



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107408785 B

(45)授权公告日 2020.03.03

(21)申请号 201480083581.8

(22)申请日 2014.10.17

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107408785 A

(43)申请公布日 2017.11.28

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.05.23

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2014/061111 2014.10.17

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/060682 EN 2016.04.21

(73)专利权人 莫戈公司

地址 美国纽约

(72)发明人 N·E·刘易斯 B·K·威瑟斯庞

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 申发振

(51)Int.Cl.

H01R 39/24(2006.01)

H01R 39/38(2006.01)

H01R 39/46(2006.01)

(56)对比文件

US 2014/0045348 A1, 2014.02.13,

CN 101124684 A, 2008.02.13,

CN 101119005 A, 2008.02.06,

CN 201533223 U, 2010.07.21,

CN 101147309 A, 2008.03.19,

CN 201533223 U, 2010.07.21,

US 6903484 B1, 2005.06.07,

JP 昭57-113570 A, 1982.07.15,

审查员 范红静

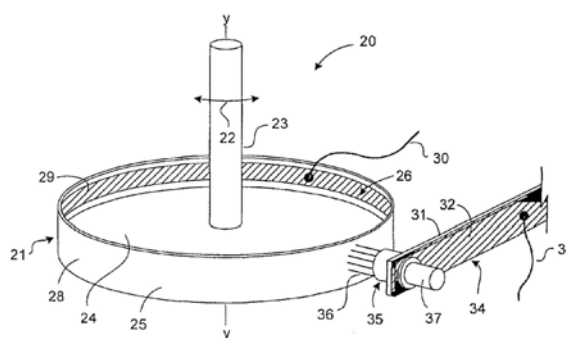
权利要求书3页 说明书19页 附图10页

(54)发明名称

诸如滑环和同极马达/发电机的超导器件

(57)摘要

一种器件(即,滑环或同极马达/发电机)(40、50、80),适于提供在定子和转子(41、83)之间的电接触,并且包括:安装于定子上的且具有两个相对的表面的载流电刷弹簧(31、84);安装于导体上的纤维电刷组件(35、69),该电刷组件具有纤维的束(36、71),该束被布置使得纤维的尖端将与转子接合以在定子和转子之间传输电流;安装于载流电刷弹簧的每个相对的表面上的且与定子和电刷组件通信的超导材料带(33、85);以及安装于转子上的另一个超导材料带(29、86)。该器件被浸没于温度低于超导材料的转变温度的低温流体内,使得器件的电阻率将被降低并且器件的电流传输能力将增大。



用于在电刷和环被浸没在液氮中的情况下进行 FOT 静态接触电阻测量的、具有小的振荡能力的静态装置

1. 一种适于在定子与两个转子环之间提供电接触的器件,包括:

安装于所述定子上的至少两个载流电刷弹簧,每个电刷弹簧具有第一电刷弹簧表面和与所述第一电刷弹簧表面相对的第二电刷弹簧表面;

安装于每个电刷弹簧上的至少一个纤维电刷组件,每个电刷组件具有纤维的束,所述束被布置使得所述纤维的尖端将与关联的转子环接合以在所述定子与所述关联的转子环之间传输电流;

每个电刷弹簧具有安装于所述第一电刷弹簧表面上的第一超导材料带以及安装于所述第二电刷弹簧表面上的第二超导材料带;

每个电刷弹簧的所述第一带和所述第二带使所述定子与被安装于所述电刷弹簧上的关联的电刷组件通信;

每个转子环具有安装于所述转子环的内径上的转子超导材料带;并且

其中所述器件被浸没于温度在所述第一带、所述第二带和所述转子带的超导材料的转变温度以下的低温流体中,使得所述器件的电阻率将被降低至基本为零并且所述器件的电流传输能力将增大。

2. 根据权利要求1所述的器件,其中所述低温流体的介电强度为空气的介电强度的20倍。

3. 根据权利要求1所述的器件,其中所述第一带、所述第二带和所述转子带具有相同的超导材料。

4. 根据权利要求1所述的器件,其中所述低温流体是液氮。

5. 根据权利要求1所述的器件,其中安装于每个电刷弹簧上的所述第一带和第二带被固定于其上。

6. 根据权利要求5所述的器件,其中安装于每个电刷弹簧上的所述第一带和第二带被焊接于其上。

7. 根据权利要求6所述的器件,其中安装于每个电刷弹簧上的所述第一带和第二带被配置和布置为使得当所述器件被冷却到所述低温流体的温度时,由每个电刷弹簧施加于关联的电刷组件上的力不会受到安装于其上的所述第一和第二超导带影响。

8. 根据权利要求7所述的器件,其中安装于每个电刷弹簧上的所述第一带和第二带的尺寸是相同的。

9. 根据权利要求1所述的器件,其中每个电刷组件包括电刷管,并且其中关联的纤维束的一个边缘端部被容纳于所述电刷管内。

10. 根据权利要求9所述的器件,其中每个电刷组件包括准直器管,所述准直器管环绕着关联的电刷管的一部分并且延伸超过所述关联的电刷管的所述部分,使得当所述转子相对于所述定子旋转时,所述准直器管的下端适于限制在关联的电刷管中接收的关联的纤维束中的纤维的下边缘端部的横向移动。

11. 根据权利要求10所述的器件,其中每个准直器管被能够调整地安装于关联的电刷管上。

12. 根据权利要求11所述的器件,其中所述纤维的在每个电刷管下方的中心部分已经被去除,使得延伸到每个电刷管下方的纤维为环形的形式。

13. 根据权利要求1所述的器件,其中所述器件是滑环。

14. 根据权利要求1所述的器件,其中所述器件是同极马达。

15. 根据权利要求1所述的器件,其中所述器件是同极发电机。

16. 根据权利要求1所述的器件,其中所述纤维束中的所述纤维具有0.003英寸的标称直径,并且其中每根纤维的最大电流密度为1769安培/平方英寸。

17. 一种用于在转子环与安装于定子上的电刷组件内的多个金属纤维的尖端之间提供金-金电滑动接触的方法,包括以下步骤:

提供转子;

在所述转子上提供金转子环;

为所述电刷组件提供银/铜金属纤维的束;

将所述电刷组件安装于所述电刷弹簧上,并且将所述电刷弹簧安装于所述定子上,使得所述金属纤维的所述尖端与所述转子环接合;

将所述电刷组件浸没于低温流体中,以使所述电刷组件冷却到其中的超导材料的转变温度以下;以及

使所述转子相对于所述金属纤维的所述尖端移动,使得金从所述转子环转移到所述金属纤维的所述尖端;

由此在所述转子环与所述金属纤维的所述尖端之间提供金-金电滑动接触。

18. 根据权利要求17所述的方法,其中所述转子是鼓型滑环、饼型滑环、盘式电枢类型的同极马达或盘式电枢类型的同极发电机中任意一个的一部分,并且其中所述金转子环被提供于所述转子的外表面上。

19. 根据权利要求17所述的方法,还包括以下步骤:

提供具有相对的表面的载流电刷弹簧;

提供超导材料带;

将所述超导材料带安装于每个所述电刷弹簧的相对的表面上;

将所述电刷弹簧的近端部安装于所述定子上;以及

将所述电刷组件安装于所述电刷弹簧的远边缘端部上,使得所述定子通过所述电刷弹簧以及所述带与所述电刷组件通信。

20. 根据权利要求19所述的方法,包括以下附加步骤:

提供另一个超导材料带;以及

将这另一个超导材料带安装于所述转子环的内径上。

21. 根据权利要求17所述的方法,其中所述使所述转子环相对于所述金属纤维的所述尖端移动的步骤包括使所述转子环相对于所述金属纤维的所述尖端旋转的步骤。

22. 根据权利要求17所述的方法,还包括以下附加步骤:

用200克的力将所述金属纤维的所述尖端偏置压向所述转子环。

23. 一种滑环,包括:

具有至少两个金转子环的转子;

定子;

至少两个弹簧组件,每个弹簧组件具有安装于所述定子上的近端部并且具有布置于所述转子环中的关联的一个转子环附近的远端部,每个弹簧组件包括超导材料;以及

安装于每个弹簧组件的远边缘端部上的至少一个电刷组件,每个电刷组件具有电刷支

架并且具有布置成束的多个银/铜金属纤维,所述束的一个边缘端部被布置于关联的电刷支架内,所述束的相对的端部终止于与该关联的转子环接合的多个纤维尖端;

其中所述滑环被浸没于低温流体中,使得所述超导材料的温度下降到其转变温度以下;并且

其中所述金属纤维的所述纤维尖端用金覆盖;

由此所述滑环将在所述金属纤维的所述纤维尖端与所述转子环之间具有金-金滑动接触。

24. 一种同极马达,包括:

具有至少一个金转子环的转子;

定子;

至少一个弹簧组件,每个弹簧组件具有其安装于所述定子上的近端部并且具有其布置于关联的转子环附近的远端部,每个弹簧组件包括超导材料;

安装于每个弹簧组件的远边缘端部上的至少一个电刷组件,每个所述电刷组件具有电刷支架并且具有布置成束的多个银/铜金属纤维,所述束的一个边缘端部被布置于关联的电刷支架内,所述束的相对的端部终止于与所述关联的转子环接合的多个纤维尖端内;

其中所述同极马达被浸没于低温流体中,使得所述超导材料的温度下降到其转变温度以下;并且

其中所述银/铜金属纤维的所述纤维尖端用金覆盖;

由此所述同极马达将在所述金属纤维的所述纤维尖端与所述转子环之间具有金-金滑动接触。

25. 一种同极发电机,包括:

具有至少一个金转子环的转子;

定子;

至少一个弹簧组件,每个弹簧组件具有其安装于所述定子上的近端部并且具有其布置于关联的转子环附近的远端部,每个弹簧组件包括超导材料;

安装于每个弹簧组件的远边缘端部上的至少一个电刷组件,每个所述电刷组件具有电刷支架并且具有布置成束的多个银/铜金属纤维,所述束的一个边缘端部被布置于关联的电刷支架内,所述束的相对的端部终止于与所述关联的转子环接合的多个纤维尖端内;

其中所述同极发电机被浸没于低温流体中,使得所述超导材料的温度下降到其转变温度以下;并且

其中所述银/铜金属纤维的所述纤维尖端用金覆盖;

由此所述同极发电机将在所述金属纤维的所述纤维尖端与所述转子环之间具有金-金滑动接触。

诸如滑环和同极马达/发电机的超导器件

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及用于在两个部件(例如,转子和定子)之间传输电力和/或信号的滑环、单极马达/发电机等的电接触,并且更具体地,涉及使用尖端上纤维(fiber-on-tips) (“FOT”)电刷(brush)技术且具有超导材料带的改进的器件,所述超导材料带被冷却到其转变温度以下时其电阻率降低,并且在这样被冷却时可以在部件之间传输的电流水平大大提高。

背景技术

[0002] 电接触被用来在转子和定子之间传输电力和/或信号。这些器件被用于许多不同的军事和商业应用中,诸如太阳能阵列驱动机构、飞行器和导弹制导平台、风能系统、计算机断层摄影(“CT扫描”)系统等。在一些应用中,结合其它构件来使用滑环,其它构件诸如扭矩马达、旋转变压器(resolver)和编码器。电滑环必须被设计为位于平台旋转轴上,或者被设计为具有使电接触位于轴外的开孔。因此,这些设计分别为“轴上”和“轴外”滑环。

[0003] 滑环的直径的范围为几分之一英寸到若干英尺,并且转子和定子之间的相对角速度(ω)可以在小到每天1转至大到每分钟20,000转(“rpm”)的范围内变化。在这些各种应用中,转子和定子之间的电接触应当:(1)能够以高的相对的表面速度无中断地传输电力和/或信号,(2)具有长的磨损寿命,(3)具有低的电噪声,并且(4)具有允许以最小的体积来封装多个电路的物理尺寸。

[0004] 对在安装于定子的电刷组件与转子之间的电接触和机械接触的物理性质的适当管理允许满足苛刻的要求。例如,如果应用为允许在CT扫描门架(gantry)内的X射线管围绕患者的身体旋转的轴外滑环,则电接触必须被设计为承载大约100-200安培的电流(浪涌可能为数百安培),以量级为15米/秒(“m/sec”)的表面速度工作,持续1亿转,并且在门架内占用最小的体积。对于直径大约6英尺[1.8288米(“m”)]的器件,为了满足1亿转的要求,电刷力(即,迫使电刷尖端紧靠转子的力)必须是低的,以使摩擦生热最小化,但是在电刷与转子环之间仍维持大量的接触点,以获得所需的电流密度。

[0005] US 7,105,983 B2、US 7,339,302 B2、US 7,423,359 B2、US 7,495,366 B2、US 7,545,073 B2和US 2014/0045348 A1 (PCT/US2012/00137,2012年3月13日提交)代表性地示出并描述了采用FOT电刷组件的现有技术的滑环的各种布置和配置。这些现有技术的参考文献已转让给本申请的受让人,并且因此通过引用并入本文。

[0006] 近年来,对纤维金属电刷的使用再次引起关注。金属纤维电刷具有以下能力:处理更高的电流密度,具有更低的电噪声,并且在以更高的表面速度运行的同时具有更长的寿命。与现有技术的复合材料电刷相比,这些参数中的每个都涉及电刷与转子环之间的更多接触点,涉及更小的每纤维的力,以及涉及更少的摩擦生热。纤维尖端与转子环之间的实际接触区域被称为“界面”接触区域。众所周知,复合电刷的面与转子之间的实际接触区域比其投影的几何区域的轮廓小得多。因此,这是将电刷细分成在某些情况下为个体小直径纤维的元件的原因。例如,对于典型的军事和工业应用,FOT接触能够承载量级为2000-3000安

培/平方英寸 (amps/sq.-in) 的电流密度,然而对于这些应用,复合材料电刷被限定于承载大约200-600安培/平方英寸的电流密度。FOT电刷可以被设计为通过增加束(bundle)的直径并从而增加束中的纤维的数量来满足更高的电流密度。

[0007] 另外,已经证明,被设计为去除了最中心的纤维的电刷束将产生较少的摩擦热量。下面的表1包含来自上述的US 2014/0045348A1中的表2的数据,并且还示出了改进的FOT电刷(即,去除了最中心的纤维)相对于现有技术的FOT电刷(即,未去除最中心的纤维)的改进。该表示出,改进的FOT电刷的摩擦生热为现有技术的电刷的摩擦生热的1/86~1/82。当将摩擦测试与电测试结合时,该因子与电流的平方成比例地减小。可以通过增加束中的纤维的数量来进一步提高22x和6.1x的改进因子。除此以外,电刷的数量可以被设计为满足高电流的要求。

[0008] 表1

[0009] 摩擦测试和电测试结果

[0010] 摩擦生热

	改进的 FOT 电刷	现有技术的 FOT 电刷	改进因子
	小转子	大转子	
电流 (安培)	0	0	
表面速度 (m/s)	8	8	
$\Delta T (^{\circ}C)$	$32.9 - 30.8 =$ 2.1	$28.3 - 22.4 =$ 5.9	
摩擦生热 (cal.)	$2.1^{\circ}C \times 3.3$ $cal/^{\circ}C = 6.93$	$5.9^{\circ}C \times 101$ $cal/^{\circ}C = 596$	$596/6.93 =$ 86.0x

	小转子	大转子	
电流 (安培)	0	0	
表面速度 (m/s)	14	14	
$\Delta T (^{\circ}C)$	$34.2 - 30.8 =$ 3.4	$31.5 - 22.4 =$ 9.1	
摩擦生热 (cal.)	$3.4^{\circ}C \times 3.3$ $cal/^{\circ}C = 11.22$	$9.1^{\circ}C \times 101$ $cal/^{\circ}C = 919$	$919/11.2 =$ 81.9x

[0013] 摩擦生热和电生热

[0014]		改进的 FOT 电刷	现有技术的 FOT 电刷	改进因子
		小转子	大转子	
	电流 (安培)	10	10	
	表面速度 (m/s)	8	8	
	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$	$35.4 - 32.9 = 2.5$	$30.1 - 28.3 = 1.8$	
	电生热 (cal.)	$2.5^{\circ}\text{C} \times 3.3$	$1.8^{\circ}\text{C} \times 101$	$181.8/8.25 =$
[0015]		cal/ $^{\circ}\text{C} = 8.25$	cal/ $^{\circ}\text{C} = 181.8$	22x
[0016]		小转子	大转子	
	电流 (安培)	20	20	
	表面速度 (m/s)	14	14	
	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$	$44.3 - 34.2 = 10.1$	$33.5 - 31.5 = 2$	
	电生热 (cal.)	$10.1^{\circ}\text{C} \times 3.3$ cal/ $^{\circ}\text{C} = 33.33$	$2^{\circ}\text{C} \times 101$ cal/ $^{\circ}\text{C} = 202$	$202/33.33 = 6.1x$

[0017] 据文章 (Lewis, Norris E., Reed, Charles W., Witherspoon, Barry K.; "Lubrication Quantity: Observation of the Effects on Gold Sliding Contact Wear Character and In Situ Contamination Formation"; IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, Vol. CHMT-2, No. 1., March 1979.) 报告:

[0018] “已经观察到, 对于某些滑环组件, 通过改变润滑剂的量来改变磨损特性。这些观察是对在严格控制的实验室条件下测试的金合金滑动接触以及对现场安装获得的相似接触进行的。对于薄膜边界润滑, 磨损过程遵循 Antler 提出的粘着 (adhesive) 模式和研磨 (abrasive) 模式。然而, 对于浸没边界润滑, 磨损过程看起来会保持于粘着模式, 只要浸没状态存在。

[0019] ***

[0020] 所做的观察如下:

[0021] 1) 不依赖于所使用的润滑剂, 用薄膜润滑的滑动金接触生成了细分的、呈现为黑色的磨损颗粒。……

[0022] 2) 不依赖于所使用的润滑剂, 用润滑剂浸没滑动接触, 使电刷和环的接触区被淹没, 与薄膜润滑的接触相比, 该滑动接触会生成大得多的磨损颗粒, 这些磨损颗粒呈现为金。……

[0023] 3) 与用薄膜润滑的滑动接触相比, 已经用润滑剂浸没的滑动接触不太容易在接触区内形成产生电噪声的沾污膜 (contaminant film)。当接触组件暴露于多化学环境时尤其如此。”

[0024] 当润滑剂液面 (levels) 升高使得接触界面被淹没时, 磨损模式从研磨变为粘着。研究已表明, 当粘着磨损发生时, 转子材料将会从转子 (环) 转移到定子 (电刷)。随着滑动继

续进行,环的材料变为加工硬化的,并且接触件的寿命增加。当银/铜(“Ag/Cu”)FOT电刷在被浸没于液氮中的情况下运转于电沉积的金转子环上时,金从转子环转移到纤维尖端,并从而导致惰性更高的金-金接触界面。(见图1A-1D和图4A-4D中的SEM/EDAX结果)

[0025] 除此以外,与使用金合金纤维相比,使用具有转移的金尖端的银/铜合金纤维可显著降低成本。如下面的表2所示,使用图7所示的具有16个电刷的饼型滑环作为成本比较实例,比较金合金纤维与具有转移的金尖端的银/铜纤维,对于基于纤维/电刷为4000的16个电刷,差异为\$2,521.60(即,\$2,560.00-\$38.40=\$2,521.60)。

[0026] 表2

对于图 7 所示的具有 16 个电刷的饼型滑环, 金合金纤维与具有转移的金尖端的银/铜 (Ag/Cu) 合金的成本比较				
纤维数/电刷	金合金		具有金尖端的 Ag/Cu	
	每个电刷的成本	16 个电刷的成本	每个电刷的成本	16 个电刷的成本
1200	\$48.00	\$768.00	\$0.72	\$11.52
2000	\$80.00	\$1,280.00	\$1.20	\$19.20
4000	\$160.00	\$2,560.00	\$2.40	\$38.40

[0028] 据另一篇文章 (Reichner,P.和Doshi,V.B.;“A Homopolar Motor for the Demonstration of New High Current Brushes”;Advances in Current Collection: Ed.I.R.McNab.New York:Elsevier/North-Holland Inc.;(1982),pp.69-71) 报告:

[0029] “在适当的条件下,可以在滑动的电接触之间传输极高的电流。这在利用固态纤维电刷以及液态金属电流收集系统进行的最近的研究试验中已经得到证明。这项研究的最终目标是研发出具有高功率密度和高效率的实用电机。液态金属电流传输系统具有对滑环的基本100%面积覆盖的优势,但是它们引入了液体容纳的问题,尤其是对于惯性约束技术无法被应用于整个完整的运行速度范围上的马达。常用的液态金属还具有化学稳定性和相容性、更严格的绝缘要求以及甚至安全隐患的问题。利用固态纤维电刷的最近的试验结果使有良好的电刷寿命的高效集电器(collector)操作成为可能。

[0030] 在低电压高电流的机器(诸如同极(或单极)马达或发电机)中,在常规电流密度情况下,电流集电器是机器尺寸、重量和电力损耗方面的主要因素。这见于螺旋槽形集电器的相对尺寸以及早期机器的有效长度。……在此,有效长度小于转子长度的10%。

[0031] 将试验性的高电流电刷概念转化成实用的机器应用需要考虑和控制多个因素,主要是与温度和气氛相关联的因素。例如,增加的滑环覆盖率的三个潜在影响如下:

[0032] (1) 存在功耗集中,这将会导致温度过高,除非采用适当的冷却技术。

[0033] (2) 缩短跟踪表面到周围气氛的进入时间可能影响采用吸收或化学吸附表面层的形式的润滑膜的有效性并且可能导致较高的摩擦和磨损。

[0034] (3) 增大的磨损碎片浓度以及减小的去除面积可能会干扰电刷接触的亲密度

(intimacy) 并且可能干扰电刷运动的自由度。

[0035] 另外,当电刷电流密度大大增加时,电刷与定子导体之间的分流引线的截面积必须增大。也可以增加分流线(shunt)的长度以维持灵活性。分流线和电刷支架在电流采集系统设计中成为主要因素。在一些应用(诸如车辆驱动)中还必须考虑惯性效应。”

[0036] 如下面的表3中总结的,以上所列的滑环与同极马达的电接触问题可以通过应用浸没于液氮中的超导带和FOT电刷来消除。

[0037] 表3

问题	解决方案	
	液氮	超导带
功耗	✓	✓
[0038] 润滑膜的有效性	✓	
磨损碎片	✓	
分流引线的截面积	✓	✓
高的机器功率密度	✓	✓

[0039] 人们一直在努力开发超导同极马达。这在船舶推进系统中将是特别有利的。一个来源[Patel,Makund R.;Shipboard Propulsion,Power Electronics,and Ocean Energy;CRC Press,Boca Raton,Florida(2012)(在pp.219-220)]已经认识到与常规的铜马达相比通过使用同极马达来减小重量和体积的可能性。例如,具有以150rpm旋转的转轴的21兆瓦、4千伏铜马达将会重达约183吨(即,1公吨=1000千克或2204.6磅),然而,具有以大约120rpm旋转的转轴的36.5兆瓦、6.6千伏高温超导马达的重量将会小于75吨。在同极机器中不需要换向器。因为同极马达只使用直流电流,所以它允许马达驱动与其它马达驱动相比较不复杂且较不昂贵。然而,具有数十兆瓦的额定值的高功率同极马达必须承载巨大的电流。这在电流采集、电刷侵蚀及产生火花方面构成了设计挑战。虽然与永磁体马达相比,超导同极马达可以更加功率密集,运行更加安静且更加能量高效,但是该文章指出,对同极马达所需的数十兆瓦的大电流的成功采集还有待论证。[Accord,Superczynski,Jr.,Michael J.;“Homopolar Motor with High Temperature Superconductor Field Windings”;IEEE Transactions on Applied Superconductivity,Vol.7,No.2(June 1997).]

[0040] 另一个来源[Kalsi,Swann Singh;“Applications of High Temperature Superconductor to Electric Power Equipment”;IEEE,John Wiley&Sons,Inc.,Hoboken,New Jersey(2011)(在p.135)]回顾了超导同极马达的发展,并且得出了电刷是DC同极机器发展的最大挑战的结论。该文章阐明,已发现由于固态碳电刷和金属石墨电刷的低电流密度能力和过度磨损,它们不适宜。据报告,也尝试过液态金属电刷,但是由于材料和寿命的限制而认为其不合适。该文章报告称,正在考虑在润湿的二氧化碳(“CO₂”)环境中工作的铜纤维电刷,并且其似乎在载流能力与长期磨损之间提供了折中:

[0041] “电刷对于DC同极机器是最大的挑战。电刷位于马达的固定部分(定子)内并且提供了到正常导电的、液体冷却的转子的电连接。已经发现由于固态碳电刷或金属石墨电刷

的低电流密度能力和过度磨损,其不适宜。石墨纤维电刷用于早期的超导同极马达中取得了一定的成功。也开发了液态金属电刷,并且在20世纪80年代将其应用于同极机器,但是由于材料和寿命的限制,其不适用于许多应用。当前,正在考虑在润湿的CO₂环境中工作的铜纤维电刷,并且这在载流能力与长期磨损之间提供了折中。预计这样的电刷将会提供5年的工作寿命。对于典型的操作规范,这等于 6.5×10^7 米/年的马达滑环行程。重大的挑战在于控制电刷损耗从而限制它们的最大工作温度。由于该原因,用于转子和定子的电刷装载和液体冷却的复杂装置是必要的。”

[0042] 下面的表4包含取自上述的US 2014/0045348 A1的表3的磨损数据,其中针对成功测试过的改进的FOT电刷(即,去除了最中心的纤维)汇集了这些磨损数据,该测试分别针对具有悬臂弹簧和反旋弹簧(negator spring)的滑环的 4.22×10^9 和 5.5×10^9 英寸的行程。得出的结论是,基于电刷的状况,测试结果可以对于另一个50-100亿英寸的滑环行程进行预测。在环境温度处利用非常薄的润滑剂的膜来进行这些测试。可以预期,当浸没于液氮中运行时,将会获得等同的或更好的寿命。电刷的自由长度在测试开始时为0.4英寸。基于该测试的结果,上文所提到的 6.5×10^7 米/年(2.56×10^9 英寸/年)的要求应当被超出2倍。

[0043] 表4

小直径转子磨损研究		
	悬臂弹簧	反旋弹簧
[0044] 总行程(英寸)	4.22×10^9	5.5×10^9
总磨损(英寸)	0.025	0.010
无量纲磨损率(英寸/英寸)	5.92×10^{-12}	1.82×10^{-12}

[0045] 在表5中总结了改进的FOT电刷(即,去除了最中心的纤维)的优点。

[0046] 表5

[0047]

改进的 FOT 电刷的优点	
1	可以改变束中的纤维的数量以满足电力要求。
2	可以从电刷去除中心以带来更高的顺应性、更少的摩擦生热以及更长的磨损寿命。(见表 4)
3	可以调整准直器以改变纤维的自由长度,从而有利于长的磨损寿命。
4	FOT 电刷和管可以被设计为具有可调整的准直器,该准直器将会限制电刷纤维响应于 B 场的变形。
5	FOT 电刷横截面是圆形的,因此来自所有方向的 B 场力都是相同的,从而优于高纵横比的电刷。
6	金 (“Au”) 从环到银/铜 (“Ag/Cu”) 纤维的转移产生了惰性更高的接触界面和更低的接触电阻,这降低了液氮的消耗。(见图 1A-1D 和图 4A-4D)
7	随着转移继续进行,接触界面加工硬化,从而导致更长的接触寿命。
8	当位于电刷弹簧两侧的超导带被冷却到液氮温度时其

[0048]

	使弹簧的偏转稳定。
9	图 5 所示的那种典型滑环证明了在液氮温度处用改进的 FOT 电刷 (1200 根纤维) 承载 21,230 安培/平方英寸的电流密度的能力。(见图 6)
10	阳极效应 <ul style="list-style-type: none"> 当直流电力正通过滑动接触传输时,正极电刷的磨损可能是负极电刷和中性电刷的 10 倍。 液氮的介电强度是空气的介电强度的大约 20 倍,因而应当会减小阳极和阴极之间的磨损率的差异。

[0049] 在许多情况下,如以上所提到的并且示于下面的表6中的超导体已经被使用。[来源:Sheahen, Thomas P.; Introduction to High-Temperature Superconductivity; Plenum Press, New York; (1994), Chapter 1, p.4]:

[0050] “存在几种基于氧化铜的陶瓷,其在100K附近保持为超导。例如,已发现化合物钇

钇铜氧化物 (YBCO) 在高达92K处是超导。这可能不像是多数人所理解的“高温”，但是对于计算制冷剂的成本的工程师，它是足够高的：液氮足以使YBCO冷却到其超导范围内。”

[0051] 超导性是特定的材料在被冷却到其相应的转变温度以下时所展现出现象。在这些转变温度以下，超导材料展现出了基本为零的电阻。在这方面的早期努力受到使各种材料转变为超导状态所需的温度的限制。例如，氦气在大约4.2°K时变为液态，氖气在大约28°K时变为液态，氮气在大约77°K时变为液态，而氧气在大约90°K时变为液态。然而，氧气是可燃的。与使氦气和氖气液化相比，使氮气液化更为容易且成本低的多。同时，具有更高转变温度的较新的材料已经被开发出来，它们在转变温度以下变为超导。这些被称为高温超导 (“HTSC”) 材料。在表6中给出了这样的HTSC材料的实例。

[0052] 表6

HTSC 材料		
名称	分子式	转变温度 (°K)
钇钡铜氧化物	$Y_1Ba_2Cu_3O_7$	92
铋锶钙铜氧化物 (2223 相)	$(Bi,Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$	105
铊钡钙铜氧化物 (1223 相)	$Tl_1Ba_2Ca_2Cu_3O_y$	115
汞钡钙铜氧化物 (1223 相)	$Hg_1Ba_2Ca_2Cu_3O_y$	135

[0054] 因此，非常期望的是，提供用于在转子和定子之间传输电力和/或信号的改进的电接触。

[0055] 同样非常期望的是，提供用于滑环以及同极马达和发电机的改进的纤维电刷组件。

[0056] 同样非常期望的是，提供采用与超导带结合的FOT电刷技术的滑环和同极马达/发电机，其中所述超导带在战略上位于FOT电刷弹簧上，位于转子环的内径上，以及位于同极马达的盘式电枢上，从而在其被冷却到超导材料的转变温度以下时显著增加电刷弹簧与环结合的载流能力。超导带位于环 (滑环) 的内径上和盘式电枢 (同极马达) 上，使得FOT电刷不会磨穿带上的铜层。在这种情况下，用于使电刷和环的结合温度下降至77°K的液氮还将作为接触界面的润滑剂。

[0057] 根据前述及后面的说明书、附图及所附的权利要求，这些及其它目的和优点将变得明显。

发明内容

[0058] 通过对所公开实施例的相应部件、部分或表面的附加标注，仅出于说明而非限制的目的，本发明提供了适于提供定子与转子之间的电接触的改进器件。

[0059] 在一个方面，改进的器件 (40) 适于提供定子与两个转子环 (41A、41B、...) 之间的电接触，并且宽泛地包括：安装于定子上的至少两个载流电刷弹簧 (34、34)，每个电刷弹簧具有两个相对的表面；安装于每个电刷弹簧上的至少一个纤维电刷组件 (35)，每个电刷组件具有纤维的束 (36)，该束 (36) 被布置使得纤维的尖端将接合关联的转子环，用于在定子与该关联的转子环之间传输电流；超导材料带 (32、33)，其安装于每个电刷弹簧的相对的表

面上,并且使定子与安装于关联的电刷弹簧上的每个电刷组件通信;安装于转子环的内径上的另一个超导材料带(29);并且其中器件被浸没于温度低于超导材料的转变温度的低温流体内,使得器件的电阻率将被降低至基本为零并且器件的电流传输能力将会提高。

[0060] 低温流体的介电强度可以是空气的介电强度的大约20倍。

[0061] 超导材料(29、32、33)可以是相同的。

[0062] 低温流体可以是液氮。

[0063] 安装于每个电刷弹簧上的带被固定于电刷弹簧上,例如通过焊接到电刷弹簧上。

[0064] 安装于每个电刷弹簧(31)上的带(32、33)可以被配置和布置为使得当器件被冷却至低温流体的温度时,由每个电刷弹簧施加于关联的电刷组件上的力不会受安装于其上的超导带影响。

[0065] 安装于每个电刷弹簧上的带(32、33)的尺寸可以相同。

[0066] 每个电刷组件可以包括电刷管(37),并且关联的纤维束的一个边缘端部可以被容纳于电刷管内。

[0067] 器件还可以包括:准直器管,其环绕每个电刷管的一部分并且延伸超过该部分,使得准直器管的下端部适于在转子相对于定子旋转时限制所关联的束中的纤维的下边缘端部的横向移动。

[0068] 每个准直器管可以被可调整地安装于关联的电刷管上。

[0069] 在每个电刷管下方的纤维的中心部分可以被去除,使得延伸至每个电刷管下方的纤维的形式为环形。

[0070] 器件可以是滑环(40)、同极马达(80)、同极发电机(80)或者某些其它类型的器件。

[0071] 束中的纤维具有大约0.003英寸的标称直径,并且每个纤维的最大电流密度可以是大约1769安培/平方英寸。

[0072] 在另一个方面,本发明提供了用于提供转子环(41)与安装于定子上的电刷组件(35)内的多个金属纤维(36)的尖端之间的金-金电滑动接触的改进的方法,包括下列步骤:提供转子(41);在转子上提供金环;提供具有银/铜纤维(36)的束的电刷组件(35);将每个电刷组件安装于定子上,使得金属纤维的尖端与转子环接合;将电刷组件浸没于低温流体中;以及使转子相对于纤维尖端移动以使得金从转子环转移到纤维的尖端;由此提供转子环与纤维的尖端之间的金-金电滑动接触。

[0073] 转子可以是鼓型滑环(例如,参见图5)、饼型滑环(例如,参见图7)、盘式电枢型同极马达或盘式电枢型同极发电机(例如,参见图9)的一部分。转子环可以被提供于转子的外表面上。

[0074] 该方法可以包括以下附加步骤:提供具有相对的表面的载流电刷弹簧(31);提供超导材料带(32、33);将超导材料带安装于电刷弹簧的相对的表面中的每一个上;将电刷弹簧的近端部安装于定子上;以及将每个电刷组件(35)安装于电刷弹簧的远边缘端部上,以使得定子通过电刷弹簧和带与电刷组件通信。

[0075] 该方法还可以包括以下附加步骤:提供另一个超导材料带(29);并且将该另一个带安装于转子环(41)的内径上。

[0076] 低温流体的温度优选为小于该超导材料以及其它超导材料的转变温度。

[0077] 使转子环相对于纤维尖端移动的步骤可以包括使转子环相对于纤维尖端旋转的

步骤。

[0078] 该方法还可以包括以下附加步骤：以大约200克的力将金属纤维的尖端压向转子环。

[0079] 在另一个方面，本发明提供了改进的滑环(40)，其包括：具有至少两个金环的转子(41a、41B、...)；定子；弹簧组件(31、31)，其具有安装于定子上的近端部并且具有布置于所关联的一个转子环附近的远端部，每个弹簧组件包括超导材料(32、32)；安装于每个弹簧组件的远边缘端部上的至少一个电刷组件(35)，每个电刷组件具有电刷支架(37)并且具有布置成束的多个银/铜金属纤维(36)，束的一个边缘端部被布置于所关联的电刷支架内，该束的相对的端部终止于与该关联的转子环接合的多个纤维尖端；其中滑环被浸没于低温流体中，使得超导材料的温度下降到其转变温度以下；并且其中银/铜纤维的尖端用金覆盖；由此滑环将会在纤维的尖端与转子环之间具有金-金滑动接触。

[0080] 在另一个方面，本发明提供了改进的同极马达(80)，其包括：具有至少一个金环(88)的转子(83)；定子；至少一个弹簧组件(82)，每个弹簧组件具有其安装于定子上的近端部并且具有其布置于关联的转子环附近的远端部，每个弹簧组件包括超导材料(85)；安装于每个弹簧组件的远边缘端部上的至少一个电刷组件(69)，每个电刷组件具有电刷支架(72)并且具有布置成束的多个银/铜金属纤维(71)，束的一个边缘端部被布置于所关联的电刷支架内，该束的相对端部终止于与所关联的转子环接合的多个纤维尖端；其中同极马达被浸没于低温流体中，使得超导材料的温度下降到其转变温度以下；并且其中银/铜纤维的尖端用金覆盖；由此同极马达将会在纤维的尖端与转子环之间具有金-金滑动接触。

[0081] 在又一个方面，本发明提供了改进的同极发电机(80)，其包括：具有至少一个金环(88)的转子(83)；定子；至少一个弹簧组件(82)，每个弹簧组件具有其安装于定子上的近端部并且具有其布置于关联的转子环附近的远端部，每个弹簧组件包括超导材料(85)；安装于每个弹簧组件的远边缘端部上的至少一个电刷组件(69)，每个电刷组件具有电刷支架(72)并且具有布置成束的多个银/铜金属纤维(71)，该束的一个边缘端部被布置于所关联的电刷支架内，该束的相对的端部终止于与所关联的转子环接合的多个纤维尖端；其中同极马达被浸没于低温流体中，使得超导材料的温度下降到其转变温度以下；并且其中银/铜纤维的尖端用金覆盖；由此同极发电机将会在纤维的尖端与转子环之间具有金-金滑动接触。

[0082] 因此，本发明的总体目的是提供用于在两个相对可移动部件(诸如转子和定子)之间提供电接触的改进的超导器件。

[0083] 另一个目的是提供改进的超导器件，用作滑环、同极马达、同极发电机等。

[0084] 根据前述及后面的说明书、附图及所附的权利要求，这些及其它优点将变得明显。

附图说明

[0085] 图1A是察看现有技术的纤维电刷的尖端的SEM相片。

[0086] 图1B是在图1A中的标示框内截取的纤维的尖端的EDAX分析，注意到在纤维尖端上除了银和铜之外还有金存在。

[0087] 图1C是图1D所示的纤维的EDAX分析，确定了纤维由Ag/Cu合金制成。

[0088] 图1D是作为材料参照的Ag/Cu纤维的SEM相片。

[0089] 图2是在镀银的转子环上的两个Ag/Cu FOT电刷的静态接触电阻以及在镀金的转子环上的Ag/Cu FOT电刷的静态接触电阻相对于电流的曲线。

[0090] 图3是用于进行FOT静态电阻测量的具有小振幅转子振荡能力的测试装置的示意性等距视图,其中电刷和环被浸没在液氮池(未示出)中。

[0091] 图4A是察看高顺应性(compliance)的Au/Cu FOT电刷的尖端的SEM相片。

[0092] 图4B是截取于图4A中的标示框内的纤维的尖端的EDAX分析,注意到在纤维尖端上除了银和铜之外还有金存在。

[0093] 图4C是图4D所示的纤维的EDAX分析,确定了纤维由Ag/Cu合金制成。

[0094] 图4D是作为材料参照的Ag/Cu纤维的SEM相片。

[0095] 图5是采用本发明的原理的鼓型多沟道超导滑环的示意性等距视图。

[0096] 图6是以30rpm旋转的高顺应性的FOT电刷在被浸没于液氮中时,对于0-180A的电流范围,电压降相对于电流以及接触电阻相对于电流的曲线。

[0097] 图7是采用本发明的原理的饼型多沟道超导滑环的示意性俯视平面图。

[0098] 图8是具有附接于悬臂电刷弹簧和转子的内径的超导带的改进的鼓型滑环的示意图。

[0099] 图9是设置有FOT电刷和超导悬臂弹簧的改进的盘式电枢同极马达/发电机的示意图。

[0100] 图10是具有悬臂电刷弹簧以及为了额外的电流容量而附加的FOT电刷组件的改进的超导鼓型滑环的示意图。

[0101] 图11A是具有反旋弹簧和FOT电刷组件的超导鼓型滑环的示意图。

[0102] 图11B是示出在与金属电刷支架的中心的超导带通信的引线上的超导带的详细视图。

[0103] 图12A是具有反旋弹簧以及安装于悬臂弹簧的远端部上的FOT电刷组件的改进的超导鼓型滑环的示意图。

[0104] 图12B是示出在与金属电刷支架的中心的超导带通信的引线上的超导带的详细视图。

具体实施方式

[0105] 首先,应当清楚地了解到,相似的附图标记旨在一致地标识在所有附图中相同的结构元件、部分或表面,因为这样的元件、部分或表面可以由整个说明书进一步描述或解释,该详细描述是说明书的组成部分。除非另有说明,否则附图应当与说明书一起来阅读(例如,交叉阴影线、各部分的布置、比例、程度等),并且应当被视为本发明的整个说明书的一部分。如同下面的描述所使用的,术语“水平”、“竖直”、“左”、“右”、“上”和“下”,以及它们的形容词和副词(例如,“水平地”、“向右”、“向上”等),简单地指出在特定的附图面向读者时所示结构的取向。相似地,术语“向内”和“向外”一般适当地指表面相对于其延伸轴或旋转轴的取向。

[0106] 在实验性超导滑环中金从转子环到纤维尖端的转移(图1A-1D)

[0107] 现在参照附图,并且更具体地,参照附图中的图1A-1D,这四个附图描绘了图1A所示的现有技术的电刷束的扫描电子显微镜(“SEM”)/能量色散X射线(“EDAX”)分析。

[0108] 束中的个体纤维由银/铜 (“Ag/Cu”) 合金形成。纤维被安装于定子上, 被浸没于液氮中, 并且被布置使得纤维的尖端可滑动地与转子上的金的电沉积层接合。图1A是束中的纤维的远端部的SEM相片, 并且示出了具有圆形FOT配置 (即, 未去除最中心的纤维) 的束。图1B是在图1A中的标示框内截取的纤维尖端的EDAX分析。图1B表示在纤维尖端上除了银和铜之外还有金存在。由于金的唯一来源是转子上的金的电沉积层, 因而图1B表示在实验性的超导滑环中, 来自电沉积的转子环的金已经从转子环转移到束中的纤维的尖端。

[0109] 图1C是作为材料参照的Ag/Cu纤维的中间部分的EDAX分析。图1D是图1D所示的纤维的中间部分的SEM相片。在银/铜纤维的尖端上存在金 (图1A-1B) 证实, 金已经从转子环转移到纤维的尖端。

[0110] 电接触电阻相对于电流 (图2)

[0111] 图2是部分示于图1A-1D的安装于定子的超导电刷弹簧和转子环在被浸没于液氮池 (未示出) 中时的静态FOT接触电阻 (纵坐标) 相对于电流 (横坐标) 的曲线图。接触电阻以毫欧姆的单位显示, 电流以安培的单位显示。连接方形数据点和菱形数据点的两条曲线描绘了针对跨在镀银的转子环上的Ag/Cu FOT电刷获得的值。连接三角形数据点的曲线描绘了针对跨在镀金的转子环上的Ag/Cu FOT电刷获得的值。

[0112] 这些曲线示出, 跨在镀银的环上的Ag/Cu FOT电刷的接触电阻随着电流在0-30安培之间增大而急剧下降, 然后在30-70安培之间开始趋向平缓 (即, 下降得不那么急剧)。另一方面, 跨在镀金的转子环上的Ag/Cu FOT电刷的接触电阻在0-70安培之间的整个电流范围内基本恒定。这证实了具有在金环上滑动的金尖端的Ag/Cu纤维的惰性。

[0113] 鼓型单沟道测试装置 (图3)

[0114] 图3是用于在电刷和环被浸没在液氮池 (未示出) 中的情况下进行图2所示的静态FOT接触电阻测量的测试装置的示意图。该装置是被设计为承受小振幅振荡但不旋转的单沟道鼓型滑环。

[0115] 该装置 (一般以20表示) 具有面朝上的杯形转子21, 该杯形转子21被布置为围绕中心竖直圆柱形转轴23的轴 (y-y) 在任意角度方向上以小振幅振荡, 如弓形线22上的双向箭头所示。转子被示为具有附接于其内径26的超导带29, 并且具有引线30。转子具有与转轴连接的环形水平底座24。环25具有分别面朝内和面朝外的圆柱面26、28, 圆柱面26、28围绕转轴23的轴而生成。

[0116] 安装于定子的载流电刷弹簧31具有一个超导带32, 并且这样形成的组件一般以34表示。导体31被示为具有矩形横截面的水平伸长的棒状部件。超导带32被示为也具有矩形横截面的水平伸长的棒状部件。可以通过例如焊接等将带32适当地固定于导体31的面对的表面。带-导体子组件34的近边缘端部被安装于定子 (未示出) 上。经由引线38来连接带32。在引线30、38之间施加合适的电压源 ($\pm \Delta V$) 以使电流从源流出, 流经滑环并回到源。

[0117] 纤维电刷组件35被安装于带-导体组件34的远边缘端部上。电刷组件包括安装于电刷管37内的纤维电刷36, 纤维电刷36包括多个金属纤维36。

[0118] 整个装置20被浸没于合适的低温液体 (诸如液氮) 的池 (未示出) 中。虽然带32在室温处具有一定的电阻, 但是当被冷却到转变温度时 (例如, 当被浸没于液氮中时), 它具有基本为零的电阻。由于电流沿着带-导体子组件34通过具有最小电阻的路径从定子传送到电刷组件35, 因而所浸没的带-导体组件34可以以基本为零的电阻沿着超导带32在定子和电

刷组件之间传送高电流。在通过转子的径向厚度之后,这样传输的电流可以由转子环内部的超导带29传送并返回到电源。

[0119] 在使用高顺应性的改进的FOT电刷的超导滑环中金从转子环到纤维尖端的转移(图4A-4D)

[0120] 图4A-4D描绘了使用高顺应性电刷束(即,去除了最中心的纤维)的超导滑环的SEM/EDAX分析。

[0121] 对于图1A所示的现有技术的电刷束,图4A所示的高顺应性的电刷束中的个体纤维也由银/铜合金形成。电刷束被安装于定子上,被浸没于液氮中,并且被布置使得纤维的尖端可滑动地与转子上的金的电沉积层接合。图4A是束中的纤维的远端部的SEM相片,并且将该束作为具有改进的高顺应性的FOT配置(即,去除了最中心的纤维)示出。图4B是在图4A中的标示框内截取的纤维尖端的EDAX分析。图4B表示在纤维尖端上除了银和铜之外还有金存在。这证实,来自电沉积的转子环的金已经从转子环(即,金的唯一来源)转移到束中的银/铜纤维的尖端。

[0122] 图4C是作为材料参照的Ag/Cu纤维的中间部分的EDAX分析。图4D是纤维的中间部分的SEM相片。金存在于银/铜纤维的尖端上(图4A-4B)证实,金已经从转子环转移到纤维的尖端。

[0123] 鼓型多沟道超导滑环(图5)

[0124] 在图5中,鼓型多沟道超导滑环(一般以40表示)被示出为具有由中间电介质屏障隔开的多个竖直堆叠的环41,中间电介质屏障具有将环支撑于每一侧的肩部。各种环分别以41表示,并且分别由字母“A”、“B”、“C”和“D”单独标识。因而,最上方的环以41A表示,次下方的环以41B表示,第三下方的器件以41C表示,最下方的环以41D表示。

[0125] 有多个竖直间隔开的、安装于定子的层叠的带-导体-带子组件34,每个器件一个。个体子组件34分别由字母“A”、“B”、“C”和“D”单独标识。子组件34A与最上方的环41A关联,次下方的子组件34B与环41B关联,次下方的组件34C与环41C关联,最下方的组件34D与最下方的环41D关联。虽然这些子组件如同前面所描述的那样,由其中引出的引线与交替的直流电压源连接。因而,最上方的引线与正电压源连接,第二下方的引线与负电压源连接,第三下方的引线与正电压源连接,而第四下方的引线与负电压源连接。相邻的带-导体-带子组件34之间的竖直间距确保每个子组件34均与其直接相邻者电隔离。

[0126] 因而,图5中的鼓型多沟道滑环40被示出为具有四个环41A、41B、41C和41D。电介质屏障被安置于环之间的空间内,以使这四个环中的每一个都与其相邻的环电隔离。相似地,各个带-导体-带子组件34彼此竖直间隔开,并且这些组件34与交替的直流电压源连接。

[0127] 整个器件40被浸没于合适的低温流体(诸如液氮)中,以使超导材料的温度下降到其各自的转变温度以下。因而,该器件提供了鼓型多沟道滑环,其中在每个转子41A、41B、41C、41D和与其关联的带-导体-带电刷弹簧组件34A、34B、34C、34D之间分别有电连接,提供了彼此隔离的单独沟道。导体31被示为具有矩形横截面的水平伸长的棒状部件。超导带32、33被示为具有矩形横截面的水平伸长的棒状部件。带优选地由相同的超导材料形成,并且尺寸相同,使得当器件被浸没于低温流体中时,由带-导体弹簧组件对转子施加的力不会受超导带的存在影响。

[0128] 电压降和接触电阻相对于电流(图6)

[0129] 图6是具有高顺应性的FOT电刷的、诸如图5所示的器件的电压降(左侧纵坐标)和接触电阻(右侧纵坐标)相对于电流(横坐标)的曲线图。电压降以伏特的单位表示,接触电阻以毫欧姆表示,并且电流以安培的单位表示。以150克的力迫使纤维的尖端在转子环的外表面上与环接合。

[0130] 电压降相对于电流被示为通过方形数据点而绘制的直线。该线被示为在一个极端点(0.22伏特和20安培)与另一个极端点(0.50伏特和180安培)之间延伸。因而,电压降随着电流增加而基本线性上升。

[0131] 接触电阻相对于电流由连接三角形数据点的曲线示出。可以看出,随着电流的增大,该曲线从20安培处的5.6毫欧姆到大约70安培处的大约2毫欧姆急剧下降,然后在70-180安培的范围内趋向平稳(即,下降得不那么急剧),直至在180安培处达到大约1.4毫欧姆的最终值。因而,虽然电压降随着电流从20增加到180安培而基本线性增大,但是接触电阻在相同的电流增大范围内下降(首先急剧下降,然后不太急剧地下降)。

[0132] 图6(在30rpm处测量)示出,FOT电刷接触电阻为毫欧姆范围,并且随电流增大而减小。因此,总拥有成本小于具有较少接触点并因而具有较高接触电阻的电刷。在图5中示出用于进行这些测量的装置。

[0133] 饼型多沟道超导滑环(图7)

[0134] 图7示出了本发明的原理可以如何实现于饼型多沟道滑环中。

[0135] 在图7中,改进的器件(一般以50表示)被示为包括适应于围绕竖直轴52旋转的转子51。由于图7是滑环的俯视平面图,因而轴52垂直于纸的平面,并且以点标记表示。转子是圆形或环形的部件(从俯视平面图中来看),并且具有多个同心环。这些环分别以53表示,并且从轴52径向地向外依次分别由字母“A”、“B”、“C”和“D”单独标识。如同前面所指出的,每个环围绕转子轴52而生成。

[0136] 环形电介质屏障(一般以58表示)被定位于相邻的环之间的转子的壁内,以使每个环与其相邻的环电隔离并防止它们之间的交叉耦合。更特别的,在环53A、53B之间的壁内有第一电介质屏障,在环53B、53C之间的壁内有第二电介质屏障,并且在环53C、53D之间的壁内有第三电介质屏障。

[0137] 多个悬臂安装型弹簧组件(分别以59表示),并且基本如同前面所描述的,被布置为跨于各个环上。这些弹簧中的每一个都是带-导体-带叠层,如上所述,具有其安装于定子上的远边缘端部。

[0138] 电刷组件(也分别以35表示)被安装于弹簧59的远边缘端部上。每个电刷组件具有多个FOT安装型电刷纤维,电刷纤维被布置为与关联的环的表面接合。每个环有两个悬臂安装型弹簧,并且这两个弹簧被布置于转子上的12:00点和6:00点位置附近。与环53A关联的弹簧以59A、59A表示;与环53B关联的弹簧以59B、59B表示;与环53C关联的弹簧以59C、59C表示;与环53D关联的弹簧以59D、59D表示。

[0139] 像可以具有安装于每个弹簧(例如,参见图10)上的多个电刷组件的鼓型实施例一样,饼型实施例可以具有安装于弹簧的远边缘端部上的多个电刷组件,以确保纤维尖端与各个环的底表面之间充分且连续的电接触。另外,注意环形超导带位于每个环的外径和内径上。

[0140] 具有附接于悬臂安装型电刷弹簧的相对侧和转子的内径的超导带的鼓型滑环(图

8)

[0141] 图8是改进的鼓型滑环(一般以60表示)的示意图,该鼓型滑环在操作上被布置为在定子61与转子62之间传输电力和/或信号。

[0142] 悬臂安装型弹簧组件(一般以63表示),具有安装于定子61上的左端部或近端部,并且具有布置于转子附近的右端部或远端部。该弹簧组件具有中心水平伸长的载流电刷弹簧64,并且具有安装于中心导体的上表面和下表面上的超导材料带65、65。中心导体可以由合适的材料(诸如铍铜(BeCu))形成,并且具有总体为矩形的横截面。因而,中心导体分别具有水平伸长的平面矩形的上表面和下表面66、68。中心导体具有两个主要功能:(1)支撑用于在其近端部与远端部之间传送电流的超导带,以及(2)在其近端部与远端部之间充当弯曲弹簧以迫使纤维电刷组件69的尖端紧靠在电沉积于转子的外表面上的金环70。超导带65、65被安装于中心导体的上表面和下表面上。这两个带水平伸长,优选为由相同的超导材料形成,并且具有相同的矩形横截面。通过例如焊接等将带适当地固定于中心导体的上表面和下表面。超导带65、65的主要功能是双重的:(1)在整个装置被浸没于低温流体中以使形成带65、65的材料温度下降到其转变温度以下时,对从定子到电刷组件流动的电流提供电阻基本为零的路径,以及(2)在装置被浸没于低温流体中时,消除弹簧组件向上或向下卷曲(像双金属条一样)的趋势。

[0143] 电刷组件69被安装于弹簧组件的远边缘端部上。该电刷组件在其中包括金属纤维电刷的束71。该束中的个体纤维可以由银/铜合金形成。该电刷束的上边缘端部被容纳并被保持于电刷管72内。该电刷束中的个体纤维的下端部终止于可与转子的外表面上的环70可滑动地接合的尖端。

[0144] 转子62被示为被安装用于围绕轴74旋转的环形部件。由于该轴在图8中从纸面伸出,因而它由点标记表示。转子具有电沉积于其圆柱形外表面75上的薄环形金环70,并且具有圆柱形内表面76。环形超导带77被安装于转子内表面76上。更特别地,带77具有通过例如焊接适当地固定于转子内表面76的圆柱形外表面78,并且具有圆柱形内表面79。

[0145] 可以通过合适的引线(未示出)选择性地电压施加于弹簧组件的近端部与转子之间,使电流从定子流至转子。

[0146] 整个装置被浸没于合适的低温流体(诸如液氮)中,以使超导带65、65、77的温度下降到它们各自的转变温度以下,使得这些带对于通过其中的电流将具有基本为零的电阻。

[0147] 因而,在装置被浸没于低温流体中时,电流将沿着弹簧组件63的长度方向从定子流到电刷组件69。由于带65、65将处于它们的转变温度以下,并且将具有基本为零的电阻,因而,对于电流在定子和电刷组件之间的通过,这些带将是电阻最小的路径。在流过电刷管之后,电流将沿着电刷束的长度方向向下流动,并且将从纤维的尖端被传输到转子环70。在流过转子之后,电流将由带77传送到转子的其它部分(未示出),带77的电阻也基本为零。

[0148] 因而,在该实施例,当滑环被浸没于温度在超导材料的转变温度以下的低温流体中时,超导带65、65、77对于电流从定子到转子流过提供了电阻最小的路径。

[0149] 具有FOT电刷和超导悬臂弹簧的盘式电枢同极马达(图9)

[0150] 图9是改进的盘式电枢型的同极马达或发电机的等距视图。

[0151] 改进的电机(一般以80表示)具有安装于定子(未示出)上的第一和第二悬臂安装型弹簧组件81、82。每个弹簧组件具有安装于定子上的近端部,并且具有被布置于转子(一

般以83表示)附近的远端部。每个弹簧组件被示为水平伸长的夹层式结构,该结构具有中心载流电刷弹簧84,中心载流电刷弹簧84具有上、下平面水平表面,超导材料带85通过例如焊接等固定于其上。因而,一条带85被固定于中心导体的上表面,而另一条带85被固定于其下表面。中心导体可以由铍铜等形成,并且被示为具有矩形横截面。带85、85也被示为具有矩形横截面。弹簧的两侧的带的作用是使电流容量翻倍。这些带的尺寸优选为相同的,以便消除弹簧组件在被浸没于低温流体中时像双金属条一样弯曲的任何趋势,其中该低温流体的温度在用于制造带的超导材料的转变温度以下。在图9中,两个弹簧组件81、82被示为基本相同的。然而,它们不必然如此。

[0152] 图9中的弹簧组件81、82与图8中的弹簧组件63的不同之处在于,有两个电刷组件69被安装于每个弹簧组件的远边缘端部上。如上所述,每个电刷组件包括电刷管72和纤维束71。纤维束包含由合适的银/铜合金制成的多个个体纤维。每个纤维束的上边缘端部都被接纳并被保持于关联的电刷管中,如同US 7,105,983 B2所描述的。每个束中的纤维终止于与转子的部分可滑动地接合的最低的尖端,如下所述。在每个弹簧组件上有两个电刷组件的主要原因是使电流容量翻倍。

[0153] 转子83被示为轴颈围绕水平轴x-x旋转的、水平伸长的、特别配置的部件。轴x-x被布置为正交于弹簧组件81、82的伸长的轴。转子具有带有转轴的大直径盘,该转轴通过焊接或其它可接受的方法(诸如有螺纹锁的螺纹)与盘连接。多个在圆周方向上间隔开的、径向延伸的超导带位于盘的两侧。这些带被接纳于设置于盘内的径向延伸的槽内。盘的厚度将由带的宽度表示;例如,如果带为1/4"宽,则盘将必须为比1/2"厚,以使得带可以被插入盘任一侧的槽内。薄的环形金环或圆柱形金环88被电沉积于盘88的外表面上,并且与第二弹簧组件82的电刷可滑动地接合。

[0154] 转子还具有与大直径部分的盘耦接的小直径转轴89,并且从盘向左侧并沿轴向延伸。薄壁的环形金环90被电沉积于小直径转轴89的左边缘端部上,并且与第一弹簧组件81中的电刷的尖端可滑动地接合。多个在圆周方向上间隔开的、纵向延伸的超导材料带(分别以91表示)将若干辐条的内端部与环90连接。

[0155] 在使用中,在弹簧组件81、82的近端部之间施加电压($\pm \Delta V$),并且磁场(由箭头84、84表示)纵向穿过转子。转子围绕轴x-x相对于悬臂安装型弹簧组件81、82旋转,并且各自的电刷组件内的纤维的尖端分别与转子环90、88可滑动地接合。

[0156] 电流沿着弹簧组件81向外流动,在弹簧组件81的远端部向下流过电刷组件,流到转子环90,由带91沿着转子小直径转轴89轴向传送到轮毂辐条(hub spokes),沿着辐条向外传送到至大直径转子部分的超导带86,通过环88传送到弹簧组件82的电刷,并且通过弹簧组件82传送到定子。

[0157] 整个装置被浸没于合适的低温流体(诸如液氮)中,以使装置冷却到其中的各种超导材料的转变温度以下。当被这样冷却时,这些各种超导材料具有基本为零的电阻,并且电流在其从一个弹簧组件的近部分流到另一个弹簧组件的近部分时选取电阻最低的路径。

[0158] 电流流动的方向随着施加于弹簧组件71、72的近端部的电压($\pm \Delta V$)的极性而变化。

[0159] 具有悬臂安装型电刷弹簧以及为了额外的电流容量而附加的FOT电刷组件的超导鼓型滑环(图10)

[0160] 图10是鼓型超导滑环(一般以93表示)的另一种实施例的示意图。

[0161] 图10所示的滑环大体上类似于图8所示的滑环,只是分别以69'表示的三个电刷组件被安装于夹层式弹簧组件63的远边缘端部上,该夹层式弹簧组件63具有被固定于中心导体64的上表面和下表面上的超导带65、65,以提供带-导体-带弹簧组件,如上所述。

[0162] 而且,虽然图8所示的实施例具有安装于弹簧组件63的远边缘端部上的一个电刷组件69,但是在图10中,有三个电刷组件69'、69'、69'。这些电刷组件69'与前面所描述的那些电刷组件的不同之处在于,超导材料带(分别以94表示)被安装于电刷管72'的外部,以便环绕电刷束的上边缘端部。依赖于电刷管的直径,超导带可能必须是窄的并且要竖直安装,以使得不超过最大弯曲半径。而且,每个电刷束中的在电刷管下方的纤维的中心芯已经被去除,使得每个束的向下延伸到所关联的电刷管下方的部分都是环形的。在US 2014/0045348 A1中公开并要求保护这种类型的电刷束以及由此产生的优点,US 2014/0045348 A1被转让给本申请的受让人,并通过引用并入本文。使用这样的环形电刷束为滑环提供了大大增强的寿命。

[0163] 如前所述,图10所示的整个滑环适于被浸没在低温流体(诸如液氮)中,以使各种超导材料的温度下降到其转变温度以下。

[0164] 具有反旋弹簧和FOT电刷组件的超导滑环(图11A-11B)

[0165] 图11A是具有修改的电刷支架(一般以95表示)的改进的超导滑环的示意图,该超导滑环可在操作上与转子62关联,如上所述。

[0166] 在图11A中,悬臂弹簧已经用修改的电刷支架95代替,电刷支架95类似于US 2014/0045348 A1的图12A所示的电刷支架。为此,电刷支架适于安装在定子(未示出)上,并且具有与电刷块98通信的引线96,该电刷块98进而被安装用于相对于管99竖直滑动。由反旋弹簧100向电刷块施加偏置以使其向下移动,反旋弹簧100作用于电刷块与管之间。

[0167] 多个纤维电刷组件(分别以101表示)被安装于电刷块上,以随其移动。每个电刷组件包括纤维束。该束的上边缘端部被容纳并被保持于电刷管内,并且束的下边缘端部向下延伸到电刷管下方。束中的每根纤维终止于其尖端中的最下端,该尖端与转子上的环可滑动地接合。反旋弹簧的主要功能是以基本恒定的力迫使电刷支架向下移动,从而对磨损进行补偿。

[0168] 图11A所示的电刷支架与US 2014/0045348 A1所示的电刷支架的不同之处在于,超导带102被布置为与引线96平行,并且电刷块在其中心设置有超导带103。如图11B所示,带102与带103通信。

[0169] 如同前面那样,整个滑环适于被浸没于合适的低温流体中,以使超导带冷却到其各自的转变温度以下。

[0170] 在图11A中,每个束中的纤维可以由合适的银/铜合金形成,并且各个束的下边缘端部可以是环形的,如US 2014/0045348 A1所教导的。

[0171] 具有反旋弹簧和安装于悬臂弹簧的远端部上的FOT电刷组件的改进的滑环(图12)

[0172] 图12A是另一种形式的滑环组件(一般以105表示)的示意图。

[0173] 在图12A中,图11所示的引线96已经被去除。相反,电刷支架被示为安装于弹簧组件63的远端部上,如上所述。图12B表明下带65与电刷支架上的超导带103通信。

[0174] 在此,同样地,整个装置适于被浸没于合适的低温流体中,以使各种超导材料冷却

到其各自的转变温度以下。

[0175] 修改

[0176] 本发明预计可以进行许多改变和修改。

[0177] 如本文所述,本发明的原理可以应用于饼型或鼓型滑环,并且应用于同极马达或发电机。电刷束可以被压缩,如同现有技术,或者也可以是环形的,如US 2014/0045348 A1所教导的。可以由悬臂安装型弹簧组件、或者由反旋弹簧或者由某些其它装置迫使纤维的尖端靠着转子环。

[0178] 本发明的实质是提供与转子环的改进的FOT接触,其中装置的某些部分由超导材料制成,使得整个装置可以被浸没于合适的低温流体(诸如液氮)中,以使超导材料冷却到它们各自的转变温度以下。当这种情况发生时,超导材料将具有基本为零的电阻。

[0179] 因而,本发明包括使用超导带,以使电流流入和流出滑动接触界面。由于FOT电刷高电流密度的能力,其可以被配置为传导在超导带内在低接触电阻的情况下流动的电流。低接触电阻是使滑环和同极马达处于超导的极重要的因素。接触电阻越低,消耗的液氮就越少。

[0180] 超导带可以是1/2英寸宽,并且具有307安培的临界电流 I_c 。临界电流 I_c 是自场(self-field)会使超导状态崩溃的电流水平。[来源:US 2014/0045348 A1,2014年2月13日]:

[0181] “众所周知,由于机械不稳定性,可能难以与悬臂弹簧一起工作。[例如,参见Shobert,Erle;Carbon Brush:The Physics and Chemistry of Sliding Contacts;第4章,图4.7,“Mechanical Considerations in Brush and Collectors”;(1965);p.87.]

[0182] “如果弹簧可以按照当电刷沿一个方向移动时释放弹簧力而当电刷沿另一个方向移动时增加力的方式振动,则悬臂弹簧电刷上可能会发生颤振(chatter)。***可以通过以下来使该颤振最小化:(1)使电刷保持尽可能短;(2)设计弹簧使其在负载下几乎是直的;以及(3)使弹簧成锥形,如图4:7b所示。成锥形降低了自然周期可用于共振振动的可能性。

[0183] 另外,悬臂弹簧还具有以下问题:电刷力(F)随着电刷磨损(x)而减小,并且电刷的寿命最终受到满足所有电气要求所需的最小法向力的限制。如果没有足够的电刷力,则信号电刷(signal brush)将不会在可接受的电噪声水平工作,并且功率电刷(power brush)可能会遭受电弧。这是电刷的环行程能够达到数十亿英寸的主要因素。反旋弹簧在电刷的整个寿命内对于给定的位移范围保持基本恒定的力,因此电刷的寿命不受随电刷磨损而减小的力影响。另外,反旋弹簧提供了固有衰减机制,因此消除了电刷弹簧的“颤振”。

[0184] 对于滑环和鼓型电枢的同极马达,本发明包括超导带附接于所有构件(即,电刷弹簧的两侧,以及环的内径)。将超导带附接于电刷弹簧的每一侧会增大电流容量,以及使电刷弹簧的运动稳定,并从而使当从室温变为液氮温度时电刷力的变化最小化。当使用反旋弹簧的设计时,如图11A-11B和图12A-12B所示,必须允许公差,使得电刷支架和反旋弹簧在宽的温度范围内自由移动。反旋弹簧具有在宽的电刷磨损范围内对电刷施加恒定力的优点。带可以附接于盘式电枢同极马达的两个面。当带转变为超导状态时,其电阻下降至零并且电流无阻地流过,直到超过临界电流。将带附接于电刷中的纤维是不实际的。

[0185] 近来,已经进行了关于FOT电刷和超导滑环的研究。鼓型滑环被配置为具有输入正极电刷和环,以及输出负极电刷和环(见图5)。每个束中的纤维具有大约0.003英寸的标称

直径,并且每根纤维的最大电流密度为大约1769安培/平方英寸。21,230安培/平方英寸的电流密度是用具有1200个直径为0.003”的纤维的单个FOT电刷测得的(见图6)。附加的电刷和环对可以被配置为承载成比例的最大电流密度(见表7)。

[0186]	纤维数/电刷	电流密度/电刷 (安培/平方英寸)
	1200	21,230
[0187]	2400	42,460
	3600	63,690
	4800	84,920

[0188] 随着电刷束中的纤维数量增加,必须注意增大电刷中心的开口的直径,以及调整纤维的自由长度以便获得所期望的电刷顺应性。

[0189] 在图7中示出了饼型滑环。与鼓型滑环相比,该几何形状允许超导带位于每个环的内径和外径上,从而使电流容量翻倍。已经对每个弹簧添加了附加的电刷,现在这会增加电刷的电流容量以对每个环上的附加的带进行补偿。基于图6中给出的数据,对于每个环两个电刷和弹簧,电流容量将为360安培的量级,而对于每个环四个电刷,电流容量将为720安培的量级。每个环的内径和外径上的带将具有614安培的组合的电流容量。因而,该配置的限制因素不是电刷。

[0190] 因此,虽然上文已经示出并描述了改进的器件的若干形式和实施例,并且具体讨论了对它们的某些修改,但是本领域技术人员应当容易认识到,在不背离由下面的权利要求书所界定和区分的本发明的精神的情况下可以进行各种另外的改变和修改。

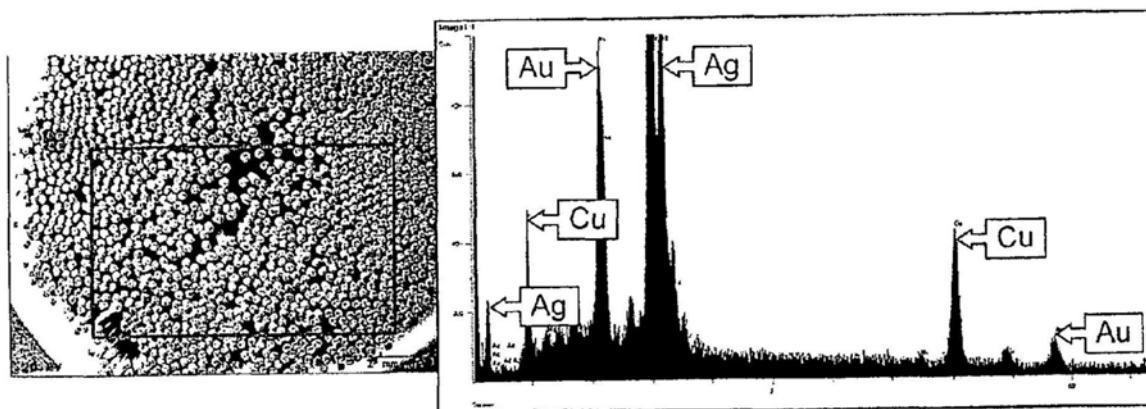


图 1A

图 1B

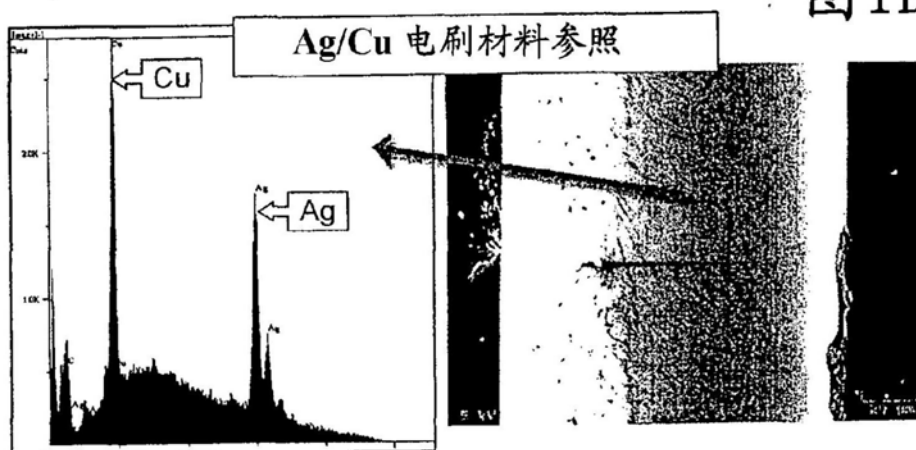


图 1C

图 1D

图1:在被浸没于液氮中时,在具有电沉积的金转子环的超导滑环上遭受了小振荡的Ag/Cu FOT电刷的SEM/EDAX分析。在分析中示出的金证实,金已经从滑环转移到每根纤维的尖端。

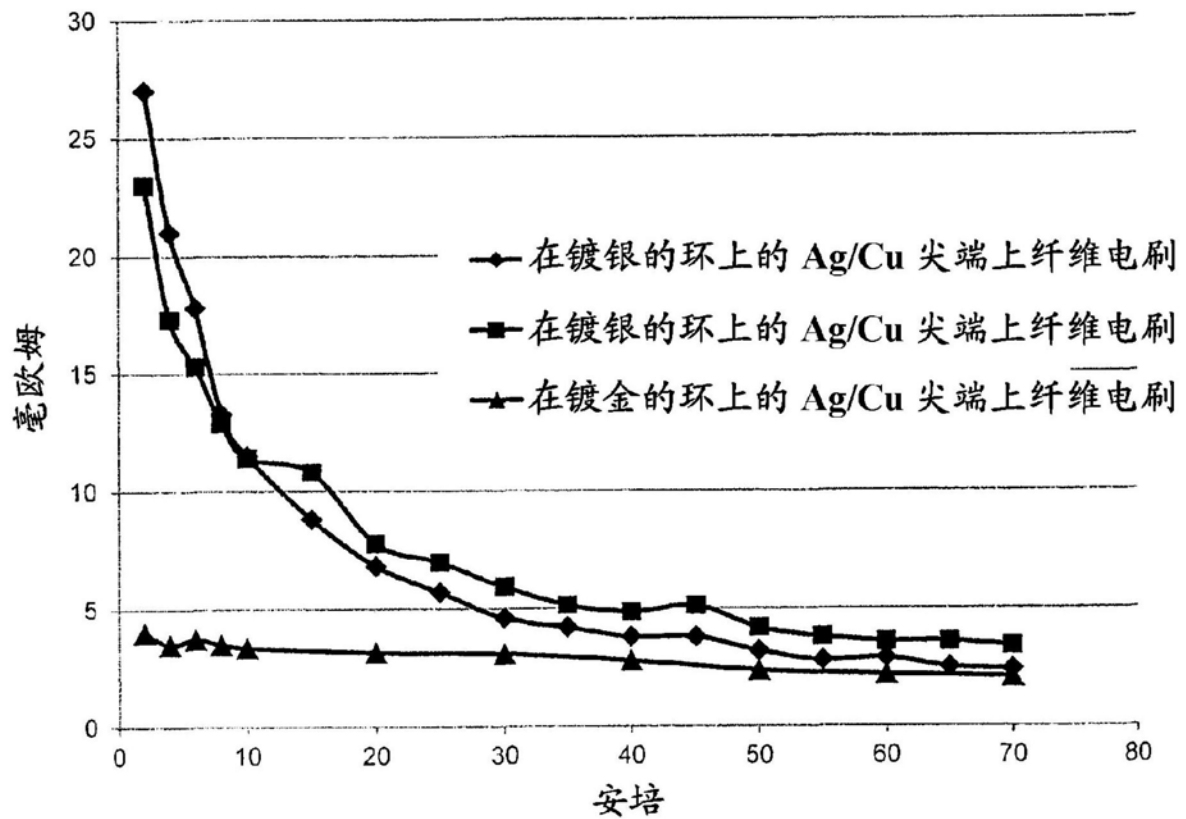


图2:静态接触电阻相对于电流(用处于超导状态的浸没于液氮中的电刷弹簧和环来进行的FOT静态测量)

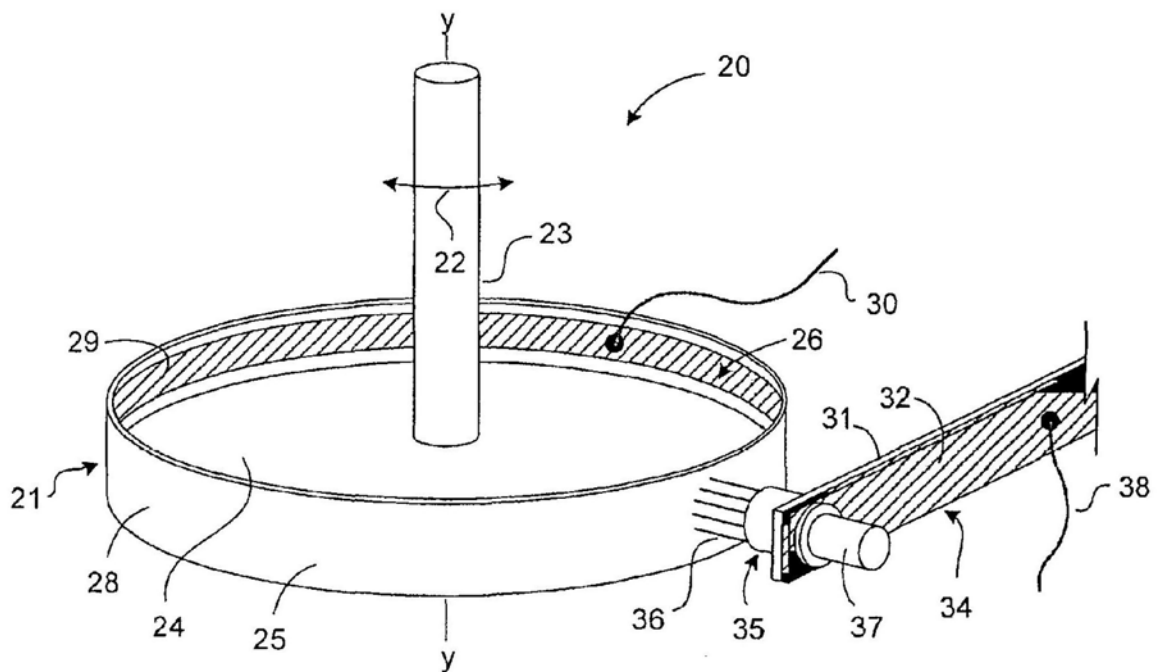


图3:用于在电刷和环被浸没在液氮中进行FOT静态接触电阻测量的、具有小的振荡能力的静态装置

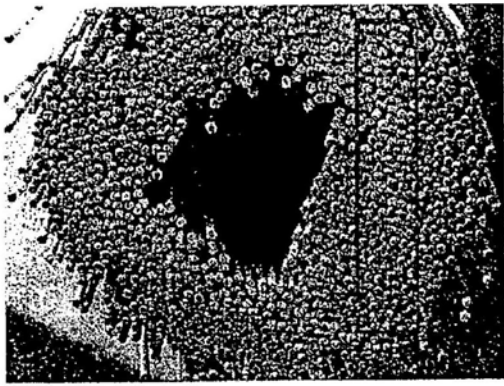


图 4A

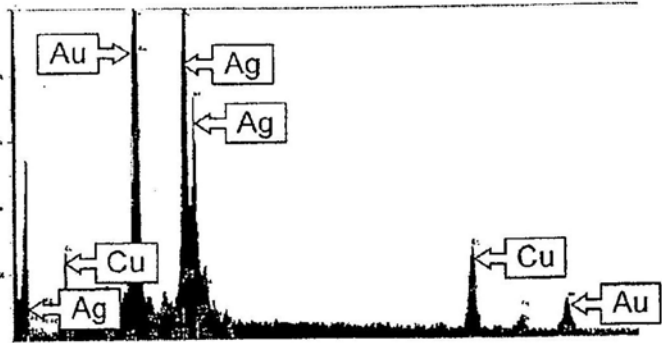


图 4B

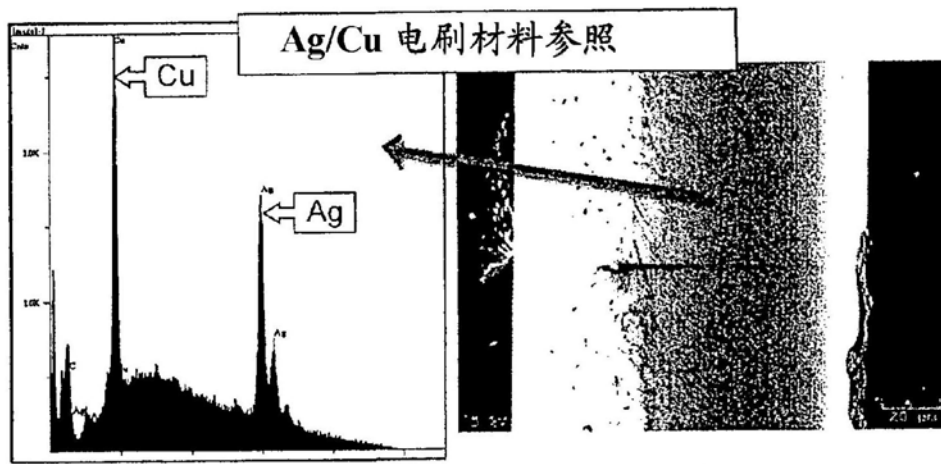


图 4C

图 4D

图4:在被浸没于液氮中的情况下在具有电沉积的转子环的超导滑环上的、已经以30RPM旋转的Ag/Cu高顺应性FOT电刷的SEM/EDAX分析。在分析中示出的金证实,金已经从滑环转移到每根纤维的尖端。

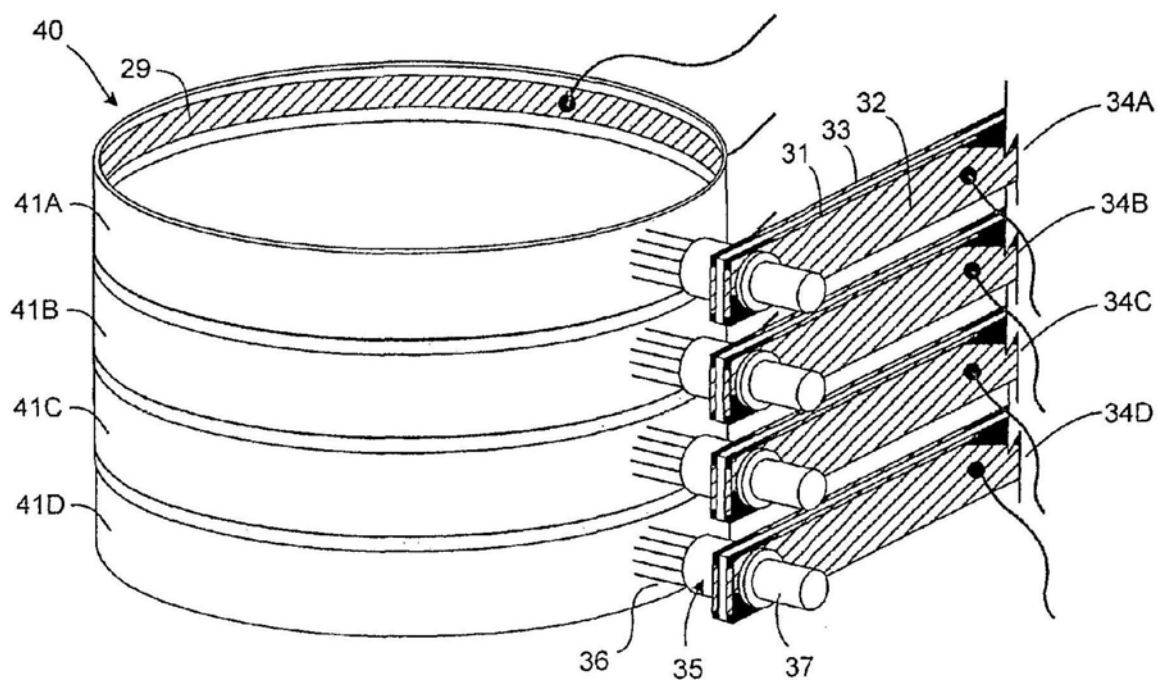


图5:多沟道鼓型超导滑环

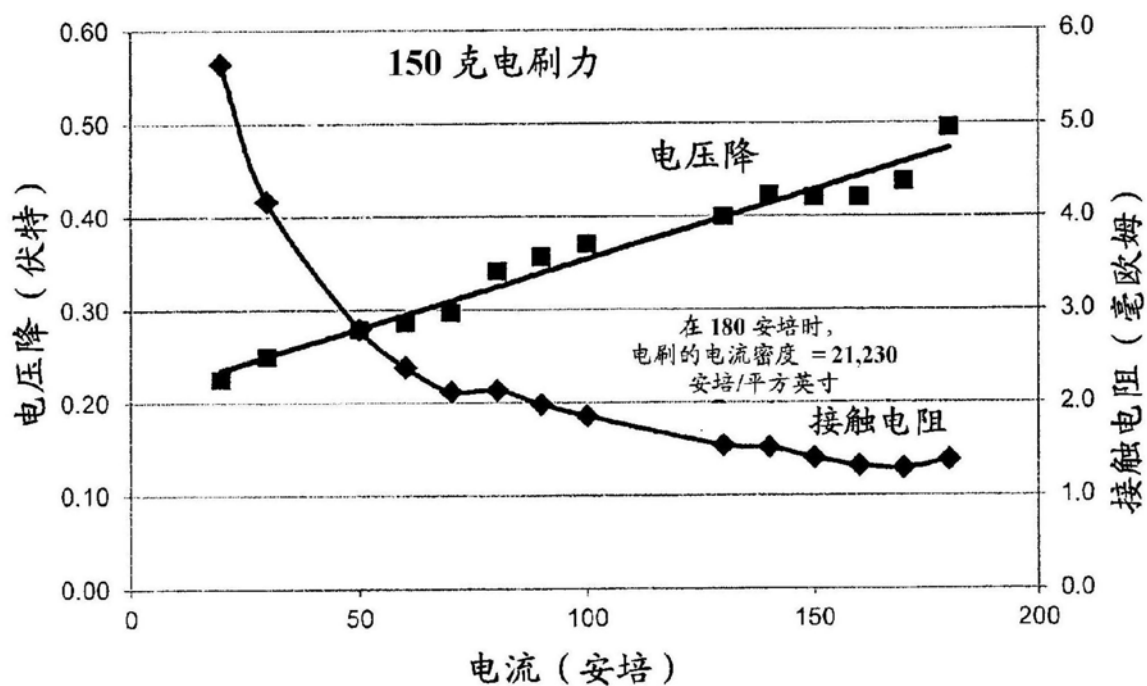


图6:高顺应性FOT电刷在30RPM和0-180安培的情况下在液氮中的电压降和接触电阻

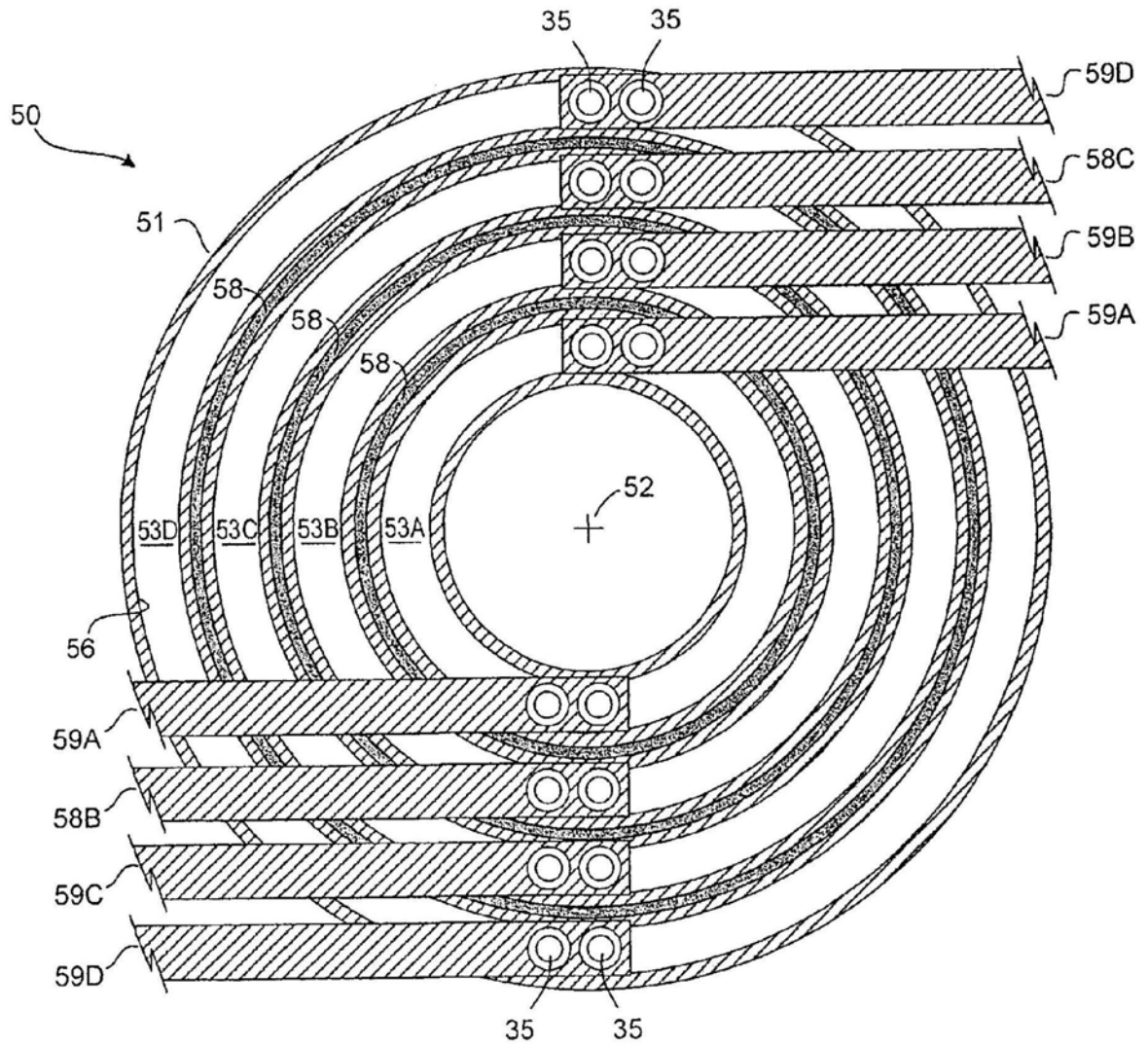


图7:在电刷和环上具有超导带的饼型滑环

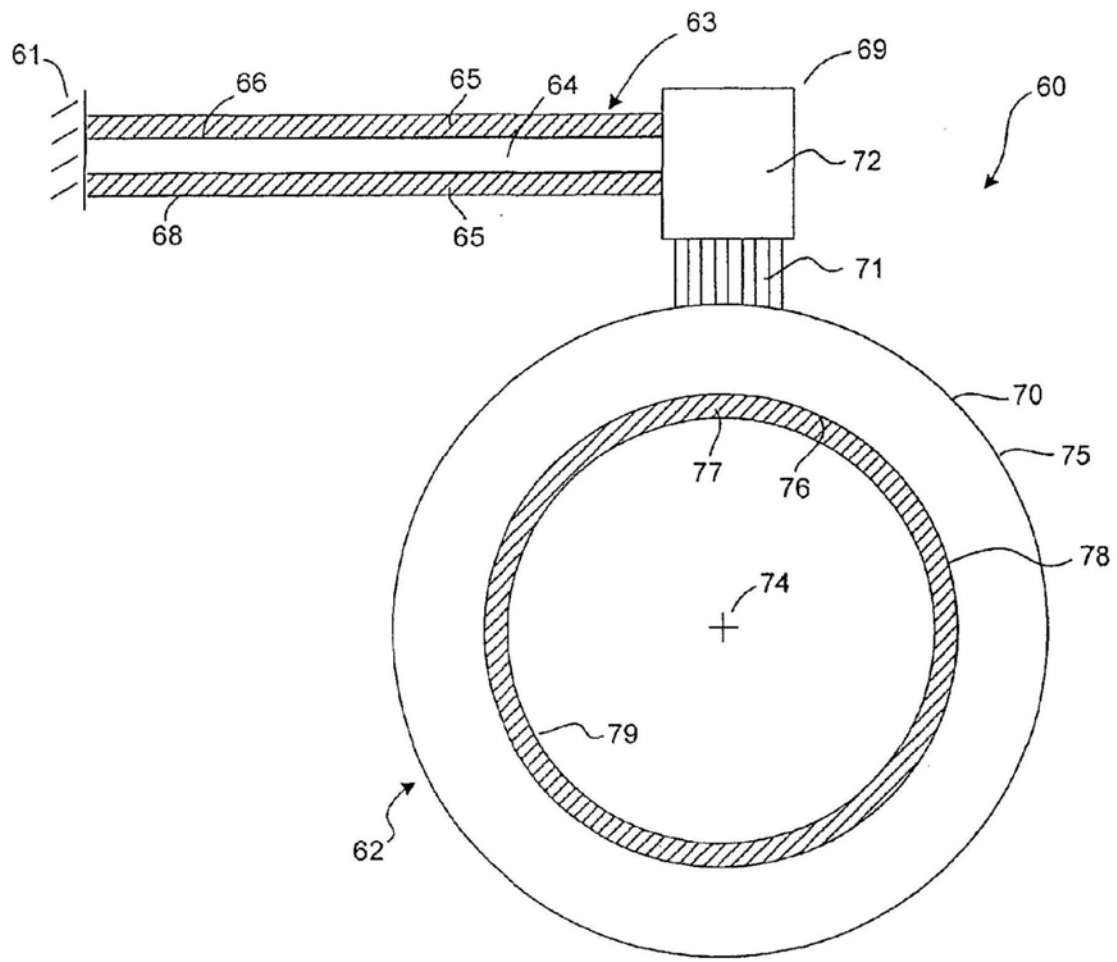


图8:具有附接于悬臂电刷弹簧和转子的内径的超导带的滑环

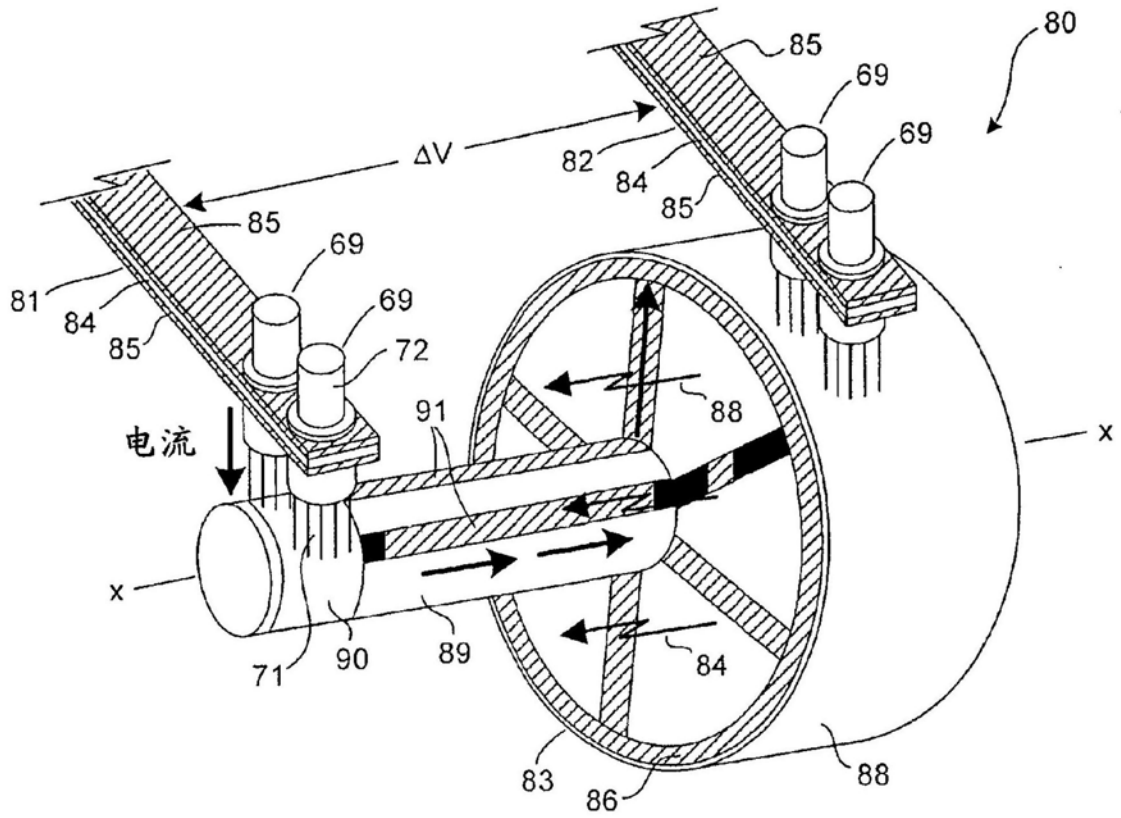


图9:适应为具有FOT电刷和超导悬臂弹簧的盘式电枢同极马达

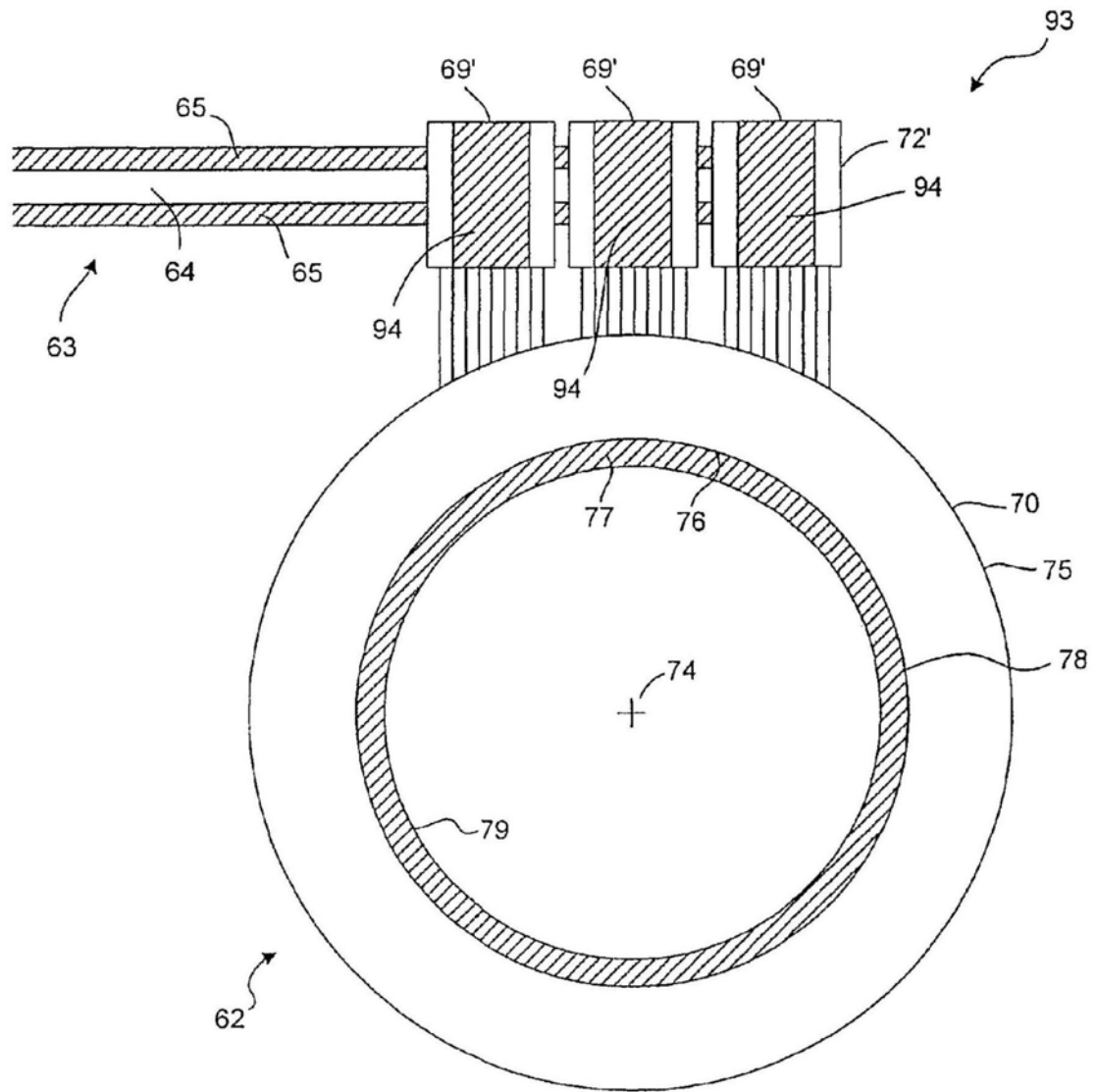
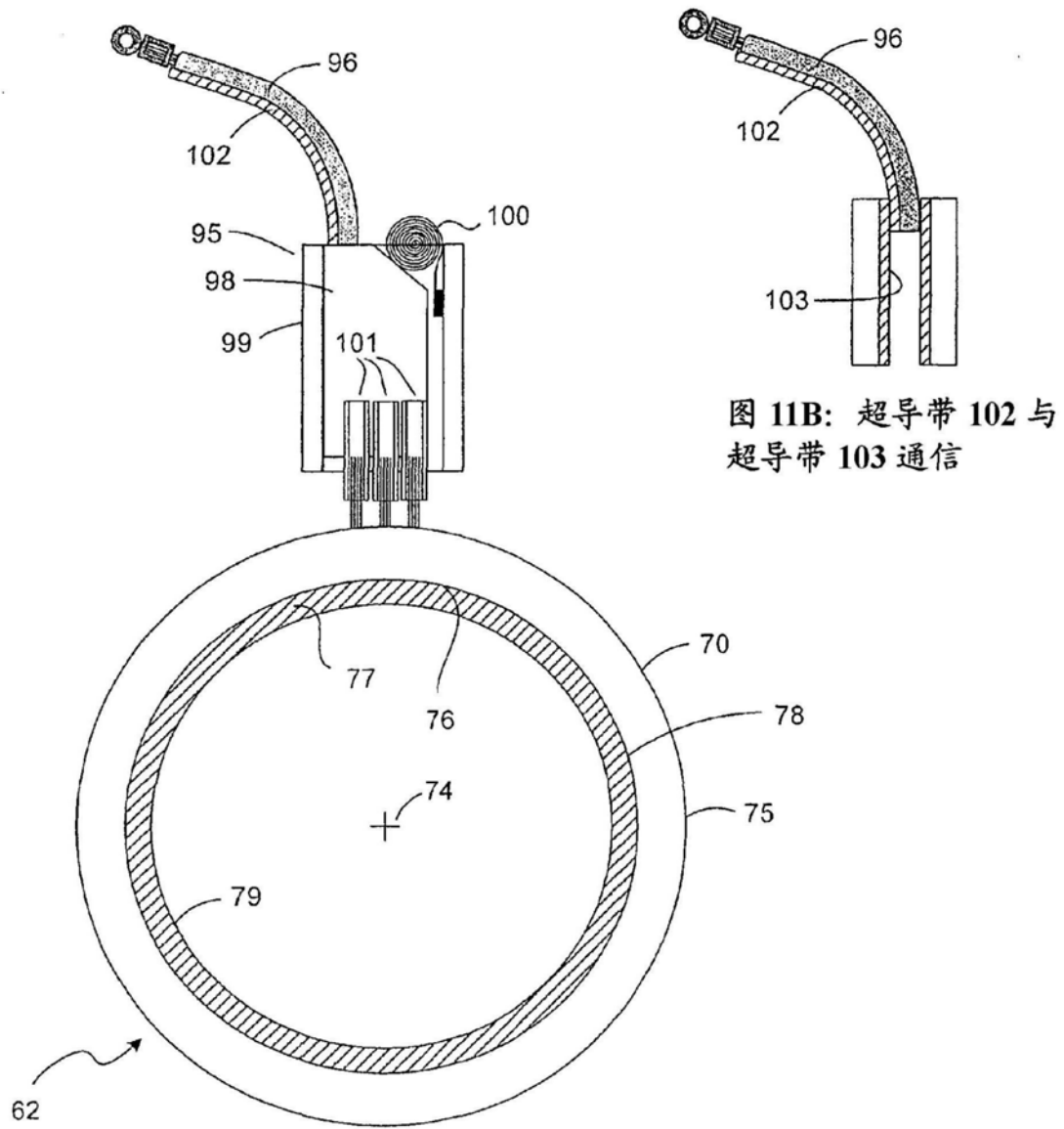


图10:具有悬臂电刷弹簧以及为了额外的电流容量而附加的FOT电刷组件的超导滑环



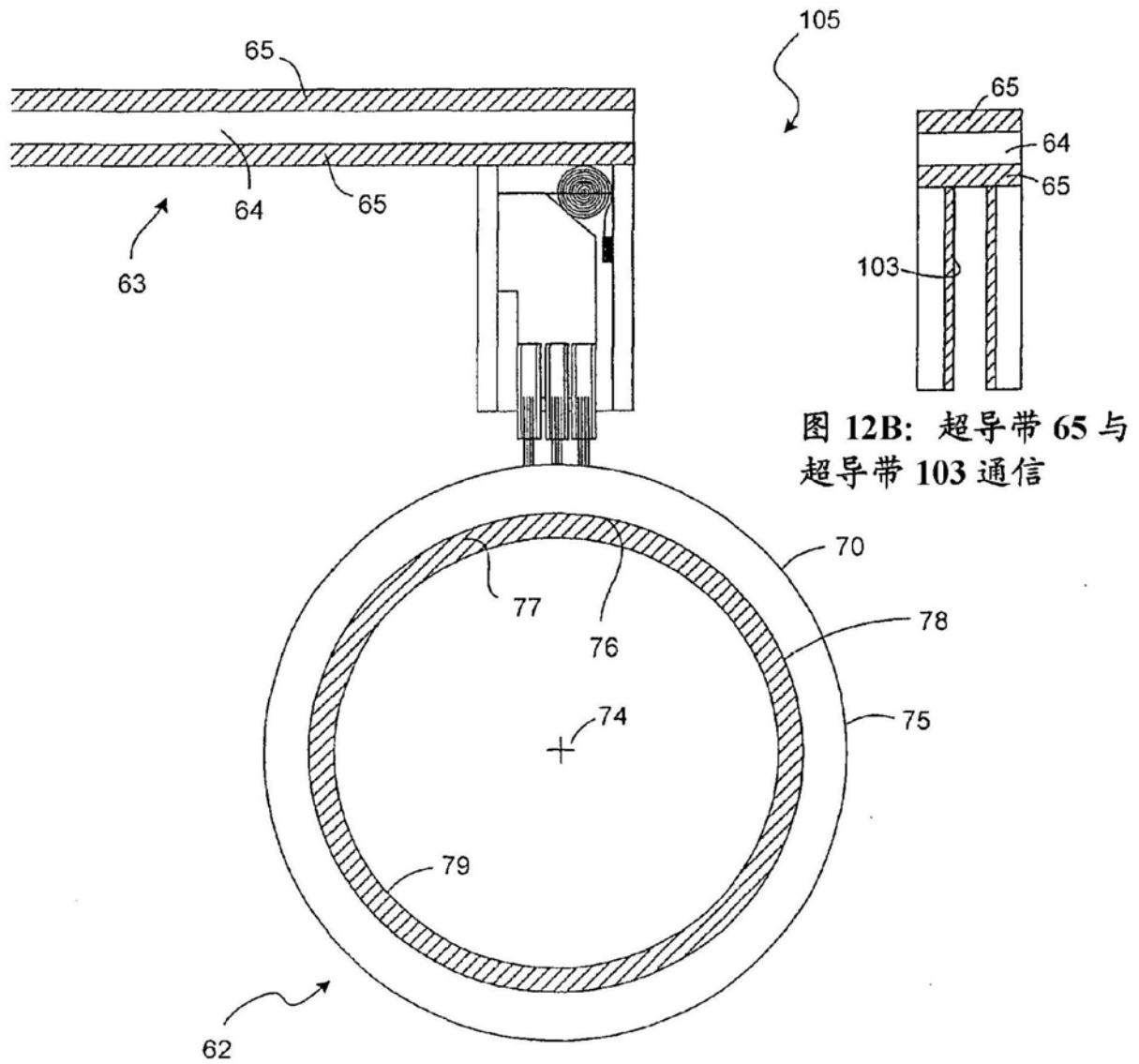


图 12B: 超导带 65 与
超导带 103 通信

图 12A: 用于将悬臂弹簧连接至金属电刷支架的技术。
具有带的悬臂弹簧代替编织的引线和分流器。悬臂弹簧
两侧的超导带将电流传送到电刷支架。