



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113273057 A

(43) 申请公布日 2021.08.17

(21) 申请号 202080008229.3

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所  
有限公司 11038

(22) 申请日 2020.01.06

代理人 范莉

(30) 优先权数据

16/242,515 2019.01.08 US

(51) Int.Cl.

H02K 1/27 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.07.07

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2020/012412 2020.01.06

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2020/146281 EN 2020.07.16

(71) 申请人 博格华纳公司

地址 美国密歇根州

(72) 发明人 S·T·李

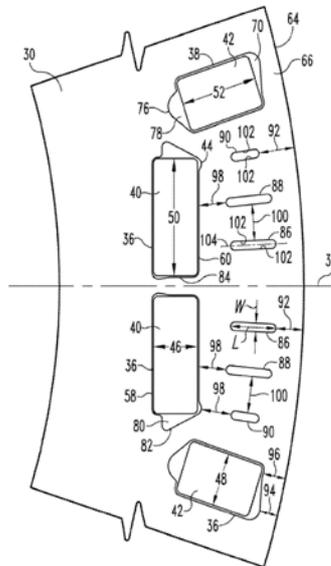
权利要求书2页 说明书7页 附图11页

(54) 发明名称

具有磁通分配空隙的内置永磁体电机

(57) 摘要

一种电机 (20), 具有转子 (24), 转子 (24) 有由导磁材料形成的转子芯 (30), 并限定了多个磁极 (32)。各磁极包括多个离散的沿轴向延伸的磁体狭槽 (36、38), 至少一个永磁体 (40、42) 在各磁体狭槽中。各磁极 (32) 有径向中心线 (34), 并包括由转子芯限定的多个空隙 (86、88、90)。对于各磁极, 磁体狭槽包括至少一个中心磁体狭槽 (36) 和两个外部磁体狭槽 (38), 外部磁体狭槽 (38) 位于磁极的径向中心线 (34) 的相对周向侧, 且至少局部定位得比所述至少一个中心磁体狭槽 (36) 的径向最外侧边缘 (60) 更靠近转子芯的径向外周边。多个空隙 (86、88、90) 各自与各磁体狭槽 (36、38) 间隔开, 并沿周向定位在外部磁体狭槽 (38) 之间并且沿径向定位在该至少一个中心磁体狭槽 (36) 的外侧。



1. 一种电机 (20), 包括:

定子 (22), 所述定子 (22) 与转子 (24) 操作地联接, 所述转子能够绕旋转轴线 (28) 旋转;

其中, 转子 (24) 包括由导磁材料形成的转子芯 (30), 所述转子限定了多个磁极 (32), 每个磁极包括形成于所述转子芯中的多个离散的沿轴向延伸的磁体狭槽 (36、38), 至少一个永磁体 (40、42) 位于各个分离的所述磁体狭槽中; 以及

所述多个磁极 (32) 中的每一个限定了相应的径向中心线 (34), 并包括由所述转子芯限定的多个空隙 (86、88、90);

对于所述多个磁极 (32) 中的每一个:

所述多个磁体狭槽包括至少一个中心磁体狭槽 (36) 以及第一外部磁体狭槽和第二外部磁体狭槽 (38), 所述第一外部磁体狭槽和第二外部磁体狭槽位于磁极的径向中心线 (34) 的相对周向侧, 且从所述转子芯 (30) 的径向外周边 (64) 至所述第一外部磁体狭槽和第二外部磁体狭槽 (38) 的径向距离小于从所述转子芯的径向外周边 (64) 至所述至少一个中心磁体狭槽的径向最外侧边缘 (44) 的径向距离; 以及

其中, 所述多个空隙 (86、88、90) 中的每一个与每个磁体狭槽间隔开, 并沿周向定位在第一外部磁体狭槽和第二外部磁体狭槽 (38) 之间并且沿径向定位在所述至少一个中心磁体狭槽 (36) 的外侧。

2. 根据权利要求1所述的电机, 其中: 所述多个磁极 (32) 中的每一个有关于相应的径向中心线 (34) 对称的构造;

所述多个空隙 (86、88、90) 中的每一个有径向长度 (L) 和周向宽度 (W), 其中, 所述径向长度大于周向宽度; 以及

所述多个空隙中的每一个与所述转子芯的径向外周边 (64) 间隔开第一径向距离 (92), 所述第一径向距离 (92) 是所述空隙的周向宽度 (W) 的至少两倍, 且所述多个空隙中的每一个与所述至少一个中心磁体狭槽 (36) 的径向外边缘 (44) 间隔开第二径向距离 (98), 所述第二径向距离 (98) 至少与第一径向距离一样大; 所述多个空隙中的每一个与周向相邻的空隙或磁体狭槽分离一周向距离 (100), 所述周向距离 (100) 至少与所述空隙的周向宽度 (W) 一样大。

3. 根据权利要求2所述的电机, 其中: 所述至少一个中心磁体狭槽包括两个离散的中心磁体狭槽 (36), 每个中心磁体狭槽有布置于其中的至少一个永磁体 (40)。

4. 根据权利要求1所述的电机, 其中: 所述多个空隙 (86、88、90) 中的每一个有径向长度 (L) 和周向宽度 (W), 所述径向长度大于周向宽度。

5. 根据权利要求1至4中任意一项所述的电机, 其中: 所述多个空隙 (86、88、90) 中的每一个有共同的周向宽度 (W)。

6. 根据权利要求1至4中任意一项所述的电机, 其中: 所述多个空隙 (86、88、90) 中的每一个与所述转子芯的径向外周边 (64) 间隔开第一径向距离 (92), 所述第一径向距离 (92) 大于使得所述第一外部磁体狭槽和第二外部磁体狭槽 (38) 与所述转子芯的径向外周边 (64) 分离的最小径向距离 (94)。

7. 根据权利要求6所述的电机, 其中: 所述多个空隙 (86、88、90) 中的每一个与所述至少一个中心狭槽 (36) 的径向外边缘 (44) 沿径向间隔开第二径向距离 (98), 所述第二径向距离 (98) 至少与所述第一径向距离 (92) 一样大。

8. 根据权利要求1至4中任意一项所述的电机,其中:所述多个空隙中的每一个与沿周向相邻的空隙或磁体狭槽分离一周向距离(100),所述周向距离(100)比所述空隙的周向宽度(W)大至少三倍。

9. 根据权利要求1至4中任意一项所述的电机,其中:所述多个空隙中的每一个与沿周向相邻的所述空隙或磁体狭槽分离一周向距离(100),所述周向距离(100)比所述空隙的周向宽度(W)大至少六倍。

10. 根据权利要求1至4中任意一项所述的电机,其中:所述空隙中的每一个包括相对的径向延伸边缘(102),各空隙的所述径向延伸边缘是线性的彼此平行的,径向线(104)平分所述空隙。

11. 根据权利要求1至4中任意一项所述的电机,其中:所述空隙定位成关于所述磁极的中心线(34)对称,且所述空隙的径向长度(L)变化,其中,具有更短径向长度的空隙(90)定位在具有更长径向长度的空隙(86、88)的周向外侧。

12. 根据权利要求11所述的电机,其中:在所述磁极的中心线(34)的各周向侧的至少两个空隙(86、88)具有共同的径向长度,径向长度比共同径向长度更短的至少一个空隙(90)布置在所述磁极的中心线的各周向侧,并定位在具有共同径向长度的所述至少两个空隙的周向外侧,且各空隙具有共同的宽度(W)。

13. 根据权利要求11所述的电机,其中:所述多个空隙(86、88、90)中的每一个与所述转子芯的径向外周边(64)间隔开第一径向距离(92),所述第一径向距离(92)大于使得所述第一外部磁体狭槽和第二外部磁体狭槽(38)与所述转子芯的径向外周边(64)分离的最小径向距离(94);所述多个空隙中的每一个与所述至少一个中心磁体狭槽(36)的径向外边缘(44)间隔开第二径向距离(98),所述第二径向距离(98)至少与第一径向距离(92)一样大;且所述多个空隙中的每一个与沿周向相邻的所述空隙或磁体狭槽分离周向距离(100),所述周向距离(100)比所述空隙的周向宽度(W)大至少三倍。

## 具有磁通分配空隙的内置永磁体电机

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求美国专利申请No.16/242515的优先权,该美国专利申请的申请日为2019年1月8日,标题为“INTERIOR PERMANENT MAGNET ELECTRIC MACHINE WITH FLUX DISTRIBUTING VOIDS”,该文献的内容被本文参引。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及电机,更特别是涉及利用永磁体的电机。

### 背景技术

[0004] 内置永磁体电机通常用于混合动力车辆,部分原因是由于它们相对较高的扭矩密度和效率。这种内置永磁体电机使用转子,该转子包括安装于其中的永磁体,以便提供转子磁场。

[0005] 使用这种内置永磁体电机的问题是一种称为齿槽扭矩的现象。齿槽扭矩有时称为“无电流”扭矩,是转子和定子磁极的位置和数量以及它们的相互作用的结果,并导致扭矩脉动和速度脉动。

[0006] 尽管已知的内置永磁体电机很有效,但还是需要进一步改进。

### 发明内容

[0007] 本发明提供了一种内置永磁体电机,该内置永磁体电机有提高电机性能的转子构造。

[0008] 在一种形式中,本发明包括一种电机,该电机包括与转子操作地联接的定子,其中,转子可绕旋转轴线旋转。转子包括由导磁材料形成的转子芯,并限定了多个磁极。各磁极包括在转子芯中形成的多个离散的沿轴向延伸的磁体狭槽,至少一个永磁体位于各单独的磁体狭槽中,且该多个磁极中的每一个限定了相应的径向中心线,并包括由转子芯限定的多个空隙。对于该多个磁极中的每一个,所述多个磁体狭槽包括至少一个中心磁体狭槽以及第一和第二外部磁体狭槽,该第一和第二外部磁体狭槽位于磁极的径向中心线的相对周向侧,其中,从转子芯的径向外周至第一和第二外部磁体狭槽的径向距离小于从转子芯的径向外周至该至少一个中心磁体狭槽的径向最外侧边缘的径向距离。该多个空隙中的每一个与各磁体狭槽间隔开,并沿周向定位在第一和第二外部磁体狭槽之间以及沿径向定位在该至少一个中心磁体狭槽的外侧。

[0009] 在电机的一些实施例中,该至少一个中心磁体狭槽包括两个离散的中心磁体狭槽,各中心磁体狭槽有布置于其中的至少一个永磁体。

[0010] 在电机的一些实施例中,该多个空隙中的每一个有径向长度和周向宽度,其中,径向长度大于周向宽度。

[0011] 在一些实施例中,该多个空隙中的每一个有共同的周向宽度。替代地或者另外地,该多个空隙中的每一个可以与转子芯的径向外周间隔开一径向距离,该径向距离是空隙的

周向宽度的至少两倍。

[0012] 在一些实施例中,该多个空隙中的每一个与转子芯的径向外周间隔开第一径向距离,该第一径向距离大于第一和第二外部磁体狭槽与转子芯的径向外周分开的最小径向距离。在这样的实施例中,该多个空隙中的每一个也可以与所述至少一个中心狭槽的径向外边缘沿径向间隔开第二径向距离,该第二径向距离至少与第一径向距离一样大。

[0013] 在一些实施例中,该多个空隙中的每一个都与周向相邻的空隙或磁体狭槽间隔一周向距离,该周向距离比空隙的周向宽度大(至少三倍),或者该周向距离比空隙的周向宽度大(至少六倍)。

[0014] 在一些实施例中,各空隙包括相对的径向延伸边缘,其中,各空隙的径向延伸边缘是线性的平行的。在这样的实施例中,各空隙的径向延伸边缘可以与平分空隙的径向线平行。

[0015] 在一些实施例中,各空隙有相同的周向宽度。在这样的实施例中,该空隙可以关于磁极的中心线对称地定位,且空隙的径向长度可以变化,其中,具有更短径向长度的空隙定位在具有更长径向长度的空隙的周向外侧。这样的实施例还可以设置成在磁极的中心线的各周向侧包括至少两个空隙,该空隙有共同的径向长度,其中,径向长度比共同径向长度更短的至少一个空隙布置在磁极的中心线的各周向侧,并定位在具有共同径向长度的该至少两个空隙的周向外侧。

[0016] 在本发明的另一形式中,本发明包括一种电机,该电机包括与转子操作地联接的定子,其中,转子可绕旋转轴线旋转。转子包括由导磁材料形成的转子芯,并限定了多个磁极。各磁极包括在转子芯中形成的多个离散的沿轴向延伸的磁体狭槽,至少一个永磁体位于各单独的磁体狭槽中。该多个磁极中的每一个限定了相应的径向中心线,并包括由转子芯限定的多个空隙,其中,该多个磁极中的每一个有关于相应径向中心线对称的构造。对于该多个磁极中的每一个,该多个磁体狭槽包括至少一个中心磁体狭槽以及第一和第二外部磁体狭槽,该第一和第二外部磁体狭槽位于磁极的径向中心线的相对周向侧,并至少局部位位于该至少一个中心磁体狭槽的径向最外侧边缘的径向外侧。对于各磁极,该多个空隙中的每一个沿轴向延伸穿过转子芯,与各磁体狭槽间隔开,并沿周向定位在第一和第二外部磁体狭槽之间以及沿径向定位在该至少一个中心磁体狭槽的外侧,该多个空隙中的每一个有径向长度和周向宽度,其中,该径向长度大于周向宽度;且该多个空隙中的每一个与转子芯的径向外周间隔开第一径向距离,该第一径向距离是空隙的周向宽度的至少两倍,且该多个空隙中的每一个与所述至少一个中心磁体狭槽的径向外边缘间隔开第二径向距离,该第二径向距离至少与第一径向距离一样大;该多个空隙中的每一个与沿周向相邻的空隙或磁体狭槽间隔一周向距离,该周向距离至少与空隙的周向宽度一样大。

[0017] 在这种电机的一些实施例中,该多个空隙中的每一个有共同的周向宽度。

[0018] 这样的实施例还可以设置成使得第一径向距离大于第一和第二外部磁体狭槽离转子芯的径向外周边的最小径向距离。

[0019] 这样的实施例还可以设置成使得该多个空隙中的每一个与沿周向相邻的空隙或磁体狭槽分离一周向距离,该周向距离比空隙的周向宽度大至少三倍。

[0020] 这样的实施例还可以设置成使得空隙的径向长度变化,其中,具有更短径向长度的空隙定位在具有更长径向长度的空隙的周向外侧。

[0021] 这样的实施例还可以设置成使得在磁极的中心线的各周向侧的至少两个空隙有共同的径向长度,且径向长度比共同径向长度更短的至少一个空隙布置在磁极的中心线的各周向侧,并位于具有共同径向长度的该至少两个空隙的周向外侧。

[0022] 在上述各种实施例的任意一个中,空隙可以关于磁极的中心线对称地定位,其中,空隙的径向长度变化,且具有更短径向长度的空隙被定位在具有更长径向长度的空隙的周向外侧。电机还可以设置成使得该多个空隙中的每一个与转子芯的径向外周边间隔开第一径向距离,该第一径向距离大于第一和第二外部磁体狭槽与转子芯的径向外周边分离的最小径向距离;其中,该多个空隙中的每一个与该至少一个中心磁体狭槽的径向外边缘间隔开第二径向距离,该第二径向距离至少与第一径向距离一样大;且该多个空隙中的每一个与沿周向相邻的空隙或磁体狭槽分离一周向距离,该周向距离比空隙的周向宽度大至少三倍。

### 附图说明

[0023] 通过参考下面结合附图对本发明实施例的说明,将更清楚本发明的上述和其它特征以及实现它们的方式,并更好地理解本发明自身,附图中:

[0024] 图1是电机的示意剖视图。

[0025] 图2是转子的局部端视图。

[0026] 图3是转子的局部端视图,表示了单个磁极。

[0027] 图4是没有空隙的转子的局部端视图,表示了空载时的磁通密度。

[0028] 图5是图1-3的转子的局部端视图,表示了空载时的磁通密度。

[0029] 图6是没有空隙的转子的局部端视图,表示了全负载时的磁通密度。

[0030] 图7是图1-3的转子的局部端视图,表示了全负载时的磁通密度。

[0031] 图8是比较在50Arms的电枢电流下由没有空隙的转子和图1-3的转子产生的扭矩脉动的曲线图。

[0032] 图9是比较在150Arms的电枢电流下由没有空隙的转子和图1-3的转子产生的扭矩脉动的曲线图。

[0033] 图10是比较在250Arms的电枢电流下由没有空隙的转子和图1-3的转子产生的扭矩脉动的曲线图。

[0034] 图11是比较在350Arms的电枢电流下由没有空隙的转子和图1-3的转子产生的扭矩脉动的曲线图。

[0035] 图12是比较在450Arms的电枢电流(全负载)由没有空隙的转子和图1-3的转子产生的扭矩脉动的曲线图。

[0036] 在全部几个视图中,相应参考标号表示相应的部件。尽管这里阐述的示例以一种形式表示了本发明的实施例,但是下面公开的实施例并不是用于穷尽或者解释成将本发明的范围限制为公开的精确形式。

### 具体实施方式

[0037] 图1提供了电机20的示意剖视图。电机20包括具有定子芯和多个绕组的定子22。转子24与定子22操作地联接,并有固定于其上的轴26。转子24和轴26绕旋转轴线28相对于定

子22旋转。电机20是内部永磁同步电机(IPMSM),并可以用作混合动力车辆中的马达/发电机,其中,它选择地操作为马达或发电机。

[0038] 转子24包括转子芯30,并限定了多个磁极32,这些磁极32在电机20的操作过程中与定子22相互作用。所示电机20是内置永磁体电机,且转子24的各磁极32包括形成在转子芯30中的多个沿轴向延伸磁体狭槽,其中,至少一个永磁体位于各磁体狭槽中。磁体可以使用过盈配合、使用粘接剂材料、另外的固定方法或者固定方法的组合而固定在狭槽内。

[0039] 转子芯30由导磁材料形成。例如,转子芯30可以由多个堆叠的叠片来形成,其中,各单独叠片是电工钢片材。使用堆叠的电工钢叠片来形成转子芯是本领域普通技术人员公知的。电工钢通常有大约4000的相对磁导率。根据定义,真空的相对磁导率为1。

[0040] 如下文更详细所述,转子芯30中形成的磁体狭槽限定了在各磁极32中在选定位置处的间隙和空隙。这些间隙和空隙的相对磁导率小于转子芯30的相对磁导率。例如,这些间隙可以充满空气。空气的相对磁导率为1.00000037。为了本发明目的,它可以四舍五入至最接近的整数,也就是1。代替使得间隙和空隙作为充气空间,还可以用聚合物和/或粘接剂材料填充这些间隙和空隙,该聚合物和/或粘接剂材料可以用于进一步将磁体固定在狭槽内,或者简单地填充开口空间。优选是,用于填充间隙/空隙的材料相对磁导率为1。

[0041] 各转子磁极32限定了与旋转轴线28相交的径向中心线34。在所示实施例中,磁极32关于中心线34对称,不过,替代实施例可包括一些不对称特征。在这方面,应当注意,所示电机可沿两个旋转方向操作,不过,替代实施例可用于电机只沿一个旋转方向操作的应用。所示实施例包括十个转子磁极32,不过,替代实施例可以采用不同数量的磁极。

[0042] 单个磁极32包括多个离散的磁体狭槽,这些磁体狭槽包括至少一个中心磁体狭槽36和两个外部磁体狭槽38。在本文中,离散磁体狭槽是一个狭槽,该狭槽通过形成转子芯的导磁材料而与其它磁体狭槽分离。在所示实施例中,各磁极32有相同的构造,并包括两个中心磁体狭槽36,其中一个中心磁体狭槽36布置在径向中心线34的一侧。外部磁体狭槽38位于径向中心线34的相对周向侧,优选是至少局部位于中心磁体狭槽36的径向最外侧边缘44的周向外侧。在所示实施例中,在外部磁体狭槽38内的永磁体42整个定位在布置于中心磁体狭槽36内的永磁体40的周向外侧。

[0043] 各狭槽36、38有布置于其中的至少一个永磁体40、42。在所示实施例中,各狭槽36、38只有布置于其中的单个磁体40、42,不过,替代实施例可以在一个或多个磁体狭槽中布置多个磁体。

[0044] 从图中可见,布置在外部磁体狭槽38中的磁体42小于布置在中心磁体狭槽36中的磁体40。布置在外部磁体狭槽38中的所有磁体42具有相同的尺寸,且布置在中心磁体狭槽36中的所有磁体40具有相同的尺寸。

[0045] 在所示实施例中,永磁体40、42都是平行六面体,其中,永磁体40、42的每个面都是矩形。在这方面,应当注意,所述面并不是完美的矩形,而是有稍微圆角的拐角和边缘。

[0046] 所有磁体40、42具有相同的轴向长度。布置在中心磁体狭槽36中的磁体40的长度50比布置在外部磁体狭槽38中的磁体42的长度52更大,布置在中心磁体狭槽36中的磁体40的宽度46比布置在外部磁体狭槽38中的磁体42的宽度48更小。

[0047] 矩形横截面和共同轴向长度的使用提供了制造效率。磁体的轴向长度对应于转子芯30的轴向长度。所示磁体都由相同材料形成。可以使用任何合适的永磁材料。例如,磁体

40、42可以采用稀土磁体或铁氧体磁体的形式。

[0048] 另外应当注意,尽管所示实施例具有布置在各狭槽中的单个磁体并使用两种不同尺寸的磁体,但在某些情况下,可以证明在一些或所有磁体狭槽中使用多个磁体将更高效。例如,当电机20设计成使得所有磁体具有共同宽度时,可以只使用一种尺寸的磁体,且在中心狭槽中使用三个磁体并在外部狭槽中使用两个磁体。

[0049] 各磁极32的磁体狭槽36、38定位得限定U形构型,其中,磁体40位于中心狭槽36中,该中心狭槽36定向成使得它们延伸的周向距离大于径向距离。在这方面,应当注意,磁体40定位成使得长度50基本等于磁体40延伸的周向距离,使得宽度46基本等于磁体40延伸的径向距离。位于外部磁体狭槽38中的磁体42定向成使得它们延伸的径向距离大于周向距离,该径向距离大致对应于长度52,该周向距离大致对应于宽度48。

[0050] 在所示实施例中,中心磁体狭槽36线性对齐,其中,两个狭槽的径向内边缘58共线,且径向外边缘60也共线。当外部磁体狭槽38接近转子芯30的径向外周边64时,外部磁体狭槽38分离的周向距离变得更大。换句话说,外部磁体狭槽38在它们沿径向向外前进时向外成角度。

[0051] 外部磁体狭槽38各自限定材料桥66,该材料桥66布置在外部磁体狭槽38和转子芯30的径向外周边64之间。材料桥66是渐缩的桥,它限定了变化的径向厚度。从图中可以看见,材料桥66的径向厚度在离径向中心线34的周向距离增加时减小。使用这种渐缩的材料桥66有特定优点,该优点在美国专利申请No. 16/242340 (代理人案卷号22888-0329) 中更详细介绍,该美国专利申请的申请日为2019年1月8日,名称为INTERIOR PERMANENT MAGNET ELECTRIC MACHINE WITH TAPERED BRIDGE STRUCTURE,该文献被本文参引。

[0052] 在每个外部磁体狭槽38中,间隙70限定在永磁体42和材料桥66之间。各磁极32设置成在磁体狭槽中限定两个附加间隙。在外部磁体狭槽38的径向内边缘76处,磁体42定位得限定了在磁体42和径向内边缘76之间的间隙78。在中心磁体狭槽36中,间隙80形成在永磁体40和中心磁体狭槽36的周向外边缘82之间。永磁体40定位得直接邻近中心磁体狭槽36的周向内边缘84,因此在该边缘处并不形成间隙。在这方面,应当注意,在磁体40和周向内边缘84之间可以有薄层的粘接剂或其它材料。另外,或者替代地,由于制造公差,较小空隙可以存在于磁体40和周向内边缘84之间,而不会因此在中心磁体狭槽36内限定将在操作过程中以间隙70、78、80的方式实质影响该位置处的电磁通量的间隙。如上所述,间隙70、78、80可以是充满空气的空间,或者可以填充有聚合物和/或粘接剂材料,该聚合物和/或粘接剂材料可以用于将磁体固定在狭槽内。当间隙填充有固体材料时,通常希望使用相对磁导率为1的材料。

[0053] 各磁极32还包括多个空隙86、88、90,这些空隙86、88、90通过形成转子芯30的导磁材料而与各磁体狭槽36、38间隔开并且彼此间隔开,该导磁材料使得各单独空隙86、88、90彼此分离并且与磁体狭槽36、38分离。空隙86、88、90沿周向定位在两个外部磁体狭槽38之间,并沿径向定位在中心磁体狭槽36的外侧。

[0054] 空隙可以填充有空气,或者如上所述填充有固体材料,例如磁导率比用于形成转子芯的材料明显更低的聚合材料,例如相对磁导率为大约1的材料。在空隙填充有固体材料的实施例中,它们仍然被认为是如在本文中使用的术语空隙,因为它们没有磁导率与用于形成转子芯30的材料相当的材料。

[0055] 在所示实施例中,各磁极32包括六个空隙,其中,三个空隙位于中心线34的各侧。在所示实施例中,不仅空隙关于中心线34对称地布置,而且磁极32的整个结构关于中心线34对称。在该实施例中,周向最内侧空隙86和中间空隙88具有相同的尺寸,且周向外侧空隙90具有较短的径向长度。

[0056] 各所示空隙的径向长度L大于它的周向宽度W。对于所示空隙,所有空隙具有相同的周向宽度,即共同的周向宽度。各空隙与转子芯30的径向外周边64间隔开径向距离92,该径向距离92是空隙的周向宽度W的至少两倍。

[0057] 这些径向距离92都大于使得外部磁体狭槽38与转子芯30的径向外周边64分离的最小径向距离94。在一些实施例中,所述径向距离不大于使得布置于狭槽38中的永磁体42与径向外周边64分离的最小径向距离96。

[0058] 各空隙86、88、90也与中心狭槽36的径向外边缘60间隔开径向距离98,该径向距离98至少与该空隙与径向外周边64的径向距离92一样大。

[0059] 各空隙也与周向相邻的空隙或磁体狭槽38分离一周向距离100,该周向距离100至少与空隙的周向宽度W一样大。优选是,该周向距离比紧邻的空隙的周向宽度W大至少三倍,或者如所示实施例中所示,比任何紧邻的空隙的周向宽度W大至少六倍。在这方面,应当注意,空隙86、88、90的所示构造留下了在空隙周围的大量导磁转子芯材料。如下面所述,所述空隙足以提供明显的优点,但它们的相对较小尺寸还使得转子芯可以保持显著的机械强度和结构完整性,这可以是具有高功率密度和高转速的电机中的一个因素。

[0060] 各单独空隙具有相似的形状,但并不必须具有相同的尺寸。更具体地说,在所示实施例中,空隙都有相对的径向延伸边缘102,这些边缘是线性的,即由直线形成,并彼此平行。各空隙的边缘102也与平分所述空隙的径向线104平行。

[0061] 如上面所述,空隙86、88、90关于中心线34对称地定位,其中,各个空隙具有不同的长度。更具体地说,空隙86、88都具有相同的径向长度L,而空隙90具有更短的径向长度L。空隙定位成使得具有更短径向长度的空隙位于具有更长径向长度的空隙的周向外侧。在所示实施例中,三个空隙位于中心线34的各侧,其中,空隙86、88具有相同的径向长度,且空隙90位于中心线34的各侧,该空隙90位于空隙86、88的周向外侧。

[0062] 计算机模型用于使得具有空隙86、88、90的电机与除了没有空隙86、88、90之外都相同的电机进行比较。图4表示了不包括空隙86、88、90的电机的转子磁极的计算磁通密度,而图5表示了具有空隙86、88、90的电机的转子磁极的计算磁通密度。在图4和图5中,电机在空载情况下操作为马达,且转子沿逆时针方向以1000rpm旋转,如图4和5中所示。电机内的磁场B的计算强度(以特斯拉为单位)表示在图4和5中。如图例中所示,图中的不同颜色代表在2.4特斯拉至零特斯拉之间的值,增量为 $2.0 \times 10^{-1}$ 特斯拉,但并不是所有这些值都表示在各图中。

[0063] 从图4和图5的比较可以看见,当它们在空载情况下操作时,这两种不同电机在转子和定子之间的气隙处产生的磁场B有非常小的差异。

[0064] 类似的,图6表示了不包括空隙86、88、90的电机的转子磁极的计算通量密度,而图7表示了在不同的操作条件下具有空隙86、88、90的电机的转子磁极的计算通量密度。在图6和图7中,电机在全负载情况下操作为马达,且转子沿逆时针方向以1000rpm旋转,如图6和7中所示。电机内的磁场B的计算强度(以特斯拉为单位)表示在图6和7中。如图例所示,图中

的不同颜色代表在2.4特斯拉至零特斯拉之间的值,增量为 $2.0 \times 10^{-1}$ 特斯拉,但并不是所有这些值都表示在各图中。

[0065] 从图6和图7的比较可以看见,当这两个不同的电机在全负载情况下操作为马达时,具有空隙86、88、90的电机有在转子和定子之间的气隙中的更强磁场B。这种磁通密度的更大分布降低了不希望的扭矩脉动。

[0066] 图8-12提供了当操作为马达时在一定范围电负载下比较图4和6的电机(没有空隙)与图5和7的电机(有空隙)的计算扭矩脉动的图表。

[0067] 在图8中,图表比较了当定子绕组具有50Arms的电流消耗时电机的计算扭矩值。Arms是由电机消耗的安培值的均方根。在实际条件下,电流消耗可能稍微变化,使用Arms消耗电流提供了有意义的平均值。扭矩脉动可以从该数据来计算,在这个相对较轻负载下,没有空隙的电机(带点的线)的扭矩脉动几乎与有空隙的电机(无点的线)的扭矩脉动相同。两条线基本重叠,且没有空隙的机器的计算扭矩脉动为16.42%,有空隙的机器的计算扭矩脉动为16.40%。

[0068] 图9提供了在150Arms下的类似比较,在该负载下,没有空隙的机器(带点的线)的计算扭矩脉动为9.01%,而有空隙的机器(无点的线)的计算扭矩脉动为8.92%。

[0069] 图10提供了在250Arms下的类似比较,在该负载下,没有空隙的机器(带点的线)的计算扭矩脉动为6.41%,有空隙的机器(无点的线)的计算扭矩脉动为4.88%。

[0070] 图11提供了在350Arms下的类似比较,在该负载下,没有空隙的机器(带点的线)的计算扭矩脉动为7.73%,有空隙的机器(无点的线)的计算扭矩脉动为4.15%。

[0071] 图12提供了在450ArmS(全负载)下的类似比较,在该负载下,没有空隙的机器(带点的线)的计算扭矩脉动为10.43%,有空隙的机器(无点的线)的计算扭矩脉动为3.89%。

[0072] 如由图8-12的曲线图中表示的数据所表明,当负载增加时,空隙86、88、90提供了电机性能的不断提高。

[0073] 尽管本发明已经介绍为具有示例设计,但是本发明可以在本公开的精神和范围内进一步变化。因此,本申请将覆盖使用它的总体原理的、本发明的任何变化、使用或改变。

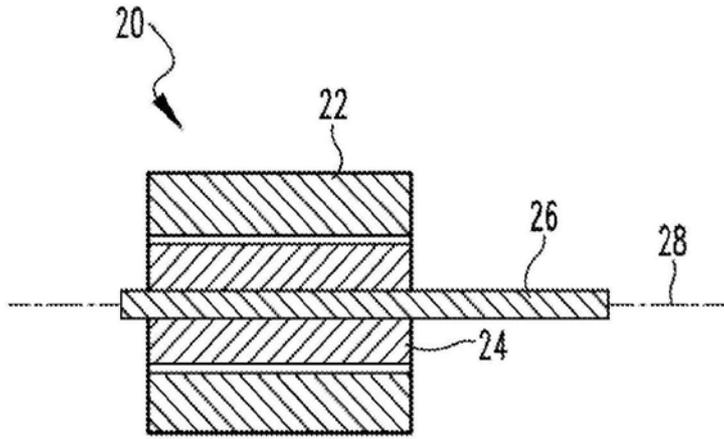


图1

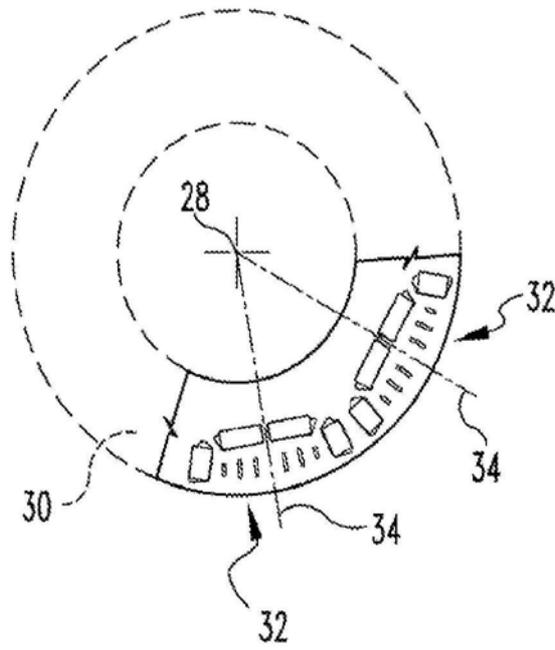


图2

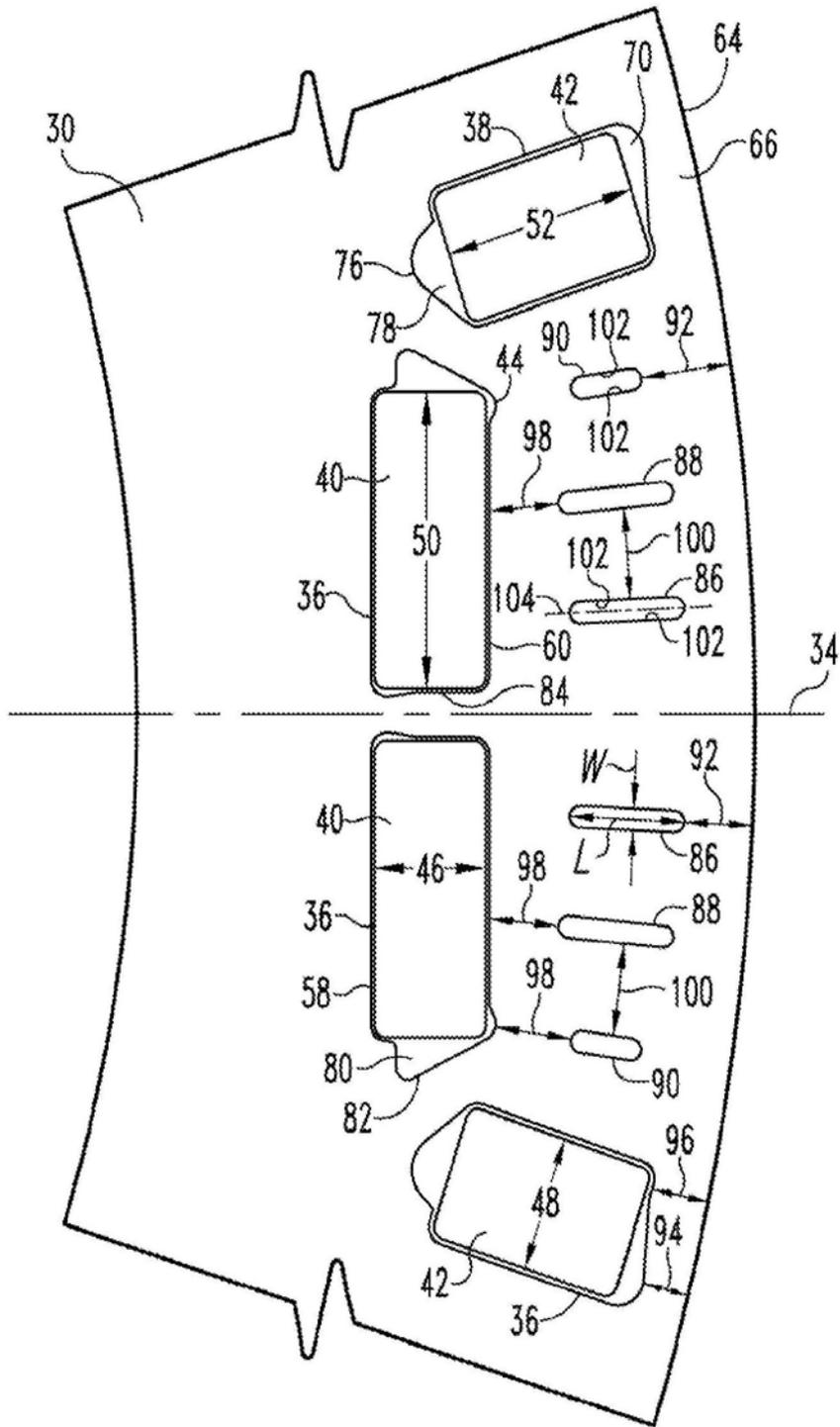


图3

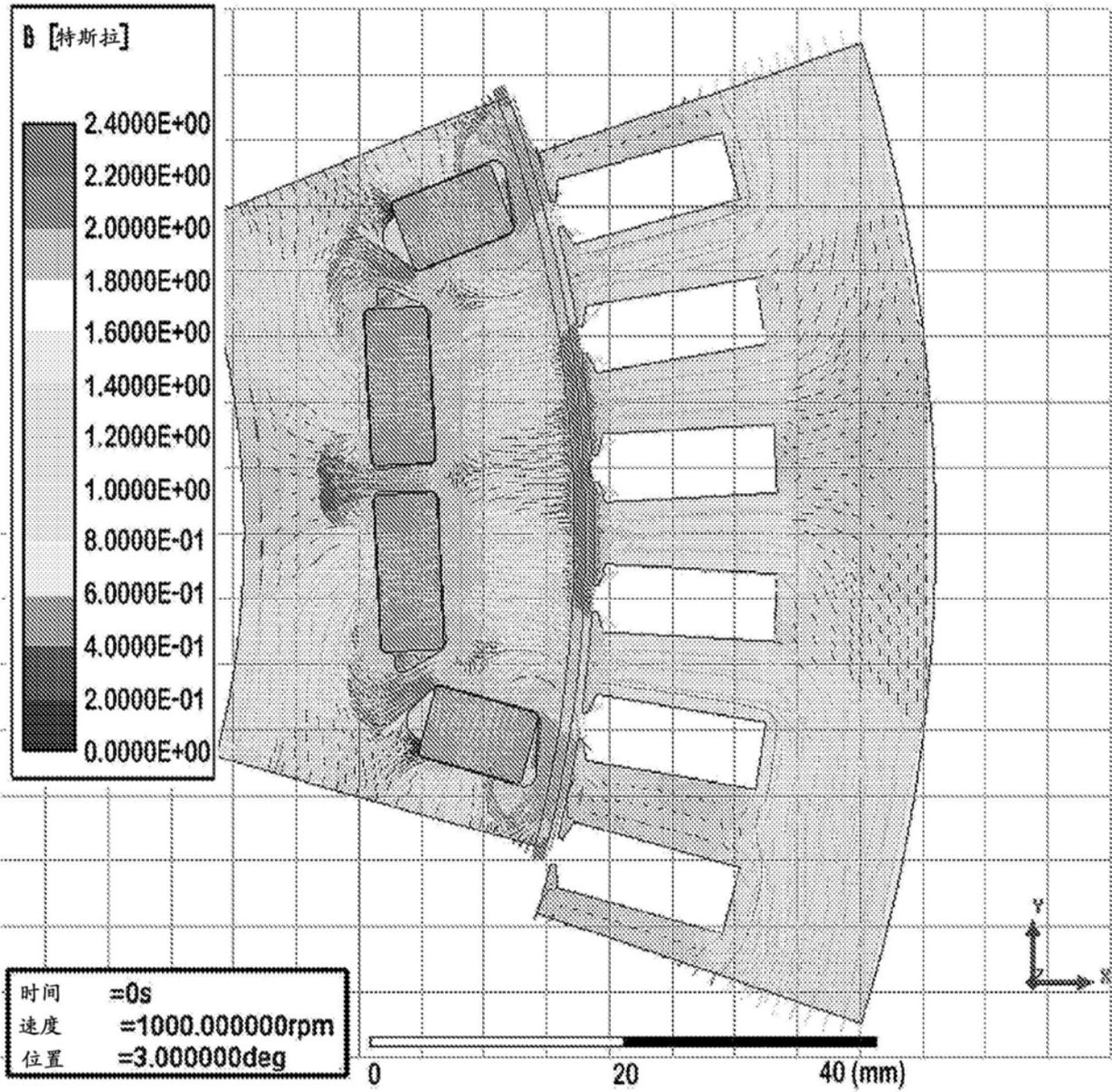


图4

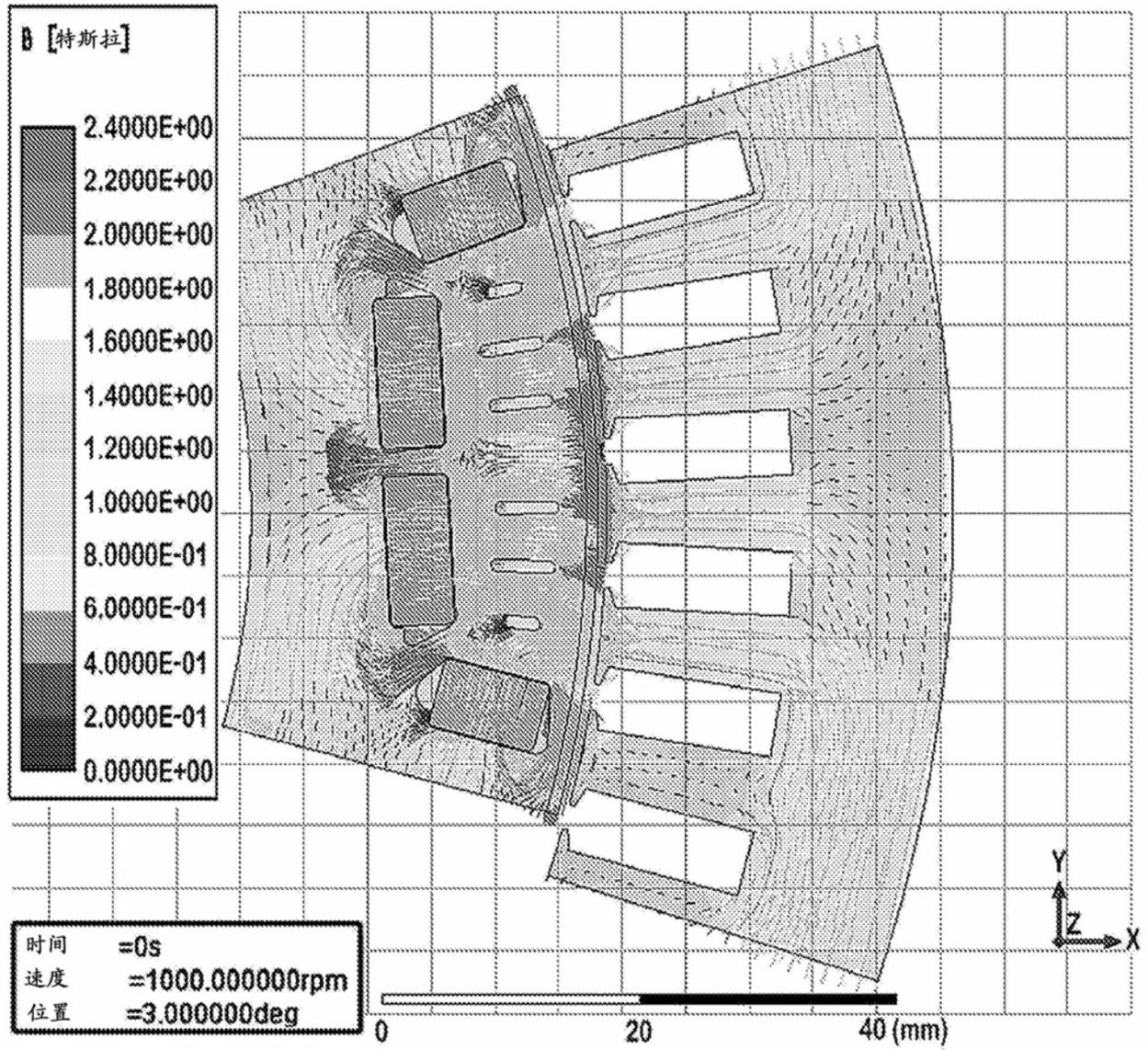


图5

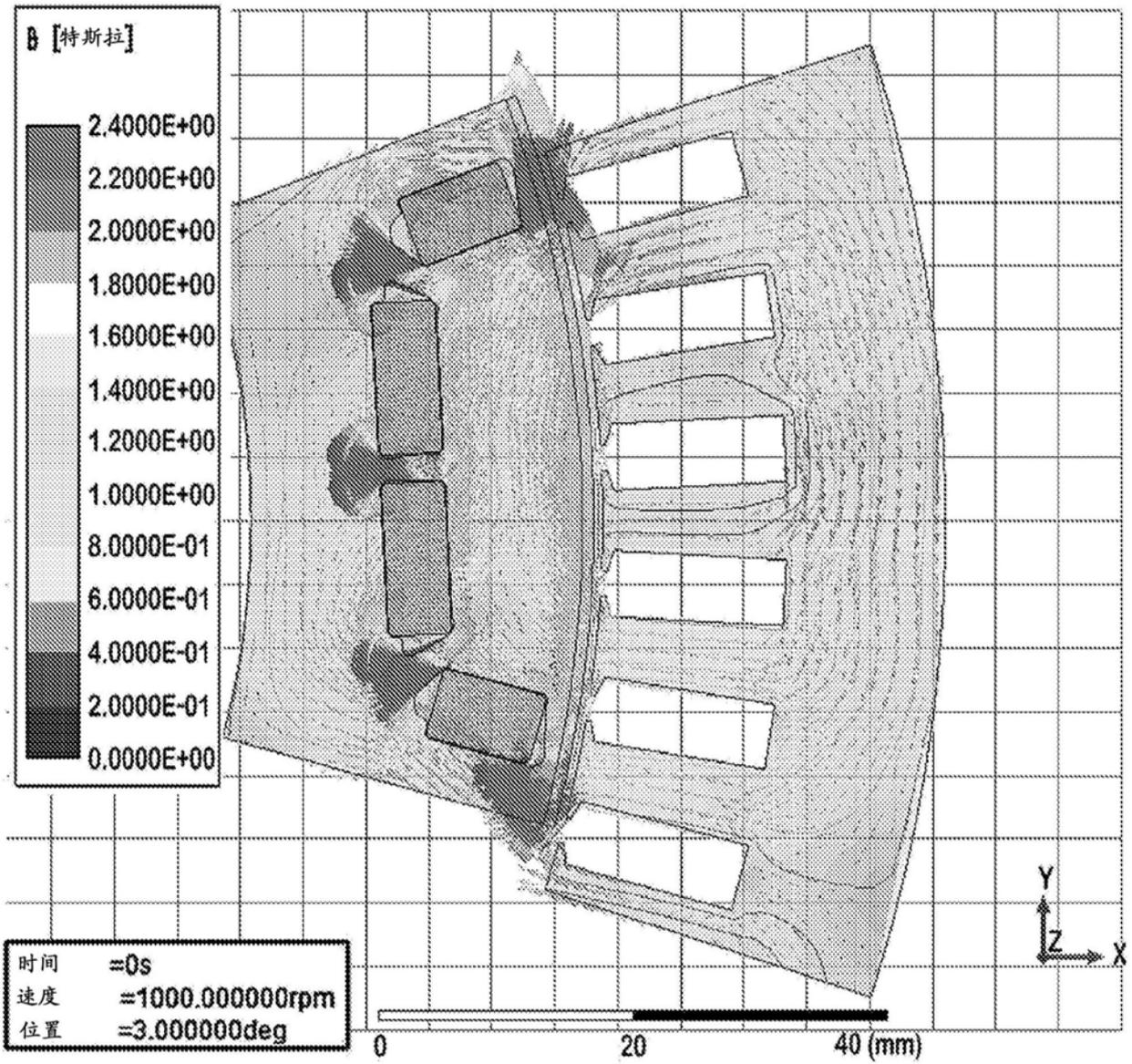


图6

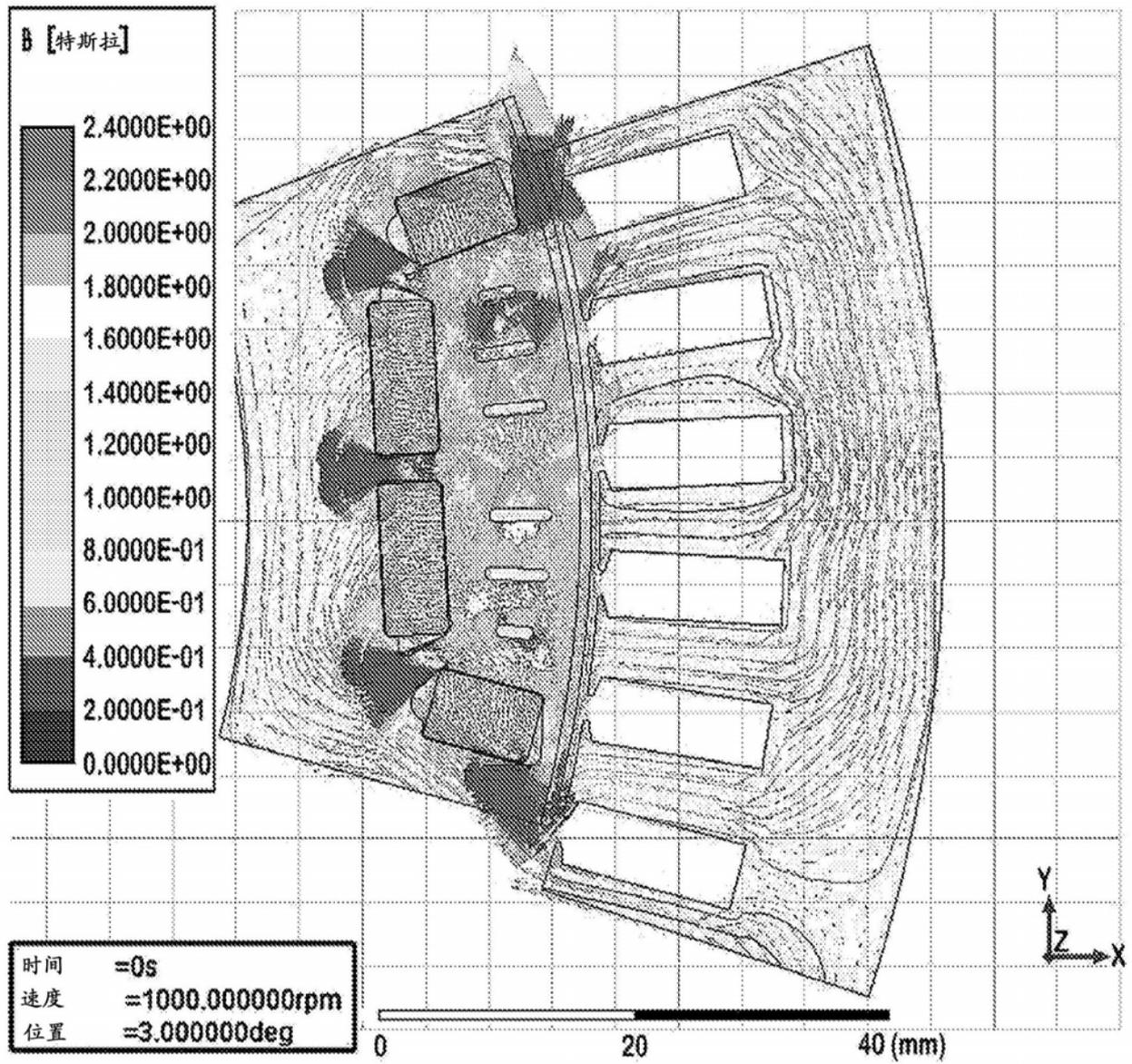


图7

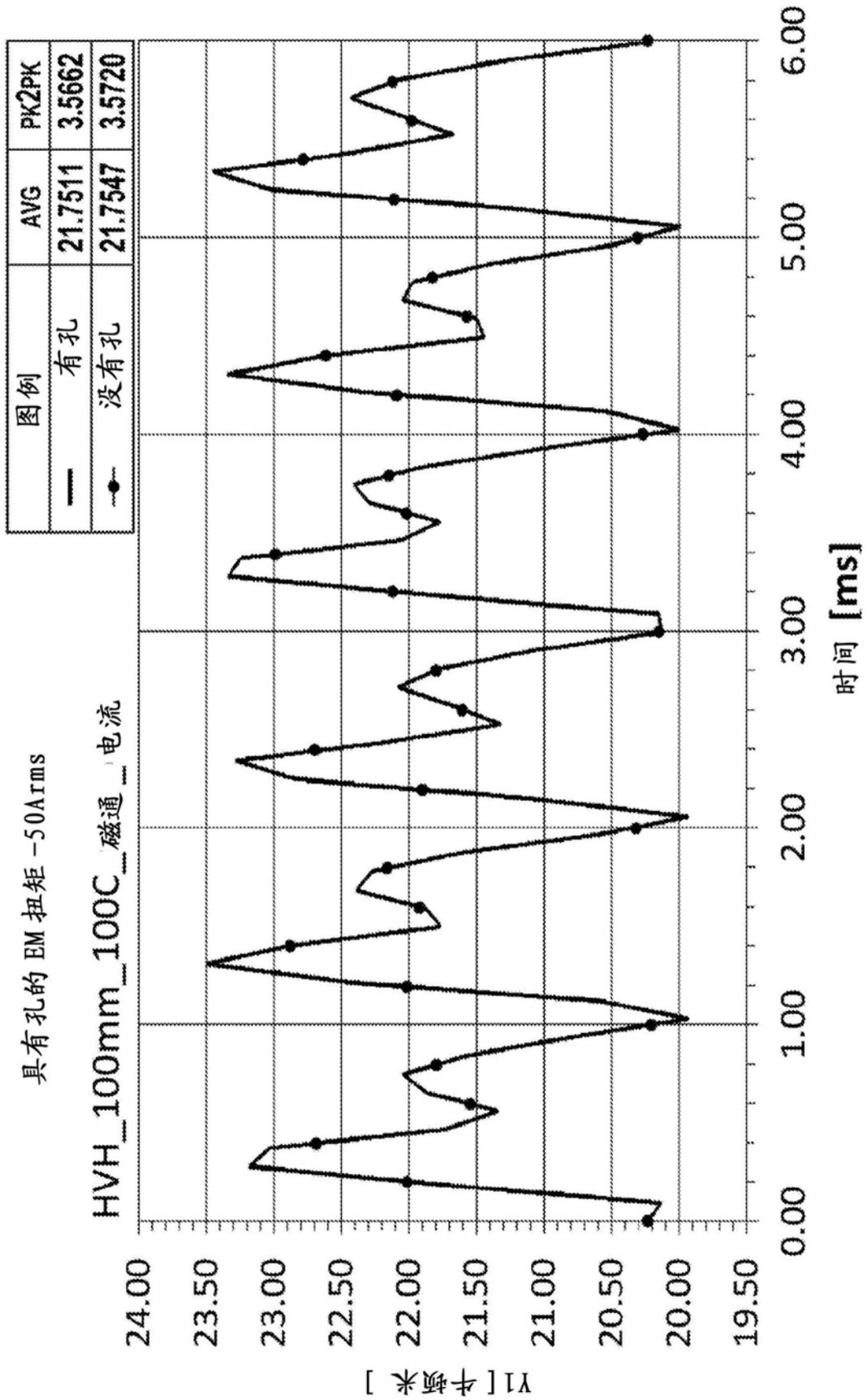


图8

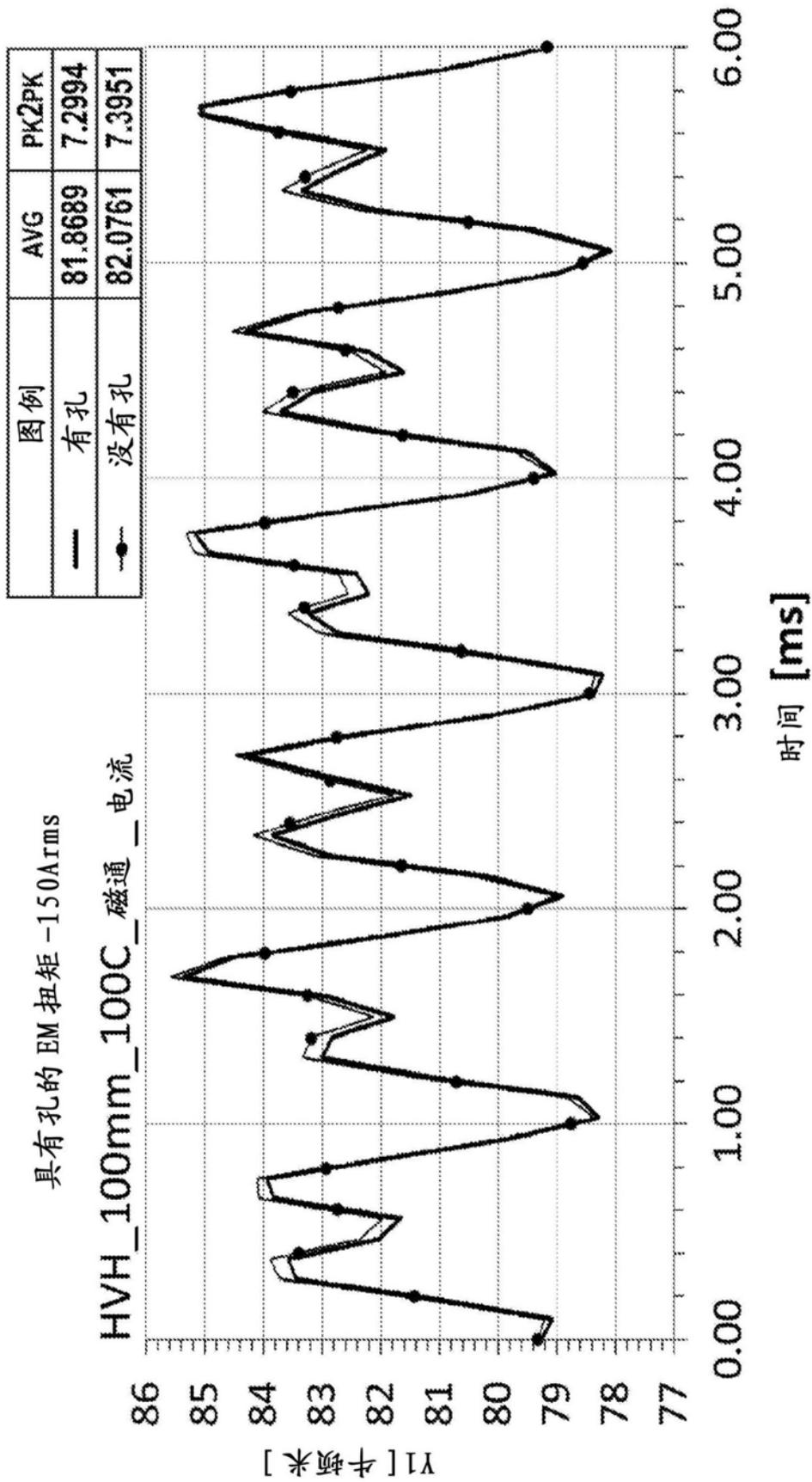


图9

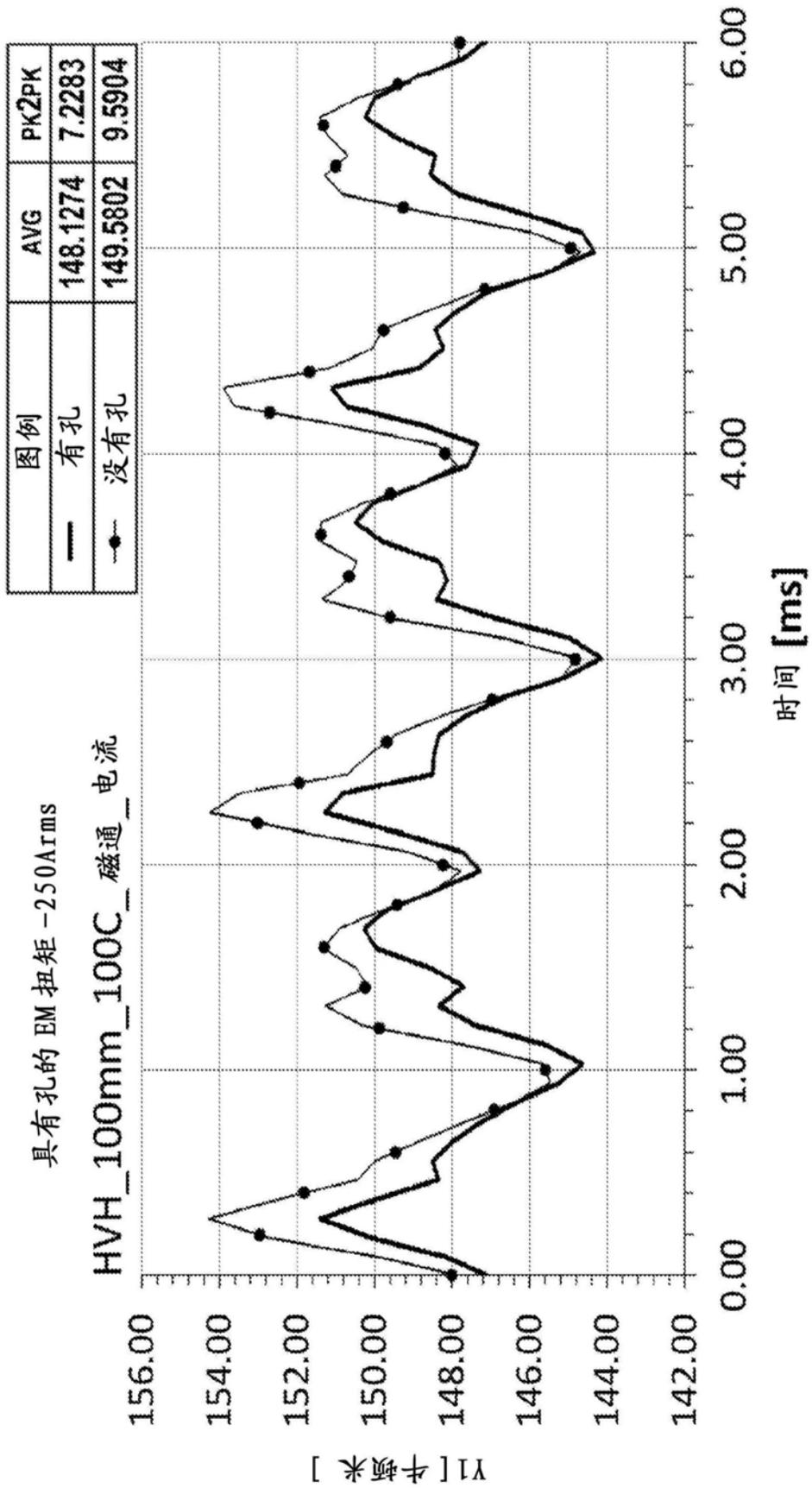


图10

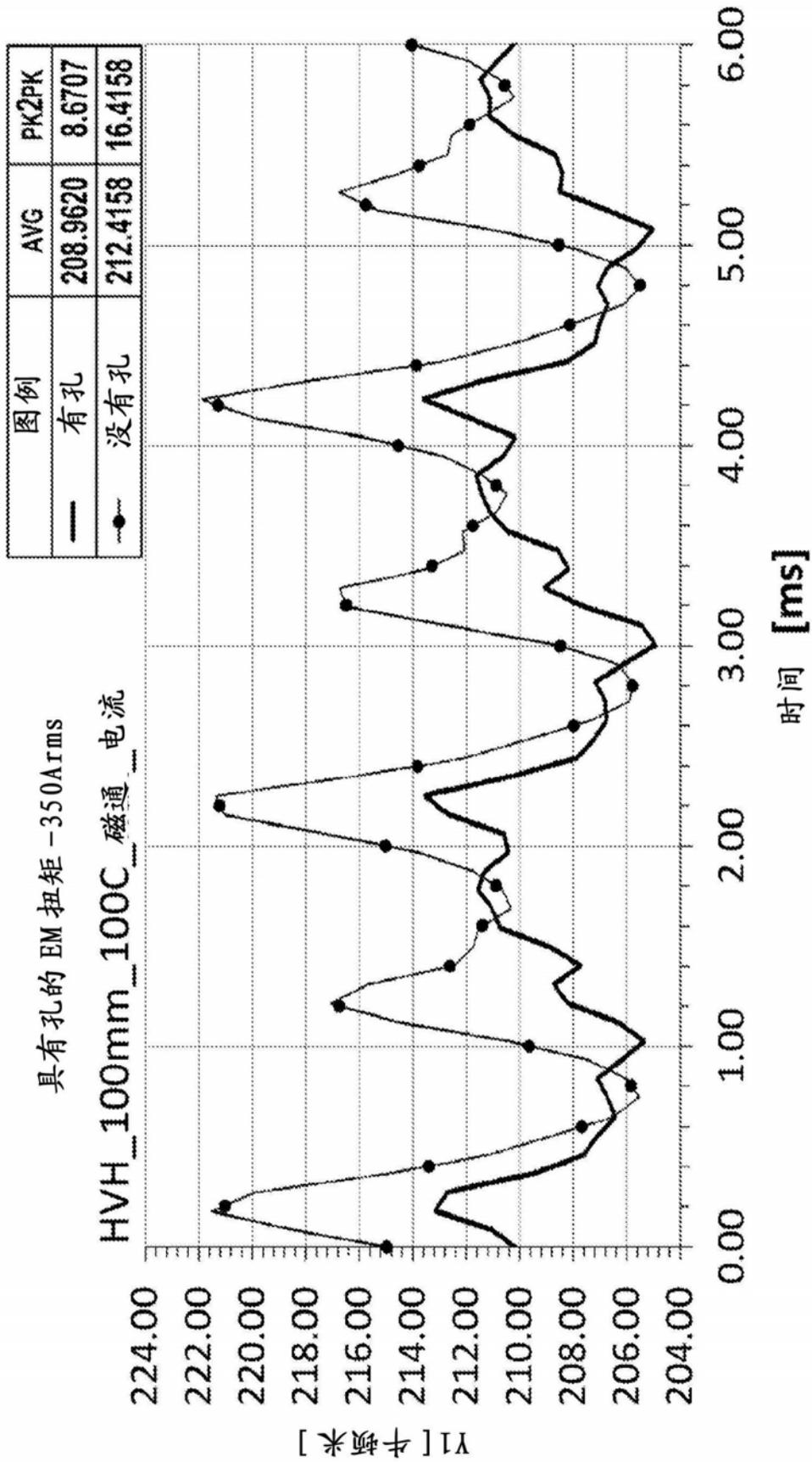


图11

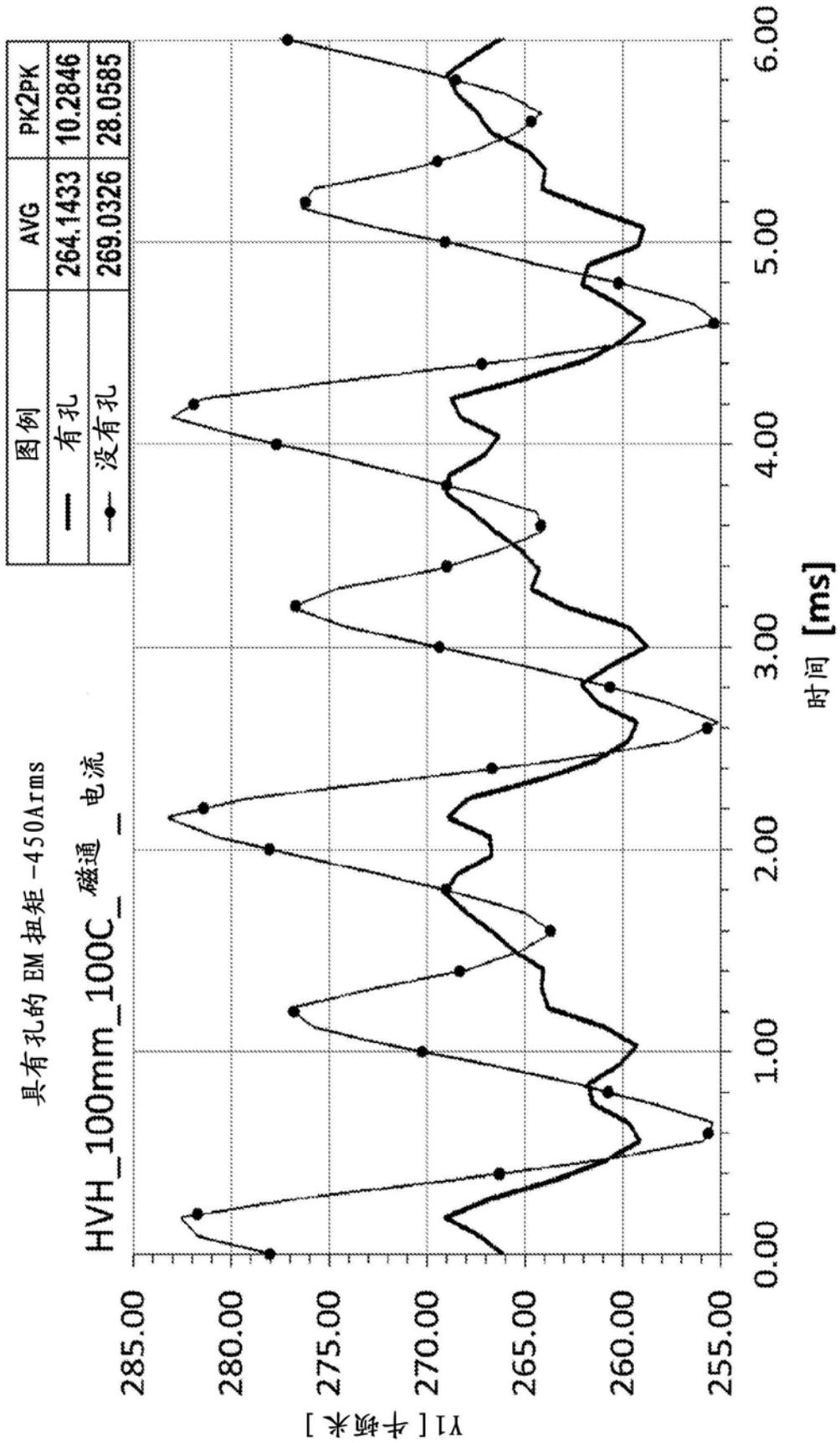


图12