(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 112789787 B
(45)授权公告日 2024.01.02

(21)申请号 201980063648.4

(22)申请日 2019.09.02

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112789787 A

(43)申请公布日 2021.05.11

(30)优先权数据
2018-182965 2018.09.27 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2021.03.26

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2019/034474 2019.09.02

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2020/066482 JA 2020.04.02

(73)专利权人 株式会社电装
地址 日本爱知县

(72)发明人 濑口正弘

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100
专利代理师 胡曼

(51)Int.Cl.
H02K 1/24(2006.01)
H02K 1/26(2006.01)
H02K 3/487(2006.01)
H02K 19/12(2006.01)
H02K 19/26(2006.01)

(56)对比文件
JP 2000166198 A,2000.06.16
JP 2003324872 A,2003.11.14
JP 2014036448 A,2014.02.24
CN 107196477 A,2017.09.22
JP 2006149167 A,2006.06.08
JP 2010119263 A,2010.05.27
JP 2012105411 A,2012.05.31
JP H0965593 A,1997.03.07
US 2014292134 A1,2014.10.02
WO 2012137056 A2,2012.10.11

审查员 张自童

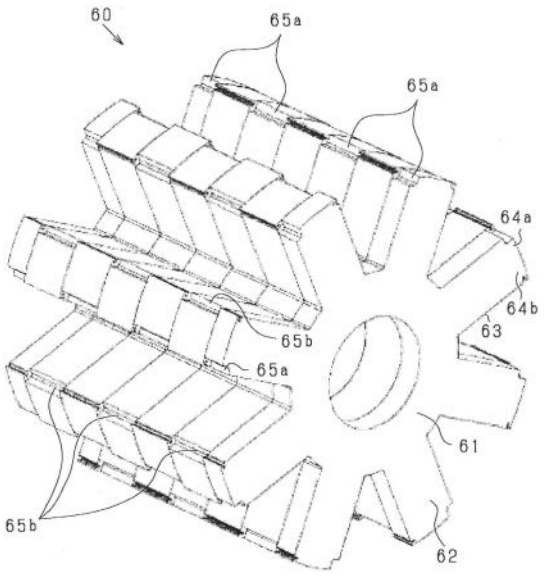
权利要求书2页 说明书9页 附图15页

(54)发明名称

励磁绕组型旋转电机

(57)摘要

励磁绕组型的旋转电机(30)包括定子(50)和转子(60)。定子具有定子铁芯(51)、极齿(52)以及定子绕组(31),上述极齿在周向上排列设置多个且从定子铁芯沿径向突出,上述定子绕组卷绕于极齿。转子具有转子铁芯(61)、主极部(62)以及励磁绕组(70),上述主极部在周向上排列设置多个且在径向上从转子铁芯向定子侧突出,上述励磁绕组卷绕于主极部。各主极部沿轴向延伸。在将主极部中的、在径向上与定子相对且在周向上的两个端部分别称为主极端部(64a、64b)的情况下,在构成主极部的一对主极端部中的至少一个的轴向上的一部分上形成有缺口(65a、65b)。



CN 112789787 B

1.一种励磁绕组型旋转电机,包括:

定子,所述定子具有定子铁芯、极齿以及定子绕组,所述极齿在周向上排列设置多个且从所述定子铁芯沿径向突出,所述定子绕组卷绕于所述极齿;以及

转子,所述转子具有转子铁芯、主极部以及励磁绕组,所述主极部在周向上排列设置多个且在径向上从所述转子铁芯向所述定子侧突出,所述励磁绕组卷绕于所述主极部,

各所述极齿和各所述主极部沿轴向延伸,

在将所述主极部中的、在径向上与所述定子相对且在周向上的两个端部中的一方称为第一主极端部,将所述两个端部中的另一方称为第二主极端部的情况下,在各所述主极部中,在所述第一主极端部上形成有沿轴向彼此分开的多个第一缺口,

在各所述主极部中,在所述第二主极端部上形成有沿轴向彼此分开的多个第二缺口,

在各所述主极部中,各所述第一缺口在周向上形成于与各所述第二缺口不重叠的位置,

在各所述主极部中,所述第一缺口和所述第二缺口在轴向上交替形成。

2.如权利要求1所述的励磁绕组型旋转电机,其特征在于,

在各所述主极部中,各所述第二缺口中的一个形成于所述第二主极端部的轴向的中央,

在各所述主极部中,所述第一缺口和所述第二缺口的形成位置相对于所述主极部的轴向的中央处于线对称的位置。

3.如权利要求1或2所述的励磁绕组型旋转电机,其特征在于,

在各所述主极部中,形成有所述第一缺口和所述第二缺口的部分的轴向上的总长度与未形成有所述第一缺口和所述第二缺口的部分的轴向上的总长度相等或大致相等。

4.如权利要求1或2所述的励磁绕组型旋转电机,其特征在于,

在将所述定子的一个切槽间距设为β,并且将所述第一缺口和所述第二缺口的周向上的宽度设为θnt的情况下,设为“$1/3\times\beta<\theta nt<2/3\times\beta$”。

5.如权利要求3所述的励磁绕组型旋转电机,其特征在于,

在将所述定子的一个切槽间距设为β,并且将所述第一缺口和所述第二缺口的周向上的宽度设为θnt的情况下,设为“$1/3\times\beta<\theta nt<2/3\times\beta$”。

6.如权利要求4所述的励磁绕组型旋转电机,其特征在于,

设为$\theta nt=\beta/2$。

7.如权利要求5所述的励磁绕组型旋转电机,其特征在于,

设为$\theta nt=\beta/2$。

8.如权利要求1、2、5至7中任一项所述的励磁绕组型旋转电机,其特征在于,

所述励磁绕组型旋转电机构成为,从所述主极部中的在径向上与所述定子相对的一侧组装有所述励磁绕组,

各所述主极部在周向上排列并以等间隔设置,

各所述主极部在卷绕于自身的所述励磁绕组的周向内侧配置。

9.如权利要求3所述的励磁绕组型旋转电机,其特征在于,

所述励磁绕组型旋转电机构成为,从所述主极部中的在径向上与所述定子相对的一侧组装有所述励磁绕组,

各所述主极部在周向上排列并以等间隔设置，

各所述主极部在卷绕于自身的所述励磁绕组的周向内侧配置。

10.如权利要求4所述的励磁绕组型旋转电机，其特征在于，

所述励磁绕组型旋转电机构成为，从所述主极部中的在径向上与所述定子相对的一侧组装有所述励磁绕组，

各所述主极部在周向上排列并以等间隔设置，

各所述主极部在卷绕于自身的所述励磁绕组的周向内侧配置。

11.如权利要求1所述的励磁绕组型旋转电机，其特征在于，

在所述转子配置于所述定子的径向内侧的内转子式旋转电机中，

包括限制构件，所述限制构件配置于沿周向相邻的所述主极部之间，并且沿轴向延伸，对所述励磁绕组向径向外侧的移动进行限制，

在所述主极端部中的、未形成有所述第一缺口和所述第二缺口的部分的周向的侧面上形成有沿轴向延伸的槽，

所述限制构件的周向端部与分别形成在沿周向相邻的所述主极端部中的所述槽嵌合。

励磁绕组型旋转电机

[0001] 相关申请的援引

[0002] 本申请以2018年9月27日申请的日本专利申请第2018-182965号为基础，在此援引其记载内容。

技术领域

[0003] 本公开涉及一种励磁绕组型旋转电机。

背景技术

[0004] 作为这种旋转电机，如专利文献1所示，已知包括定子和转子的旋转电机。定子具有定子铁芯、极齿以及定子绕组，上述极齿在周向上排列设置多个且从定子铁芯沿径向突出，上述定子绕组卷绕于极齿。转子具有转子铁芯、主极部以及励磁绕组，上述主极部在周向上排列设置多个且在径向上从转子铁芯向定子侧突出，上述励磁绕组卷绕于主极部。各极齿和各主极部沿轴向延伸。

[0005] 当励磁电流流过励磁绕组时，励磁绕组被励磁，从而产生磁通。所产生的磁通在包括转子铁芯、主极部、极齿以及定子铁芯的磁路中流动。通过在该磁路中流过磁通，并且在定子绕组中流过电流，产生旋转电机的转矩。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1：日本专利特开第2008-178211号公报

发明内容

[0009] 主极部中的、在径向上与定子相对且在周向上的两个端部分别被称为主极端部。在周向上相邻的极齿之间形成有在径向上向转子侧开口的切槽。当转子旋转并且主极端部到达在径向上与切槽相对的位置时，流过主极部和极齿的磁通暂时中断，并且流过磁路的磁通量减少。之后，当转子进一步旋转并且主极端部到达与极齿相对的位置时，暂时中断的磁通流过主极部和极齿，并且流过磁路的磁通量增加。由于反复进行这样的磁通量的增减，旋转电机的转矩的增减量变大，旋转电机的转矩脉动增加。其结果是，旋转电机的NV特性可能变差。这样，在具有突极结构的旋转电机中，对于降低转矩脉动还存在改善的余地。

[0010] 本公开的主要目的在于提供一种能够降低转矩脉动的励磁绕组型旋转电机。

[0011] 本公开是一种励磁绕组型旋转电机，包括：定子，上述定子具有定子铁芯、极齿以及定子绕组，上述极齿在周向上排列设置多个且从上述定子铁芯沿径向突出，上述定子绕组卷绕于极齿；以及

[0012] 转子，上述转子具有转子铁芯、主极部以及励磁绕组，上述主极部在周向上排列设置多个且在径向上从上述转子铁芯向上述定子侧突出，上述励磁绕组卷绕于上述主极部，其中，

[0013] 上述各极齿和上述各主极部沿轴向延伸，

[0014] 在将上述主极部中的、在径向上与上述定子相对且在周向上的两个端部分别称为主极端部的情况下，在构成上述主极部的一对上述主极端部中的至少一个的轴向的一部分上形成有缺口。

[0015] 在本公开中，在构成主极部的一对主极端部中的至少一个主极端部的轴向的一部分上形成有缺口。由此，在相同的主极端部中，在形成有缺口的部分和未形成有缺口的部分，能够错开在径向上与切槽相对的时刻。其结果是，能够使由形成有缺口的部分引起的转矩脉动与由未形成有缺口的部分引起的转矩脉动相互抵消。由此，能够降低旋转电机的转矩脉动。

附图说明

[0016] 参照附图和以下详细的记述，可以更明确本公开的上述目的、其他目的、特征和优点。附图如下所述。

[0017] 图1是第一实施方式的旋转电机的控制系统的整体结构图。

[0018] 图2是表示转子所包括的电路的图。

[0019] 图3是转子和定子的横剖视图。

[0020] 图4是转子的立体图。

[0021] 图5是构成转子的励磁板部的俯视图。

[0022] 图6是用于说明缺口的宽度尺寸的图。

[0023] 图7是表示沿轴向延伸的主极部的图。

[0024] 图8是表示基波电流以及谐波电流等的推移的图。

[0025] 图9是表示三相电流的推移的图。

[0026] 图10是表示基波电流和谐波电流等的推移的图。

[0027] 图11是表示三相电流的推移的图。

[0028] 图12是表示感应电压的产生模式的图。

[0029] 图13是表示与模式2、3对应的电路的图。

[0030] 图14是用于说明转矩脉动的降低效果的时序图。

[0031] 图15是第二实施方式的转子的立体图。

[0032] 图16是限制构件的立体图。

[0033] 图17是转子的截面的局部放大图。

[0034] 图18是转子的截面的局部放大图。

[0035] 图19是表示其他实施方式的沿轴向延伸的主极部的图。

[0036] 图20是其他实施方式的转子和定子的横剖视图。

[0037] 图21是其他实施方式的转子和定子的横剖视图。

具体实施方式

[0038] 以下，基于附图对实施方式进行说明。本实施方式的旋转电机例如装设于车辆。另外，在以下各实施方式中，对于彼此相同或等同的部分，在附图中标注相同的符号，对于相同符号的部分引用其说明。

[0039] ＜第一实施方式＞

[0040] 使用图1～图7对本实施方式的旋转电机进行说明。控制系统包括直流电源10、逆变器20、旋转电机30以及控制装置40。在本实施方式中，作为旋转电机30，使用励磁绕组型的同步旋转电机。此外，在本实施方式中，控制装置40控制旋转电机30，以使旋转电机30作为电动机兼发电机即ISG(Integrated Starter Generator:起动发电一体机)、MG(Motor Generator:电动发电机)发挥作用。例如，构成为包括旋转电机30、逆变器20和控制装置40的机电一体型驱动装置，或者，旋转电机30、逆变器20和控制装置40分别由各组件构成。

[0041] 旋转电机30包括具有励磁绕组70的转子60。励磁绕组70由第一绕组部71a和第二绕组部71b的串联连接体构成。励磁绕组70例如通过压缩成形而构成。由此，提高了占空系数，并且提高了励磁绕组的组装性。另外，励磁绕组70例如由铝线构成即可。铝线的比重较小，从而能够降低转子60旋转时的离心力。另外，铝线与铜线相比强度和硬度较低，适合压缩成形的情况。

[0042] 旋转电机30包括具有定子绕组31的定子50。定子绕组31由例如铜线构成，并且包括以彼此错开120°电角度的状态配置的U相绕组31U、V相绕组31V、W相绕组31W。

[0043] 逆变器20包括U相上臂开关SUp、V相上臂开关SVp、W相上臂开关Swp以及U相下臂开关SUn、V相下臂开关SVn、W相下臂开关SWn的串联连接体。在U相上臂开关SUp、V相上臂开关SVp、W相上臂开关SWp和U相下臂开关SUn、V相下臂开关SVn、W相下臂开关SWn的连接点连接有U相绕组31U、V相绕组31V、W相绕组31W的第一端。U相绕组31U、V相绕组31V、W相绕组31W的第二端在中性点处连接。即，在本实施方式中，U相绕组31U、V相绕组31V、W相绕组31W星形接线。另外，在本实施方式中，各开关SUp～SWn是IGBT。在各开关SUp、SVp、SWp、SUn、SVn、SWn反并联连接有续流二极管。

[0044] 在U相上臂开关SUp、V相上臂开关SVp、W相上臂开关SWp的集电极连接有直流电源10的正极端子。在U相下臂开关SUn、V相下臂开关SVn、W相下臂开关SWn的发射极连接有直流电源10的负极端子。另外，平滑电容器11与直流电源10并联连接。

[0045] 控制系统包括角度检测部41。角度检测部41输出与转子60的旋转角相对应的信号即角度信号。角度检测部41的输出信号输入控制装置40。

[0046] 接着，对定子50和转子60进行说明。

[0047] 定子50和转子60均和旋转轴32一起配置在同轴上。在以下的记载中，将旋转轴32延伸的方向设为轴向，将从旋转轴32的中心放射状地延伸的方向设为径向，将以旋转轴32为中心圆周状地延伸的方向设为周向。另外，图3等中记载的O表示旋转轴32的中心。

[0048] 定子50由层叠钢板构成，该层叠钢板由软磁性体构成，上述定子50具有圆环状的定子铁芯51和从定子铁芯51朝向径向内侧突出的多个极齿52。在本实施方式中，各相绕组31U、31V、31W分布卷绕或集中卷绕于极齿52。如图3所示，在本实施方式中，极齿在周向上等间隔地设置四十八个。因此，旋转电机30是四十八切槽的旋转电机。另外，在本实施方式中，极齿52的径向内侧的前端部呈沿周向延伸的形状。但是，不限于该形状，极齿52的径向内侧的前端部也可以不沿周向延伸。

[0049] 在周向上相邻的极齿52之间形成有向径向内侧开口的切槽。图3中，用β表示作为在周向上相邻的切槽的角度间隔的一个切槽间距。在本实施方式中，各切槽的沿径向延伸的中心线(图3的点划线)穿过旋转轴32的中心O。

[0050] 转子60由层叠钢板构成，该层叠钢板由软磁性体构成，上述转子60具有圆筒形状

的转子铁芯61和从转子铁芯61朝向径向外侧突出的多个主极部62。各主极部62的前端侧的面与极齿52的端面相对。在本实施方式中，主极部62在周向上等间隔地设置八个。

[0051] 在各主极部62中，在径向外侧卷绕有第一绕组部71a，在第一绕组部71a的径向内侧卷绕有第二绕组部71b。在各主极部62中，第一绕组部71a和第二绕组部71b的卷绕方向彼此相同。此外，卷绕于沿周向相邻的主极部62中的一方的各绕组部71a、71b的卷绕方向和卷绕于另一方的各绕组部71a、71b的卷绕方向相反。因此，沿周向相邻的主极部62彼此中，磁化方向互相相反。

[0052] 图2表示包括卷绕于共用的主极部62的各绕组部71a、71b的转子侧的电路。在转子60设置有二极管80和电容器90。在二极管80的阴极连接有第一绕组部71a的第一端，在第一绕组部71a的第二端连接有第二绕组部71b的第一端。在第二绕组部71b的第二端连接有二极管80的阳极。在第二绕组部71b并联连接有电容器90。在图2中，L1表示第一绕组部71a的电感，L2表示第二绕组部71b的电感，C表示电容器90的静电电容。

[0053] 接着，对控制装置40进行说明。另外，控制装置40的各功能的一部分或者全部也可以例如由一个或者多个集成电路等硬件来构成。此外，控制装置40的各功能例如也可以由存储在非过渡性实体存储介质的软件以及执行该软件的计算机构成。

[0054] 控制装置40获取角度检测部41的角度信号，并基于获取到的角度信号生成使构成逆变器20的各开关SUp～SWn接通断开的驱动信号。详细而言，当使旋转电机30作为电动机驱动时，为了将从直流电源10输出的直流电力转换为交流电力并向U相绕组31U、V相绕组31V、W相绕组31W供给，控制装置40生成使各臂开关SUp～SWn接通断开的驱动信号，并将生成后的驱动信号向各臂开关SUp～SWn的栅极供给。另一方面，当使旋转电机30作为发电机驱动时，为了将从U相绕组31U、V相绕组31V、W相绕组31W输出的交流电力转换为直流电力并向直流电源10供给，控制装置40生成使各臂开关SUp～SWn接通断开的驱动信号。

[0055] 控制装置40使各开关SUp～SWn接通断开，以使基波电流和谐波电流的合成电流流过各相绕组31U、31V、31W。如图8的(a)所示，基波电流是主要用于使旋转电机30产生转矩的电流。如图8的(b)所示，谐波电流是主要用于使励磁绕组70励磁的电流。图8的(c)表示作为基波电流和谐波电流的合成电流的相电流。图8所示的纵轴的值表示图8的(a)～图8的(c)各自所示的波形的大小的相对关系。如图9所示，流过各相绕组31U、31V、31W的相电流IU、IV、IW各错开电角度120°。

[0056] 另外，在本实施方式中，如图8的(a)、(b)所示，谐波电流的包络线具有基波电流的1/2周期。图8的(b)中，用点划线表示包络线。此外，包络线达到其峰值的时刻与基波电流达到其峰值的时刻错开。具体地，包络线达到其峰值的时刻是基波电流的波动中心(0)的时刻。控制装置40对基波电流和谐波电流各自的振幅以及周期独立地进行控制。

[0057] 通过流过图8的(b)所示的谐波电流，能够使流过各相绕组31U、31V、31W的相电流的最大值减小，并且能够使旋转电机30的转矩达到被指令的转矩而不增加逆变器20的容量。

[0058] 顺便提及，作为谐波电流，也可以是图10的(b)所示的电流。图10的(a)、(c)与先前的图8的(a)、(c)对应。如图10的(a)、(b)所示，谐波电流的包络线达到其峰值的时刻是基波电流达到其峰值的时刻。图10的(b)所示的谐波电流是使图8的(b)所示的谐波电流的相位错开了基波电流的周期的1/4的电流。图11示出了在这种情况下流过各相绕组31U、31V、31W

的相电流IU、IV、IW的推移。

[0059] 在本实施方式中，构成由第一绕组部71a、电容器90和二极管80构成的串联共振电路，并且构成由第二绕组部71b和电容器90构成的并联共振电路。将串联共振电路的共振频率即第一共振频率设为f1，并且将并联共振电路的共振频率即第二共振频率设为f2。各共振频率f1、f2由下式(eq1)、(eq2)表示。

[0060] 【数学式1】

[0061] $$f1=\frac{1}{2\pi\sqrt{L1\cdot C}} \quad \cdots \quad (eq1)$$

[0062] 【数学式2】

[0063] $$f2=\frac{1}{2\pi\sqrt{L2\cdot C}} \quad \cdots \quad (eq2)$$

[0064] 当谐波电流流过各相绕组31U、31V、31W时，在包括沿周向相邻的主极部62、转子铁芯61、极齿52以及定子铁芯51的磁路中产生主磁通的谐波引起的波动。通过产生主磁通的波动，在第一绕组部71a和第二绕组部71b分别产生感应电压，并且在第一绕组部71a和第二绕组部71b感应出电流。此时，如图12的模式1、4所示，在第一绕组部71a、第二绕组部71b分别产生极性相同的感应电压的情况下，由于第一绕组部71a、第二绕组部71b各自的感应电流没有抵消，因此感应电流增加。通过二极管80将流过第一绕组部71a、第二绕组部71b的电流整流成一方向。由此，在由二极管80整流后的方向上，励磁电流流过励磁绕组70，使励磁绕组被励磁。另外，在图12中，e1表示产生于第一绕组部71a的感应电压，e2表示产生于第二绕组部71b的感应电压。

[0065] 另一方面，当流过谐波电流时，除了主磁通的波动之外还容易产生漏磁通。漏磁通以横穿的方式从沿周向相邻的主极部62的一方朝另一方流动而不经由转子铁芯61，与励磁绕组70交链。此时，还产生与各绕组部71a、71b交链的漏磁通。当漏磁通与励磁绕组70交链时，有时在第一绕组部71a内产生某个方向的感应电压，此外，在第二绕组部71b内产生不同方向的感应电压。其结果是，使在第一绕组部71a、第二绕组部71b分别感应出的电流的合计值减少，进而使流过励磁绕组70的励磁电流减少。

[0066] 为此，在本实施方式中，在第二绕组部71b并联连接有电容器90。因此，如图12的模式2、3所示，即使在分别产生于第一绕组部71a、第二绕组部71b的感应电压极性相反的情况下，由于感应电流经由电容器90流动，因此，在第一绕组部71a、第二绕组部71b中流动的感应电流不会彼此抵消。因此，如图13的(a)所示，由第一绕组部71a感应出的电流和由第二绕组部71b感应出的电流经由电容器90向二极管80的阳极侧流动，如图13的(b)所示，电流从电容器90经由第二绕组部71b向二极管80的阳极侧流动。其结果是，能使流过励磁绕组70的励磁电流增加。

[0067] 在本实施方式中，在定子绕组31中流动的谐波电流的频率设定为与第一共振频率f1相同的频率或其附近的频率。因此，能够进一步增加第一绕组部71a、第二绕组部71b感应出的电流，从而能进一步使励磁电流增加。此外，第一共振频率f1和第二共振频率f2例如设定为相同的值或大致相同的值即可。

[0068] 接着，使用图3～图7进一步对转子60进行说明。

[0069] 转子60的主极部62中的、与定子50相对且周向上的两个端部中的一个被称为第一

主极端部64a，另一个被称为第二主极端部64b。即，在各主极部62上存在一对主极端部。在本实施方式中，在第一主极端部64a的一部分上形成有沿轴向延伸的第一缺口65a，在第二主极端部64b的一部分上形成有沿轴向延伸的第二缺口65b。在主极部62中，从周向的端部切开而形成有各缺口65a、65b。各缺口65a、65b是分别沿径向外侧(定子侧)和周向开口的缺口。

[0070] 第一缺口65a在第一主极端部64a中彼此分开地形成有多个(四个)。各第一缺口65a中的、位于轴向上最靠端部的部分形成在第一主极端部64a的轴向上最靠端部的部分。第二缺口65b以在轴向上被第一缺口65a夹着的方式形成有多个(三个)。因此，在本实施方式中，第二缺口65b的数量比第一缺口65a的数量少一个。

[0071] 各第一缺口65a的轮廓形状在从轴向观察的情况下为相同的形状。另外，各第二缺口65b的轮廓形状在从轴向观察的情况下为相同的形状。第一缺口65a的轮廓形状和第二缺口65b的轮廓形状相对于沿主极部62的径向延伸的中心轴线为线对称。

[0072] 在本实施方式中，转子60通过层叠多个由软磁性体构成的板状的励磁板部63而构成。励磁板部63是成为转子铁芯61的部分和成为主极部62的部分一体形成的构件。图5的(a)是表示从励磁板部63的第一面观察的图，图5的(b)是表示从作为第一面的背面的第二面观察的图。在本实施方式中，转子60由一种励磁板部63构成。即，转子60是将第一面朝向特定方向重叠多个的励磁板部63和将第二表面朝向上述特定方向重叠多个的励磁板部63交替地层叠而构成的。

[0073] 在励磁板部63中，在成为主极部62的部分的径向前端部形成有一个缺口。该缺口在图5的(a)所示的情况下为第一缺口65a，在图5的(b)所示的情况下为第二缺口65b。

[0074] 在本实施方式中，如图6所示，在将第一缺口65a的周向上的宽度尺寸设为θnt的情况下，“1/3×β＜θnt＜2/3×β”。θnt是在从旋转轴32的轴向观察转子60的情况下，从穿过主极部62的与定子50相对的面中的第一缺口65a的边缘和旋转轴32的中心O的基准线开始的缺口部的机械角。第二缺口65b的周向上的宽度尺寸θnt也同样为“1/3×β＜θnt＜2/3×β”。这是用于降低旋转电机30的转矩脉动的设定。特别地，在本实施方式中，第一缺口65a和第二缺口65b的宽度尺寸分别为β/2。由此，提高转矩脉动的降低效果。

[0075] 此外，θnt也可以是“1/3×β＜θnt＜2/3×β”中的β/2之外的值。如果θnt处于β×180°/360°±β×60°/360°的范围内，则能够降低转矩脉动。

[0076] 在本实施方式中，如图7所示，在第一主极端部64a中，形成有第一缺口65a的部分的轴向上的总长度(＝La/2+La+La+La/2)与未形成有第一缺口65a的部分的轴向上的总长度(＝La+La+La)相等。另外，在第二主极端部64b中，形成有第二缺口65b的部分的轴向上的总长度(＝La+La+La)与未形成有第二缺口65b的部分的轴向上的总长度(＝La/2+La+La+La/2)相等。该结构用于降低转矩脉动。

[0077] 使用图14的(a)对本实施方式的效果进行说明。图14的(a)的TA、TB表示旋转电机30的转矩的推移。TA表示在第一主极端部64a中与未形成有第一缺口65a的部分对应的转矩的推移，TB表示在第一主极端部64a中与形成有第一缺口65a的部分对应的转矩的推移。“TA+TB”表示转矩TA和转矩TB的合计值的推移。

[0078] 在本实施方式中，设为“θnt＝β/2”。因此，能够使转矩TA与转矩TB仅错开一个切槽间距β的一半。其结果，能够使转矩TA和转矩TB抵消，从而能够降低转矩脉动。

[0079] 此外，实际上，转矩TA、TB中的某一个的振幅可能会变大。图14的(b)表示转矩TB的振幅大于转矩TA的振幅的示例。即使在这种情况下，也能够降低转矩脉动。

[0080] 另外，实际上，如图14的(c)所示，转矩TA和转矩TB的相位可能会偏离β/2。即使在这种情况下，如果相位偏离大于β/3且小于2β/3，也能够降低转矩脉动。

[0081] 根据以上说明的本实施方式，能够得到以下的效果。

[0082] 在构成主极部62的一对主极端部上分别形成有缺口。由此，在相同的主极端部中，在形成有缺口的部分和未形成有缺口的部分，能够错开在径向上与切槽相对的时刻。其结果是，能够使由形成有缺口的部分引起的转矩脉动与由未形成有缺口的部分引起的转矩脉动相互抵消。由此，能够降低旋转电机30的转矩脉动。

[0083] 特别地，在本实施方式中，在一对主极端部上分别形成有缺口，并且在主极端部中，形成有缺口的部分的轴向上的总长度与未形成有缺口的部分的轴向的总长度相等，从而进一步提高了转矩脉动的降低效果。

[0084] 在第一主极端部64a中，形成有第一缺口65a的部分在轴向上隔着未形成有第一缺口65a的部分。因此，能够将由形成有第一缺口65a的部分引起的转矩脉动与由未形成有第一缺口65a的部分引起的转矩脉动更理想地抵消。其结果是，能够提高旋转电机30的转矩脉动的降低效果。另外，对于第二主极端部64b也是同样的。

[0085] ＜第二实施方式＞

[0086] 在本实施方式中，如图15～图18所示，旋转电机30包括限制构件100。限制构件100是由非磁性材料构成的构件，防止励磁绕组70由于离心力而向径向外侧移动。另外，在图15中，也一并记载有励磁绕组70。

[0087] 限制构件100配置在沿周向相邻的主极部62之间，并且沿轴向延伸。如图16所示，限制构件100是长条板状的构件，其截面为弧状。由此，限制构件100不会比转子60的外周面更向径向外侧突出。在限制构件100上形成有从其板面的中央部以交叉的方式延伸的肋101。

[0088] 另外，在本实施方式中，如图17和图18所示，在转子60中，在第一绕组部71a与第二绕组部71b之间设置有由软磁性体构成的分隔部110。分隔部110例如呈环状，处于分隔部110的中心孔被主极部62插入的状态。在从轴向观察的情况下，分隔部110呈在周向上延伸的扁平形状。通过使分隔部110夹在第一绕组部71a与第二绕组部71b之间，使第一绕组部71a和第二绕组部71b在径向上被分隔部110隔开。分隔部110的径向厚度比第一绕组部71a和第二绕组部71b各自的径向厚度小。此外，分隔部110的周向长度例如在各绕组部71a、71b的周向长度以上。

[0089] 分隔部110通过在径向上层叠软磁性体而构成即可。由此，能够实现涡电流损失的降低。此外，通过使层叠方向为径向，能确保分隔部110的周向长度，并且能与钢板板厚尺寸对应地将径向厚度设定得较薄。

[0090] 通过设置分隔部110，漏磁通的大部分在分隔部110中流动而不流过励磁绕组70。其结果是，难以在第一绕组部71a和第二绕组部71b中、进一步在其内部的部分线圈中分别产生极性互相相反的感应电压，使感应出的电流增加。由此，能够在图12所示的各模式1～4中使在第一绕组部71a、第二绕组部71b中分别感应出的电流增加。

[0091] 在此，图17是表示转子60的、形成有第一缺口65a的部分(参照图15的Q部分)处的

剖视图，图18是表示转子60的、形成有第二缺口65b的部分(参照图15的P部分)处的剖视图。

[0092] 如图18所示，在第一主极端部64a中的、未形成有第一缺口65a的部分的周向的侧面上形成有沿轴向延伸的第一槽110a。另一方面，如图17所示，在第二主极端部64b中的、未形成有第二缺口65b的部分的周向的侧面上形成有沿轴向延伸的第二槽110b。通过将限制构件100的周向端部插入到沿周向相邻的第一槽110a和第二槽110b中，限制构件100的周向端部与各槽110a、110b嵌合。由此，限制构件100安装于转子60。

[0093] 根据以上说明的本实施方式，能够将第一槽110a和第二槽110b在轴向上相互交替地配置。因此，即使在第一主极端部64a、第二主极端部64b上分别相互交替地形成有缺口的情况下，也能够包括用于安装限制构件100的结构。由此，在能从径向将励磁绕组70和限制构件100组装于主极部62的结构中，能够降低转矩脉动。

[0094] ＜其他实施方式＞

[0095] 另外，上述各实施方式也可进行以下变更。

[0096] • 作为缺口的形成方式，不限于先前的图7所示的方式，例如也可以是图19所示的方式。此外，在图19中，在第一主极端部64a中，形成有第一缺口65a的部分的轴向上的总长度(＝Lb+Lb)与未形成有第一缺口65a的部分的轴向上的总长度(＝2×Lb)相等。另外，在第二主极端部64b中，形成有第二缺口65b的部分的轴向上的总长度(＝2×Lb)与未形成有第二缺口65b的部分的轴向上的总长度(＝Lb+Lb)相等。

[0097] • 在主极端部中，不限于形成有缺口的部分的轴向上的总长度与未形成有缺口的部分的轴向上的总长度相等的结构，也可以是大致相等的结构或总长度相互不同的结构。

[0098] • 也可以仅在第一主极端部64a和第二主极端部64b中的任一方形成缺口。

[0099] • 缺口的轮廓形状也可以在轴向上不同。

[0100] • 在上述各实施方式中，例如如图7所示，构成为形成有第一缺口65a的部分与形成有第二缺口65b的部分在轴向上不重叠。但是，不限于该结构，也可以构成为形成有第一缺口65a、第二缺口65b的部分在轴向上重叠。

[0101] • 也可以使用图20所示的励磁绕组73。详细地，在主极部62卷绕有第一绕组部74a，在第一绕组部74a的外侧卷绕有第二绕组部74b。

[0102] • 作为励磁绕组，也可以由三个以上的绕组部的串联连接体构成。图21示出了励磁绕组70由第一绕组部71a、第二绕组部71b和第三绕组部71c的串联连接体构成的示例。

[0103] • 励磁绕组的各绕组部也可以分别由扁平线构成。通过使用扁平线，能够提高励磁绕组的占空系数，从而能够降低损失。另外，根据扁平线，在离心力作用于绕组部的情况下，能够通过面来承受施加于绕组间的负载，因此，能够防止绕组的覆膜的损伤。另外，根据扁平线，能够增大安培匝数(AT)，从而能够扩大励磁绕组的励磁范围。其结果是，提高了转矩控制性。

[0104] 另外，各绕组部也可以分别由使用了扁平线的α绕组构成。作为使用了扁平线的α绕组的绕组部，例如，可以使用日本专利特开第2008-178211号公报的图5的(A)所示的结构。

[0105] • 在第一实施方式中，作为旋转电机，不限于内转子式的旋转电机，也可以是外转子式的旋转电机。在这种情况下，主极部从转子铁芯向径向内侧突出。

[0106] • 作为旋转电机，不限于通过使谐波电流流过定子绕组来使励磁电流流过励磁绕

组的结构。例如，作为旋转电机，也可以是经由电刷使励磁电流流过励磁绕组的结构。

[0107] • 作为转子的励磁绕组，不限于铝线，例如也可以是铜线或CNT(碳纳米管)等。另外，励磁绕组也可以不是通过压缩成形来形成的。

[0108] 虽然基于实施例对本公开进行了记述，但是应当理解为本公开并不限定于上述实施例、结构。本公开也包含各种各样的变形例、等同范围内的变形。除此之外，各种各样的组合、方式、进一步包含有仅一个要素、一个以上或一个以下的其他组合、方式也属于本公开的范畴、思想范围。

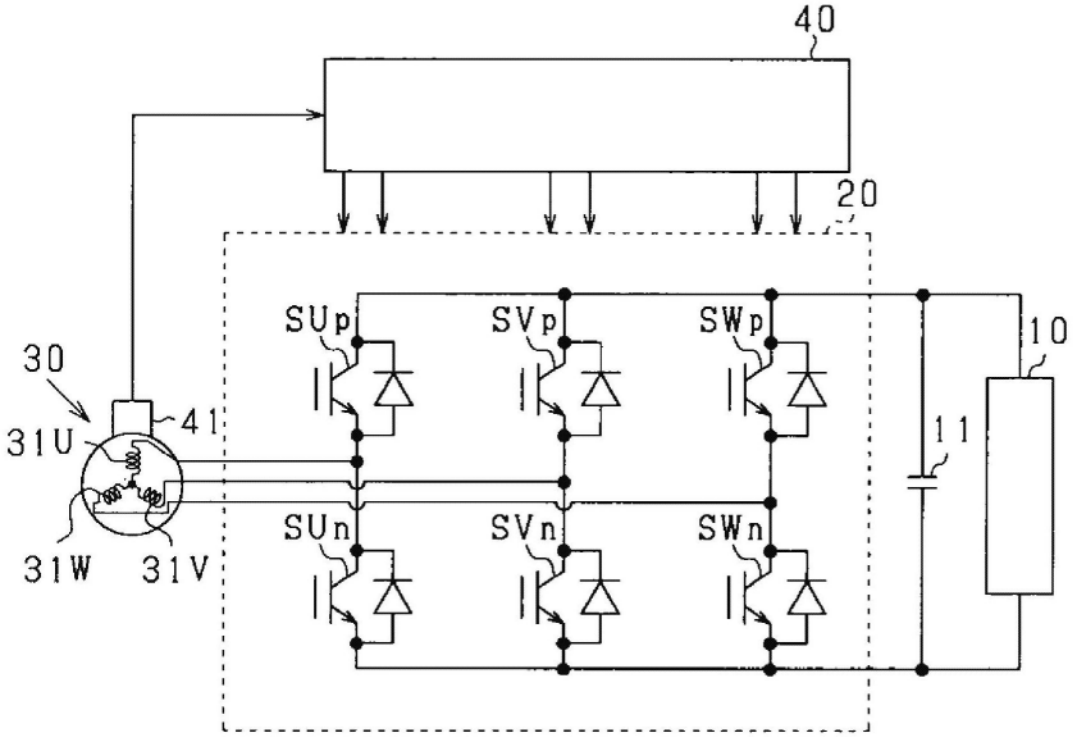

40
20
SUp
SVp
SWp
30
41
31U
10
11
SUn
SVn
SWn
31W
31V

图1

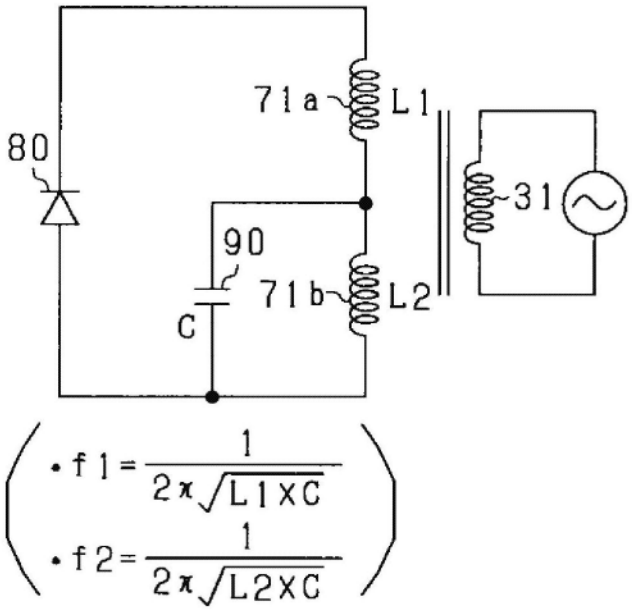

71a
L1
80
31
90
71b
L2
C
• f1 = 1 / 2π√(L1×C)
• f2 = 1 / 2π√(L2×C)

图2

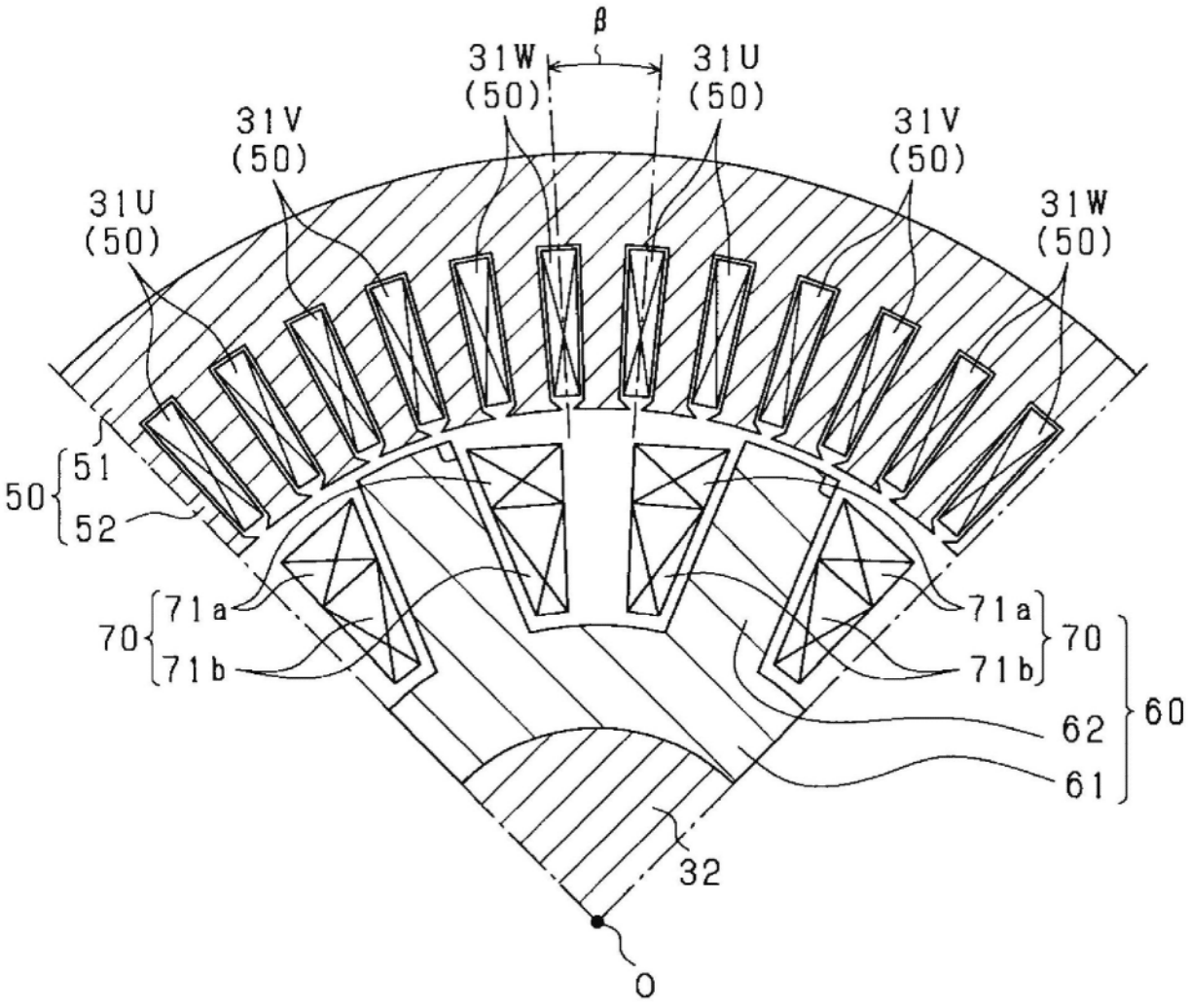

β
31W
(50)
31U
(50)
31V
(50)
31V
(50)
31U
(50)
31W
(50)
50
51
52
70
71a
71b
71a
71b
70
60
62
61
32
O

图3

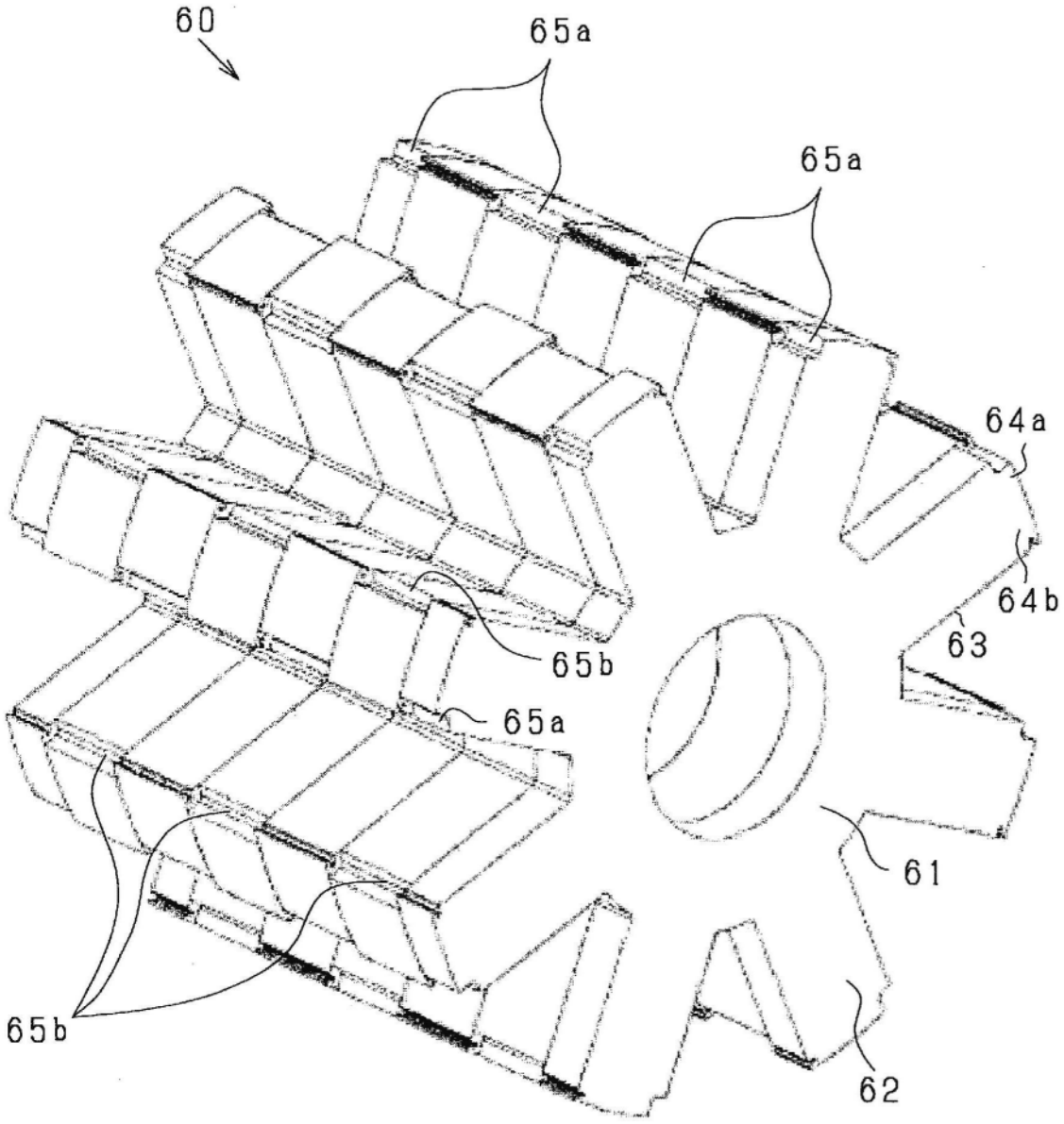


图4

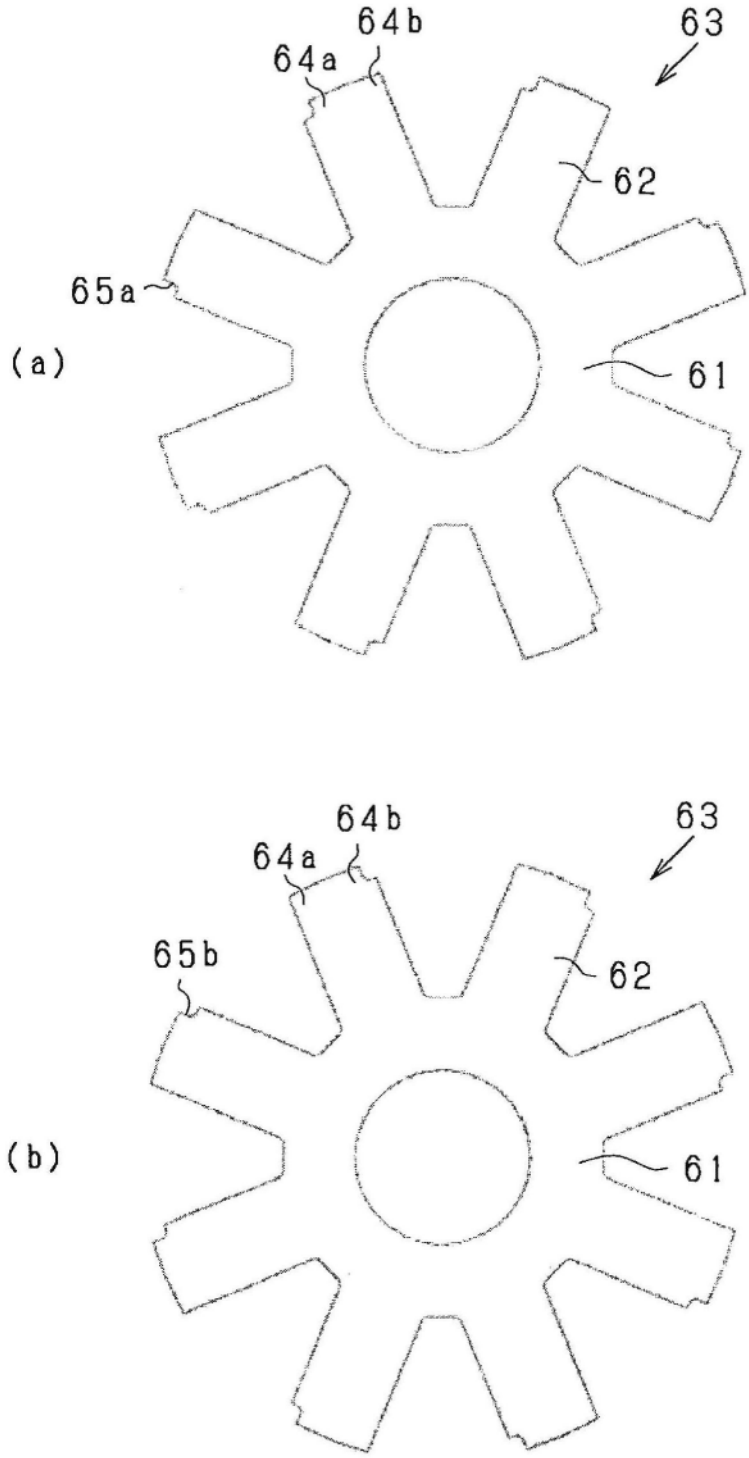


图5

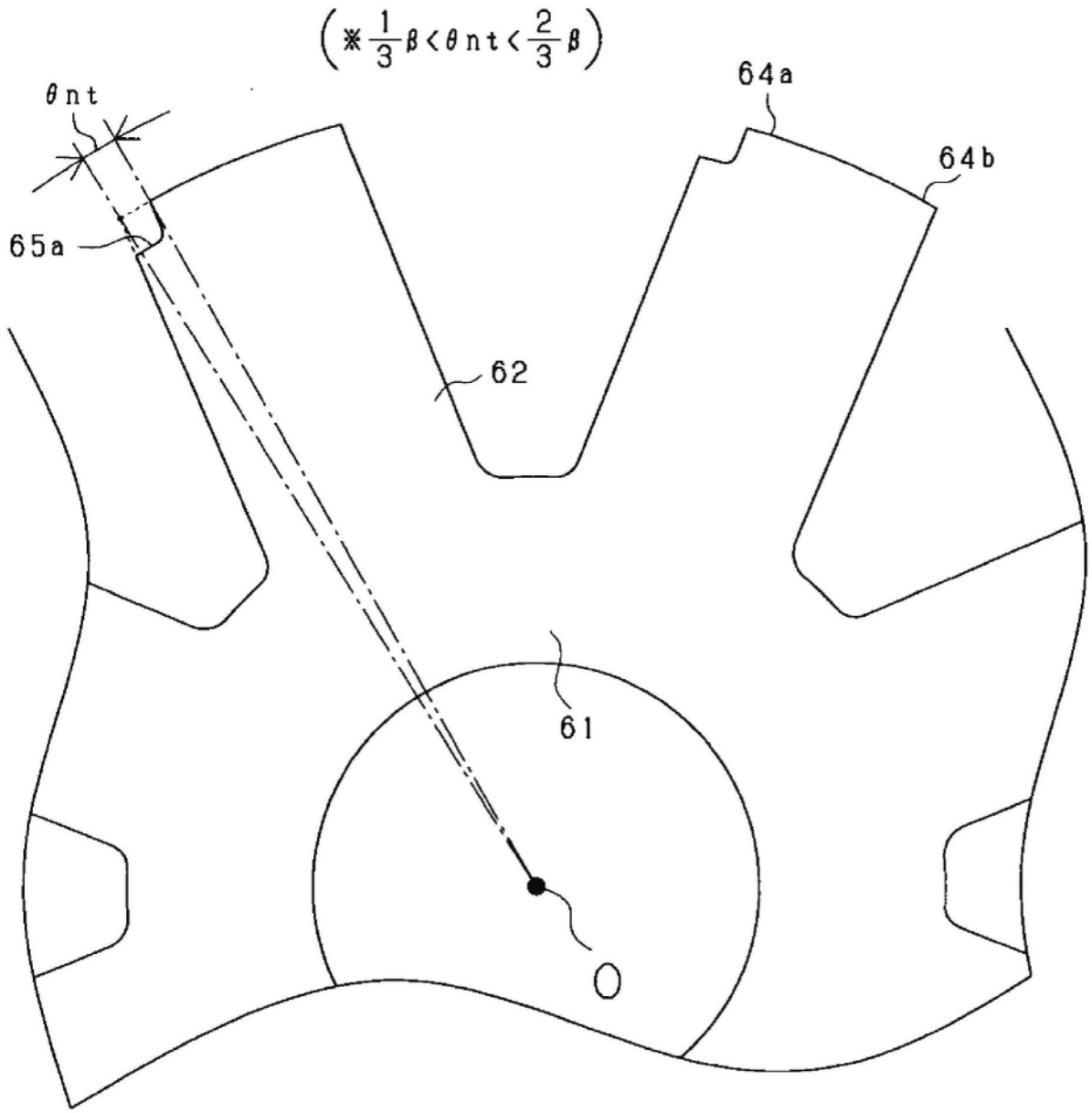

$\left(※\frac{1}{3}\beta<\theta nt<\frac{2}{3}\beta\right)$
θnt
64a
64b
65a
62
61
O

图6

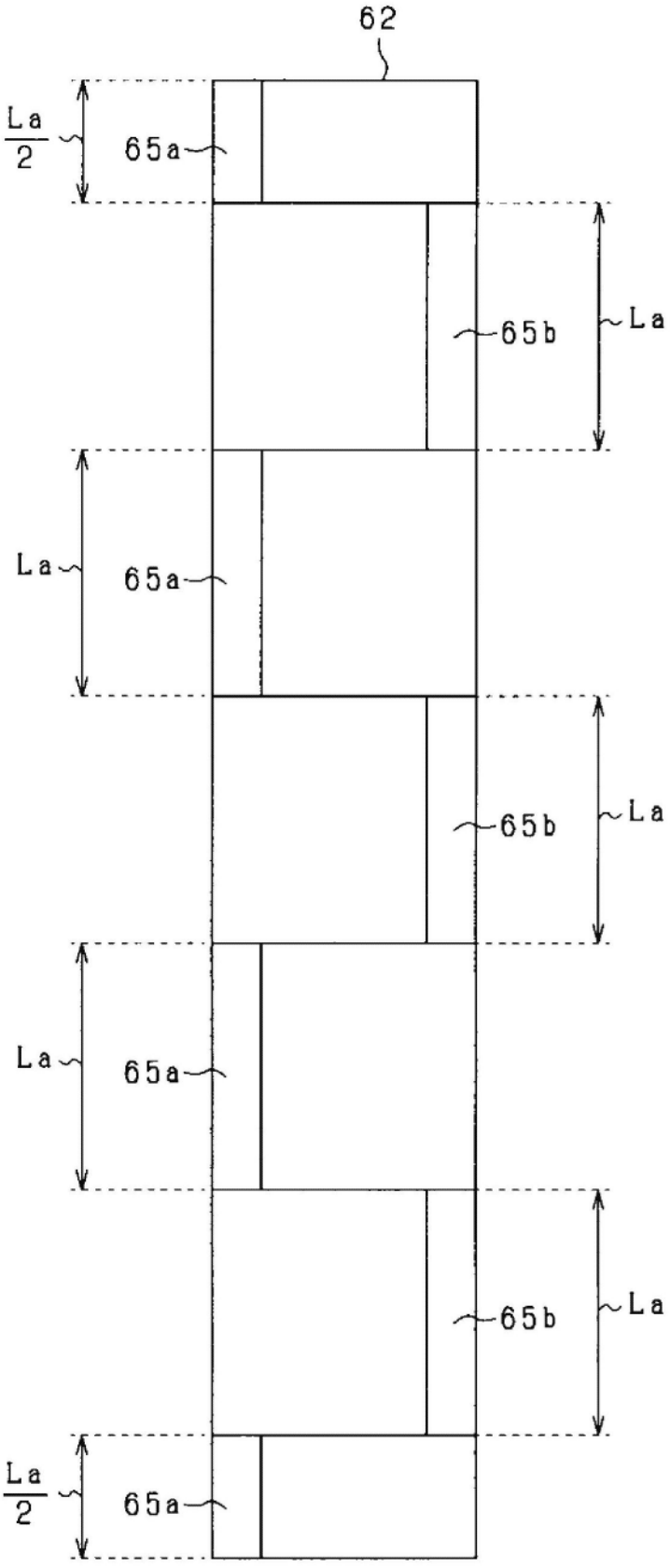


图7

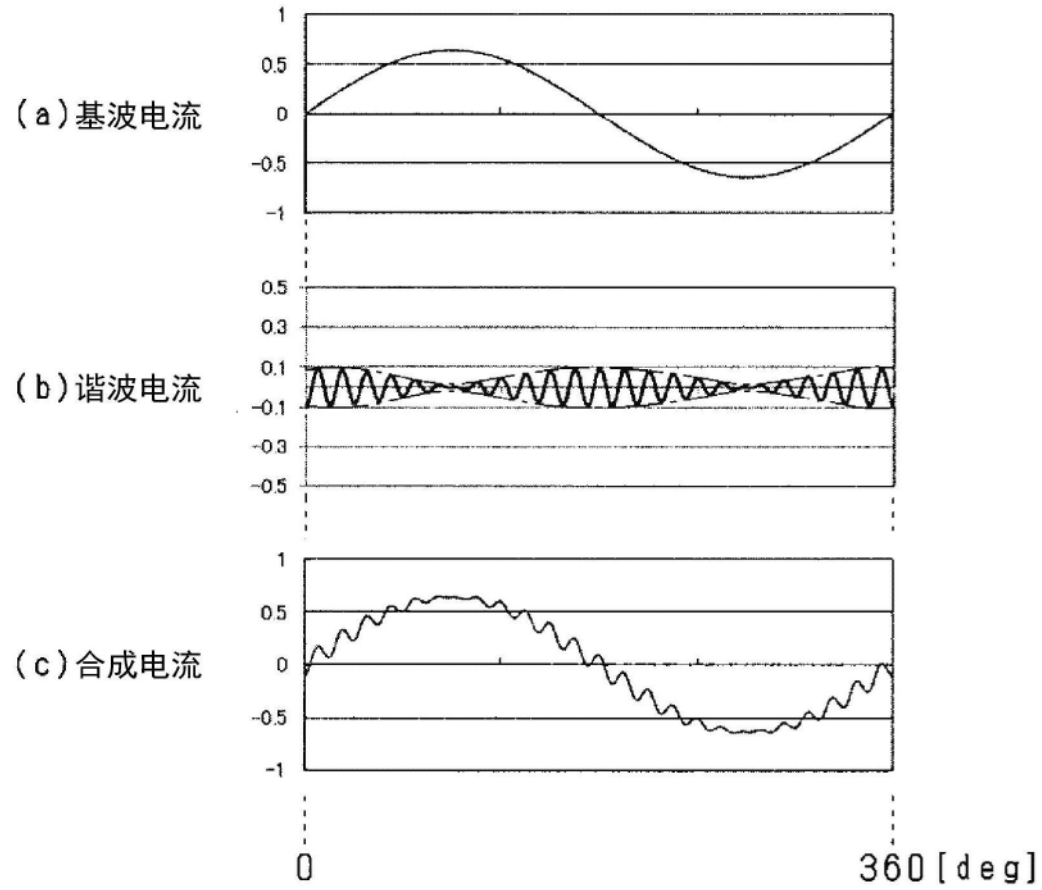

(a)基波电流
(b)谐波电流
(c)合成电流
1
0.5
0
-0.5
-1
0.5
0.3
0.1
-0.1
-0.3
-0.5
0
360[deg]

图8

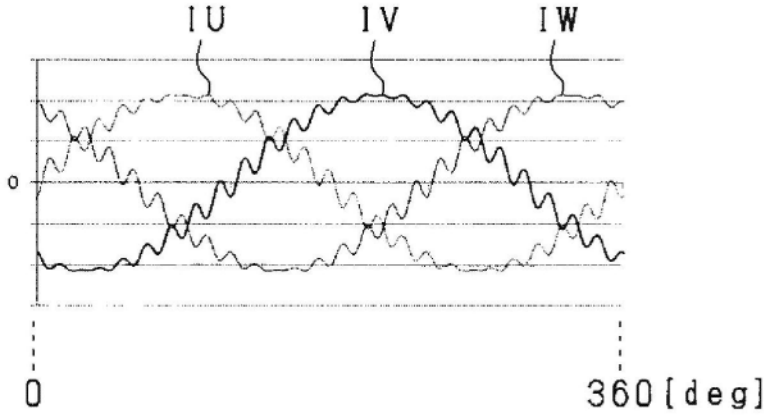

IU
IV
IW
0
0
360[deg]

图9

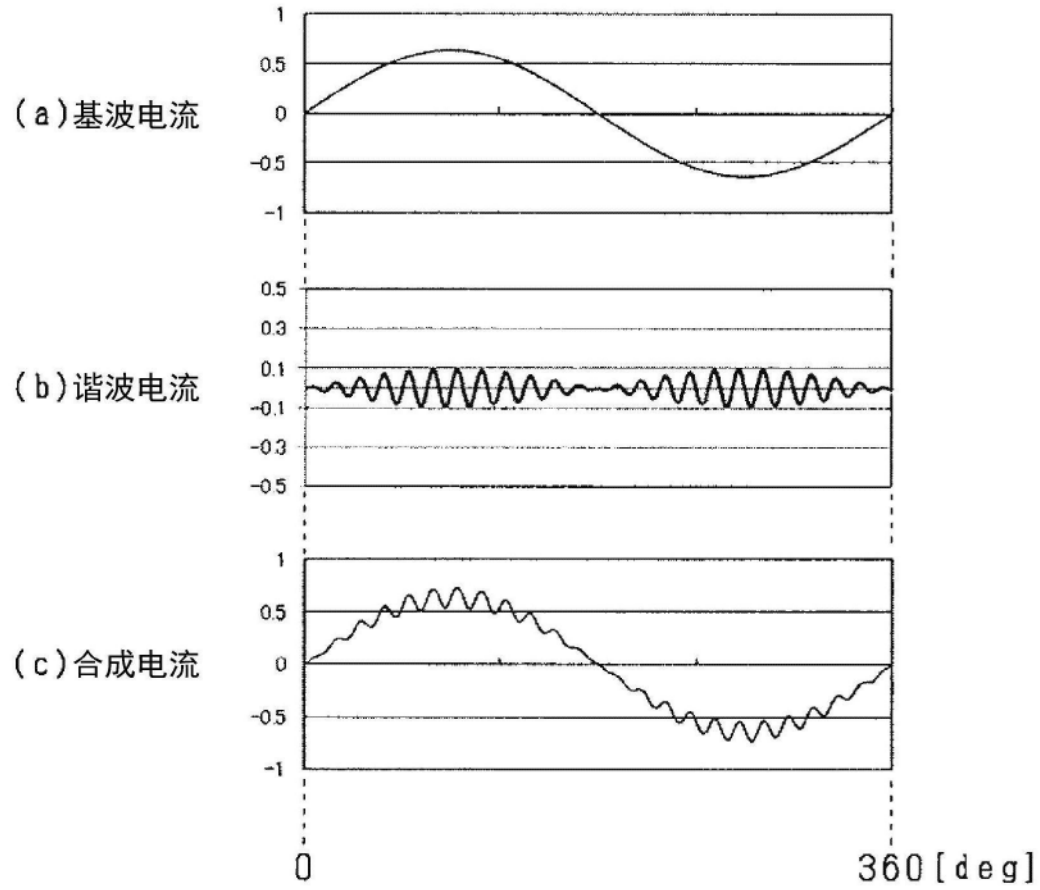

(a)基波电流
(b)谐波电流
(c)合成电流
1
0.5
0
-0.5
-1
0.5
0.3
0.1
-0.1
-0.3
-0.5
0
360[deg]

图10

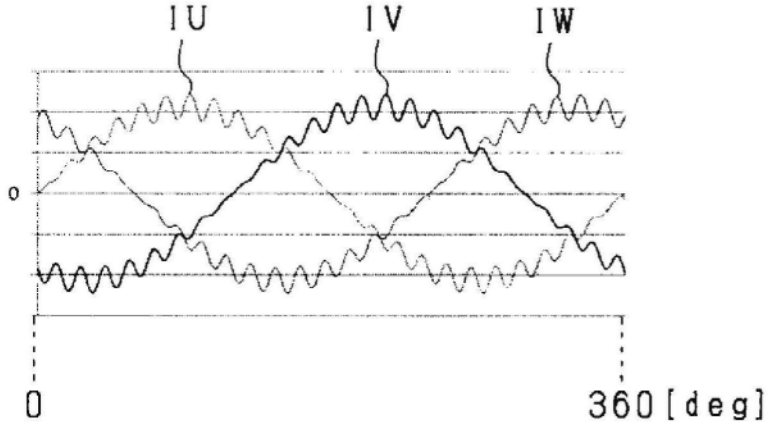

IU
IV
IW
0
0
360[deg]

图11

模式		1	2	3	4
产生电压的方向	71a e1	↑	↓	↑	↓
	71b e2	↑	↑	↓	↓

图12

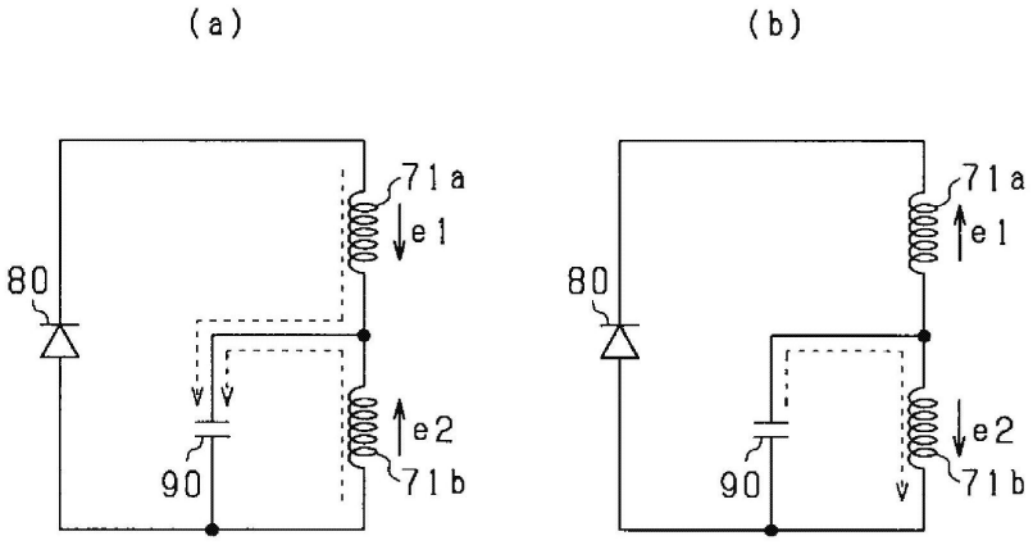


图13

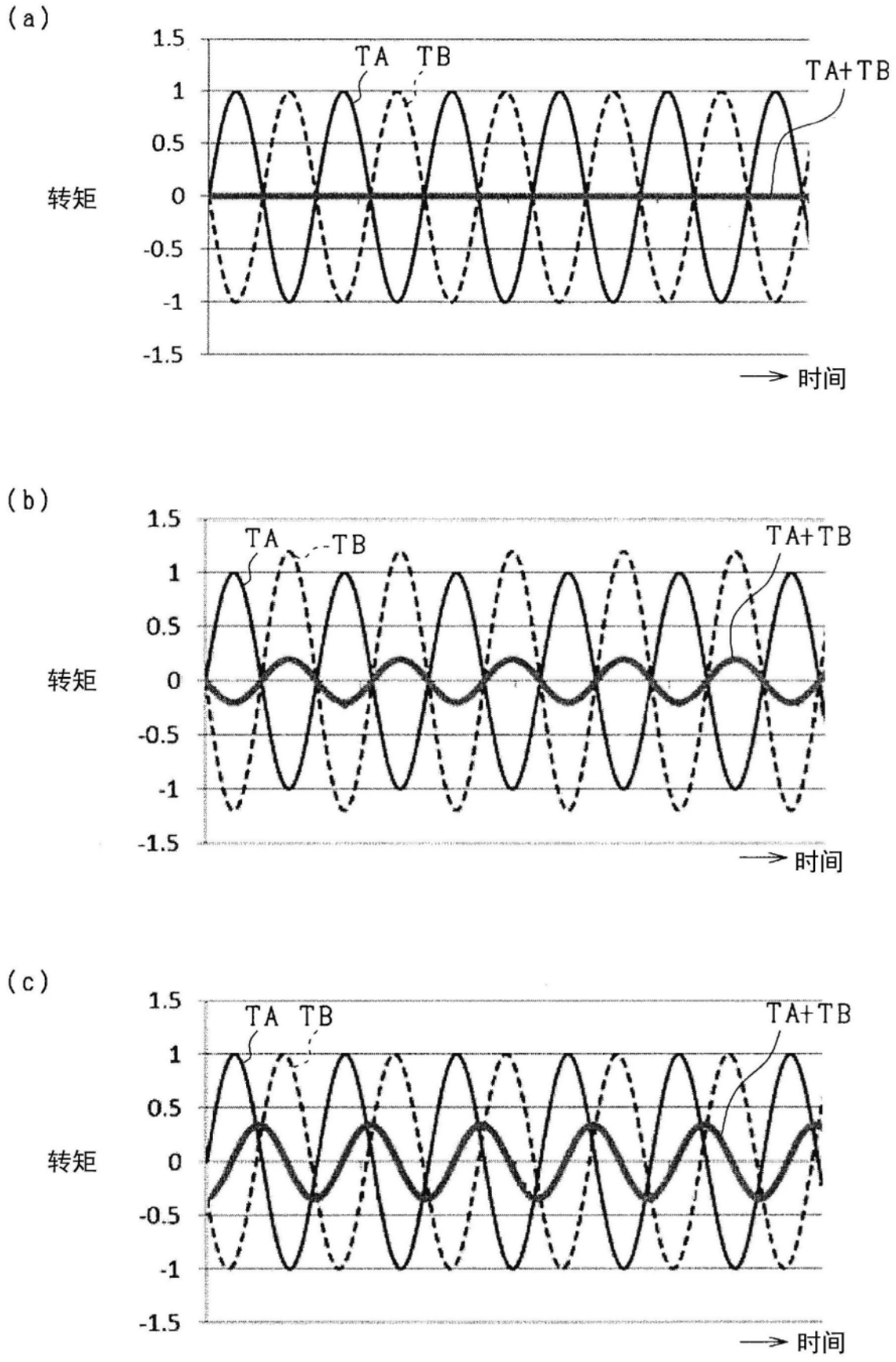

(a)
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
转矩
TA
TB
TA+TB
时间
(b)
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
转矩
TA
TB
TA+TB
时间
(c)
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
转矩
TA
TB
TA+TB
时间

图14

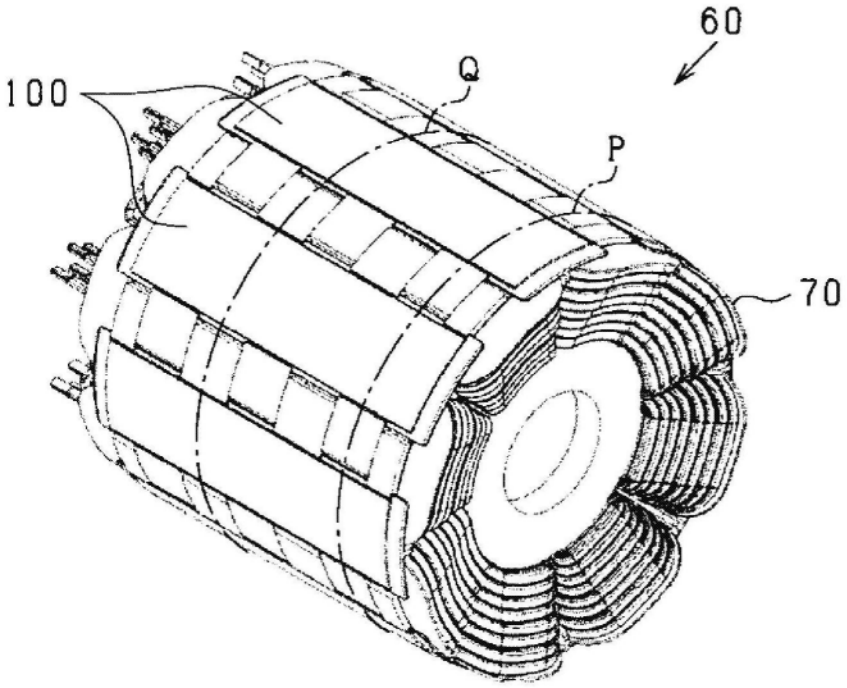


图15

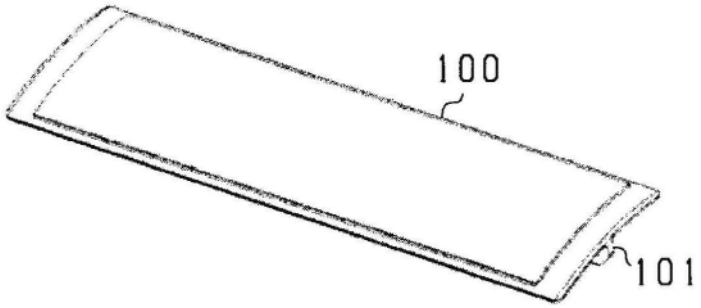


图16

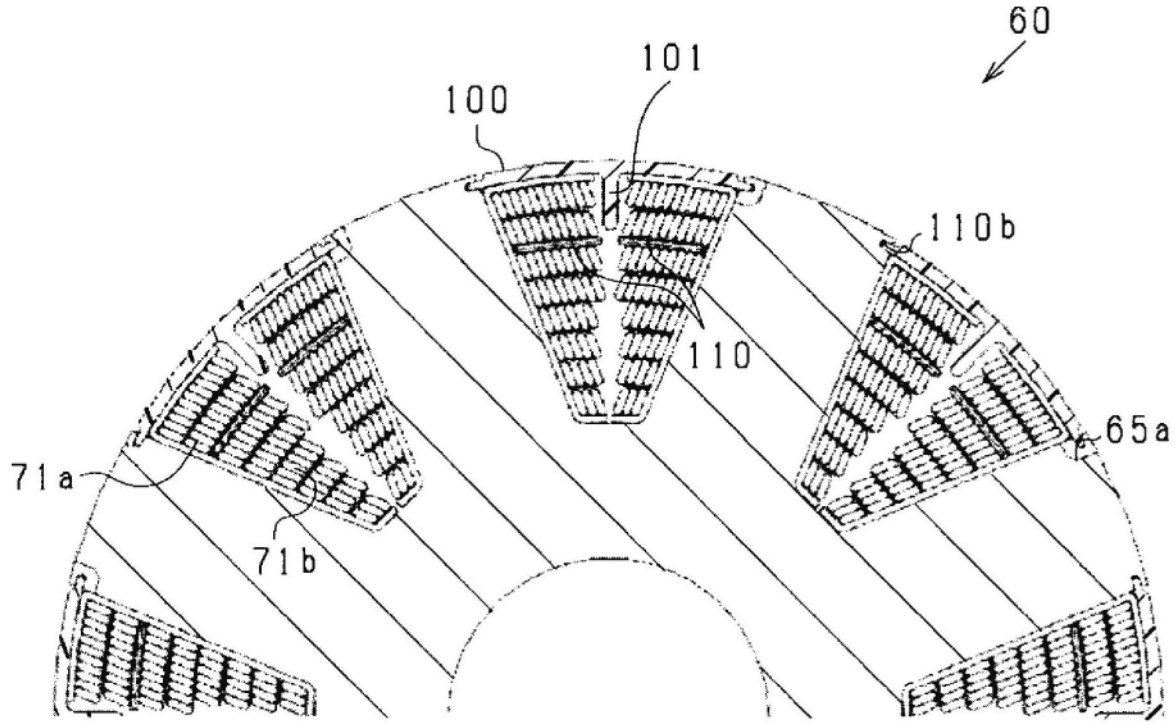

60
101
100
110b
110
65a
71a
71b

图17

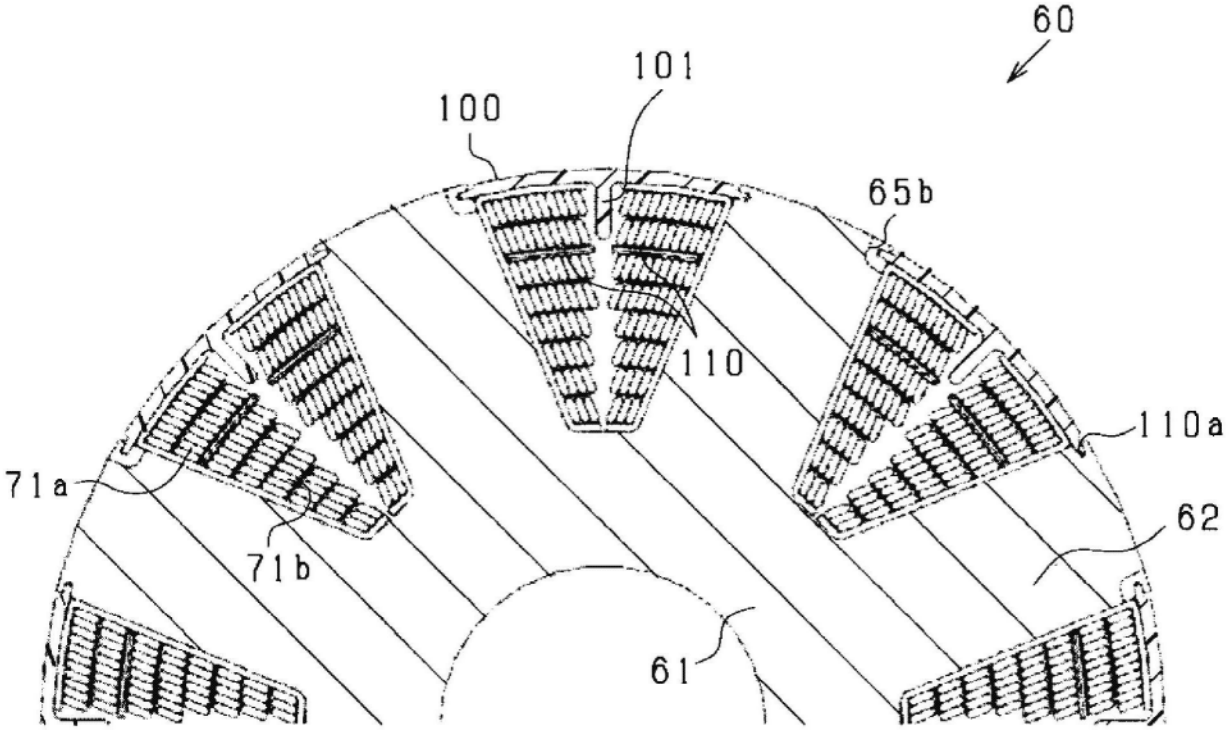

60
101
100
65b
110
110a
71a
62
71b
61

图18

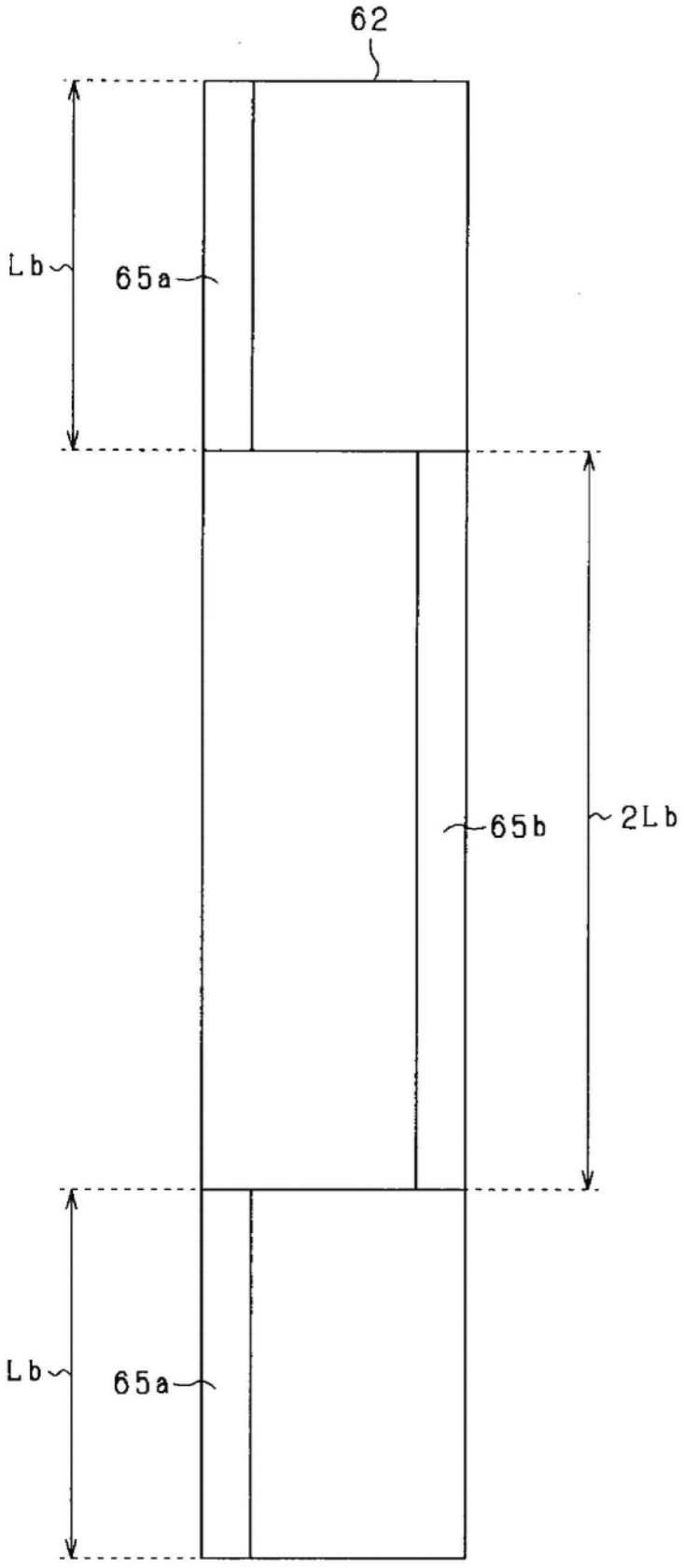


图19

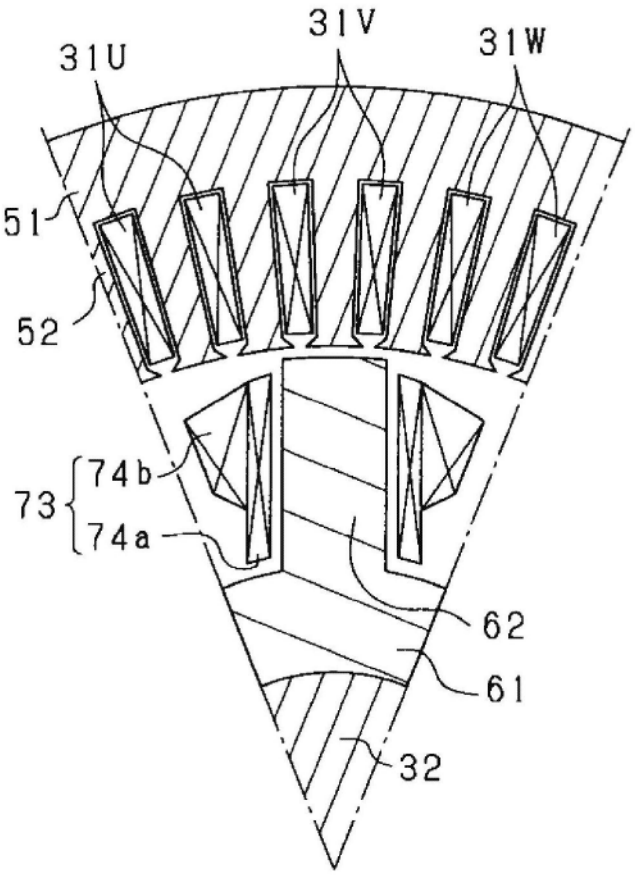


图20

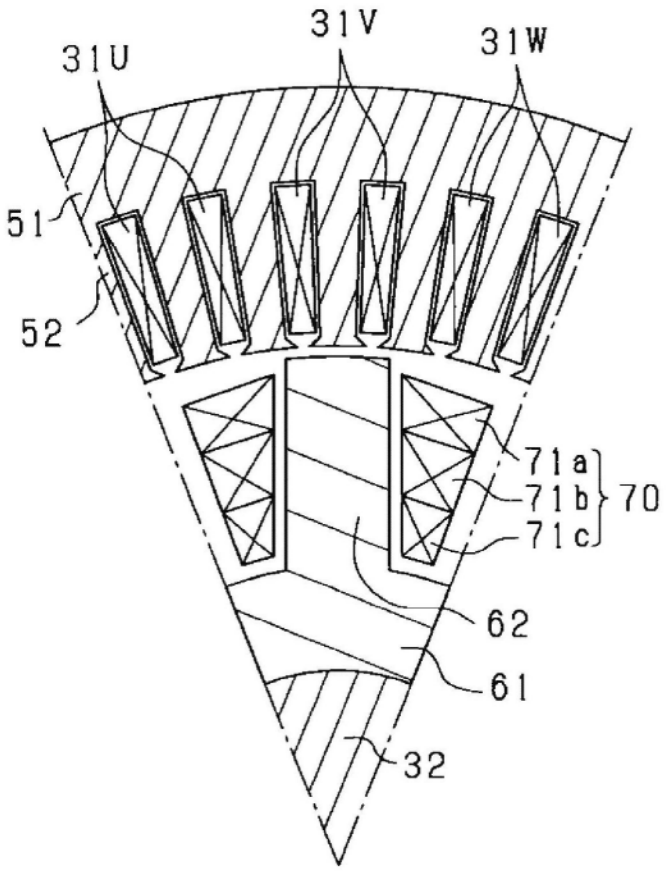


图21