基本与实施例相同。如在图 15 中所示,在该实例中,以脉冲方式增加并且然后减小的增加脉冲电流在正弦波的定子电流上迭加。在该情形中,如在于 JP2007-185082A 和 JP2010-98908A 中描述的同步机器的情形中,随着定子电流如由箭头 C1 示出地急剧地升高,转子的感应电流如由箭头 D1 示出地根据电磁感应原理急剧地减小。在这之后,随着定子电流如由箭头 C2 示出地急剧地下降,转子的感应电流增加。由于这个原理,流过三相的定子绕组之一的电流增加。因此,为了产生期望的扭矩,有时有必要迭加大电流脉冲。在该情形中,增加脉冲电流在 d 轴电流上迭加。因此,存在电流的峰值可能变得过大并且超过在设计中要求的逆变器电流限制极限的可能性。因此,存在包括逆变器的控制系统的成本和尺寸可能增加的可能性,因为例如如有必要增加逆变器的开关元件的容量。此外,存在电流传感器的尺寸可能增加并且检测准确度可能减小的可能性,因为有必要增加将被用于控制电流的电流传感器的检测范围。

[0123] 作为对照,根据如上所述的实施例,因为能够防止定子电流变得过大,即,因为能够防止电流的峰值过大,所以所有的前面的缺陷和不便能够得以解决。附带说一句,能够在感应电流在图 15 中示出的实例中使用图 1 到图 3 所示实施例的旋转电机 10。

[0124] 根据如上所述的实施例,转子绕组 42n 和 42s 被连接到是整流元件的二极管 21n 和 21s,使得在转子 14 的周向方向上彼此相邻的转子绕组 42n 和 42s 的二极管 21n 和 21s 的正向方向彼此相反。因为二极管 21n 和 21s 对由于产生感应电动势而流过转子绕组 42n 和 42s 的电流进行整流,所以流过在周向方向上彼此相邻的转子绕组 42n 和 42s 的电流的相位彼此不同,即,A 相和 B 相交替。还可如在图 16A 和 16B 中所示设想不同于该实施例的另一个实施例。图 16A 和 16B 示出转子的概略图表,示出在另一实施例中当脉冲电流在 q 轴电流上迭加时发生的改变。

[0125] 在图 16A 和图 16B 所示另一个实施例中,转子绕组 88n 和 88s 缠绕在设置于在转子 14 的周向方向上的多个位置处的齿 19 上并且每对相邻的转子绕组 88n 和 88s 经由二极管 90 彼此连接,使得由流过转子绕组 88n 和 88s 的电流形成的极部分的磁特性,即,齿 19 的磁特性交替地改变。此外,在图 16A 和图 16B 所示实例中,转子 14 类似于图 1 到图 3 所示实施例地设有辅极,但是在图 16A 和图 16B 的图示中省略了辅极。在该另一个实施例中,在由于在 q 轴电流上迭加脉冲电流空间谐波的 q 轴磁通如由图 16A 和图 16B 中的中断线箭头示意地流动的情形中,电流趋向于流动使得 N 极和 S 极这两者均变成 S 极(图 16A),但是在 N 极侧和 S 极侧处的电流相互抵消。此外,在 q 轴磁通在与图 16A 所示方向相反的方向上流动的情形中,电流趋向于流动使得 N 极和 S 极这两者均变成 N 极(图 16B),但是在 N 极侧和 S 极侧处的电流相互抵消。因此,在图 16A 和图 16B 所示另一个实施例中,在 q 轴电流上迭加脉冲电流并不通过转子绕组 88n 和 88s 感应出电流。作为对照,图 1 到图 3 所示实施例能够如上所述通过在 q 轴电流上迭加脉冲电流而获得扭矩增加效果。然而,在图 16A 和图 16B 所示实施例中,也能够通过在用于使得电流流过定子绕组的 d 轴电流命令上迭加具有脉冲方式的增加的增加脉冲电流等在转子 14 上产生扭矩。

[0126] 附带说一句,在以上参考图 11 到图 14C 描述的实施例中,控制装置 38 具有用于在 q 轴电流上迭加减小脉冲电流的减小脉冲迭加装置 72,并且脉冲电流不在 d 轴电流上迭加。然而,控制装置 38 可以被构造成具有用于在 q 轴电流命令 I_{q*} 上迭加减小脉冲电流的减小脉冲迭加装置 72 和用于在 d 轴电流命令 I_{d*} 上迭加增加脉冲电流即以脉冲方式急剧地增

加并且然后急剧地减小的脉冲电流的增加脉冲迭加装置。即,作为旋转电机驱动系统,控制部分可以被构造具有减小/增加脉冲迭加装置,该减小/增加脉冲迭加装置用于在 q 轴电流命令 I_{q*} 上迭加减小脉冲电流并且在 d 轴电流命令 I_{d*} 上迭加具有脉冲方式的增加的增加脉冲电流。

[0127] 根据该构造,在包含于电流限制范围内的三相的定子的电流时增加由 d 轴电流产生从而穿过 d 轴磁路的磁通的变化量是可能的。因此,进一步增加转子 14 中的感应电流以有效地增加旋转电机 10 的扭矩是可能的。具体地,实现能够在防止过大的电流流过定子绕组 28u、28v 和 28w 时在整个区域之上增加扭矩并且进一步在低旋转速度区域中增加扭矩的旋转电机 10 是可能的。更加具体地,通过在 q 轴电流命令 I_{q*} 上迭加减小脉冲电流并且在 d 轴电流命令 I_{d*} 上迭加增加脉冲电流,在包含于要求的电流限制范围内的所有的相位的电流时增加在转子绕组 42n 和 42s 中产生的感应电流是可能的。进而,因为增加脉冲电流在 d 轴电流命令 I_{d*} 上迭加,所以增大由 d 轴电流命令 I_{d*} 产生并且穿过 d 轴磁路的磁通的变化量是可能的。能够使得贯通气隙在与 d 轴电流命令 I_{d*} 相对应的 d 轴磁路中比在与 q 轴电流命令 I_{q*} 相对应的 q 轴磁路中更小,从而磁阻减小。因此,增加 d 轴磁通的变化量对于增加扭矩是有效的。因此,在抑制所有的相位的定子的电流的峰值时即使在低旋转速度区域中也增加通过转子绕组 42n 和 42s 感应的电流和因此旋转电机 10 的扭矩是可能的。此外,由于辅极 48,增加由定子 12 产生的旋转磁场的与转子绕组 42n 和 42s 关联的空间谐波,具体地,空间二阶谐波是可能的,从而磁通的改变被增大,并且通过转子绕组 42n 和 42s 感应的电流增加,并且在低旋转速度区域中的旋转电机 10 的扭矩增加。

[0128] 此外,在图 11 到图 14C 所示实施例中,减小脉冲迭加装置 72 可以被如此设计,使得仅当目前的操作条件落入由旋转电机 10 的扭矩和旋转速度规定的预定区域内时减小脉冲电流才在 q 轴电流命令 I_{q*} 上迭加。例如,减小脉冲迭加装置 72 还可以被如此设计,使得仅当旋转电机 10 的旋转速度低于或者等于预定旋转速度并且旋转电机 10 的扭矩大于或者等于预定扭矩时,减小脉冲电流才在 q 轴电流命令 I_{q*} 上迭加。

[0129] 此外,图 17 是用于示意在该实施例中改变脉冲电流的迭加状态的实例的、示出在旋转电机的旋转速度和扭矩之间的关系的图表。具体地,在该实施例中,如在图 17 中所示,脉冲电流的迭加模式可以根据旋转电机 10 的旋转速度和扭矩的范围,或者根据其扭矩范围以三个步骤改变。图 17 示出在该实施例中在使用并不迭加脉冲电流的旋转电机驱动系统的情形中在旋转电机 10 的旋转速度和扭矩之间的关系。因此,在由双箭头 Z 示意的低旋转速度的范围中,旋转电机 10 的扭矩是相对低的,并且期望扭矩的增加处于如由阴影部分示出的范围内。能够在控制部分具有如上所述的减小/增加脉冲迭加装置的构造中利用脉冲电流的迭加模式以三个步骤改变的实施例解决该缺陷。在该实施例中,在于图 17 所示 H1 区域、H2 区域和 H3 区域中规定在扭矩和旋转速度之间的关系的情形中,脉冲电流以与该三个区域相对应的不同的模式在 d 轴电流和 q 轴电流中的至少一个上迭加。

[0130] 在 H1 区域中,即,当旋转电机 10 的输出扭矩小于或者等于阈值($K1N \cdot m$)而转子 14 的旋转速度小于或者等于预定旋转速度($J \text{ min}^{-1}$)时,减小/增加脉冲迭加装置执行在 d 轴电流命令 I_{d*} 上迭加增加脉冲电流 I_{dp*} 但是不在 q 轴电流命令 I_{q*} 上迭加减小脉冲电流的增加脉冲模式。因此,当存在距电流限制极限的良好裕度时,能够通过仅使用 d 轴磁通的改变的增加脉冲模式有效率地感应出转子电流。

[0131] 在 H2 区域中,即,当旋转电机 10 的输出扭矩超过阈值($K1N \cdot m$) 并且小于或者等于第二阈值($K2N \cdot m$) 而转子 14 的旋转速度小于或者等于预定旋转速度($J \text{ min}^{-1}$) 时,减小 / 增加脉冲迭加装置执行在 d 轴电流命令 I_d^* 上迭加增加脉冲电流 I_{dp}^* 并且在 q 轴电流命令 I_q^* 上迭加减小脉冲电流 I_{qp}^* 的减小 / 增加脉冲模式。在如上所述距电流限制极限的裕度是小的裕度的情形中,通过使用 q 轴磁通的改变以及 d 轴磁通的改变的减小 / 增加脉冲模式感应出在电流限制极限的范围内的转子电流是可能的。

[0132] 在 H3 区域中,即,当旋转电机 10 的输出扭矩超过阈值($K2N \cdot m$) 而转子 14 的旋转速度小于或者等于预定旋转速度($J \text{ min}^{-1}$) 时,减小 / 增加脉冲迭加装置执行在 q 轴电流命令 I_q^* 上迭加减小脉冲电流 I_{qp}^* 但是不在 d 轴电流命令 I_d^* 上迭加增加脉冲电流的减小脉冲模式。因此,在电流限制极限的附近,采用仅使用 q 轴磁通的改变的减小脉冲模式,从而通过朝向电流限制范围的中心改变所有的相位的定子电流而在防止电流增加时增加扭矩是可能的。

[0133] 虽然对于三个步骤,即, H1 区域、H2 区域和 H3 区域选择性地使用不同的脉冲电流迭加模式,但是脉冲电流的迭加模式可以在两个步骤之间,即,在 H1 区域和 H2 区域之间切换。在该情形中,在转子 14 的旋转速度小于或者等于预定旋转速度时,当输出扭矩小于或者等于阈值时,减小 / 增加脉冲迭加装置执行在 d 轴电流命令上迭加增加脉冲电流但是不在 q 轴电流命令上迭加减小脉冲电流的增加脉冲模式;并且当输出扭矩超过阈值时,减小 / 增加脉冲迭加装置执行在 d 轴电流命令上迭加增加脉冲电流并且在 q 轴电流命令上迭加减小脉冲电流的减小 / 增加脉冲模式。

[0134] 在上述实例中,是旋转电机驱动系统 34 的构件的控制装置 38 在 q 轴电流或者 d 轴电流上迭加脉冲电流。然而,在包括图 1 到图 3 所示实施例的旋转电机 10 的旋转电机驱动系统中,采用只是具有驱动逆变器的功能而不设置减小脉冲迭加装置或者减小 / 增加脉冲迭加装置的构造也是可能的。

[0135] 接着,将描述前面的实施例的旋转电机的构造的其它实例。如在下面示出地,本发明能够被应用于旋转电机的各种构造实例。

[0136] 例如,在以上参考图 1 到图 3 描述的实施例中,转子 14 具有如此构造,其中在周向方向上彼此相邻的转子绕组 42n 和 42s 被电分离,并且布置在每隔一个的齿 19 上的转子绕组 42n 被串联电连接,并且布置在每隔一个的齿 19 (除了设置有绕组 42n 的齿 19 之外) 上的转子绕组 42s 被串联电连接。然而,如在图 18 中所示,即使在包括如下转子 14 的旋转电机中,辅极 48 也能够设置在齿 19 之间,在该转子 14 中二极管 21n 和 21s 分别地一个接一个地连接到缠绕在是转子齿的齿 19 上的转子绕组 42n 和 42s,并且在该转子 14 中转子绕组 42n 和转子绕组 42s 彼此电分离。具体地,在转子芯 16 上,每个均至少部分地由磁性材料制成的多个辅极 48 设置在相邻的齿 19 之间,即,每个辅极 48 设置于在转子 14 的周向方向上的两个相邻的齿 19 之间的狭槽 50 的底部的中央部分上。其它构造与图 1 到图 3 所示实施例的构造相同。

[0137] 此外,转子绕组 42n 和 42s 还能够如在图 19 中所示通过环状绕组方法提供。在图 19 所示构造实例中,转子芯 16 包括环形芯部 92,并且是转子齿的齿 19 从环形芯部 92 沿着径向向外(朝向定子 12)突出。此外,在转子芯 16 中,每个均至少部分地由磁性材料制成的多个辅极 48 设置在相邻的齿 19 之间,即,每个辅极 48 设置于在转子 14 的周向方向上的两

个相邻的齿 19 之间的狭槽 50 的底部的中央部分上。

[0138] 此外,转子绕组 42n 和 42s 通过环状绕组方法在靠近各个齿 19 的位置处缠绕在环形芯部 92 上。同样在图 19 所示构造实例中,因为由定子 12 形成并且包括空间谐波成分的旋转磁场与转子绕组 42n 和 42s 关联,所以由二极管 21n 和 21s 整流的直流电流流过转子绕组 42n 和 42s,从而齿 19 被磁化。结果,靠近转子绕组 42n 定位的齿 19 用作 N 极,而靠近转子绕组 42s 定位的齿 19 用作 S 极。在该情形中,通过比转子 14 的与 180° 电角度相对应的宽度更短地设定每个齿 19 在转子 14 的周向方向上的宽度 θ ,空间谐波在转子绕组 42n 和 42s 中产生的感应电动势能够有效率地增加。进而,为了最大化空间谐波在转子绕组 42n 和 42s 中产生的感应电动势,优选的是每个齿 19 在周向方向上的宽度 θ 被设定为等于(或者基本等于)转子 14 的与 90° 电角度相对应的宽度。附带说一句,在图 19 所示实例中,类似于图 1 所示构造实例,在周向方向上交替地彼此相邻的转子绕组 42n 和转子绕组 42s 被彼此电分离;在周向方向上交替地布置的转子绕组 42n 被相互串联电连接;在周向方向上交替地布置的转子绕组 42s 被相互串联电连接。然而,在转子绕组 42n 和 42s 通过环状绕组方法缠绕的实例中,同样,如在图 18 所示构造实例中,靠近齿 19 缠绕的转子绕组 42n 和转子绕组 42s 可以被彼此电分离。其它构造与前面的实施例的构造相同。

[0139] 此外,在前面的实施例中,例如,如在图 20 中所示,所有的齿 19 可以设有作为单一缠绕金属丝被相互电连接的转子绕组 42。在图 20 所示构造实例中,转子绕组 42 通过二极管 21 短路,从而流过转子绕组 42 的电流被二极管 21 整流到一个方向中(直流电)。关于缠绕在齿 19 上的转子绕组 42,围绕在周向方向上彼此相邻的两个齿 19 的绕组的缠绕方向彼此相反从而在周向方向上彼此相邻的两个齿 19 的磁化方向彼此相反。此外,在转子芯 16 中,每个至少部分地由磁性材料制成的多个辅极 48 设置在相邻的齿 19 之间,即,每个辅极 48 设置于在转子 14 的周向方向上的两个相邻的齿 19 之间的狭槽 50 的底部的中央部分上。

[0140] 在图 20 所示构造实例中,关于在定子 12 上形成的旋转磁场,通过例如在关于定子电流的 d 轴命令上迭加脉冲电流,变化的磁通与转子绕组 42 关联,使得由二极管 21 整流的直流电流流过转子绕组 42,并且齿 19 被磁化。结果,齿 19 用作磁极固定的磁体。在该情形中,在周向方向上彼此相邻的两个齿 19 变成磁极彼此不同的磁体。根据图 20 所示构造实例,二极管 21 的数目能够被减小为一个。其它构造基本与在图 1 到图 3 所示上述实施例中相同。

[0141] 作为再一个实施例,如在图 21 中所示,还可以将转子绕组 42n 和 42s 缠绕在永磁体 94 上,该永磁体 94 被固定到在转子芯 16 的外部周向表面上的多个部位。在是该构造实例的旋转电机的构件的转子 14 中,转子芯 16 无任何磁显性,并且永磁体 94 被固定到在转子芯 16 的外部周向表面上的在转子芯 16 的周向方向上的多个部位。此外,转子绕组 42n 和 42s 缠绕在永磁体 94 上。在该构造中,转子 14 的在关于周向方向与转子绕组 42n 和 42s 的内侧一致的在周向方向上的多个部位处的部分用作磁极部分。永磁体 94 被沿着转子 14 的径向方向磁化,并且在周向方向上彼此相邻的两个永磁体 94 的磁化方向被设定为在径向方向上彼此相反。在图 21 中,在永磁体 94 上绘制的实线箭头表示永磁体 94 的磁化方向。此外,至少部分地由磁性材料制成的多个辅极 48 设置在相邻的齿 19 之间,即,辅极 48 设置于在转子 14 的周向方向上的每对相邻的齿 19 之间的中央部分上。二极管 21n 和 21s 使得磁特性在转子的周向方向上是交替地不同的,该磁特性由于在转子绕组 42n 和 42s 中出现

的感应电动势而出现在转子绕组 42n 和 42s 内侧。

[0142] 此外,缠绕在永磁体 94 上的转子绕组 42n 和 42s 不被彼此电连接而是被彼此电分离(绝缘)。彼此电分离的转子绕组 42n 和 42s 各自地分别地通过二极管 21n 和 21s 短路。二极管 21n 的极性和二极管 21s 的极性是彼此不同的。其它构造基本与图 1 到图 3 所示上述实施例的构造相同。

[0143] 虽然以上已经描述了用于执行本发明的形式,但是应该清楚,这种实施例等绝非限制本发明,而是在不偏离本发明的主旨的情况下,本发明能够被以各种形式执行。例如,虽然在前面的说明中,转子沿着径向布置在定子内侧使得转子和定子彼此面对,但是还能够以转子沿着径向布置在定子的外侧使得转子和定子彼此面对的构造执行本发明。此外,虽然在前面的说明中,定子绕组通过集中绕组方法缠绕在定子上,但是如果具有空间谐波的旋转磁场能够产生的话,还能够例如以定子绕组通过分布绕组方法设置在定子上的构造执行本发明。此外,虽然在每个实施例中,磁特性调整部是二极管布置,但是还能够采用任何其它构造作为磁特性调整部,只要该构造具有在周向方向上交替地改变在转子齿中或者转子绕组内侧出现的磁特性的功能即可。

[0144] 已经仅为了示意性的意图参考示例性实施例描述了本发明。但是应该理解,说明并非旨在是穷尽性的或者限制本发明的形式并且本发明可以适于在其它系统和应用中使用。本发明的范围涵盖本领域技术人员可以设想的各种变型和等价布置。

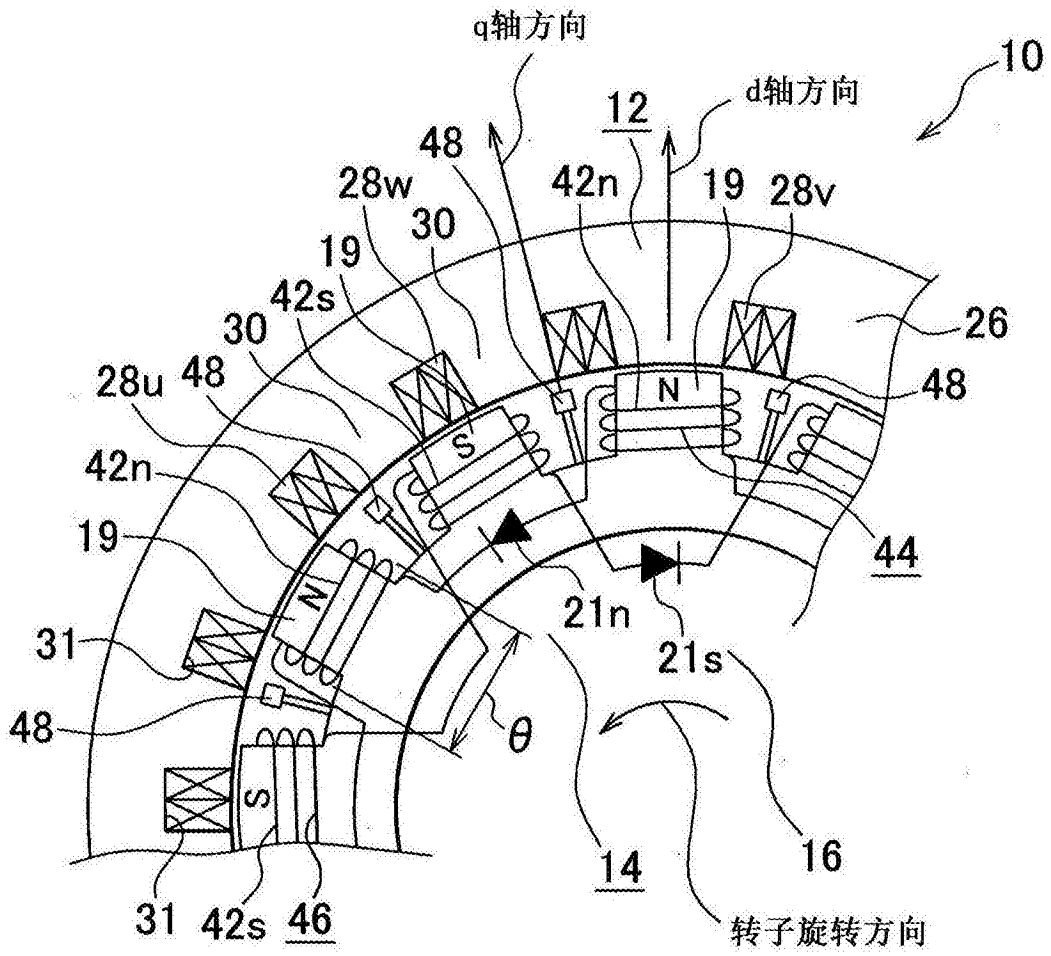


图 1

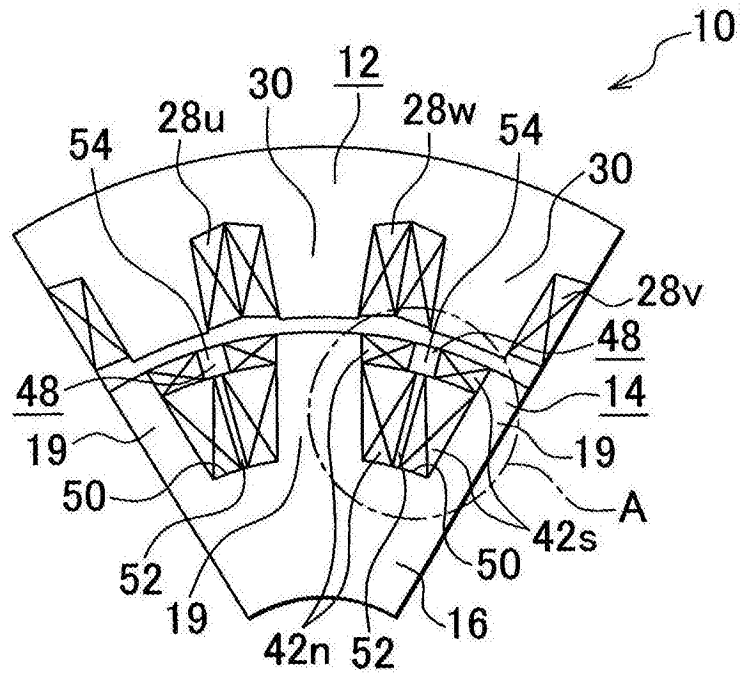


图 2

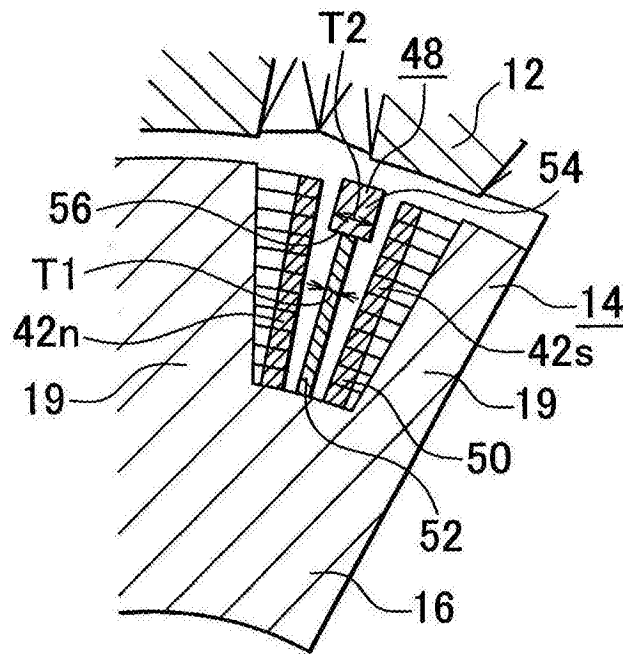


图 3

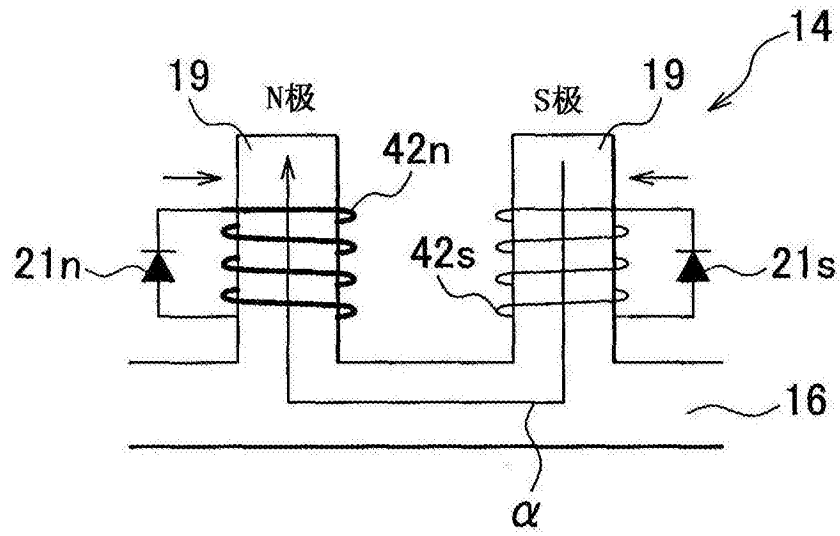


图 4

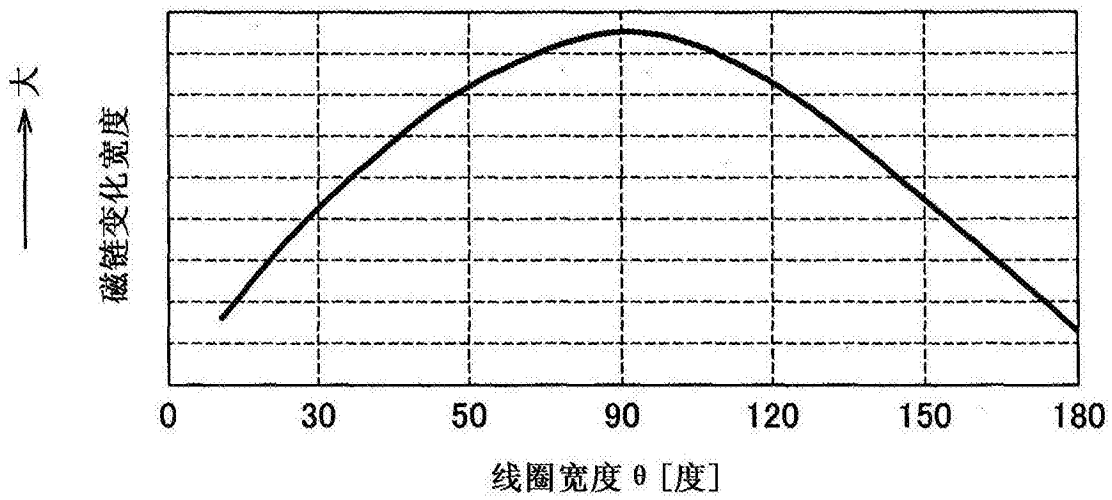


图 5

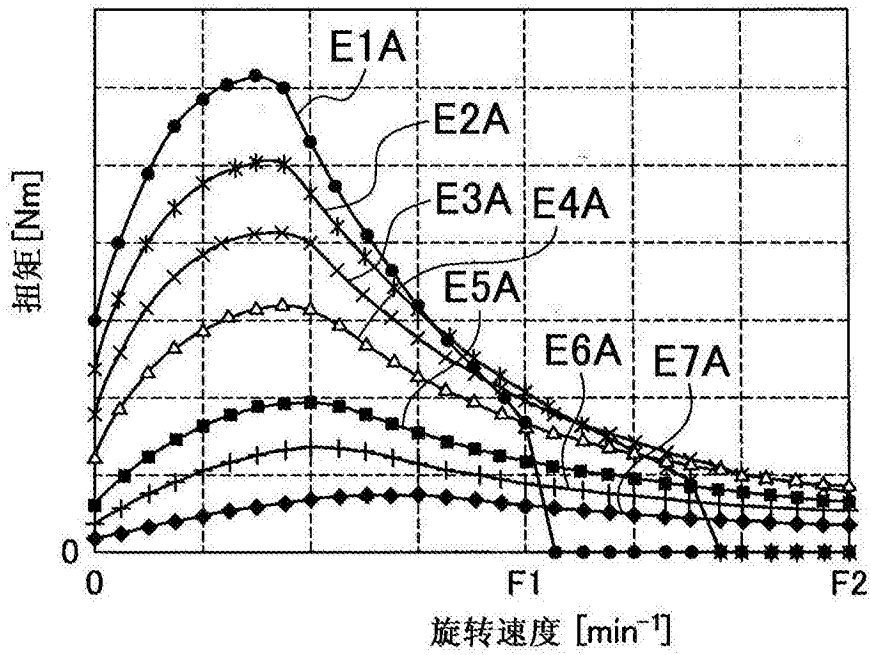


图 6A

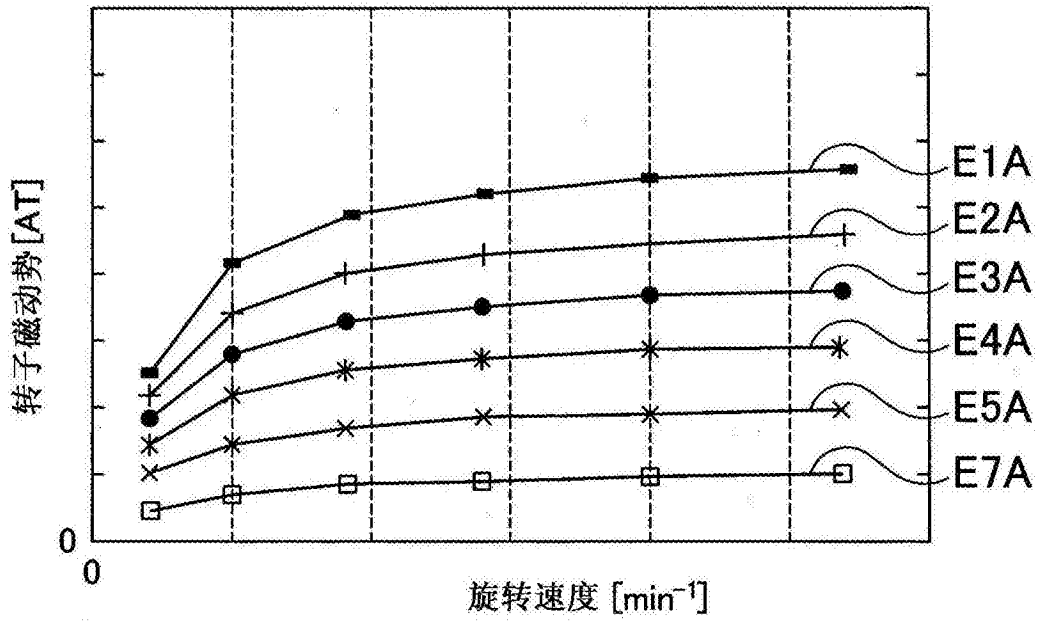


图 6B

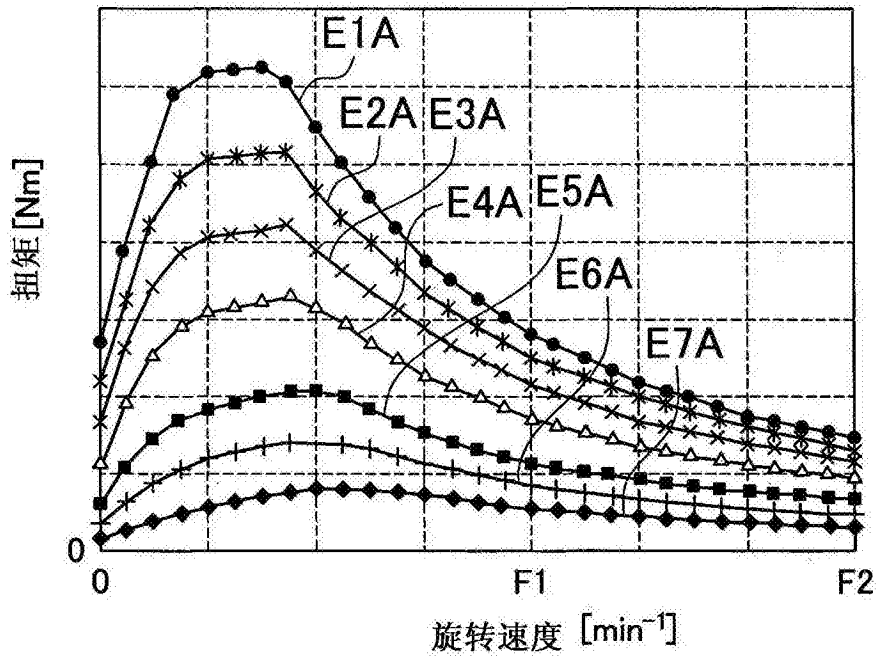


图 7A

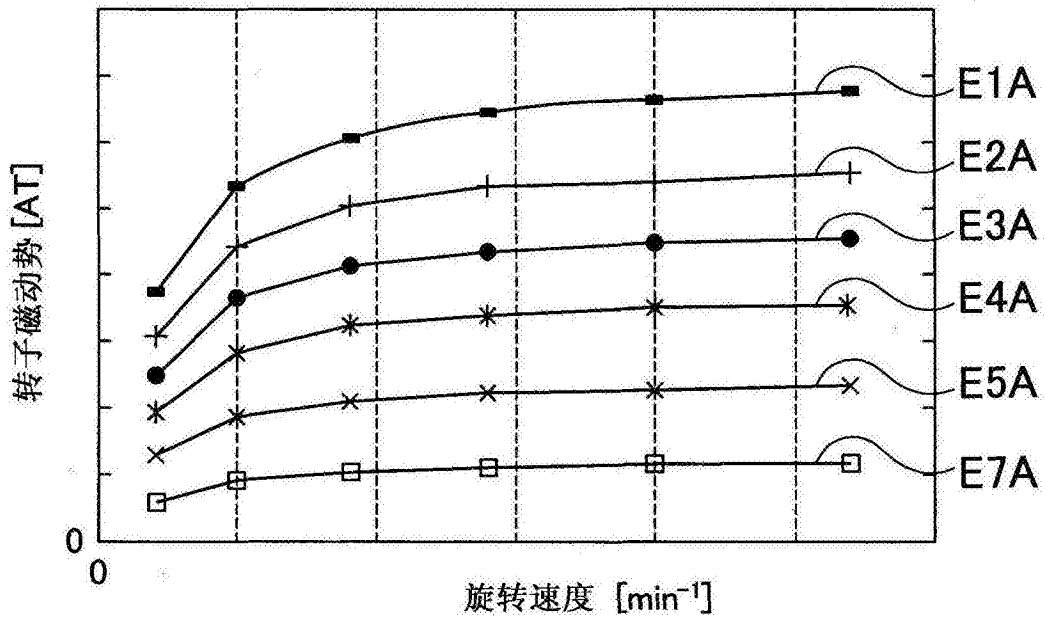


图 7B

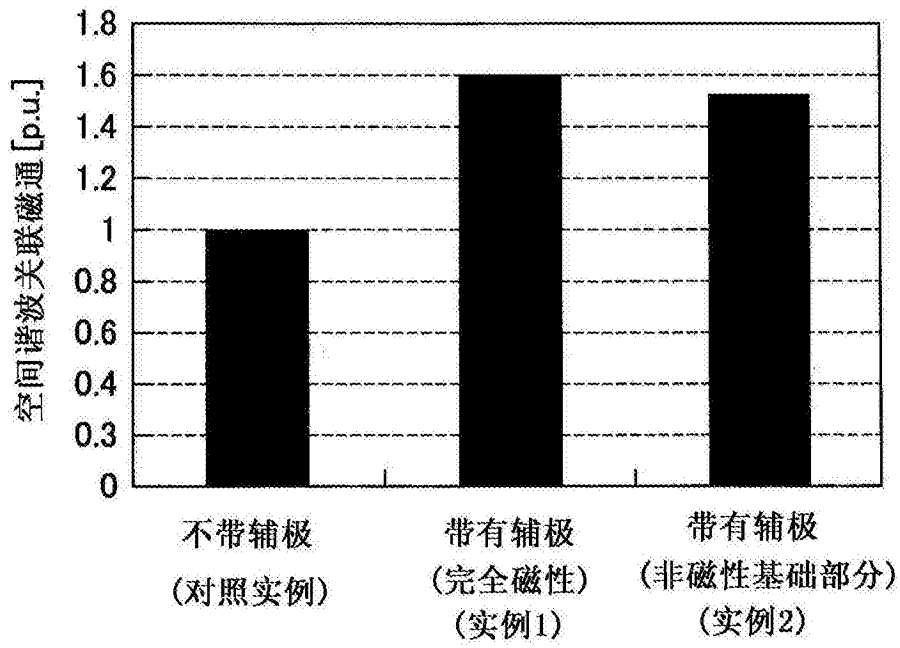


图 8A

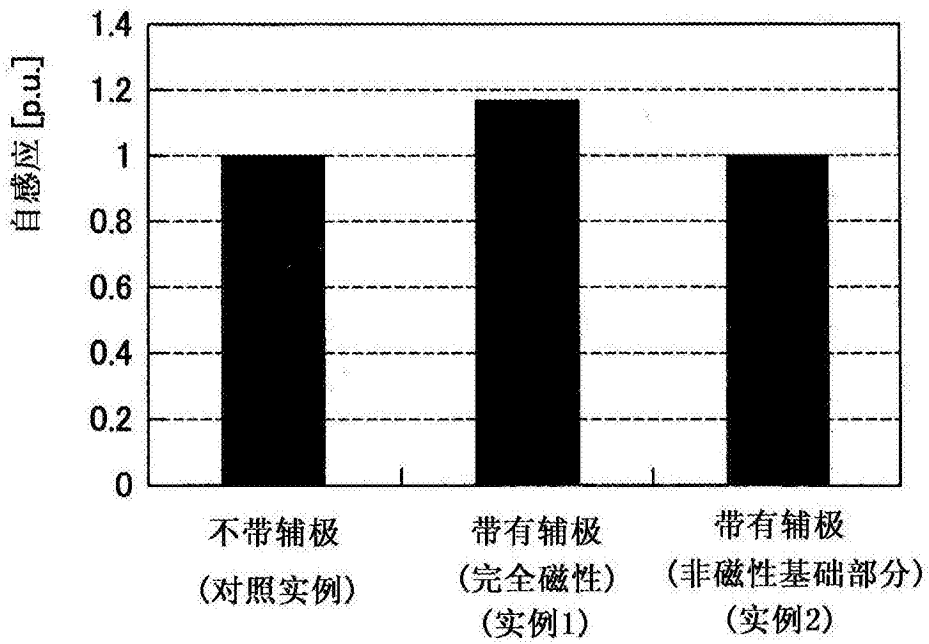


图 8B

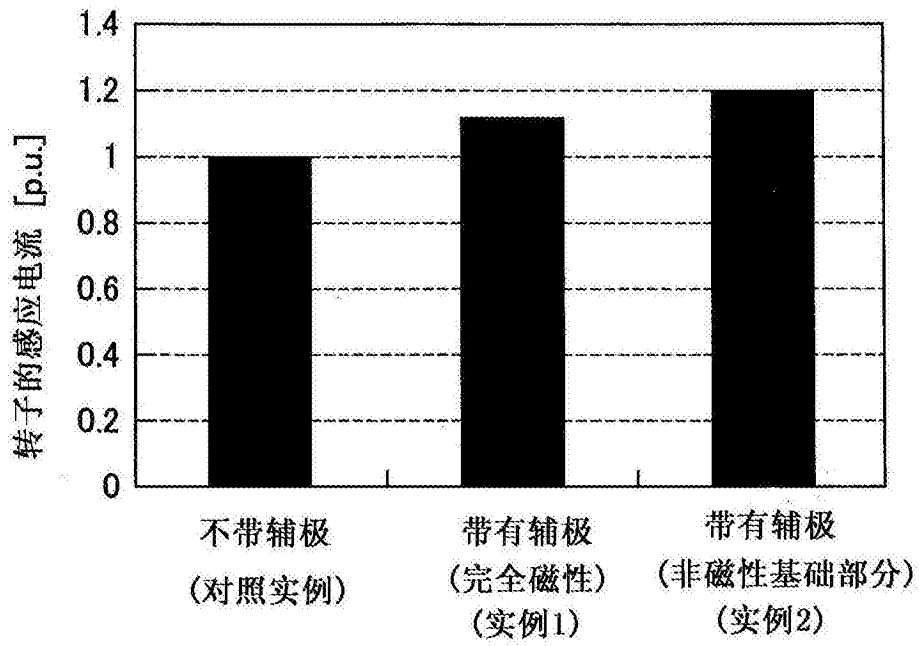


图 8C

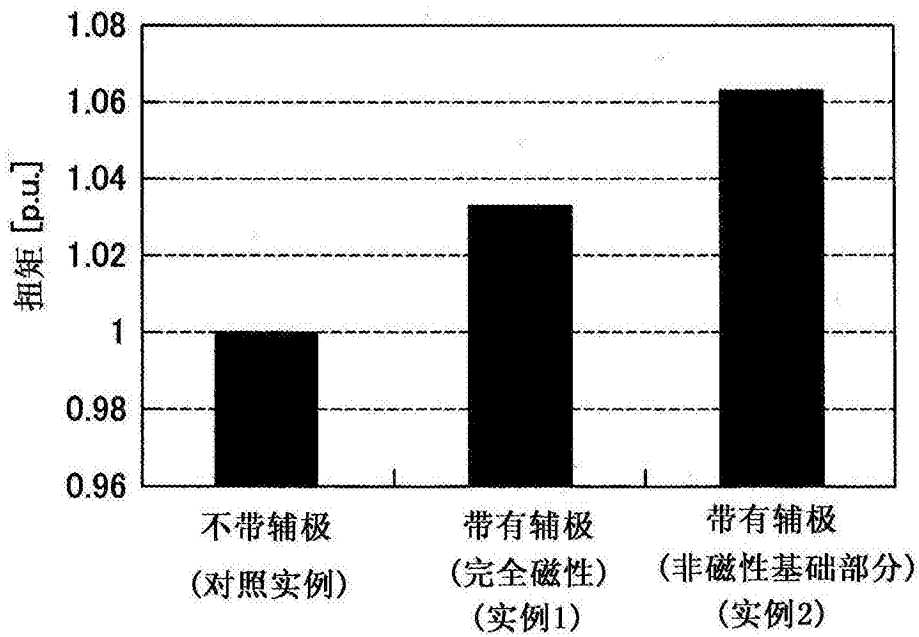


图 8D

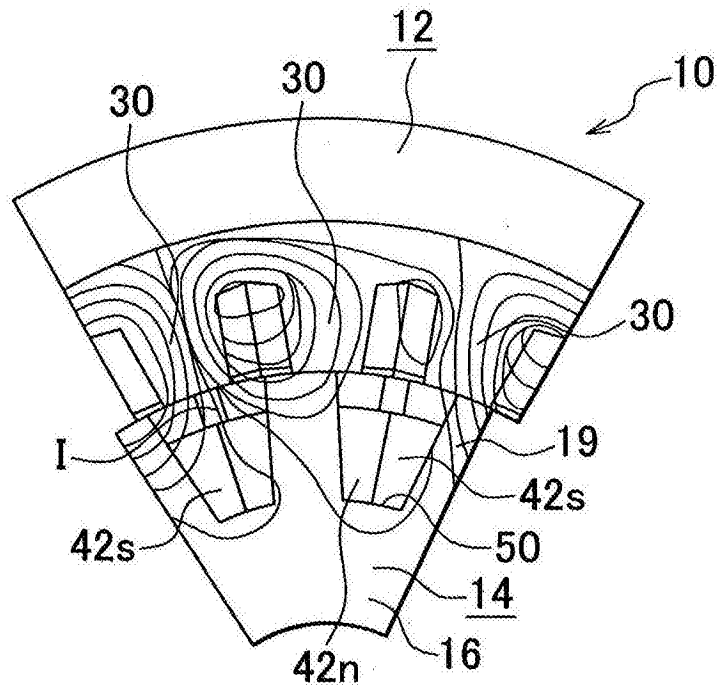


图 9A

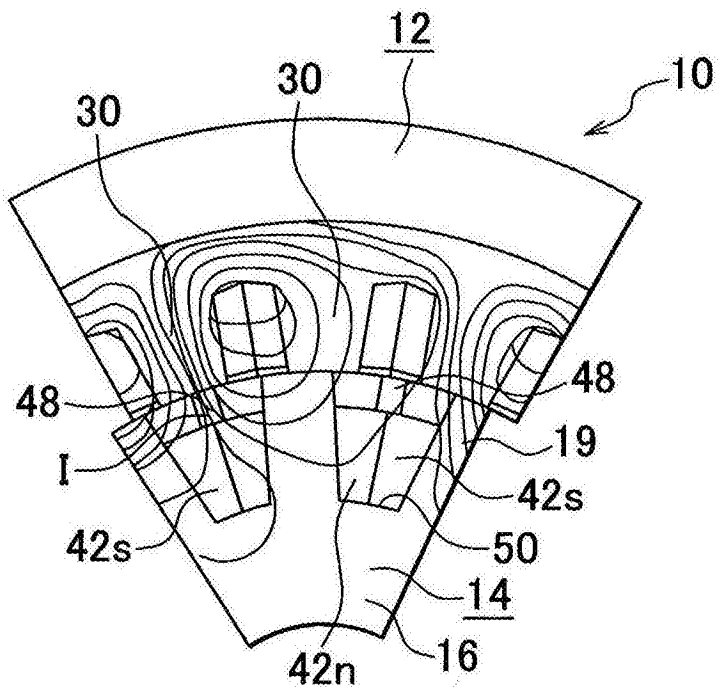


图 9B

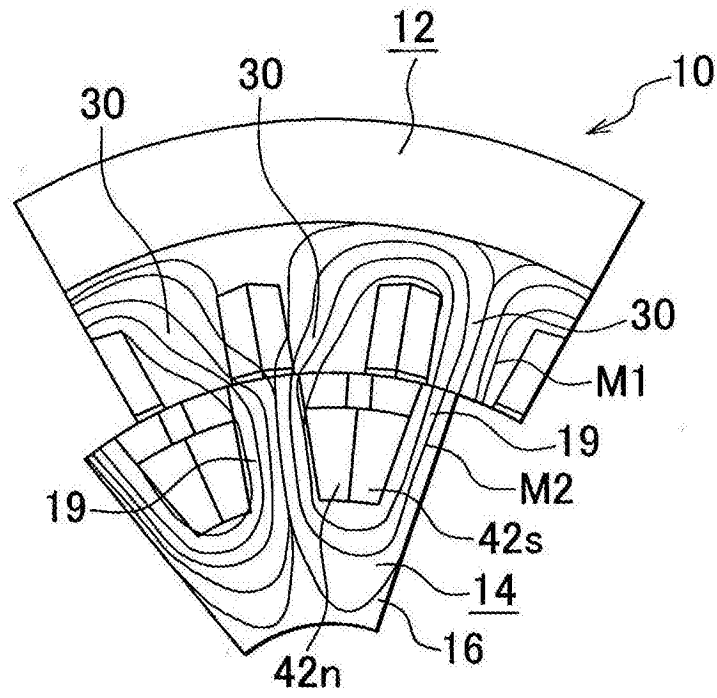


图 10A

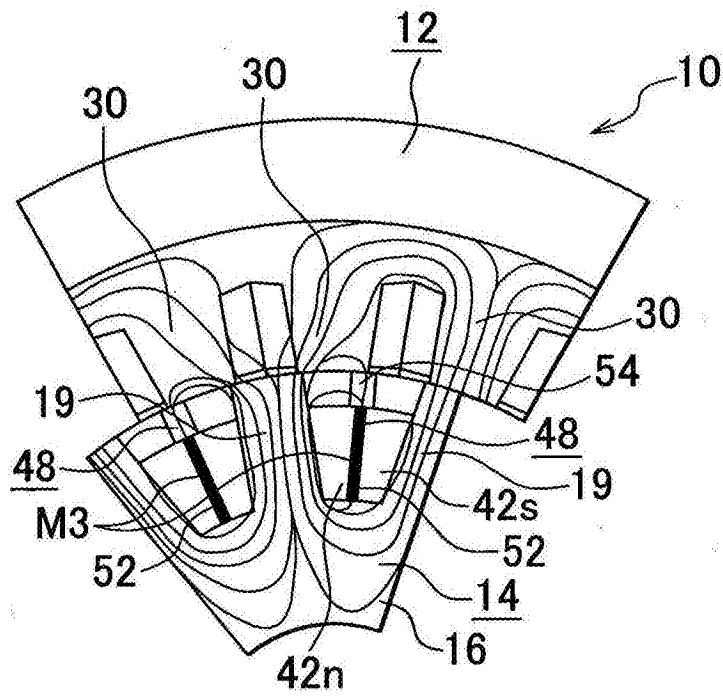


图 10B

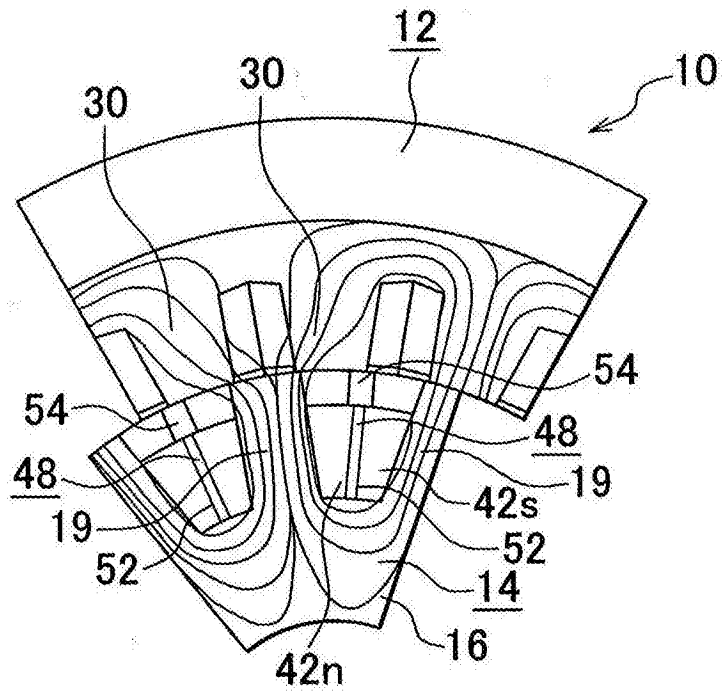


图 10C

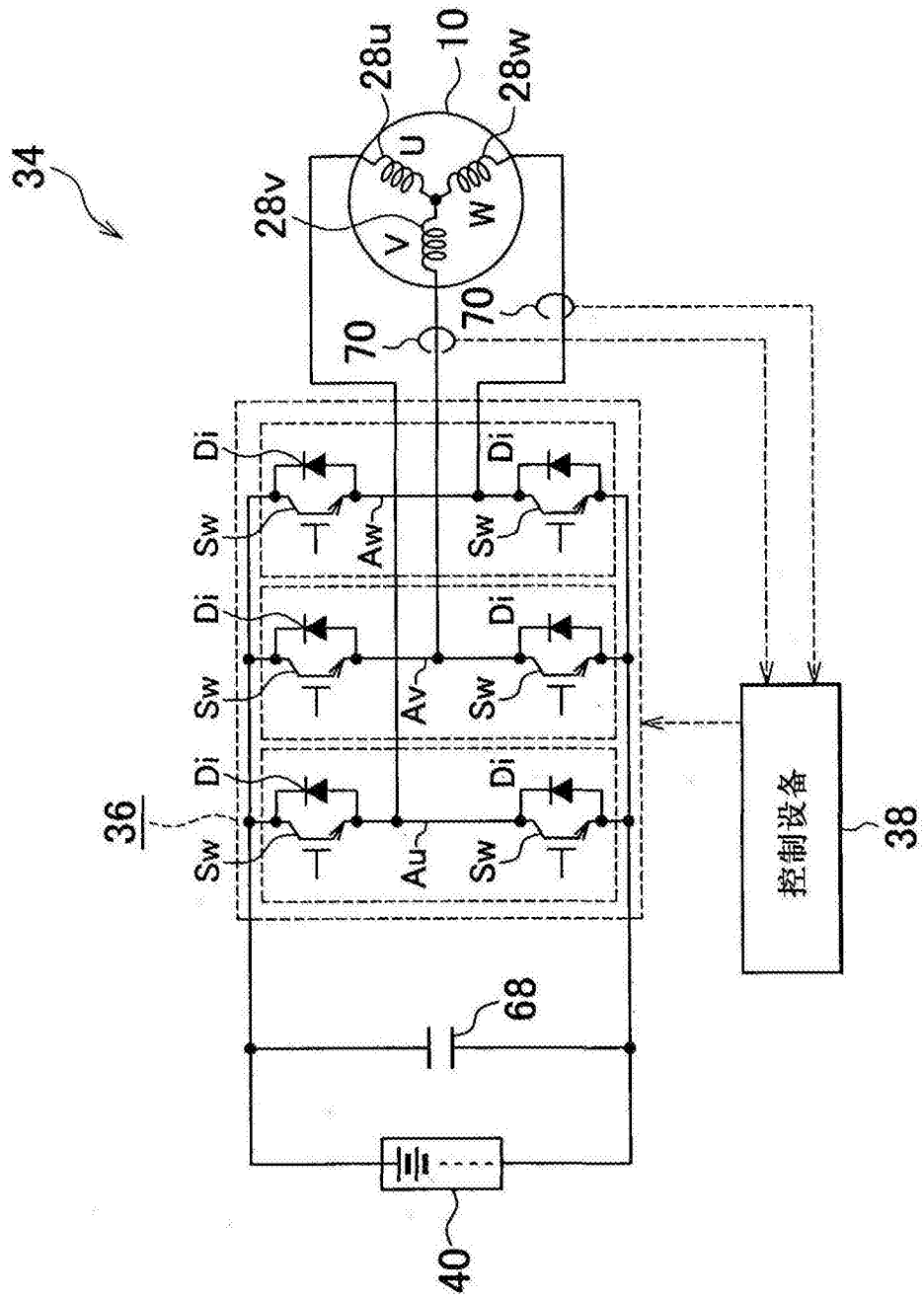


图 11

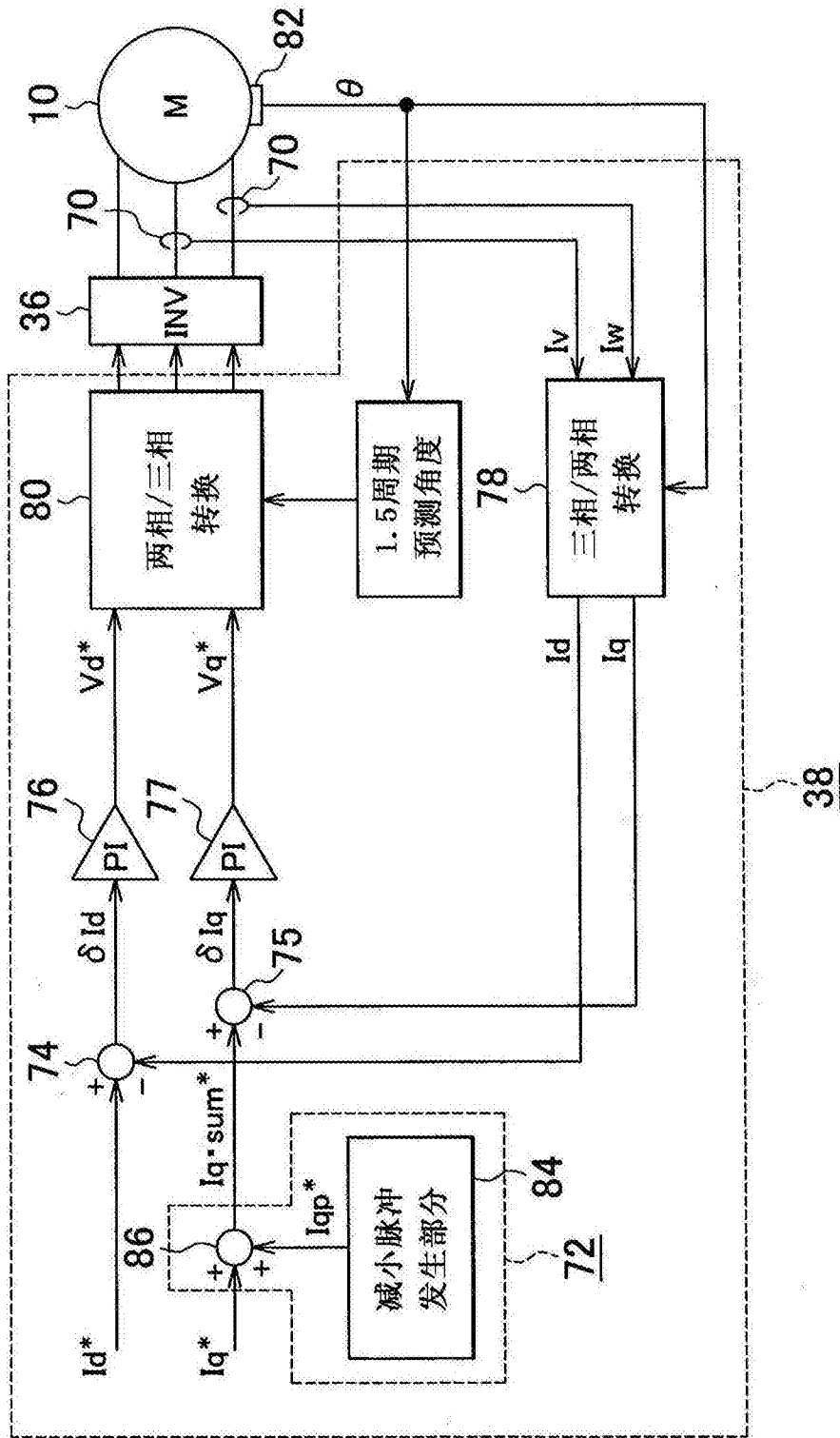


图 12

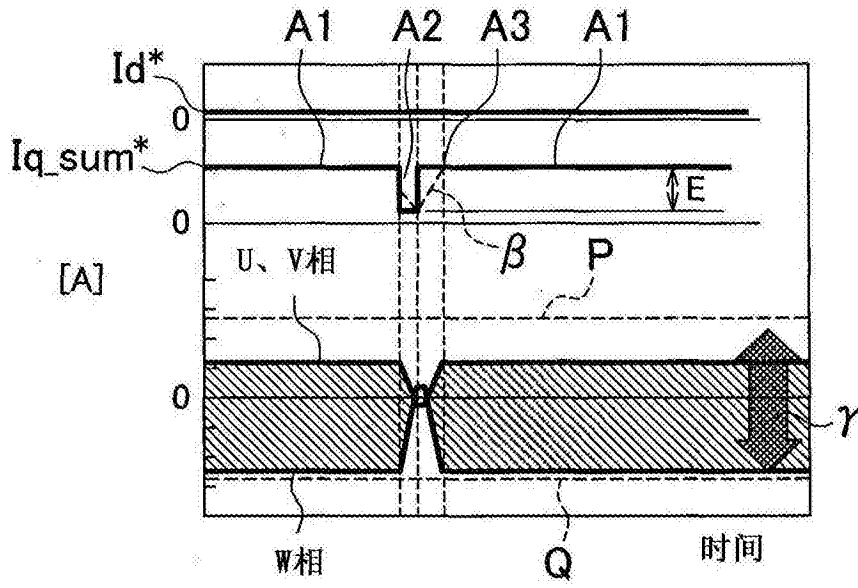


图 13A

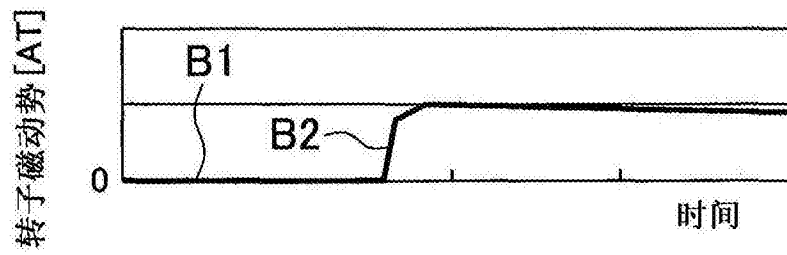


图 13B

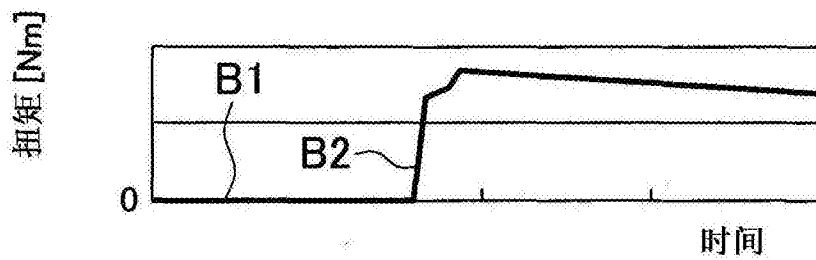


图 13C

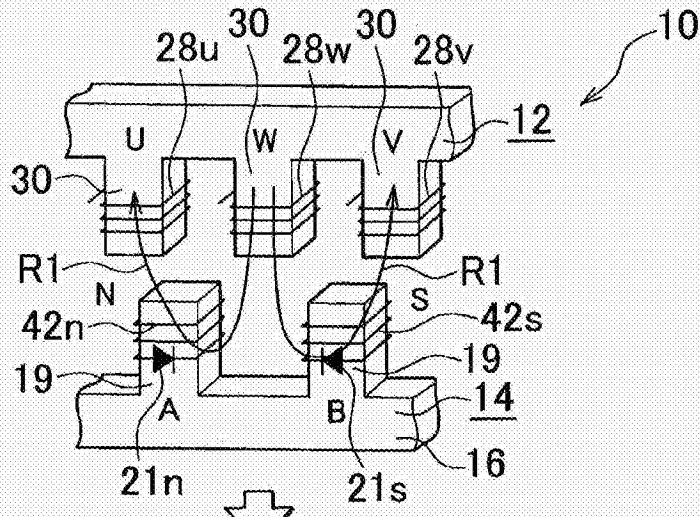


图14A

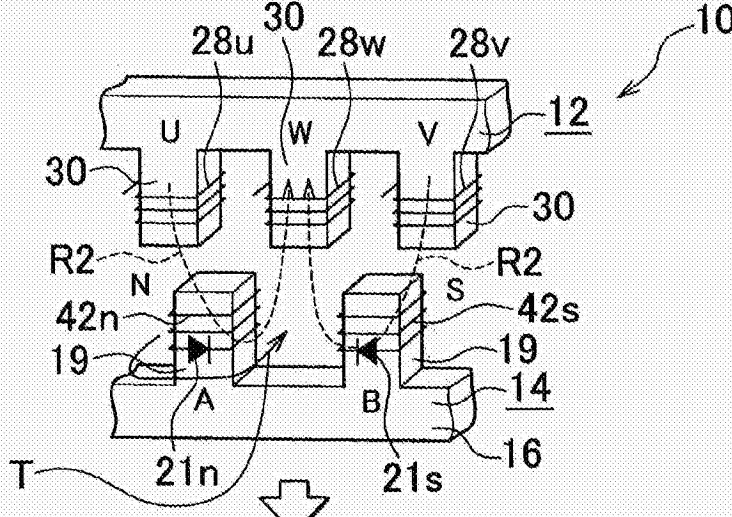


图14B

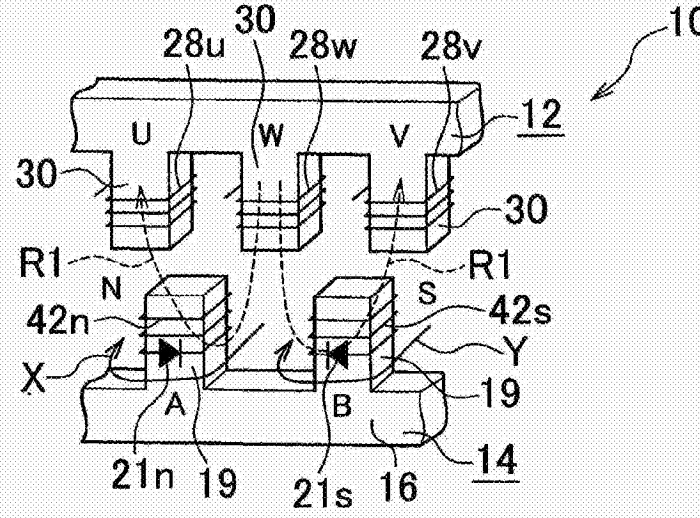


图14C

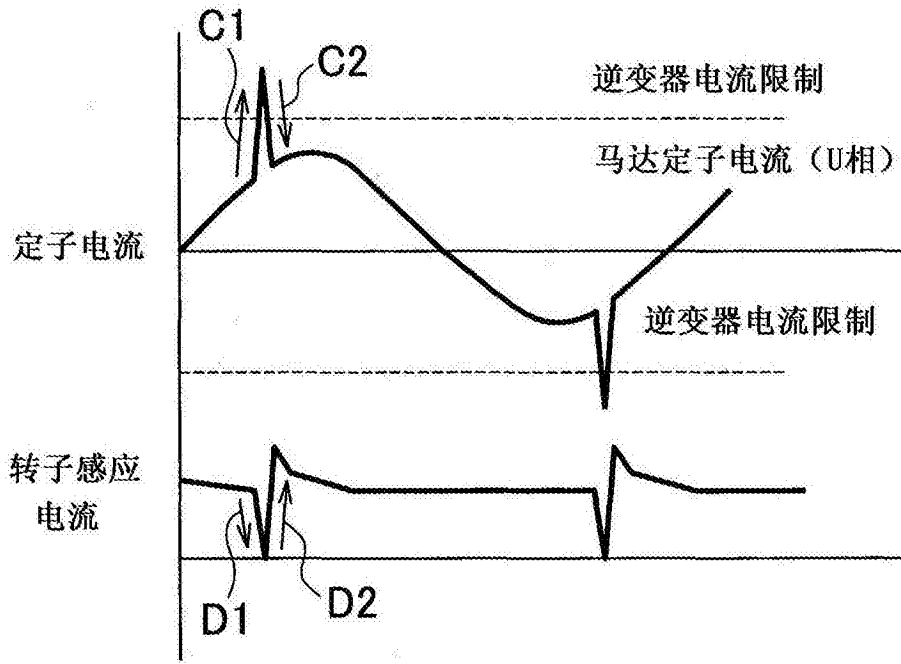


图 15

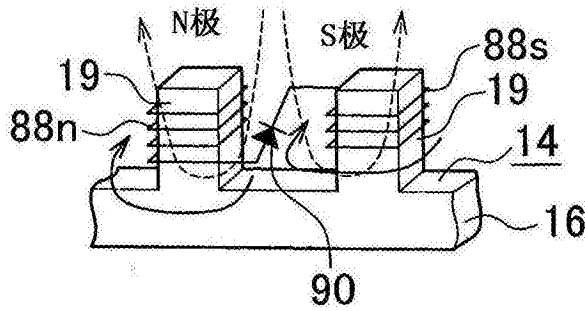


图 16A

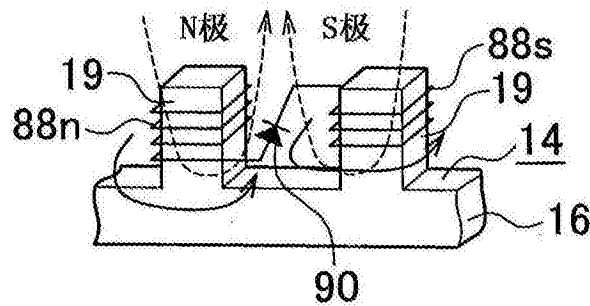


图 16B

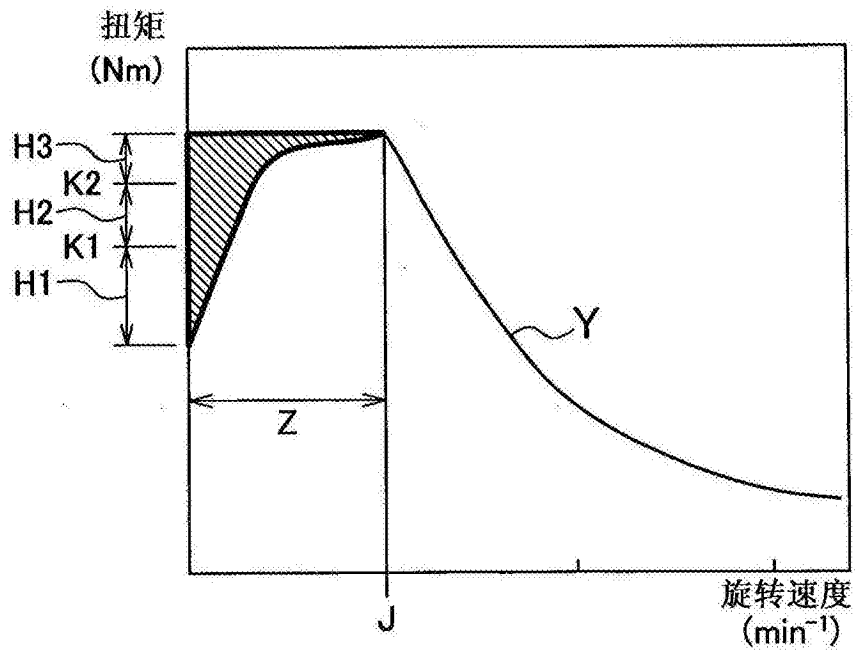


图 17

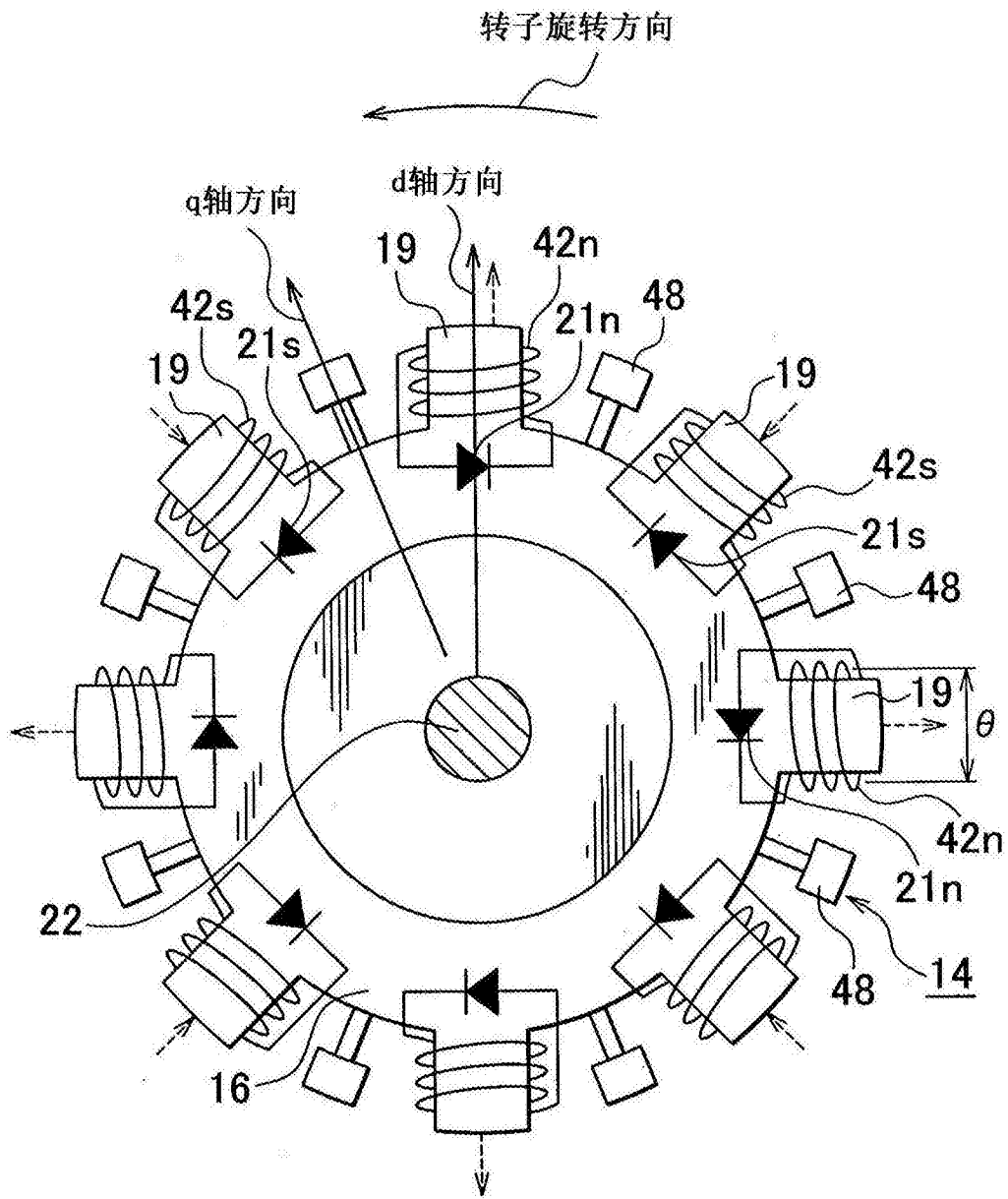


图 18

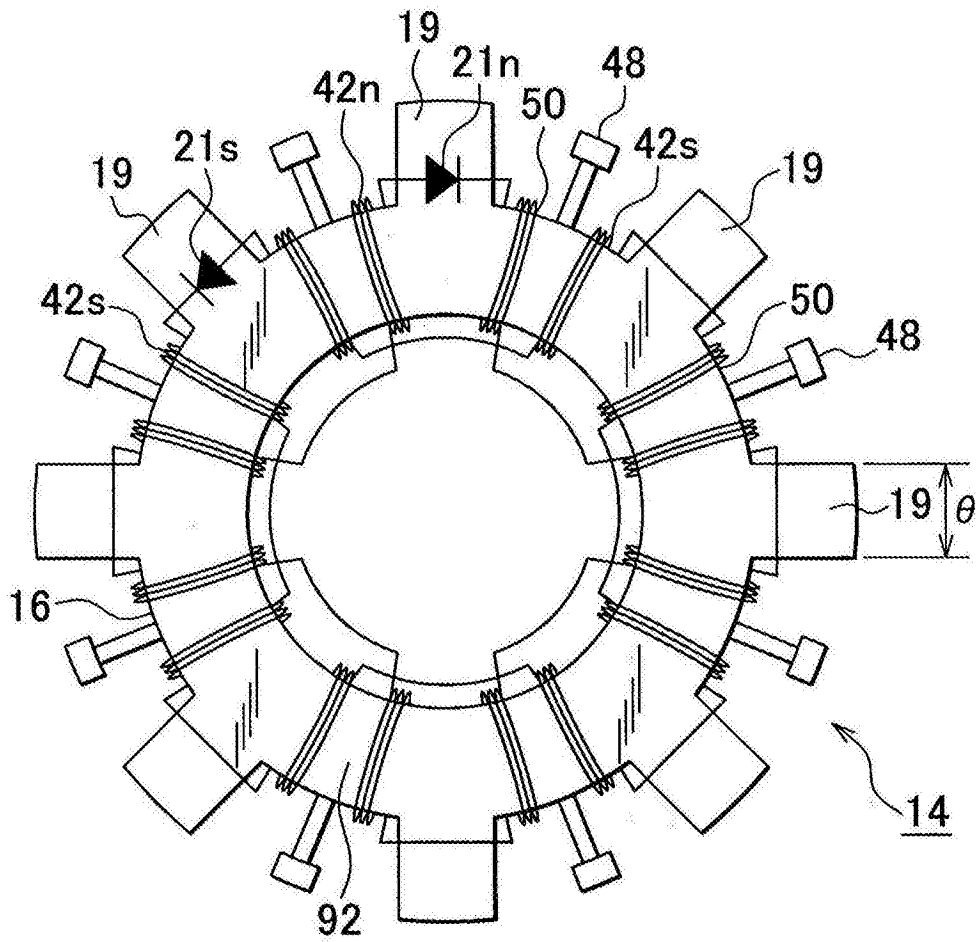


图 19

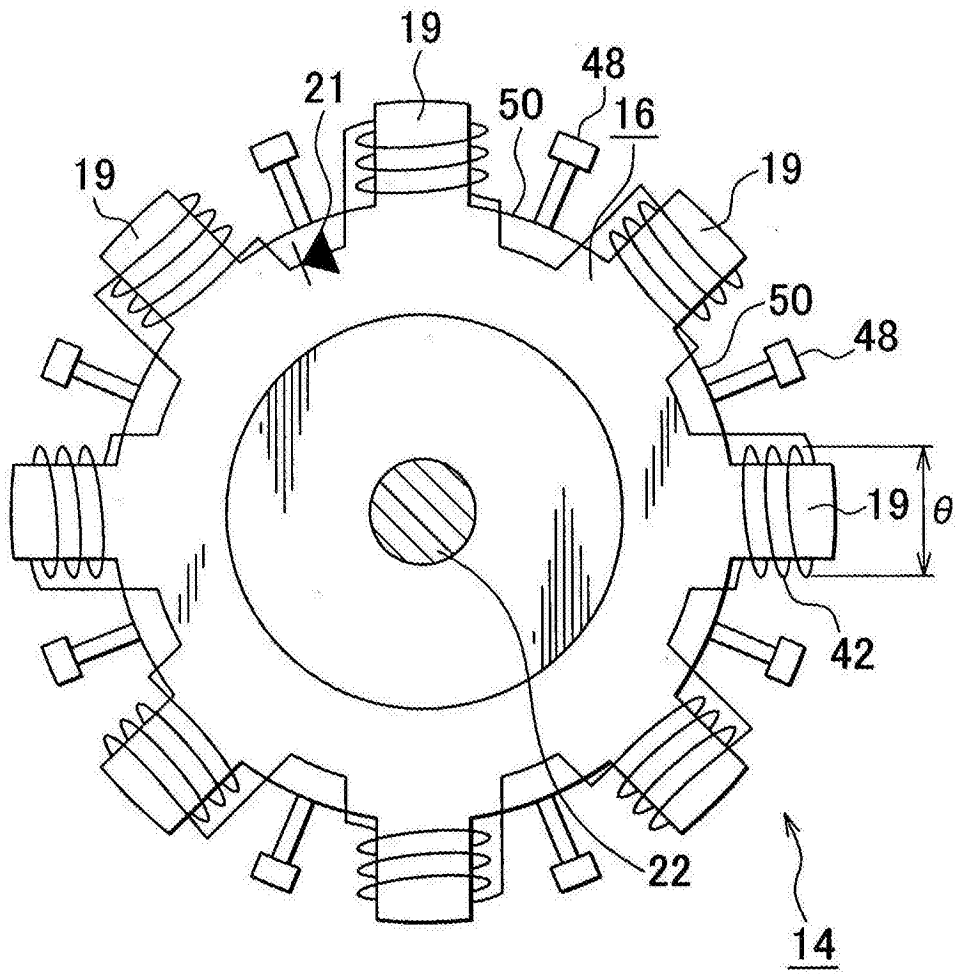


图 20

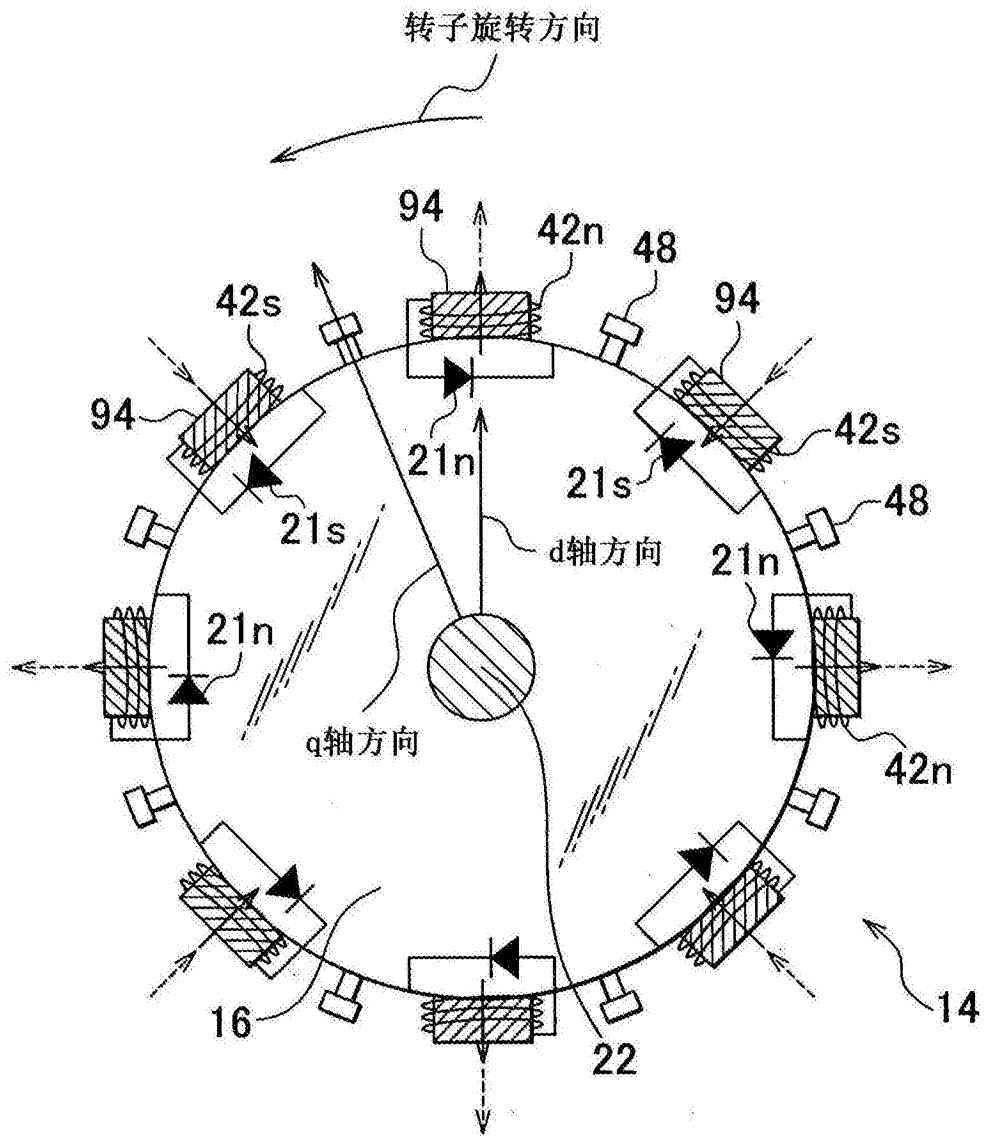


图 21