



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101490926 B

(45) 授权公告日 2012. 08. 22

(21) 申请号 200780026507. 2

(22) 申请日 2007. 07. 13

(30) 优先权数据

0613941. 4 2006. 07. 13 GB

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 01. 13

(86) PCT申请的申请数据

PCT/GB2007/002651 2007. 07. 13

(87) PCT申请的公布数据

W02008/007120 EN 2008. 01. 17

(73) 专利权人 普罗蒂恩电气有限公司

地址 英国萨里郡

(72) 发明人 马丁·鲍特伍德

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 郑立柱

(51) Int. Cl.

H02K 1/14 (2006. 01)

H02K 5/20 (2006. 01)

H02K 7/00 (2006. 01)

H02K 11/00 (2006. 01)

H02K 3/28 (2006. 01)

H02K 16/04 (2006. 01)

B60G 17/016 (2006. 01)

B60K 7/00 (2006. 01)

B60K 28/16 (2006. 01)

B60L 3/00 (2006. 01)

B60L 7/16 (2006. 01)

B60L 7/22 (2006. 01)

H02P 3/18 (2006. 01)

H02P 6/08 (2006. 01)

H02P 29/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1074869 A, 1993. 08. 04, 全文.

JP 特表 2000-516890 A, 2000. 12. 19, 全文.

US 2003216850 A1, 2003. 11. 20, 全文.

审查员 兰霞

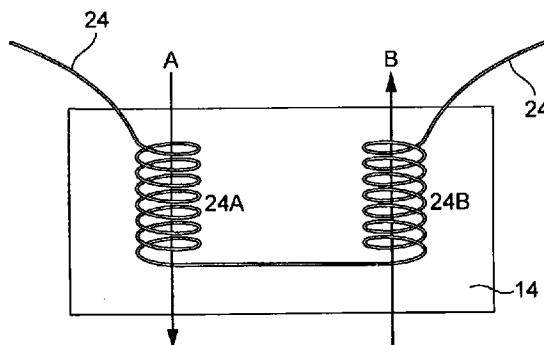
权利要求书 1 页 说明书 24 页 附图 17 页

(54) 发明名称

电动机

(57) 摘要

一种电动机包括一个或多个分立的线圈组被配置成产生发动机的磁场。该电动机还包括连接到各自的线圈子组的多个控制设备以控制电流。本发明也提供了一种类似的设置用于发电机。一种用于电动机或发电机的线圈安装系统,包括一个或多个线圈齿用于可卷绕地接收用于发动机的线圈和一个背部用于可附着地接收多个线圈齿。一种用于具有多个由各自的发动机独立驱动的车轮的车辆的牵引控制系统和方法。一种用于具有多个车轮的车辆的悬架控制系统和方法,每个车轮安装于车辆的一个悬架臂并由一个各自的发动机独立驱动。



1. 一种用于包括多个车轮的车辆的牵引控制系统,每个车轮由一个各自的发动机独立地驱动,该控制系统包括:

传感器,用于检测每个车轮的转动的加速度;以及

一个控制单元,用于调节由每个各自的发动机施加到每个车轮的扭矩以响应检测到一个或多个车轮转动中的预定的加速度,其中该预定的加速度用于指示刹车。

2. 根据权利要求1所述的牵引控制系统,其中控制单元可操作地为车轮提供持续的扭矩调节。

3. 一种用于包括多个车轮的车辆的牵引控制系统,每个车轮由一个各自的发动机独立地驱动,该控制系统包括:

传感器,用于检测每个车轮的转动的加速度;以及

多个控制单元,该多个控制单元分别是每个车轮的各自的控制单元,用于调节由每个各自的发动机施加到每个车轮的扭矩以响应检测到一个或多个车轮转动中的预定的加速度,其中该预定的加速度用于指示刹车。

4. 根据权利要求3所述的牵引控制系统,其中所述控制单元是网络互连地以交换车轮加速数据。

5. 根据权利要求3所述的牵引控制系统,其中每个控制单元根据预定规则独立于系统中其他控制单元可操作地执行牵引控制。

6. 根据权利要求3至5中任一项所述的牵引控制系统,其中控制单元可操作地为车轮提供持续的扭矩调节。

7. 一种车辆,包括:

多个车轮,每个车轮由一个各自的发动机独立地驱动;以及

根据权利要求1至6中任一项所述的牵引控制系统。

8. 一种用于包括多个车轮的车辆的牵引控制方法,每个车轮由一个各自的发动机独立地驱动,该控制方法包括:

检测所述一个或多个车轮的转动的加速度;以及

调节由每个各自的发动机施加到每个车轮的扭矩以响应检测到所述一个或多个车轮转动中的预定的加速度,其中该预定的加速度用于指示刹车。

9. 根据权利要求8所述的牵引控制方法,包括使用一个各自的控制单元来调节施加到每个车轮的扭矩。

10. 根据权利要求9所述的牵引控制方法,包括在控制单元之间交换车轮加速数据。

11. 根据权利要求8所述的牵引控制方法,包括根据预定规则独立于系统中其他控制单元执行牵引控制的每个控制单元。

12. 根据权利要求8至11中任一项所述的牵引控制方法,包括提供用于车轮的持续的扭矩调节。

## 电动机

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电动机或发电机,还涉及牵引控制系统。

### 背景技术

[0002] 已知的电动机系统典型地包括发动机和用于控制发动机功率的控制单元。已知电动机类型包括感应发动机,无刷永磁体发动机,开关磁阻电动机和同步滑环式机器。三相电动机是最常用的电动机类型。

[0003] 图 1 所示为一个典型的三相电动机的示意图。该例中,电动机包括三个线圈组 (coil set)。每个线圈组产生一个与电动机的三个相位之一相关联的磁场。在更概括性的例子中,N 个线圈组可以用于生产 N-相电动机。每个线圈组可以包括一个或多个线圈子组,安置在电动机的外围周围。本例中,每个线圈组包括四个这样的线圈子组 (coil sub-set),在图 1 中,各个线圈组的线圈子组分别标记为 14,16 和 18。如图 1 所示,线圈子组 14,16 和 18 均匀地分布在电动机 10 的周围以共同产生一个旋转磁场,其中有一个中央转子 12,其典型地合并一个或多个永磁体,该转子可以按图中所示箭头 C 的方向旋转。每个线圈组的线圈子组由图 1 中所示的连接线 24,26 和 28 串联在一起。这样允许各个线圈组的线圈中的电流平衡以产生基本共同的相位。各个线圈组的导线终止在如图 1 中所示的 34,36 和 38。典型地,各个线圈组的导线的一端连接到一个公共参考终端,而另一端连接到一个切换系统以控制该线圈组的所有线圈中的电流。然后,典型地,各个线圈组的电流控制包括控制一个流过大量线圈的公共电流。

[0004] 如图 2 中所示,各个线圈子组可以包括一个或多个线圈 (coil)。特别地,图 2 示例了一个线圈子组 14 中的线圈 24A,24B。在本例中,每个线圈子组有两个线圈。这两个线圈以相反方向缠绕并连接在一起,以使得流进各个线圈的电流基本相同。当转子 12 的磁极扫过线圈 24A,24B,切换线圈 24A,24B 中的电流可以产生适当的磁场来吸引和排斥转子以保持连续旋转。由两个反向缠绕的线圈 24A,24B 产生的磁场属于该三相电动机的相同相位。每个安置在电动机 10 外围周围的第三线圈子组产生一个具有共同相位的磁场。线圈和连接线可能典型地包括围绕在电动机的外围的单根导线(例如铜线),该导线在适当的位置缠绕成线圈。

[0005] 对一个三相电动机,切换系统几乎不变地是包括多个开关的三相桥式电路。

[0006] 包括金属氧化物硅场效应晶体管 (MOSFET) 和绝缘栅双极晶体管的典型的功率电子开关具有两种主要的损耗:开关损耗和传导损耗。

[0007] 开关损耗随着开关速度下降,更快的开关速度还导致电磁干扰 (EMI) 噪声增加。因为需要更大的开关,开关速度和 EMI 噪声之间有问题的折衷在更高的功率级别(例如对于更大的发动机)是复合的。同功率开关及其连接系统相关联的电感随着开关的物理尺寸而增加。该电感影响功率设备的开关速度,因而功率设备的开关速度典型地受到其物理尺寸的限制。因此,更高的功率级别必须使用更大的开关,但较大的开关涉及到较慢的开关速度从而带来较大的开关损耗。而且,功率设备的成本大致随着其尺寸的平方而增加。传导

损耗也随着功率增加而增加。

[0008] 包括开关损耗和传导损耗,总损耗大约正比于功率的平方。这给电动机带来严重的热处理问题,因为,例如功率翻倍导致热损耗增长四倍。在设备能处理多少功率下,吸取这一热量而不使设备的温度超过其安全操作级别,成为了限制因素。实际上,现在的大功率设备具有内在的电流处理能力,例如,因为热约束,500A 被限定到 200A。

[0009] 考虑一个给定功率级别的传统的三相电动机。如果希望一个更高的功率级别,可以通过产生一个更大直径的电动机来实现。对一个更大的电动机直径,转子的外缘圆周速率在一个给定的角速度下会增加。对一个给定的电源电压,这要求减少电动机线圈的匝数。因为感应电压是转子的外缘圆周速率和线圈匝数的函数。感应电压必定总是保持在或低于电源电压。

[0010] 然而,减少线圈匝数导致电动机电感下降,因为电动机的电感正比于匝数的平方。

[0011] 现今几乎所有电动机的电子控制单元运行某种形式的脉冲宽度调制 (PWM) 电压控制。PWM 控制通过用电动机电感平均出一个施加脉冲电压以驱使所需电流流入电动机线圈来工作。使用 PWM 控制,在一个由功率设备开关特性限定的最小周期内,施加电压在电动机绕组 (winding) 内进行切换。在此导通周期内,电动机绕组内的电流以一个由其电感和施加电压限定的速度增大。于是要求 PWM 控制在电流变得太大之前进行切断,从而实现电流的精确控制。

[0012] 如前述讨论,大功率设备的使用导致了低开关速度,而大电动机也具有较低的电感。对更高功率的电动机,这两个因素限制了 PWM 作为控制系统的有效性,因为电动机线圈中的电流上升更快(由于线圈匝数减少带来的电动机的低电感)而 PWM 控制更粗糙(由于使用大功率开关设备的开关速度低)。

[0013] 一个已知的解决该问题的方案是在电动机中引入附加电感,以与电动机绕组串联的扼流圈 (current limiting choke) 的形式。该附加电感增加了电动机线圈中的电流的上升时间。然而,扼流圈典型地与电动机一样大或者比电动机还大,当它们承载满载电流时会产生大量的附加热损耗,并且体积巨大、重量很重、成本很高。

[0014] 已知电动机的其他问题涉及到其制造。如前述结合图 1 所描述的,电动机构造典型地包括使用一根单独的导线来制造用于电动机的每个相位的绕组。导线置于电动机外围周围,线圈缠绕在适当位置以产生电动机的磁场的一个相位。缠绕电动机线圈,还有终止分布在电动机外围周围的每个线圈子组之间的连接是一个劳动密集的工作。典型地用于电动机绕组的粗线(例如铜线)很难操作,在许多电动机设计中,进入电动机内部安装线圈及其相互连接是受限制的。已知的线圈制造系统体积也很巨大,而且散热能力有限。

[0015] 车辆牵引控制可以用于最小化车辆在移动时发生的刹车风险。依赖车轮牵引提供合成机车动力的车辆遭受车轮刹车现象。转向刹车也可能发生。在转向刹车中,车辆的运动与前轮不成直线(一般成为欠转向 (under-steer)) 或者与后轮不成直线(过转向 (over-steer))。

[0016] 通常,刹车的发作并非突发事件,而是开始于一定程度的车轮打滑,进而演变成完全的车轮刹车。产生车轮打滑或刹车所需要的力可以通过车轮上的重量乘以轮胎和地面间的摩擦系数计算得出。当超过这个力,车轮打滑或刹车就会发生。当力恰好低于能产生车轮打滑或刹车的力时,车轮还在控制之中,能达到最大驾驶性能。牵引控制系统一般力求允

许在这一区域操作,由此,最大动力可施加到车轮,允许发生车轮打滑或刹车。

[0017] 在已知系统中,扭矩从中央内燃机通过驱动轴和差动轮施加到车辆的轮胎。牵引控制通常通过调节制动盘压力(用于刹车)或通过调节各个车轮的滑动离合器机制(用于加速度)来施加。这些牵引控制系统需要昂贵的机械部件,而且并不能总是提供最佳性能。例如,ABS 刹车在操作于粗开/关情形会剧烈抖动。滑动离合器对来自发动机的左/右扭矩平衡有作用。

## 发明内容

[0018] 本发明的方面由所附权利要求限定。为便于理解,本发明的各方面如下赋予小标题,对应于说明书各部分,为避免疑问,这些方面可以结合在一起用于本发明的单个具体实施例。

### [0019] 线圈控制

[0020] 根据本发明的一个方面,提供了一种电动机。该电动机包括一个或多个独立的线圈组,用以产生电动机的磁场。每个线圈组包括多个线圈子组。每个线圈子组包括一个或多个线圈。每个线圈组中的线圈产生的磁场具有基本共同的相位。该电动机也包括多个控制设备,每个控制设备连接到一个各自的线圈子组以控制该线圈子组的线圈中的电流。每个控制设备不需要输入同步信号。

[0021] 对电动机的线圈中电流的控制得到增强,因为每个线圈子组中的电流控制可以独立于另一线圈子组中的电流控制。因为每个线圈组的所有线圈没有串联在一起,每个线圈子组的线圈具有很大的匝数。每个线圈增加的匝数增大了电动机的总电感。这意味着每个线圈子组的线圈可以使用更低的电流,从而带来较少的热损耗问题,并使得可以采用较小的开关设备。使用较小的开关设备又带来较快的开关速度和较低的开关损耗。

[0022] 控制设备可以包括一个或多个开关,以给一个线圈子组的一个或多个线圈施加脉冲电压。电动机线圈中电流的 PWM 控制可以因为包含在线圈中的增加的匝数而得到增强。因为可以采用较小的开关设备,所以可以带来显著的成本、重量和热损耗的节约。

[0023] 一些控制设备可以包括监控装置用以监控该线圈子组的线圈中的反电动势。控制设备可以根据监控到的反电动势调节脉冲电压的脉冲(例如脉冲宽度)以实现告诉功率控制。控制设备可以彼此独立的操作,因为每个控制设备包括足够的逻辑以确定转子的位置,并施加适当的电压以控制各自线圈子组中的电流。控制设备可以接收来自例如刹车踏板传感器的外部设备的指令信号,并基于线圈特性、转子位置和指令信号施加适当的线圈控制。

[0024] 因为可以使用较小的元器件(例如开关设备),它们可以覆盖在电动机外套之内,区别于已知系统使用大而笨重的开关设备。例如,控制设备可以安置于电动机中邻近其各自的线圈子组,以简化线圈绕组的终止。电动机外套可以包括一个或多个孔隙以使得每次可以接入一个控制设备,取决于转子/外套和控制设备的方向。

[0025] 可以提供共同控制设备以协调多个控制设备的操作。例如,该共同控制设备可以用于协调位于多个控制设备中的开关以确保每个线圈组中的电流的切换是同相地进行的。用这种方式,控制设备可以模仿一个每个线圈组中的线圈串连连接的电动机。或者,每个控制设备可以通过检测电动机转子的位置来控制其相位关系,并这样提供完全平行的操作,不依赖中央处理器。这将增强对电动机中任何单独故障的免疫力。

[0026] 共同控制设备可以可操作地有选择性地使一个或多个控制设备失效,以允许部分功率操作。

[0027] 根据本发明的另一方面,提供一种操作上面所描述的这种电动机的方法。该方法包括使用多个控制设备为各个线圈子组的线圈供能,以产生电动机的磁场。

[0028] 可以理解,发电机采用与电动机类似的结构,上文讨论的某些因素也可以应用于新型发电机。

[0029] 根据本发明的又一方面,提供一种发电机。该发电机包括一个或多个独立的线圈组用于根据发电机内的磁场来产生感应电流。每个线圈组包括多个线圈子组。每个线圈子组包括一个或多个线圈。每个线圈组的线圈中所产生的电流具有共同的相位。

[0030] 该发电机还包括多个功率输出端,每一个连接到一个独立的线圈子组以输出该独立线圈子组的线圈中产生的电流。

#### [0031] 位置传感

[0032] 本发明的又一方面是使用一个铁制调焦环(iron focussing ring)来协助磁场的校准,以检测转子相对于定子的位置。

#### [0033] 刹车装置

[0034] 根据本发明的又一方面,提供一种可配置在刹车模式中操作的电动机。该电动机包括一个或多个线圈组用以产生磁场。每个线圈组包括多个线圈子组。每个线圈子组包括一个或多个线圈。该电动机还包括多个控制设备,每一个连接到一个独立的线圈子组以控制该独立线圈子组的一个或多个线圈中的电流。在刹车模式中,这些控制设备可以根据提取自(drawn from)线圈的电流来操作。

[0035] 因为控制设备可以根据提取自线圈的电流来操作,提供了一种故障自趋安全(fail-safe)刹车设置,以使得即使在电源故障的情况下,控制设备可以继续操作(进而控制刹车)。优选地,在刹车模式中,每个控制设备被配置成根据一个独立线圈子组中的电流来操作。这保证了刹车装置中的冗余,当一个线圈出现故障,其他线圈和控制设备仍可工作以提供刹车动力。

[0036] 优选地,电动机也包括一个连接到线圈和一个连接之间的电容以用作电源。该电容确保当从能量消耗模式转变到非能量消耗模式时电流继续供给到控制设备。电动机还包括一个可选择地连接到控制设备的电阻,因而在紧急刹车模式下来自线圈的能量被电阻所消耗。紧急刹车模式是这样一种模式:在该模式下电源无法从线圈获得能量,例如,因为像电池这样的电源故障、电池满载或者连接故障。电阻优选地被配置为非常靠近控制设备和线圈以降低连接故障的风险。

[0037] 本发明的一个方面还提供一种与上述电动机一起使用的控制装置,包括一个连接到多个刹车控制电路的机械刹车控制设备,每个刹车控制电路连接到一个独立的电动机。以一个车辆为例,机械刹车控制设备是刹车踏板,独立的刹车控制电路连接到刹车踏板以提供冗余使得任何一个刹车控制电路故障时,其他电路可以控制由连接以驱动车辆的一个独立车轮的多个电动机中的一个所提供的刹车动力。

#### [0038] 线圈交换

[0039] 多个控制设备可以配置成在一个电动机的多相循环中提供电动机线圈中的电流的交错切换。这使得可以通过经一个给定时间周期扩展切换事件来减轻EMI噪声。这一方

面通过引起 PWM 切换事件在不同线圈中在不同时间发生来进行。

[0040] 本发明的具体实施例可以用于产生,例如,线性的或旋转的电动机。例如,线圈组可以被配置以产生旋转磁场,电动机可以包括一个安装的磁体在旋转场中旋转。

#### [0041] 线圈固定

[0042] 根据本发明的另一方面,提供一种用于电动机的线圈固定系统。该系统包括一个或多个线圈齿以可卷绕地接收一个线圈。该系统还包括一个背部以可附着地接收多个线圈齿。

[0043] 线圈齿提供了一种方式,使得一个线圈绕组可以离开电动机和其他线圈而独立准备。因此,每个线圈可以相对简单地独立准备,简单的接入到线圈齿而没有电动机的其它部分妨碍。背部提供了一种方式,使得固定系统的线圈一旦缠绕好以后,可以以一种期望的设置附着以产生适当的磁场。

[0044] 线圈齿可以包括一个延长臂以可卷绕地接收线圈。这再一次简化了生产线圈的任务。

[0045] 线圈齿可以包括一个成型的附着部分,背部可以包括一个相应的成型接收部分。这可以在齿和背部之间提供简单而稳固的附着。线圈齿的附着部分可以有两个指状物,呈 V 型。指状物的角度可以基本上沿着绕在齿上的一个线圈所产生的磁场线的方向,因而减少指状物对场的干扰。

[0046] 可以提供多个相互连接的背部。这再一次为设计和构造电动机提供了进一步的灵活性。例如,多个背部,每个带多个齿,可以独立的装配然后连接到一起形成更大的背部和齿装置以用于电动机。背部可以堆成一个在另一个之上,每一层的背部可以以这样一种方式相互连接使得相互连接是交错的而不符合垂直。这增加了结构的强度。背部之间可以通过齿来相互连接。

[0047] 背部可以定型、定尺寸以为附着其上的线圈齿产生期望的配置。例如,背部可以是弓形的。这使得圆形电动机可以包括固定系统的方式来构造。背部和 / 或线圈齿具有叠层结构。

[0048] 根据本发明的又一个方面,可以提供一种包括上述线圈固定系统的电动机或发电机。

[0049] 根据本发明的另一个方面,可以提供一种包括上述种类的电动机的车辆。

[0050] 根据本发明的又一个方面,可以提供一种制造上述电动机或发电机的方法。该方法包括在线圈齿上缠绕一个用于电动机或发电机的线圈。该方法还包括将带线圈的线圈齿附着到背部。

[0051] 该方法还包括连接线圈到一个控制设备,控制设备配置成提供该线圈的单独的电流控制。该方法有助于包括此类控制设备的发动机,因为不必使用一根单导线以产生每个齿的缠绕。取而代之,每个齿的线圈可以单独缠绕并直接连接到一个控制设备。

#### [0052] 牵引控制

[0053] 根据本发明的另一个方面,可以提供一种用于包括多个车轮的车辆的牵引控制系统,每个车轮独立地由各自的发动机提供动力。控制系统包括传感器用于检测每个车轮的旋转的加速度。控制系统还包括一个控制单元用于调整每个独立发动机施加到每个车轮的扭矩,以适应在在一个或多个车轮的旋转中检测预定的加速度。预定加速度可以指示刹车。

[0054] 可以给每个车轮提供独立的控制单元。每个控制单元可以根据预定规则独立于系统中的其他控制单元而执行牵引控制。控制单元可以组网以交换车轮加速度数据。控制单元可操作地提供用于车轮的连续的扭矩调整。

[0055] 根据本发明的另一个方面,可以提供一种包括多个车轮的车辆,每个车轮由各自的发动机独立地提供动力。该车辆包括上述的牵引控制系统。

#### [0056] 悬架 (suspension) 控制

[0057] 根据本发明的另一个方面,可以提供一种用于包括多个车轮的车辆的悬架控制系统,每个车轮固定在车辆的一个悬架臂上并由各自的发动机独立地提供动力。该系统包括一个控制单元以可选择地调整施加到每个车轮的扭矩,以施加力到每个各自的悬架臂。

[0058] 控制单元可选择地调整施加到每个车轮的扭矩,以施加力到每个各自的悬架臂以改变车辆的高度。

[0059] 根据本发明的另一个方面,可以提供一种包括多个车轮的车辆,每个车轮固定在一个悬架臂上并由各自的发动机独立地提供动力。该车辆包括上述悬架控制系统。

[0060] 上述车辆的发动机可以是电动机,比如上面所描述的电动机。

[0061] 根据本发明的另一个方面,可以提供一种用于包括多个车轮的车辆的牵引控制方法,每个车轮由独立发动机提供动力。该方法包括检测一个或多个车轮的旋转的加速度。该方法还包括调节由每个各自的发动机施加到每个车轮的扭矩,以适应检测一个或多个车轮的旋转的加速度。预定加速度可以指示刹车。

[0062] 预定加速度可以根据车辆加速度的一个确定上限来计算。

[0063] 一个各自的控制单元可以用于调节施加到每个车轮的扭矩。每个控制单元可以根据预定规则独立于系统中的其他控制单元来执行牵引控制。车轮加速数据可以在控制单元之间被交换。可以为车轮提供连续的扭矩调节。

[0064] 根据本发明的另一个方面,可以提供一种用于包括多个车轮的车辆的悬架控制方法,每个车轮固定在车辆的一个悬架臂上并由各自的发动机独立地提供动力。该方法包括可选择地调节施加到每个车轮的扭矩,以施加力到每个各自的悬架臂。

[0065] 根据本发明的另一个方面,可以提供一种计算机程序用以执行上述牵引控制方法和 / 或悬架控制方法。

[0066] 一种用于实现本发明的计算机程序可以是承载媒质上的计算机程序的形式。承载媒质可以是存储介质,比如固态的、磁性的、光的、光磁的或其他存储介质。承载媒质可以是传输介质,比如广播、电话的、计算机网络、有线的、无线的、电的、电磁的、光的或真正地其他任何传输媒质。

#### [0067] 调节密封

[0068] 本发明的另一个方面是包括一个定子和一个转子的发动机装置,定子有一个定子外壳,转子有一个转子外壳,转子外壳基本上环绕定子的部件 (components),而转子有一个密封装置安置于转子外壳和定子外壳之间,配置密封装置以使得该密封装置一部分或多个部分可以因为转子外壳旋转的离心力从一个接触定子外壳的位置移动到一个离开定子外壳的位置。该装置提供的有益之处在于,当转子固定或以低速旋转时,密封装置在定子和转子之间封闭起一个间隙,而当转子以较高速旋转时,封条并不因为随转子移动的封条和与定子外壳之间的摩擦而损坏。高速时,因为转子的离心作用而阻止了物质进入外壳。该

过程的进步之处在于,附着于转子的封条的可移动部分和定子外壳之间的压力在固定时最大,随着转子转速增大,压力降低直到接触停止。

[0069] 转子的离心作用还提供一个在转子定子组件内部的压力梯度。该压力梯度呈放射状,在中心压力小而向外越来越大。通过结合位于靠近定子中心的适当保护的入口,允许空气进入并随后在封条与定子的接口排出。该机制提供了气垫进一步保护封条以免过度劳损,还提供了附加密封收益,即排出的空气防止了物质进入。该特性还提供了排除任何进入发动机的水,例如由于冷凝的结果。

[0070] 适当保护的入口可以是,例如具有一个附着到定子外部的管子的入口。该管子足够长以使得其另一开口端位于一个确定永远不会进水的位置。该开口端进一步有一个颗粒过滤器以防止大于安全尺寸的物质颗粒进入发动机。

[0071] 另一种保护入口的方法是使用半透膜。这样的膜将可以透过空气而不能透过水或颗粒(例如 Goretex,双向拉伸聚四氟乙烯)。该方法可以位于定子或如上述远远地通过一个管子。

#### [0072] 冷却装置

[0073] 本发明的另一个方面是一种包括冷却装置的发动机。该发动机包括放置的环绕在四周的多个线圈而一个冷凝管道放置在直接地邻近多个线圈,冷凝剂通过该管道吸取或对流而流通。该方面使用一个多面冷却盘,其在三面封闭绕组而提供面以附着电子功率设备(electronic power device)、倾泻功率设备(dump power device)和倾泻电阻(dump resistor)。包括线圈、齿和背铁(back iron,或称之为护铁)的定子组件直接组装在冷却盘上。组件然后使用导热材料罐装到冷却盘,例如像充满氧化铝、氮化铝或碳的环氧。该罐装过程很重要,因为给整个组件以机械完整性,所有部分如同一个整体,更能抵抗震动和撞击。该罐装还改善了绝缘系统的电强度,防止了绕组内部的气穴(air pocket)。因为高切换速度  $dv/dt$  很高,这引起了绕组的绝缘介质中的电应力。气穴引起电离风险从而导致早期绝缘故障。在电控发动机或发电机中,由切换事件引起的重复电应力带来的绝缘击穿是一个主要的可靠性问题,罐装在很大程度上降低了这一风险。罐装最好在真空下进行,但低粘性罐装材料可以在大气压下使用。罐装对于改进发热绕组和背铁叠片结构和散热冷却盘及其中的冷凝剂之间的导热性很重要。罐装还有很大好处,其允许绕组系统完全浸入水中而没有漏电的风险。这很重要,因为需要使电子系统免受与冷凝或其他形式的进水的影响。

#### 附图说明

[0074] 为更好的理解本发明以及显示如何实现同样的发明,参照附图将结合以下附图的示例进行详细说明。

[0075] 图 1 示意性地示出了一个三相发动机的示例装置;

[0076] 图 2 示意性地示出了图 1 中所示一个线圈子组中的线圈装置;

[0077] 图 3 为本发明的一个具体实施例的发动机的部件分解图;

[0078] 图 4 为图 3 所示发动机另外一个角度的部件分解图;

[0079] 图 5 示意性地示出了根据本发明的一个具体实施例的三相发动机的示例线圈装置;

[0080] 图 6 示意性地示出了根据本发明的一个具体实施例的图 3 中所示的一个线圈子组

中的示例线圈装置；

[0081] 图 7 示意性地示出了根据本发明的一个具体实施例的三相发动机的示例装置；

[0082] 图 8 示意性地示出了根据本发明的一个具体实施例的图 7 中所示的一个线圈子组中的线圈的示例设置；

[0083] 图 9 所示为具体实施例的线圈相对于磁体的（位置）关系；

[0084] 图 10 示意性地示出了根据本发明的一个具体实施例的控制设备的示例；

[0085] 图 11 为一个切换装置的电路图；

[0086] 图 12 示意性地示出了一个共同控制设备用于协调多个控制设备的操作的装置；

[0087] 图 13 示意性地示出了根据本发明的一个具体实施例的线圈齿的前视图；

[0088] 图 14 示意性地示出了根据本发明的一个具体实施例的线圈齿的侧视图；

[0089] 图 15 示意性地示出了根据本发明的一个具体实施例的具有多个线圈齿可接收地附着其上的背部的示意图；

[0090] 图 16 示意性地示出了根据本发明的一个具体实施例的一个背部和一个线圈齿的局部视图；

[0091] 图 17 示意性地示出了根据本发明的一个具体实施例的一个背部和多个线圈齿的局部视图；

[0092] 图 18 示意性地示出了根据本发明的一个具体实施例的一个背部和线圈齿 (tooth) 的局部视图；

[0093] 图 19 示意性地示出了多个相互连接的背部交错堆叠构成一个更大的背部的示例；

[0094] 图 20 示意性地示出了多个相互连接的背部交错堆叠构成一个更大的背部的示例；

[0095] 图 21 所示为一个密封装置；

[0096] 图 22 示意性地示出了具有四个车轮的车辆示例，并指示附于这些车轮的力；

[0097] 图 23 示意性地示出了固定于一个悬架臂的一个车轮的示例；

[0098] 图 24 示意性地示出了本发明的一个具体实施例的磁体固定装置；

[0099] 图 25 示意性地示出了本发明的一个具体实施例的用于定子线圈的冷凝装置。

## 具体实施方式

[0100] 本发明的实施例所描述的是一个用于车辆的车轮中的电动机。该种类型的发动机的形式是具有作为用于附着于车辆的定子的一部分的一组线圈，被带着一组磁体、用于附着于车轮的转子所辐射地环绕。为避免产生疑惑，本发明的不同方面同样可以用于具有相同装置的发电机。另外，本发明的某些方面可以应用于具有固定于环绕的线圈中心的转子的装置。

### [0101] 物理排列

[0102] 结合图 3 和图 4，具体组件的物理排列将很好理解。组件可以描述成一个具有内置电子器件和轴承的发动机，或者当其适应一个独立车轮时也可以描述成一个轮毂发动机 (hub motor) 或者轮毂驱动 (hub drive)。

[0103] 首先参考图 3，组件包括定子 252，定子 252 包括形成了组件的外壳的第一部分的

后部 230,还包括散热片,还有包括多个线圈和既驱动线圈又驱动散热片的电子器件的驱动装置 231。驱动装置 231 安装于后部 230 以形成定子 252,然后定子 252 可能安装于一个车辆并在使用中不转动。线圈形成在齿状叠片结构 235 上,其与驱动装置 231、后部 230 一起构成定子 252。

[0104] 转子 240 包括一个前部 220 和一个形成一个盖子的圆柱部分 221,盖子基本上环绕定子 252。转子包括放置于圆柱部分 221 内部的多个磁体 242。磁体因而非常接近组件 231 上的线圈,这样组件 231 中的线圈所产生的磁场产生一个力加于放置于转子 240 的圆柱部分 221 内部的磁体 242 之上,因而使得转子 240 旋转。

[0105] 转子 240 通过轴承座 223 附着于定子 252。轴承座 223 可以是使用于车辆中的标准轴承座,该发动机组件将安装于该车辆。轴承座包括两部分,第一部分固定于定子而第二部分固定于转子。轴承座固定于定子 252 的壁体 230 的中央部分 233,也固定于转子 240 的外壳壁 220 的中央部分 225。转子 240 因而可转动地固定于车辆,并通过转子 240 的中央部分 225 上的轴承座 223 与车辆一起被使用。这带来一个很大的好处,即使用普通车轮螺钉将轮缘固定于转子的中央部分可将轮缘和轮胎固定于转子 240 的中央部分 225,并因而稳固地固定于轴承座 223 的转动侧。通过将车轮螺钉穿过轴承座,车轮螺钉可以穿过转子的中央部分 225。该装置的第一个好处是可以通过移开车轮、轴承座和例如刹车装置的任何其他部分来简单地改进现有车辆。现有轴承座可以装于组件内部,整个装置在定子侧固定于车辆而普通轮缘和车轮固定于转子侧,以使得轮缘和车轮环绕整个发动机组件。相应地,改进现有车辆变得非常简单。

[0106] 第二个好处是在转子 240 外面,特别是在承载磁体于内周的圆周壁体 221 上,没有支撑车辆的力。这是因为支撑车辆的力直接从固定于轴承座一侧的悬架上(通过定子壁体的中央部分)传到车轮的中央部分(通过转子壁体的中央部分),车轮环绕着固定于轴承座另一侧的转子。这意味着转子的圆周壁体 221 不承受任何导致壁体变形从而使得磁体对不准的力。不需要复杂的轴承装置来维持圆周转子壁体的对准。

[0107] 转子还包括一个调焦圈 (focussing ring) 和磁体 227 用于后面将会提及的位置传感。

[0108] 图 4 为图 3 所示相同组件的部件分解图,其从反方向(相对于图 3)展示了包括后部定子壁体 230 和线圈、电子器件组件 231 的定子 252。转子 240 包括外部转子壁体 220 和圆周壁体 221,磁体 242 环绕地排列在圆周壁体 221 之内。如前所述,定子 252 通过转子和定子中央部分的轴承座连接到转子 240。

[0109] 图 3 中还示出了电路板 80,其承载了后面将要描述的控制电子器件。因为其风筝形状 (kite shape),这些电路板可称作风筝板 (kiteboard)。图 3 和图 4 还示出了 V 型封条 (seal) 350,其处于转子圆周壁体 221 和定子外壳 230 的外边缘 (outer edge) 之间,也将在后面对其进行描述。图 4 中还示出了一个包括一个交换调焦圈 (commutation focusing ring) 和多个磁体的磁性环 227 被提供给排列在定子 252 的电路板 80 上的一系列的传感器,用于指示转子相对于定子的位置。这也将后面进行更详细的描述。

[0110] 线圈控制

[0111] 图 5 为根据本发明的一个具体实施例的电动机的示意图。在本例中,发动机一般是圆形的。然而,本发明的实施例也可以采用其他的拓扑。例如可以采用线性排列的线圈

以产生线性运动。

[0112] 本例中的发动机 40 是一个三相发动机。可以理解的是,根据本发明的发动机可以包括任意数目的相位 ( $N = 1, 2, 3, \dots$ )。作为一个三相发动机,发动机 40 包括三个线圈组。在本例中,每个线圈组包括两个线圈子组。每个线圈组的线圈子组分别标记为 44、46 和 48。线圈子组 44、46 和 48 排列在发动机 40 外围四周。在本例中,每个线圈子组与其所属线圈组中的另一个线圈子组相对安置,尽管这样的排列对本发明的工作并非严格地重要。每个线圈子组包括一个或多个线圈,如以下涉及图 6 所述。

[0113] 发动机 40 可以包括一个转子(图 5 中未示出)位于发动机的各个线圈的位置所定义的圆周的中心,因此而允许转子在线圈所产生的旋转磁场中旋转。优选地,尽管,转子可以设置于环绕在线圈周围,如前面图 3 和图 4 中所示出的那样。转子可以典型地包括一个或多个安置的永磁体用来旋转,它们的磁极扫过发动机 40 的线圈的末端。适当的切换线圈子组的线圈中的电流允许发动机的永磁体的磁极中的同步的引力和斥力来产生发动机 40 的旋转动作。需要理解的是图 5 是高度示意性的,实际上,线圈子组将排列在定子外围而转子磁体环绕着线圈。

[0114] 每个线圈组 44、46、48 包括一个或多个线圈。如图 6 所示,本例中,每个线圈子组有一个线圈。每个线圈子组多于一个线圈的示例将在下文中结合图 7 和图 8 加以描述。当给定的线圈子组中多于一个线圈时,这些线圈一般以相反的方向缠绕以使每个线圈产生的磁场相对于邻近线圈的磁场是反平行的。如上所述,线圈中的电流的适当切换使转子的永磁体转动。

[0115] 如图 5 中所示,根据本发明的一个具体实施例,每个线圈子组的线圈可以连接到一个独立的控制设备 80。图 5 中示意性地示出了每个线圈子组连接到各自的控制设备 80 的接线端 54、56、58。相应地,给定的线圈组的相应线圈子组的线圈并非串联。而是每个线圈子组独立地受控和供能。到控制设备的连接和每个线圈子组的线圈可以用例如一根单导线(例如铜线)来形成,如图 6 所示。为每个线圈子组的线圈提供独立的功率控制有很多好处。

[0116] 因为不需要连接线环绕发动机外围来提供每个线圈子组的线圈的互相连接,将用较少的导线来制造发动机。这降低了制造成本并降低了发动机结构的复杂度。导线的减少也降低了传导损耗。

[0117] 通过为每个线圈子组的线圈提供独立功率控制,并相比于在一个发动机中每个线圈子组的线圈串联的情况所能达到的匝数给每个线圈更多匝数,发动机的总电感会显著提高。反过来,允许在每个线圈子组中流过低得多的电流,因此可以将较低额定功率的切换设备用于电流控制。相应地,更便宜、更轻、体积更小的切换设备可以用于操作发动机。

[0118] 使用较低电流还降低了热损耗问题,并降低了切换损耗,因为较小的切换设备可以实现较快的切换速度。较小的切换设备可以操作在较高频率的事实允许更精细、更快响应的发动机控制。事实上,扭矩调节可以在高响应速度的基础上产生,可以在一个单 PWM 周期之内完成调节。根据本发明的一个具体实施例的典型的 PWM 周期大概是  $50 \mu s$ 。

[0119] 使用较小的切换设备的另一个好处是它们可以定位于非常接近它们控制的线圈。在以前的电动机中,使用相对大的切换设备来控制串联连接的线圈子组的操作,控制设备非常大因而不可能被包括进电动机的另一个部件(例如定子、转子等)而是单独地提供。相

反,因为可以使用小的切换设备,根据本发明的一个具体实施例,切换设备和包含切换设备的控制设备可以定位于,例如和发动机的另一个部件在同一外壳/外套之内。以下结合图 10 和图 11 将提供关于一个包含了切换设备的控制设备的例子的进一步细节。

[0120] 图 7 和图 8 所示为根据本发明的一个具体实施例的发动机 40 的另一种示例配置的例子。图 5 所示发动机 40 是一个三相发动机。因而发动机具有三个线圈组。本例中,每个线圈组包括 8 个线圈子组。每个线圈组的线圈子组在图 7 中分别标记为 44、46、48。为了和涉及图 5 所描述的例子一致,每个线圈组包括相对地排列于发动机 40 的外围四周的成对的线圈子组。再一次,需要注意的是,并非特别需要每个线圈子组有一个相应的线圈子组定位于发动机 40 外围的相反侧。

[0121] 如前面关于图 7 所描述的,每个线圈子组可以连接到一个各自的控制设备 80。每个线圈组的每个线圈子组的接线端在图 7 中分别标记为 54、56、58。图 7 中所示的设置包括比例如图 3 中所示的设置更多的线圈子组,这并不会显著增加用于操作发动机的切换装置的尺寸和体积,而在增加的线圈子组串联连接的情况下用于操作发动机的切换装置的尺寸和体积会显著增加。替代的,仅仅需要提供附加的控制设备 80,其包含了如上所述的用于每个附加的线圈子组的非常小的切换装置。如上所述,这些控制设备 80 足够小以致于它们可以定位于例如发动机 40 的同一个外套之内,邻近它们对应的线圈子组。

[0122] 如上所述,每个线圈子组可以包括一个或多个线圈。本例中,每个线圈子组包括三个线圈,如图 8 所示。图 8 中,这三个线圈标记为 74A、74B、74C。这三个线圈 74A、74B、74C 交替缠绕,以使得在给定的电流方向下每个线圈所产生的磁场与其邻近线圈产生的磁场反平行。如上所述,当发动机 40 的转子的永磁体扫过线圈 74A、74B、74C 的末端时,线圈中的电流的适当的切换可以用于产生期望的力以提供对转子的推动力。如图 6 所示,一个线圈子组中的每个线圈可以串联缠绕。

[0123] 每个线圈子组中的线圈 74A、74B、74C 反向缠绕以提供反平行磁场的原因可以参考图 9 来理解,图 9 所示为转子上环绕定子的线圈 44、46、48 的磁体 242 的排列。为简单起见,排列显示为磁体和线圈的线性排列,但应该理解的是在本发明描述的实施例中,线圈排列在定子的外围四周,而磁体排列在转子的圆周的内周,如已经描述的。

[0124] 磁体 242 排列成交替磁极指向线圈子组 44、46 和 48。每个三线圈 74A、74B 和 74C 的子组因而对磁体的交替的极面 (pole face) 呈现交替的磁场。这样,当一个子组的左侧线圈对一个磁体的一个 N 极呈斥力,其邻近的中央线圈将对磁体的一个 S 极呈斥力等等。

[0125] 如图 9 中所示意的,磁体对线圈的比率是 8 个磁体对 9 个线圈。这样排列的好处是磁体和线圈永远不会完美地排列。如果发生这样完美的排列,发动机可能静止在一个位置,在该位置线圈和磁体间没有力以给发动机一个明确的运动方向。通过配置不同数目的线圈和磁体环绕发动机,无论转子和发动机静止在什么位置总存在一个特定方向的合成力。

[0126] 线圈子组由各自的控制设备独立地控制的一个特别的好处是可以设置远大于正常数目的相位。例如胜于如图 7 所描述的三相发动机,伴随着不同的磁体和线圈,更多数目的相位例如二十四相或者三十六相是可能的。线圈对磁体的比率,例如 18 个线圈对 16 个磁体、36 个线圈对 32 个磁体等等是很可能的。事实上,优选的配置如图 3 和图 4 中所示是提供 24 个独立的控制“风筝”板 80,每一个控制一个子组的三个线圈。因而提供了一个二十四相的发动机。使用多相配置例如二十四相提供了许多优点。每个线圈子组中的单个线圈可以

比在较低数目相位的配置中具有更大的电感,因为每个控制电路不需要控制大量线圈(其将需要控制大的总电感)。一个大数目的相位还提供了较低水平的纹波电流。这意味着需要用来操作发动机的电流的包络的起伏要比例如三相发动机的包络低得多。相应的,发动机内部还需要较低水平的电容。大数目相位还最小化了因为需要通过供电线快速传输大电流所引起的高压瞬变的可能。因为纹波较低,电源电缆电感(supply cabling inductance)也较低并且电压瞬变级别也降低了。当用于一个刹车装置时(后面将会描述),这是一个主要优点,如在急刹车条件下,需要在几秒钟传送几百千瓦的功率,多相配置降低了这种情况下高压瞬变的风险。

[0127] 图9中所示的磁体和线圈的有关配置可以环绕转子和定子装置的360机械角度重复两次、三次、四次或者恰当的次数。单独的线圈子组的独立相位的数目越多,高压瞬变或明显电压纹波的可能性就越低。

[0128] 根据本发明的一个具体实施例,多个具有独立功率控制的线圈子组可以在发动机中相邻的安置。在一个这样的例子中,三个线圈例如图8中所示的那样可以在一个发动机中相互邻近而不串联连接到同一个控制设备80。取而代之,每个线圈将具有其自己的控制设备80。

[0129] 当给每个线圈子组提供独立的功率控制,可以操作有关的控制设备以一个降低的额定功率运行发动机。这可以例如通过选择对部分线圈子组的线圈断电来实现。

[0130] 作为示例,图7中部分线圈子组加\*来突出显示。如果这些线圈子组断电,发动机仍然可以运行,虽然性能降低了。这样,发动机的输出功率可以根据指定应用的要求来调节。在一个例子中,当发动机用于车辆例如一辆轿车,给部分线圈子组断电可以用于调节轿车的性能。图7所示的例子中,如果每个带\*的线圈子组都断电,剩下的线圈子组将导致类似图5中所示的配置,尽管当然每个线圈子组有三个线圈而不是图5中所示的每个线圈子组一个线圈。

[0131] 给一个或多个线圈子组断电还有进一步的好处在于当一个线圈子组故障的情况下,可以以某种方式给发动机40中的其他线圈子组断电来继续操作发动机40,该方式保持了平衡的磁场包络环绕在发动机外围用于适当的多相操作。相反,在以前的包括线圈子组的线圈连续的相互连接的系统中,在涉及大电流时,线圈或者与任意指定线圈组的相关的相互连接的故障很可能是灾难性的和高度危险的。而且,线圈或者线圈与指定线圈组之间的相互连接中任何地方的故障都将导致发动机无论以什么方式都无法继续工作。

[0132] 总之,根据本发明的一个具体实施例的线圈子组的独立功率控制允许为了响应对线圈子组的不同动力要求和/或故障或失灵而对选定的线圈子组独立地供电和/或断电。

### [0133] 控制电路

[0134] 图10所示为根据本发明的一个具体实施例的控制设备80的例子。如上所述,控制设备80包括多个开关,这些开关可以典型地包括一个或多个半导体设备。图10所示的控制设备80包括印刷电路板82,其上安装有多个元件。电路板82包括用于将控制设备80固定于发动机内部的装置,例如邻近其控制的线圈子组-直接到冷却盘。在所示的例子中,这些装置包括螺丝钉和诸如此类可以穿过其中的穿孔84。本例中,印刷电路板基本上是楔形。这种形状允许多个控制设备80可以在发动机中彼此邻近定位,形成扇形排列。

[0135] 控制设备80的印刷电路板82上可以安装一个接线端86用于从一个下面将要描

述的 92 控制设备接收线以发送和接收信号。

[0136] 图 10 所示的例子中,控制设备 80 包括多个开关 88。这些开关包括例如 MOSFET 或者 IGBT 的半导体设备。本例中,开关包括 IGBT。任何已知的合适的开关电路都可以用于控制与控制设备 80 相关联的线圈子组的线圈中的电流。这样的开关电路的一个众所周知的例子是半桥 (H-bridge) 电路。这样一个电路需要四个开关设备,如图 10 所示。线圈子组的导线 (例如铜线) 可以适当的直接连接到开关设备 88,开关设备 88 之间的相互连接可以在印刷电路板 82 上形成。如上所述,因为开关设备 88 可以定位于邻近线圈子组,线圈子组的导线的末端在开关设备 88 处更容易实现。

[0137] 如图 11 所示,控制设备包括排列在半桥装置中的半导体开关。半桥当然是本领域技术人员所熟知的,其包括四个分立的半导体开关 88 连接到电源 (这里是 300V) 和地。每个线圈子组的线圈连接到接线端 81 和 83。这里图示了一个子线圈 44 连接到接线端之间。简单地,为操作发动机并在一个方向提供电压,开关 88A 和 88D 闭合而其他开关断开,以形成一个电路,电流向一个方向流动。为操作发动机,电流方向随着通过线圈的交替磁极而改变。为改变发动机的转动方向,流入线圈的电流的定时和极性被改变以引起反方向的合成力。当开关 88B 和 88C 闭合而其他开关断开时,线圈中的电流反向。实际上,脉冲宽度调制技术 (PWM) 用于脉冲宽度,调制施加到半导体开关的栅极 (gate) 的信号以控制施加于线圈的电压。刹车设置操作于一种在先技术所未揭示的方式,并将在描述整个控制设置之后加以描述。

[0138] 如图 12 所示,共同控制设备 92 可以用于协调发动机中提供的多个控制设备 80 的操作。在以前的发动机中,每个线圈子组的线圈所产生的磁场的同步是自动获得的,因为它们是串联连接的。然而,当对每个线圈子组使用独立的功率控制时,不会发生这种自动同步。相应地,根据本发明的一个具体实施例,可以提供如图 12 所示的共同控制设备 92 以确保包括串联连接线圈的多相系统的正确模仿。如上文有关图 11 的描述,在多个控制设备 80 处提供终端 86 以允许在多个控制设备 80 与共同控制设备 92 之间形成连线。

[0139] 相互连接线 90 可以在共同控制设备 92 和控制设备 80 之间传递例如定时 / 同步信号这样的信号以适当的模仿多相串联连接系统。

[0140] 在一个可选的实施例中,每个控制单元可以独立的操作,而不需要中央控制设备。例如,每个控制单元可以具有独立传感器以检测发动机的转子的位置,这将不需要提供前面所描述的同步信号。取而代之,每个控制单元将收到一个需求信号使其能够独立地控制施加于其相关的线圈的电压。

[0141] 需要强调的是优选实施例不要求任何形式的中央控制设备用于每个结合了发动机的车轮的操作。优选地,每个发动机是自足的 (self-contained),在每个发动机中,控制电路 80 是自足的,仅需要一个扭矩需求信号用以操作。这意味着这些元件能够持续运作并传送所需要的扭矩水平,而不管整个驱动系统中的任何其他故障。在一个具有多个车轮、每个车轮具有一个发动机的系统中,每个发动机整合了所有所需要用以管理其动作的智能。每个发动机知道其在车辆的位置并相应地控制其动作。优选地,还为每个发动机提供其他发动机的信息,例如速度、扭矩和状态,基于每个发动机对其自身在车辆的位置和对其他发动机的状态的认知,其可以确定应该请求的指定要求的扭矩的最佳扭矩水平。但即使没有这些其他信息,发动机可以继续响应一个要求的扭矩。

[0142] 其他控制信号也可以通过互连来发送 / 接收, 例如通电 / 断电控制信号。这些信号也可以包括用于调节 / 限定电压脉冲的信号, 该电压脉冲由控制设备 80 施加于其相关联的线圈子组的线圈以给发动机提供动力。

[0143] 例如, 根据本发明的一个具体实施例, 可以提供用于监控线圈子组的线圈中的反向电动势 (back EMF) 的装置。由于与发动机关联的反向电动势, 模仿前面所述的具有串联连接的线圈子组的发动机的任务变复杂了。在一个串联连接系统中, 反向电动势也是连续的, 这引起平滑的正弦波反向电动势包络。相应地, 在连续配置中, 正弦曲线反向电动势最小化了当控制线圈中的电流时从驱动电器接口 (drive electronics) 所要求的带宽。

[0144] 相反, 根据本发明的具体实施例, 减少串联连接的线圈子组的数目可以引起非正弦曲线反向电动势。相应地需要更加灵活的控制系統以保证线圈中的电流仍然是正弦的。

[0145] 根据本发明的具体实施例, 可以提供近瞬时补偿 (nearinstantaneous compensation) 用于反向电动势并进一步调节系统直流电源电压的任何变化。用于测量反向电动势的装置可以包括一个电流传感设备以提供流入每个线圈子组的线圈的实际电流的反馈。在一个例子中, 可以简单地将适当低阻值的串联电阻与转换设备串联。例如, 在一个实施例中可以在半桥功率级的末端发射器加入两个电阻。

[0146] 因为反向电动势随着转子角度和转速而改变, 这引起线圈中的电流的变化率的变化。这个电流变化率可以当作一个电压变化由电阻或其他电流传感设备检测到。该变化然后通过微分以产生一个正比于反向电动势的电压。

[0147] 类似地, 电源电压可以在每个 PWM 周期开始时施加到一个电容。总电压斜升 (resulting voltage ramp) 可以加到反向电动势信号并组合成前馈项以调整电流 PWM 周期, 使其增大或减小。这样, 电源变化和反向电动势变化基本上即时地调节 PWM 周期并因而调节施加到线圈的电压, 导致线圈电流的快速调节以跟随需求的值。

[0148] 在另一个例子中, 可以提供传感线圈。传感线圈可以环绕于例如后面将要描述的线圈齿子组。于是可以在适当的时间监控传感线圈以获得反向电动势。这反过来可以用于如前面所描述的类似的方式在中期 (mid-cycle) 前馈一个项来调节 PWM 周期, 响应于反向电动势的大小。

[0149] 在每个驱动模块产生其自己的 PWM 信号的实施例中, 可能发生反向电动势校正, 其与其他模块是不同步的, 导致分布式随机扩频。控制设备也可以由一个板外设备来同步它们的 PWM 发生器, 例如共同控制设备 92。

[0150] 控制设备也可以选择性地包括用以监控发动机内温度的装置, 例如在与控制设备 80 相关联的线圈子组之内。控制设备可以自动地配置来响应温度测量, 例如降低到线圈子组的功率以避免过热。或者, 可以将温度测量从每个控制设备 80 传到共同控制设备 92, 因而共同控制设备 92 可以监控发动机内的整体温度并相应地调节控制设备 80 的操作。

[0151] 降噪

[0152] 根据本发明的一个具体实施例, 可以通过交错切换每个控制设备 80 的开关来降低 EMI (电磁干扰) 噪声。通过在发动机的不同切换设备的切换之间引入微小的时延, 可以避免在短时间内出现大量切换事件的情况, 该情况会导致 EMI 噪声的峰值。这样在发动机操作期间交错地切换控制设备 80 的开关 88 可以将与切换事件相关联的 EMI 噪声扩展到更宽的时间范围, 从而避免 EMI 噪声峰值。这种切换事件的扩展可以在独立的控制设备 80 本

地协调,或者由共同控制设备 92 使用经相互连接线 90 传递的调整过的定时信号来协调。

#### [0153] 电源

[0154] 尽管本应用中描述的控制设备 80 可以给发动机的每个线圈子组的线圈提供独立的功率控制,尽管这可以使用不同类型的切换设备和装置来实现,控制设备系统单元可以连接到公共电源,例如一个直流电源。直流电源的一个特别有用的设置是提供环形母线。因为控制设备 80 设置成环形,直流电源输入也可以设置成环形。这增加了安全性,因为环的每条边附近都有一个电流路径(和内环形主线同样的方式),因而直流输入在任何一点的失效都不会妨碍能量到达控制电路。另外,因为电流可以从电源经由通过环形母线经两条路径流到每个控制电路,母线上需要的电流是减半的。

#### [0155] 制动装置

[0156] 前面已经描述的许多特征在一个车辆车轮内的发动机中实现时提供了显著的优点,即提供了一种安全机制来施加一个制动力并因而不需要分立的机械制动装置。发动机自身可以提供制动力并因而返还能量到电源,所以该装置可以被称为“再生”制动。当操作于该模式,发动机担当发电机。

[0157] 制动装置将发动机组件中的相当可观的冗余作为一个整体来利用。如图 7 和图 8 中所示,每一个分立的线圈子组 44 由一个开关电路 80 独立控制的事实意味着一个或多个开关电路的失效不会引起制动力的完全损失。当提供驱动力时,通过有意地切换部分开关电路到不工作状态,发动机可以以同样的方式操作于降低的功率,如果一个或多个开关电路失效,发动机可以继续运行而仅有轻微的制动力降低。在已经描述的设计中,这样的冗余是固有的,但使得这样的发动机是用于车辆的非常有效率的装置,因为它既可以替代驱动装置也可以替代制动装置。

[0158] 发动机组件可以提供有效的制动装置的另一个原因与动力的处理有关。如已经提到的,使用多个独立受控的线圈意味着,当操作于发电模式下,流过每个线圈的电流不需要像流过具有较少相位的同等装置下那么高。因而将线圈产生的电流反馈回电源比较容易。

[0159] 为保证制动装置的安全操作,即使在电源失效的情况下,用于每个独立线圈子组的电路 80 由源自车轮自身的电力供应自身供电。当车轮转动,因为磁体通过线圈而产生一个电流。如果电源失效,该电流用于为开关 80 供电。

[0160] 另一种冗余方法是提供连接到车辆的刹车踏板(或者其他机械刹车装置)的分立的物理传感器,每个车轮一个传感器。例如,在一个典型的四轮轿车中,四个分立的制动传感装置将物理地连接到刹车踏板,其有四条分立电缆到四个分立的发动机。相应的,一个或多个连接到机械刹车踏板的这样的分立电子传感器,或者事实上,分立的电缆可能失效而仍然有一个或多个车轮受控以操作制动力。由于控制单元之间相互通信的能力,软件特性允许任何传感器或其电缆的失效,对发动机操作没有影响。这可以如下实现,即每个发动机能够推断传感器信息并能利用来自其他发动机的传感器数据,如果其传感器的数据与其他三个传感器完全不同。

[0161] 另一种冗余办法是使用所谓倾泻电阻。在电源失效的情况下,当提供制动力时,由车轮产生的电能需要消耗掉。为此,可以提供电阻,通过该电阻以热的形式消耗掉由车轮产生的电能。使用每个子线圈组带分立电子开关的多相设计允许使用分布式电阻,以使得每个子线圈组可以消耗其能量,而倾泻电阻作为一个整体因而可能分布于车轮的四周。

这保证了产生的热量可以通过车轮体 (mass of the wheel) 和冷却装置均匀的发散。

[0162] 再次参考图 11, 在制动模式中用于每个线圈子组的开关 80 的操作模式如下。上面的开关 88A 和 88B 断开, 开关 88C 操作于开 / 关 PWM 模式以控制线圈产生的电压。当磁体通过线圈 44, 连接点 83 处的电压上升。当开关 88C 作为 PWM 处理的一部分而断开时, 点 83 处的电压上升以维持线圈电流因而这样电能返还到电源 (通过横跨在开关 88B 上的二极管)。该装置有效地利用了发动机自身的线圈作为升压形式的直流 / 直流转换器中的感应器。半桥电路的切换控制控制了返还到电源的直流电压。

[0163] 用于再生制动的切换策略的升压型直流 / 直流转换器还有一个独特的优点, 即其降低了电池负荷。在已知系统中, 再生模式通过切换顶部开关以提供与发动机线圈及其反向电动势串联的电池伏特来运作。这要求建立流过电池的电流。因此即使线圈在发电, 由于其电流必须以放电方向流过电池, 其消耗了电池电荷。通过使用前面描述的直流 / 直流转换器装置, 线圈通过底部开关所产生的横跨在线圈两端的有效短路在本地建立电流。当发电电流建立时, 于是其以充电方向反流到电源。因此当底部开关在正常 PWM 序列中关闭时, 两种机制同时收集瞬态能量, 传统的系统消耗电池电流同时建立发电电流, 而这里所描述的装置不消耗电池电流。

[0164] 当线圈产生的电压降低到低于比方说 4 伏特, 因为半桥电路中所用的开关或二极管的电压降, 电流将不再能流动。在实施例中, 每英里每小时产生大概 1.75 伏特电压, 因而在速度低于 3 英里每小时的时候这种情况会发生。在这个速度, 切换策略变成直流反向制动 (DC plugging) 形式。在直流反向制动中, 所有电压的相位设置成相同。该所有电压的共同相位导致转动力的消除和静态力的应用。静态力试图将转子保持在一个位置。这样使用正常的 PWM 控制但施加到每个线圈子组的电压与其他线圈子组同相。该直流操作模式在低速时特别有益, 因为它保证了车辆的安全停止。当车辆完全静止, 其将保持静止, 因为转子的任何运动都受到静域的阻止。这样就不存在发动机突然前移而后移的风险。

[0165] 已经描述的倾泻电阻装置也可以用于以下情况, 即刹车时电池满电而电能需要消耗。如果横跨电池的电压超过一个特定门限, 则电能可能转移到倾泻电阻上。

[0166] 本发明的具体实施例可以提供非常可靠的发动机或发电机, 至少部分是由于如前面所述的对线圈子组的分立的功率控制。因此, 根据本发明的发动机或发电机特别适合需要高可靠性的应用。

[0167] 另外一个安全特性, 尤其当发动机整合到一个车辆中特别有益, 即该发动机不仅可以给其内部的开关提供能量而且可以给整个系统的远程部分提供能量, 这些远程部分包括在图 12 中示为共同控制设备 92 的主控制器处理器和其他传感器, 例如刹车踏板传感器。这样, 即使车辆中的电源完全失效, 制动装置仍然可以运作。

[0168] 举例来说, 例如风力涡轮机这样的应用依赖于它们的成就并提高了成本和可靠性。典型的涡轮系统将运行 25 年而理想地要求最少的服务停机时间以用于维修 / 损坏等。根据本发明的一个具体实施例, 这可以通过将驱动电子器件和紧凑绕组合并成紧凑形式来实现, 总的系统成本得以最小化。根据本发明的一个具体实施例, 线圈子组的独立功率控制可以使得即使在系统部分失效时仍能持续运作。

[0169] 特别地, 近来竖轴涡轮由于其有效操作而越来越普及, 这些涡轮可以整合根据本发明的发动机而得益。这是因为可以实现高功率重量比, 其允许较低的柱头质量并因而需

要较低的成本以支持柱体 / 结构。

[0170] 由于仅依靠传统三相桥拓扑中的单设备可靠性,军用的航海航天器和陆基驱动系统不如期望的那么可靠。使用根据本发明具体实施例的发动机,这样的交通工具的可靠性可以提高。

[0171] 从前面的描述中可以明白,电动机一般包括一个复杂的相互连接和绕组的装置。如前面所述,制造包括这样特性的电动机是一个费时费工的过程。采用例如铜线来绕线和相互连接时,构造一个电动机所要求的时间和努力通常会加剧。这类导线经常比较粗(为了能够处理大电流)而且难以处理。还是因为这些导线难以处理,制造发动机时难以避免导线上绝缘层的损坏。进入发动机的相关部分来安装绕组和相互连接线经常受到发动机其他部分的限制和约束。

#### [0172] 线圈固定

[0173] 图 13 至图 18 示意性地展示了一种用于电动机或事实上用于发电机的线圈安装系统的一个例子,其允许更容易地构造和组装一个发动机。如图 15 所示,线圈安装系统包括一个背部 150 和多个线圈齿 100,这些线圈齿散布在线圈安装部分 150 的四周。线圈齿定位使得它们可以接收发动机线圈的绕组来产生期望的 N 相发动机。如图 11 中所示的线圈齿配置,举例来说,可以用于构造前面所描述的类型三相电动机。

[0174] 图 13 和图 14 更详细地展示了线圈齿 100。图 13 展示了一个线圈齿的前视图而图 14 展示了一个线圈齿的侧视图。线圈齿 100 包括一个延长臂 102 用于可卷绕地接收一个电动机的线圈。可以在线圈齿 100 的延长臂 102 的一端提供凸缘 104 以防止在线圈卷绕于线圈齿之后无意地拆开。

[0175] 根据本发明的一个具体实施例,每个线圈齿可附着地被接收在背部 150 上。相应的,每个线圈齿可以包括将线圈齿 100 附着于背部 150 的装置。如图 9 和图 10 所示的例子中,这些装置包括两个延长指状物 106。这些指状物一般呈 V 型构造,从延长臂 102 相对于凸缘 104 的那一端延伸出去。如下面将要描述的背部 150 可以有相应的成型部分以接收这些指状物来将线圈齿 102 附着于背部 150。

[0176] 图 16 和图 17 更详细的展示了背部和被接收的线圈齿。在图 16 和图 17 所示的例子中,背部由多个较小的背部 150 结合而成。

[0177] 图 16 所示为一个可附着地被接收于背部 150 的单线圈齿 100。如图 16 所示,背部 150 可以包括多个开口 126 用于接收响应成型的线圈齿 100,例如前面提及的 V 型指状物 106,以允许线圈齿 100 附着于背部 150。

[0178] 图 16 所示为一个发动机线圈的导线如何可卷绕地被接收于线圈齿 100 的延长臂 102 并终止于接线端 142 的例子。接线端可以包括诸如前面描述的那种控制设备的接线端。因为线圈齿 100 可附着地被接收于背部 150,线圈的绕组可以在线圈齿 100 附着到背部 150 之前在制造阶段被接收于线圈 100。这允许绕线过程独立于发动机的其他部件而执行,因此其他部件不会约束绕线过程。相应的,因为线圈齿 100 分立于背部 150,可以实现轻易的接近延长臂 102,而且可以以最小的绝缘风险来卷绕线圈。这允许导线使用较少的电安装材料,反过来允许每单位长度的线圈具有更好的散热能力。这反过来允许包括线圈安装系统的发动机的额定功率达到最大。

[0179] 这里描述的线圈安装系统可以用于与关于图 1 的应用串联连接的线圈子组的电

动机协同工作。在这样的例子中,构造电动机可能包括将一根单导线卷绕在分离于背部的多个线圈齿上,并在每个线圈齿之间留出一段长度的导线来提供适当的串联相互连接线。完成了这些,线圈齿于是可以附着于背部的适当位置。

[0180] 然而,这里描述的线圈安装系统特别有助于线圈组独立受控的发动机。这是因为独立控制要求每个线圈组的线圈齿的分立的接线端,因此当将导线卷绕在分离于背部的线圈齿上时,没有必要判断每个线圈组之间多个串联相互连接的适当长度。取而代之,多个线圈齿及其绕线可以在第一步生产,然后这些线圈齿可以如期望的简单地安装于背部 150。

[0181] 如前面描述的,每个线圈组可以有多个线圈。图 17 展示了本发明的线圈安装系统也兼容于这样的线圈组。特别地,图 17 展示了根据本发明的线圈安装系统如何将三个线圈齿 100 卷绕并配置成一个线圈组的例子。图 17 所示的绕组的配置对应于如前面所描述的图 8 所示的线圈的配置。

[0182] 现在将结合图 18 描述背部 150 的更多细节。图中所示的背部 150 基本上是弓形的。这允许多个背部相互连接以形成更大的环状背部因而构造环状发动机。背部 150 是可相互连接的以形成更大的背部。在图 18 所示的例子中,背部可以利用线圈齿 100 的特性来相互连接。特别的,图 18 中可以看到,线圈齿 100 将两个背部连接到一起,其两个指状物 106 分别被两个背部 150 的接收开口 126 所接收。在其他例子中,可以提供相互连接背部的替代装置。需要注意的是,可以以完整的单体结构来提供背部 150。

[0183] 当多个背部 150 通过一个线圈齿 100 相互连接以形成更大的背部,需要注意的是,相邻背部 150 之间的连接基本上平行于可卷绕地被接收于线圈齿 100 的线圈所产生的磁场,因此连接基本上不影响线圈产生的磁场。

[0184] 如图 18 所示,在背部 150 的外部四周可以提供升高部分 128 来符合线圈齿的形状。

[0185] 还可以给背部 150 提供有助于散热的特征。在本例中,提供了具有切除部分 130 的背部 150。这些切除部分用于给典型地由钢铁或其他金属构造的背部 150 提供一个较轻的构造。根据本发明的一个具体实施例,一个或多个栓销 134 可以插入切除部分 130 以在背部 150 和诸如定子这样的发动机的另一部件之间提供改进的热传导,这些栓销可以用例如铝来制造。

[0186] 如图 18 所示,背部 150 可以具有包括多层 115 的叠层结构。背部可以使用一种冲压处理 (stamping process) 来制造,其中背部的多层 115 根据期望的形状和构造来冲压,如图 18 所示叠压在一起,于是结合在一起形成背部 150。

[0187] 这一包括多个相互连接的背部 150 的线圈安装系统允许使用一种有效的冲压处理来构造线圈齿和 / 或使用叠层结构的背部 150。这是因为相比于包括单体叠层结构而没有相互连接 126 被冲压的情况,在冲压处理中仅损失或浪费非常少的材料。

[0188] 如前面描述的,多个背部 150 可以相互连接以形成更大的背部。而且,多层这样相互连接的背部可以叠压在一起以形成一个更大的背部。图 19 和图 20 展示了这样的例子。图 19 和图 20 展示了叠压的背部及其相应的接合点 126 的侧视图。如图 19 和图 20 所示,接合点 126 可以以多种不同的配置交错使得邻近层的相互连接的背部 150 之间没有在垂直方向上相符的相互连接点 126。这有助于增加包括叠压的、相互连接的背部 150 的更大的背

部的强度。

[0189] 与图 13 至图 17 所示的装置一起,使用大量线圈的一个优点是涉及到特定应用所需要的背铁部分 (back iron portion) 150 的厚度。典型地,背部 150 的厚度大概是磁体宽度的四分之一到一半以应付磁通量。较少的线圈要求较大的磁体并因此更多铁块导致更重的发动机设计。通过使用大量分立的线圈,背铁部分 150 的厚度可以降低。支持转子上的磁体的铁的厚度也可以降低。发动机的厚度作为一个整体可以尽可能的薄非常重要,以使得尽可能的接近外边缘在线圈和磁体之间施加力,因此增加了提供的转动矩。

#### [0190] 密封装置

[0191] 图 3 和图 4 展示了一个根据本发明的具体实施例的各种视图,现在将描述密封围栏的机制。图 3 和图 4 分别展示了发动机 210 的前视图和后视图。本例中的发动机 210 包括一个外壳,其具有一个前部 220 和一个后部 230。在图 3 中,后部 230 和一个深一层的封盖部分被移开以揭示外壳的内容。

[0192] 在本例中,发动机 210 包括一个相对于定子 252 转动的转子 240,定子 252 在发动机 210 工作期间保持静止。本例中,转子 240 包括多个永磁体 242 安装于基本上呈圆形的转子内部成环形。如前面描述的,发动机 210 中形成的转动磁场可以提供必要的引力和斥力以产生转子 240 的转动。

[0193] 定子 252 可以包括如前面所述的线圈组的安装。特别地,本例中,线圈被排列在线圈子组中,每个线圈子组独立地受控于一个对应的控制设备 80。在图 3 中可以看到这些控制设备 80。在前部 220 下面可以提供多个盘体以保护发动机 210 的控制设备 80 的部件。如前面关于图 7 的描述,这些部件可以包括一个或多个半导体设备,例如 MOSFET 或 IGBT。在本例中,如图 10 所示,IGBT 安装于印刷电路板 82。在本例中,每个控制设备 80 有四个 IGBT88。

[0194] 如前面所描述的,每个控制设备 80 可以控制一个各自的线圈子组的线圈。在本例中,定子 252 包括多个线圈齿 200 安装于背部 250。线圈齿 200 和背部 250 可以是诸如图 13 至图 20 所描述的那种类型。

[0195] 回到图 3,可以看到发动机外壳的前部 220 提供有第一和第二开口 222。这些开口 222 允许因为安装、维护和 / 或修理的目的而接近控制设备 80。可以提供诸如螺丝钉 224 这样的装置以允许开口 222 的封盖可移除地附着于前部 220。通过相对于定子 252 和不同的控制设备 80 转动发动机外壳的前部 220,可以接近期望的控制设备 80 的适当的盘体。盘体然后可以被移除以允许接近控制设备 80 自身。这样,无需将前部 220 从发动机完全移开就可以维护 / 修理控制设备 80 等。

[0196] 图 21 展示了密封装置的深一层的部分,其防止了物质进入发动机组件内部。这展示了定子壁体 230 和转子的环状壁体 221 在它们的接触点的放大部分。一个小的空气间隙必要地存在于转子壁体和定子壁体之间以允许一个相对于另一个的转动。该间隙由一个 V 型封条 350 填充,如图 3 和图 4 中所示并在图 21 中示出更多细节。封条固定于一个转子外壳的环状壁体而且封条的一个自由端邻接定子外壳的壁体 230。当转子转速增大,由于离心力,封条的自由端将朝远离定子的壁体 230 的方向倾斜,因此最小化了封条 350 的磨损。转子转动的离心力阻止了灰尘或其他物质进入外壳。另外,这也得益于允许气流通过定子壁体中的小孔 351。这允许气流从小孔穿过定子壁体 230 的内面并由倾斜的封条 350 产生的

间隙流出,因此确保了防止灰尘或其他物质进入。

[0197] 根据前面所描述的,很明显,本发明的实施例可以应用于电动机也可以应用于发电机,部分由于两者结构和概念上的类似性。例如,发电机可以受益于前面所描述的线圈子组的线圈的分立的功率终端。此外,前面所描述的线圈安装系统相同地适用于发电机和发动机的线圈的安装的构建。

#### [0198] 牵引控制

[0199] 如前面讨论的,根据本发明的一个具体实施例构造的发动机可以允许高度响应的扭矩控制。此外,根据本发明的一个实施例,车辆的每个车轮可以具有其自身的发动机。例如,可以为每一个车轮本地提供一个前面描述的那种类型的发动机。

[0200] 车辆的每个车轮使用分立的发动机可以允许车辆的牵引控制具有增加的灵活性。此外,由根据本发明的具体实施例的发动机所提供的扭矩控制的短响应时间可以增强这种灵活性。

[0201] 根据本发明的一个具体实施例,车辆的每个车轮可以受控于其自身的发动机及相应的驱动软件,因此允许每个发动机处理其自身的牵引控制。这意味着每个发动机可以独立于其他车轮来处理例如刹车情况。此外,由本发明的具体实施例提供的快速响应时间(例如在一个单 PWM 周期之内,例如该周期为  $50 \mu s$ ) 可以允许施加于每个车轮的复杂的扭矩的独立的控制,以增加处理刹车的效力。

[0202] 根据本发明的一个具体实施例,通过高速连续范围扭矩环来实现发动机控制。这可以允许响应更加平滑并且达到的控制比机械调制的刹车管理系统更好。发动机驱动器可以通过一个控制器区域网络(CAN)来互联到一起。这允许在电动驱动器之间交换信息以用于所要采取的被协调的行动,例如交换关于刹车事件的信息。在一个例子中,这个信息包括指示每个车轮的角加速度的加速数据。急剧增加的角加速度可以解释成车轮刹车的车轮打滑。

[0203] 相应地,刹车管理的一个重要部分是检测刹车事件的开始。当一个车辆,例如一辆轿车,具有实在的质量而车轮具有小得多的质量,可以给车轮的角速度的变化率设置一个上限,超过该上限必须刹车。这一极限值可以根据包括车辆和车轮重量的因素来确定。

[0204] 根据本发明的一个具体实施例,可以在每个车轮的发动机或车轮自身中提供诸如内部磁角度传感器这样的传感器。这些传感器检测每个车轮的角速度。通过求取传感器所确定的角速度的一阶导,可以确定每个车轮的角加速度用于车轮刹车确认。

[0205] 在另一个实施例中,可以通过将每个车轮的速度和其他车轮的速度进行比较来检测车轮刹车。

[0206] 如前面描述的,可以通过检测车轮角速度的变化来检测车轮刹车。

[0207] 车轮加速度的上限可以根据所有发动机的总功率( $P_{motors}$ )和车辆质量( $m_{vehicle}$ )来确定:

$$[0208] \quad P_{motors} = F_{air} \cdot v_{vehicle} + m_{vehicle} \cdot v_{vehicle} \cdot a_{vehicle} \quad (1)$$

[0209] 其中  $v_{vehicle}$  是车辆的速度而  $F_{air}$  是车辆受到的空气阻力的测量值。公式(1)可以重新排列以形成车辆可以达到的加速度的上限的表达式:

$$[0210] \quad a_{vehicle} \leq \frac{P_{motors} - F_{air} \cdot v_{vehicle}}{m_{vehicle} \cdot v_{vehicle}} \quad (2)$$

[0211] 使用公式 (2), 车辆的车轮的加速度  $\alpha_{\text{wheel}}$  的一个可行的上限的表达式确定如下:

$$[0212] \quad \alpha_{\text{wheel}} \leq \frac{a_{\text{vehicle}}}{r_{\text{wheel}}} = \frac{P_{\text{motors}} - F_{\text{air}} \cdot v_{\text{vehicle}}}{r_{\text{wheel}} \cdot (m_{\text{vehicle}} \cdot v_{\text{vehicle}})} \quad (3)$$

[0213] 其中  $r_{\text{wheel}}$  是车轮的半径。该公式可以通过假定空气阻力可以忽略而简化 (也就是  $F_{\text{air}} \approx 0$ ):

$$[0214] \quad \alpha_{\text{wheel}} \leq \frac{P_{\text{motors}}}{r_{\text{wheel}} \cdot m_{\text{vehicle}} \cdot v_{\text{vehicle}}} \quad (4)$$

[0215] 当车轮加速度超过公式 (3) 或公式 (4) 所限定的值, 可以推断该车轮发生了刹车。

[0216] 实际的车轮角加速度可以通过计算车轮的角位置关于时间的导数来确定。

[0217] 根据本发明的一个具体实施例, 这可以使用诸如牛顿有限元方法的方法来实现。

[0218] 根据本发明的另一个具体实施例, 这可以通过内插车轮角度位置的测量然后求内插函数的导数来实现。在一个例子中, 可以使用 Pronney 内插。使用这一内插, 函数  $f(x)$  的一阶导和二阶导可以定义为:

$$[0219] \quad f(x)' = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} \quad (5)$$

[0220] 以及:

$$[0221] \quad f(x)'' = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x - \Delta x) - 2 \cdot f(x) + f(x + \Delta x)}{\Delta x^2} \quad (6)$$

[0222] 关于公式 (5) 和公式 (6), 一个估计角速度的基本公式可以定义为:

$$[0223] \quad \omega \approx \frac{\theta_k - \theta_{k-1}}{\Delta t} \approx f \cdot (\theta_k - \theta_{k-1}) \quad (7)$$

[0224] 从而得到:

$$[0225] \quad \frac{\omega}{f} \approx \theta_k - \theta_{k-1} \quad (8)$$

[0226] 其中  $k$  指示车轮的角度位置的第  $k$  个测量。相应地, 在一个例子中, 加速估计可以基于至少两个时间间隔, 这两个时间间隔由三个点定义 (其中每个点构成角度位置的一个第  $k$  测量):

$$[0227] \quad \alpha \approx \frac{\omega_k - \omega_{k-1}}{\Delta t} \approx \frac{\frac{\theta_k - \theta_{k-1}}{\Delta t} - \frac{\theta_{k-1} - \theta_{k-2}}{\Delta t}}{\Delta t} \approx \frac{\theta_k - 2 \cdot \theta_{k-1} + \theta_{k-2}}{(\Delta t)^2} \quad (9)$$

[0228] 如前面描述的, 每个车轮的确定的实际加速度可以与诸如前面的公式 (3) 和 / 或公式 (4) 给出的值所限定的极限值作比较, 以确定刹车的发生。

[0229] 当检测到刹车, 发动机驱动软件的目的是尽可能快的将车轮带出刹车状态。为了实现这一目的, 施加于正在刹车的车轮的扭矩可以减少。当扭矩减少, 车轮的角速度下降直到车轮停止刹车。相应地, 驱动软件的任务是以允许刹车以迅速减弱的方式来降低施加于正在刹车的车轮的扭矩。

[0230] 有多种方法可以降低施加到正在打滑的车轮的扭矩来恢复牵引。例如, 可以采用扭矩的计算的台阶状减少然后线性减少的结合直到检测到恢复了牵引。或者, 可以将扭矩降到零或者一个很低的值。然后可以确定车轮稳定恢复到平均车辆速度所用的时

间。当事先知道车轮的转动惯量时,这给出了足够的信息来找到轮胎的抓紧系数 (grip coefficient)。反过来,这个测量能够用于调制车轮发动机中产生的扭矩。

[0231] 如前面描述的,车辆的发动机驱动器可以通过诸如控制器区域网络 (CAN) 来网络互联到一起。此类互联可以允许发动机驱动器通信给每个发动机驱动器提供关于车辆的整体状态的改进的认知。例如,在这样一种配置中,发动机驱动器可以给车辆的四个车轮的左/右牵引平衡的维持做准备,例如一辆轿车。这可以允许纠正可以改变车辆运行方向甚至使其打转的显著的左/右不平衡。

[0232] 参考图 22,如果一个车轮检测到刹车,成对的车轮(例如,车轮 312 和 314,或者车轮 316 和 318)可以通过采取类似的动作来对其做出反应。然而要避免一种情况,即车辆相对侧的车轮采取动作,因为这可能由于产生扭矩而引起车辆翻转。车辆的不同侧(左侧或右侧)上的不对称的力将产生这样的扭矩。例如,如果一辆车正沿着软边沿行驶,左边车轮在草地上而右边车轮在柏油路上,而司机突然刹车,则车辆将转向右边,可能转到迎面而来的车辆的路径上。

[0233] 根据本发明的一个具体实施例,可以应用前面描述的平衡成对车轮的牵引的牵引平衡。例如,可以在一定级别的缓冲以内来执行左/右平衡以匹配左侧发动机组和右侧发动机组的扭矩负载。此类平衡在低速情况或者没有显著刹车发生的情况可能并非必要。在另一个例子中,可以应用前/后平衡——这可以允许车辆最大程度的利用每个发动机的能量。

[0234] 举例来说,在具有四个车轮的轿车这样的车辆中,如果左前轮刹车而其他轮没有刹车,可以降低到左前轮的扭矩而提高到后左轮的扭矩以弥补差距。然而在某些情况下,后左轮可能不能完全弥补前左轮减少的扭矩。如果是这种情况,则两个右侧发动机可以均降低它们的扭矩以使左/右扭矩平衡相等在某一缓冲总量之内。每个驱动发动机可以采用预定规则来确定在特定情况下其该如何反应。因为规则是预定的,每个发动机可以假定车辆的其他驱动发动机将以这些规则所限定的方式来反应。这样,驱动发动机可以如前面描述的以同等的方式行动。另外,预定条件可以根据诸如路面湿度和温度这样的驱动条件来改变。

#### [0235] 悬架控制

[0236] 车辆的每个车轮使用分立的发动机还允许处理车辆悬架控制的增加的灵活性。此外,由根据本发明的具体实施例的发动机提供的对扭矩控制的短响应时间可以进一步增强这种灵活性。

[0237] 根据本发明的一个具体实施例,可以给具有多个车轮的车辆提供一种悬架控制系统。参考图 23,该例中每个车轮 330 可以安装于一个悬架臂 340 上。

[0238] 在图 23 中,车辆相对于平面 350 的正常前进方向由图 23 中所示的箭头标记 Z 指明。相应地,如图 23 中所示,车轮 330 以箭头标记 X 指示的方向转动。如果附加扭矩以箭头标记 X 指示的方向施加于车轮,这将趋向给悬架臂 340 一个力,因而悬架臂 340 将趋向以图 23 中箭头标记 Y 所指示的方向升起。在本例中,车轮 330 是诸如轿车的车辆的前轮。在图 23 中,悬架臂 340 以箭头标记 Y 指示的方向升起将因此引起轿车前部在车轮 330 的位置也升起。这样,通过调节施加到车辆的车轮的扭矩可以实现车辆的悬架控制系统。

[0239] 根据本发明的一个具体实施例,可以提供一种悬架控制系统,其施加到车辆的每

个车轮的扭矩可以选择性地调节以调节悬架和 / 或车辆的高度。该控制系统可以通过控制单元来实现,既可以给每个分立的车轮提供一个控制单元,也可以使用一个控制单元作为中央控制单元可操作地控制多个车轮。每个车轮可以由例如前面描述的类型电动机驱动。在这样的实施例中,由前面描述的发动机所提供的精细控制和快速响应时间可以增强悬架控制的响应。用于控制悬架的控制设备可以如前面描述地使用控制器区域网络 (CAN) 来网络互联到一起。

[0240] 使用扭矩控制能够独立地控制多个车轮的悬架的情况的第一个例子是车辆拐过一个拐角。当一个车辆拐过一个拐角,可能期望倾斜车辆以使得车辆在拐角的外侧相对于车辆在拐角的内侧升高了。这可以用于平衡车辆的外侧朝着路面向下倾斜的趋势。在本例中,可以给车辆的外侧车轮提供更多的扭矩(也就是车辆在拐角外侧的车轮)以提升车辆的该部分。相反地,可以给车辆在拐角内侧的车轮提供较少的扭矩。这将如期望的降低车辆在拐角内侧的悬架。

[0241] 上面的例子描述了车辆的成对的车轮一起受控来提升或降低车辆的一部分的情形。在另一个例子中,车辆的前轮和后轮可以受控相对于彼此动作,具有提升车辆的整体水平的效果。特别地,可以以较多的扭矩提供给车辆的前轮而较少的扭矩提供给车辆的后轮以有效地推动车辆的前轮和后轮的悬架臂靠向彼此,因此使得它们都提高了。

[0242] 根据本发明第一个具体实施例,诸如牵引控制系统和 / 或悬架控制系统这样的控制系统的输入可以通过转向车轮传感器和车辆姿势和偏航传感器来完成。

[0243] 在一个例子中,如果车辆处于刹车管理状态(此时检测到车辆的一个或多个车轮刹车)而且司机选择突然地移动转向车轮到一个方向,该移动幅度和变化率可以传达到前面描述的控制设备以使得控制设备可以在其牵引控制策略中采取适当的补偿动作。相应地,一个符合司机意图的前向反馈函数可以加入到车轮驱动软件策略以更好地处理刹车和响应司机的指令。因为前面描述的类型电动机具有增加的响应性,独立车轮的响应可以比现有系统快得多。此外,每个车轮根据其局部状态来响应,因此存在相比于现有系统更加稳定的可能性。

[0244] 前面描述的牵引控制系统和悬架控制系统可以使用执行在一个微处理器上的软件来实现。可以在一个承载介质上来提供该软件。

#### [0245] 磁体安装

[0246] 一种特别有效的磁体安装方式示于图 24。如已经描述的,磁体环绕安装于转子 252 的内部环状壁体 221。磁体传递所有来自线圈的磁场的力到转子,因此我们已经理解,磁体必须可靠地安装于环状转子壁体 221。

[0247] 环状壁体的一部分,包括磁体 242,在图 24 中示为放大 A。在每个磁体位置,实际上有三个分立磁体 401、402 和 403,它们被插入转子背部铁 407 的楔形空隙 405。该装置有许多优点。首先,通过使用分立的磁体部分来产生在每个磁体位置的单磁体,磁体中的涡电流可以降低。同时采用三个分立的磁体部分是优选的,其他数目的磁体也是完全可能的。其次,楔形安装装置保证了磁体在环状壁体 221 上的精确位置而且还保证了它们被可靠地安装。其他空隙形状装置是可能的,但楔形安装装置是优选的。

#### [0248] 冷却装置

[0249] 一种用于冷却线圈的特别有效的配置如图 25 所示。该定子的视图是定子轴向平

面的横截面。简要地参考图 3, 图 3 中的线圈齿 235 同一个单线圈齿 514 一起示于图 25 所示的横截面中, 线圈齿可以接收安装于绕组空间 510 和 512 的绕组。如关于图 16 和图 17 的描述, 线圈齿安装于背部铁 150 上。该背部铁直接安装于冷却盘 516 上, 冷却盘 516 和其他壁体一起定义了冷却通道 502 和 504, 穿过这些冷却通道冷凝液可以通过对流或抽吸来循环。另外, 在空间 512 中的线圈一侧的冷却管道 508 在一侧冷却线圈齿, 而在相对侧的冷却管道 506 冷却空间 510 中的线圈。相应地, 线圈由该多面冷却盘冷却, 该冷却盘从三面围绕线圈。另外, 冷却管道的表面用于附着诸如控制设备 80、倾泻电阻等的电子功率设备。这样, 一个单三侧冷却装置为线圈和相关的产生热量的部件提供冷却。

[0250] 整个线圈组件使用热传导但电绝缘材料罐装于冷却盘, 例如填充氧化铝的环氧。这改进了从线圈到背部铁和到冷却盘的热传导性能。

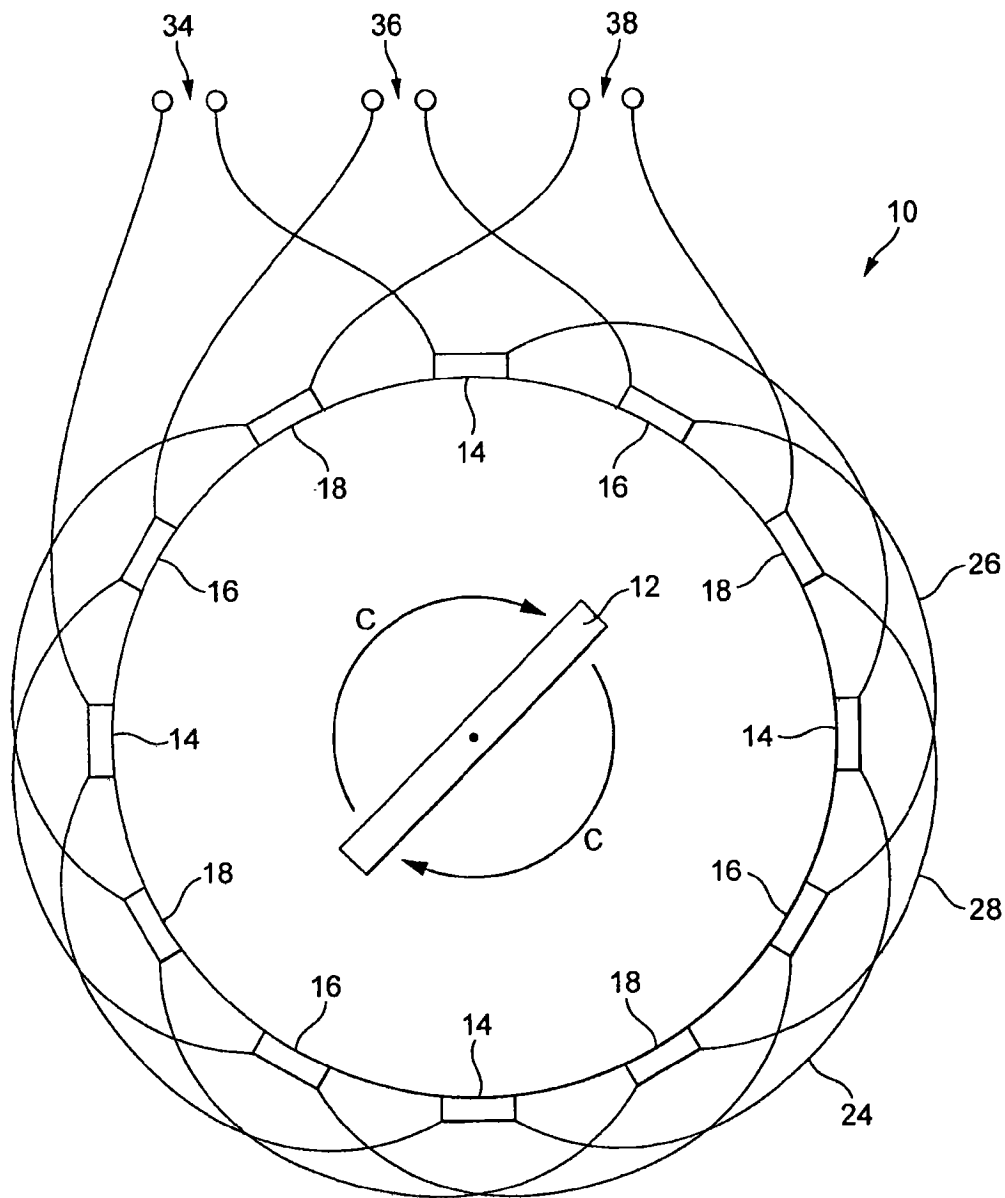


图 1

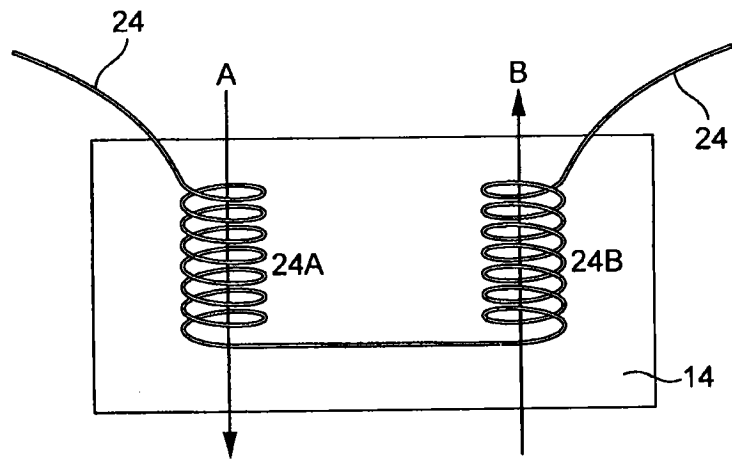


图 2

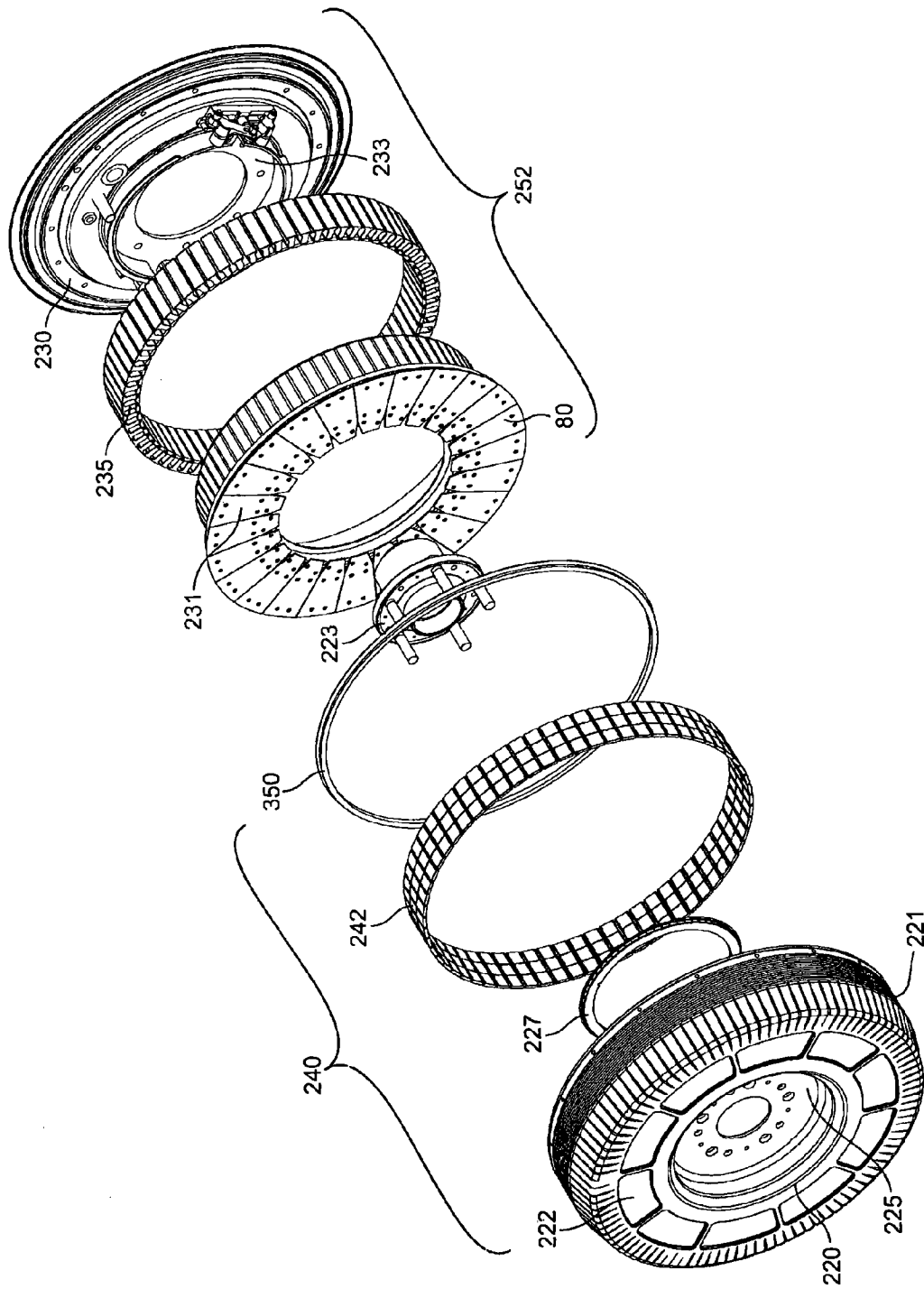


图 3



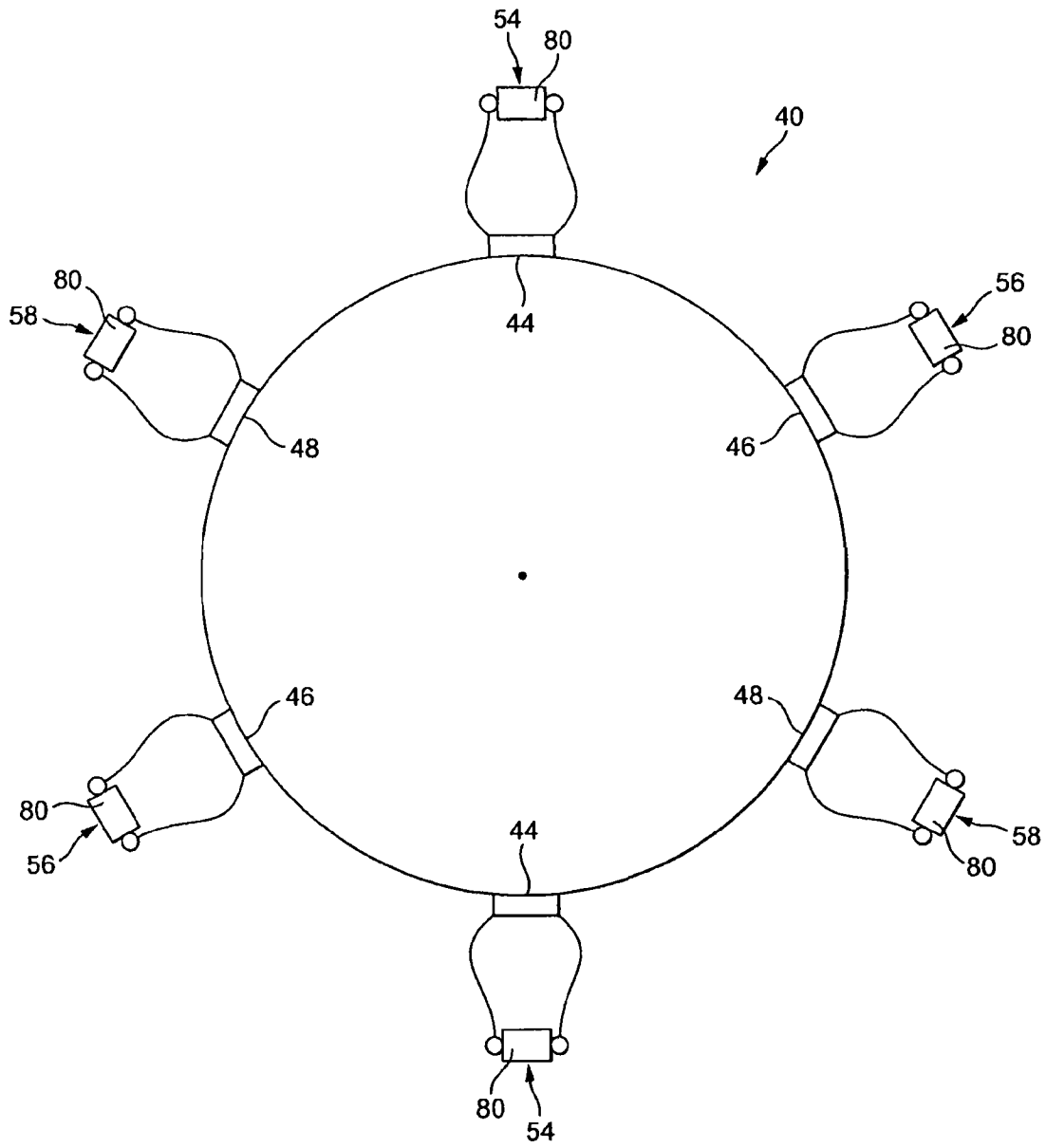


图 5

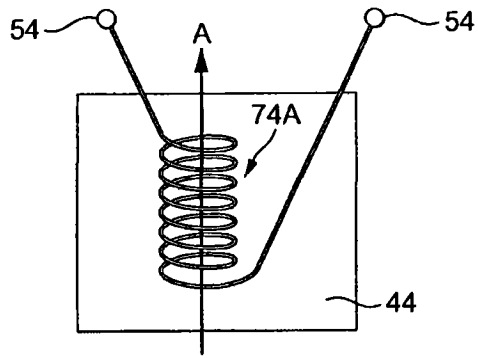


图 6

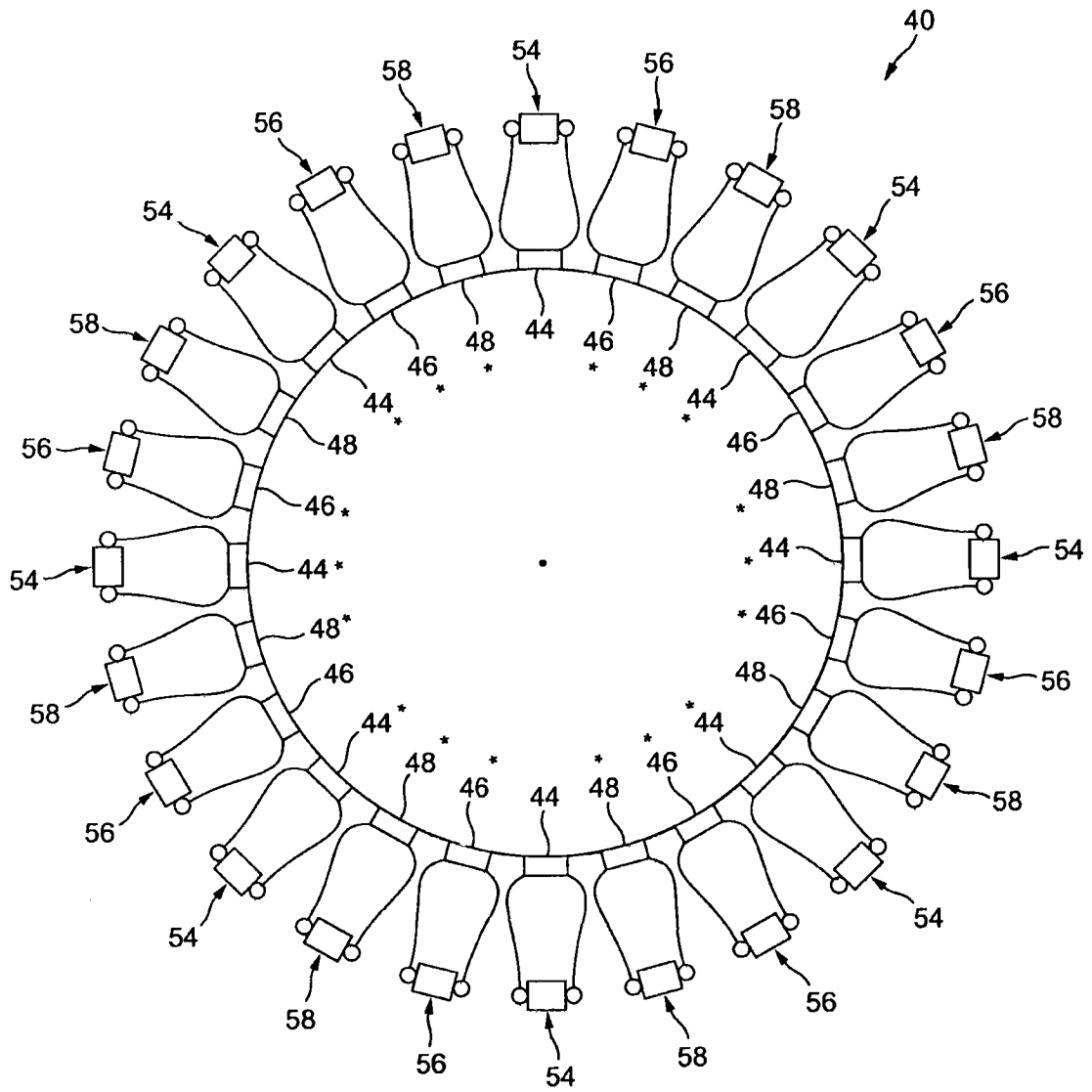


图 7

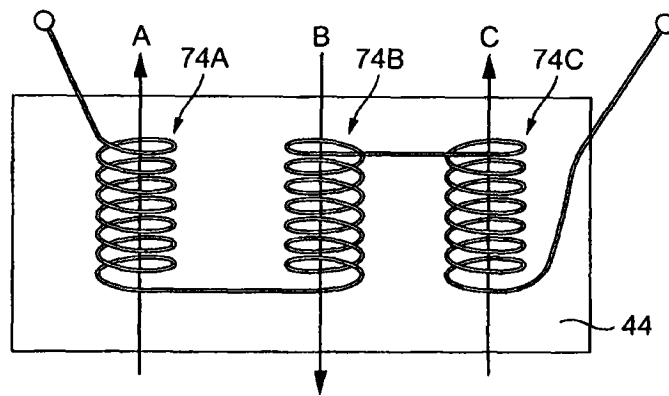


图 8

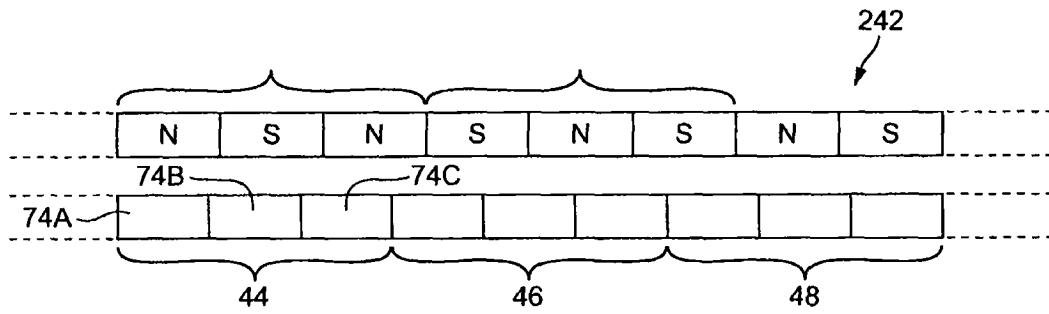


图 9

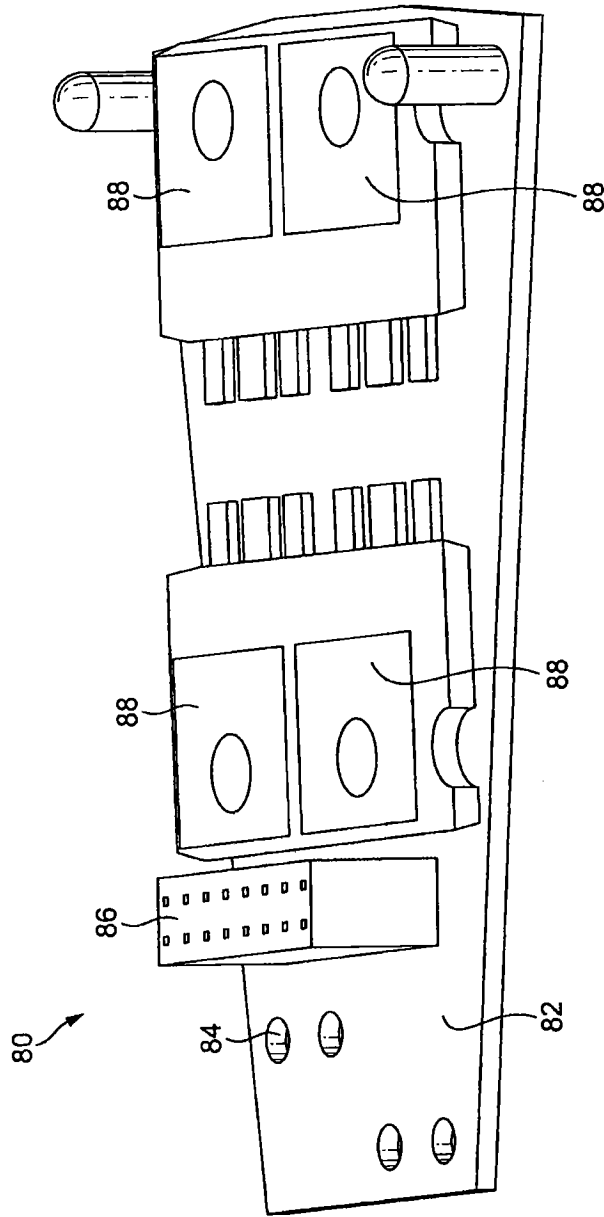


图 10

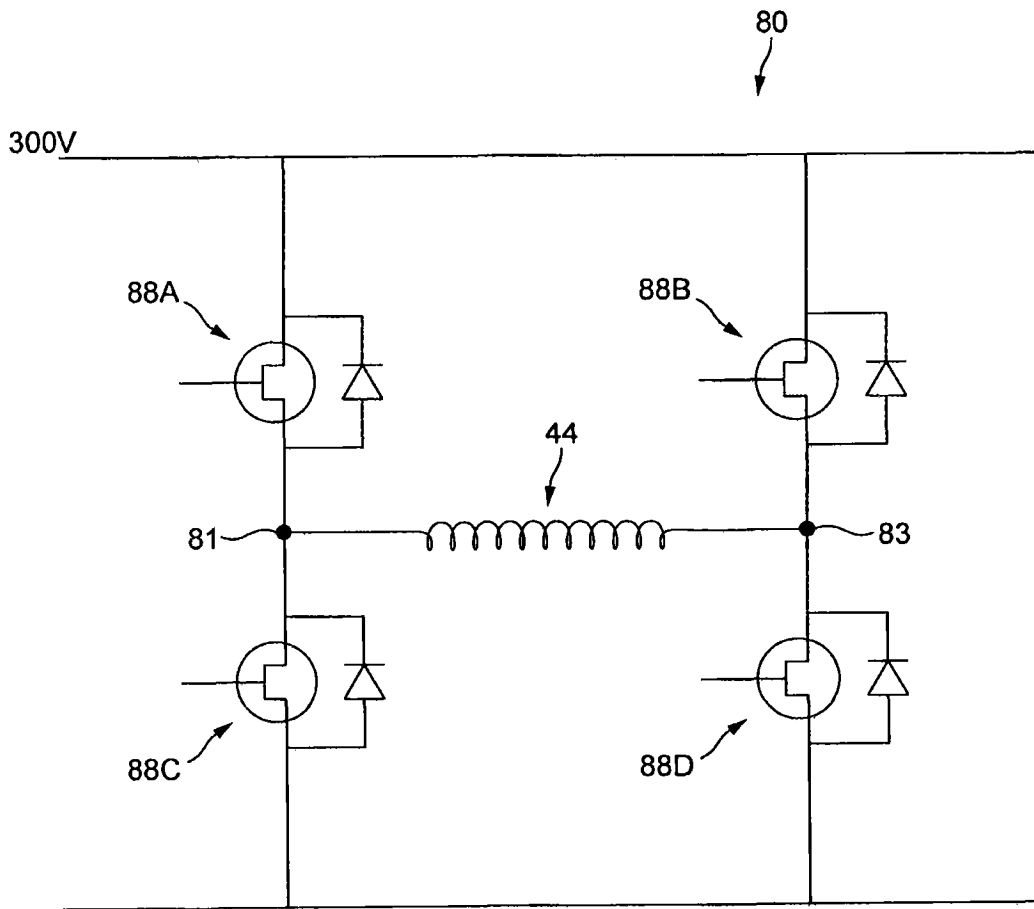


图 11

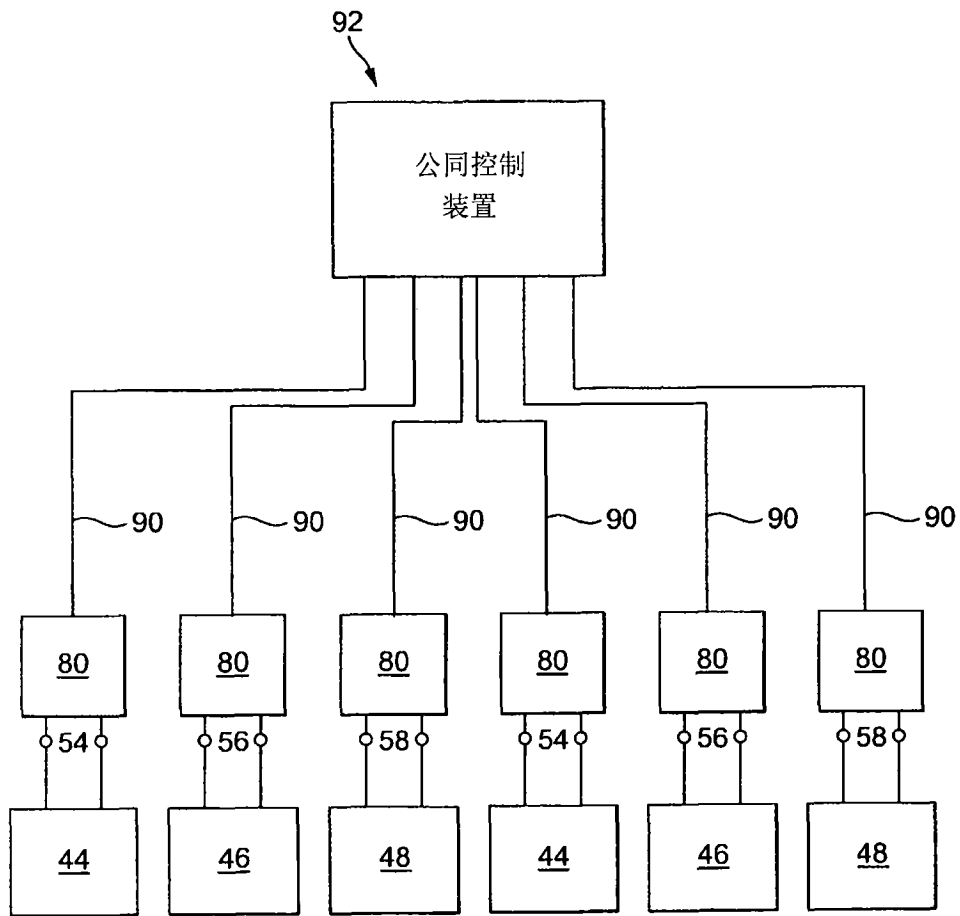


图 12

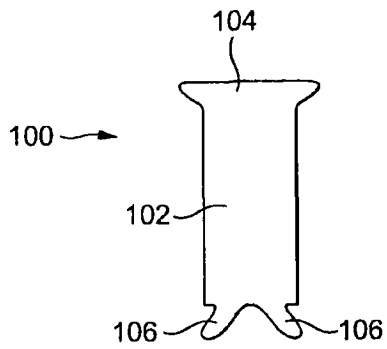


图 13

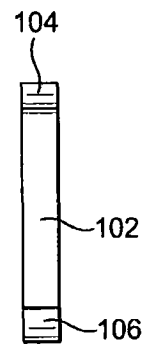


图 14

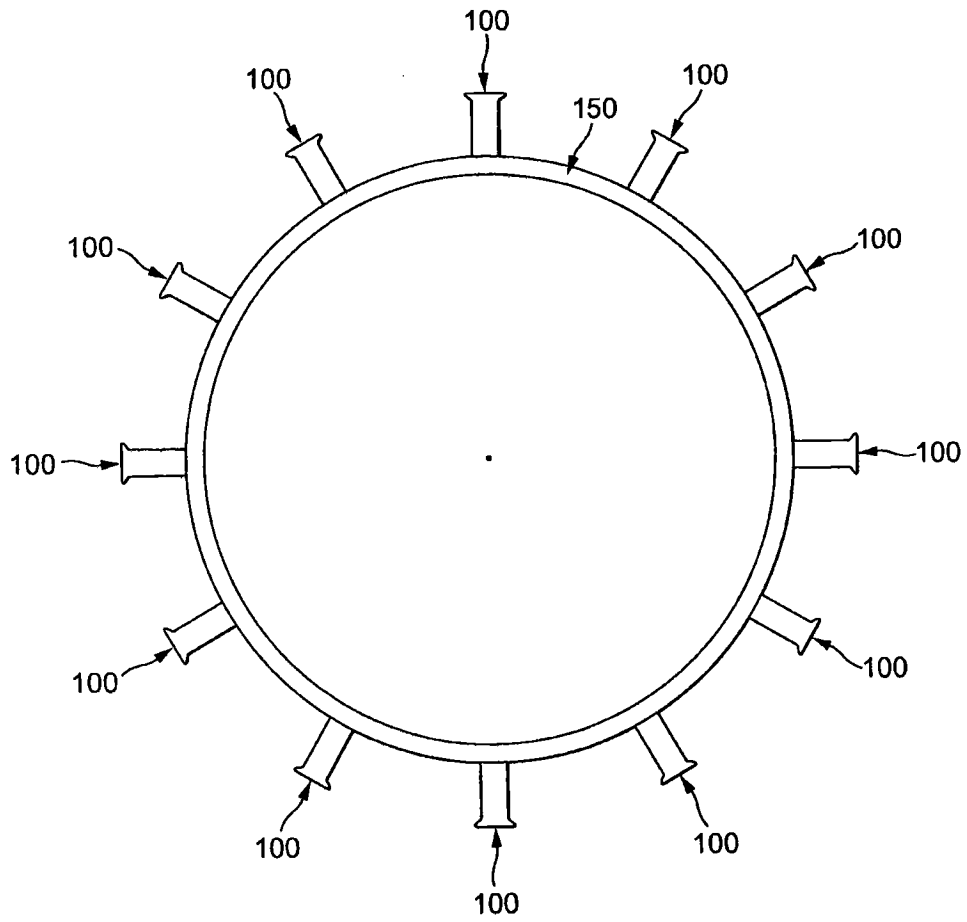


图 15

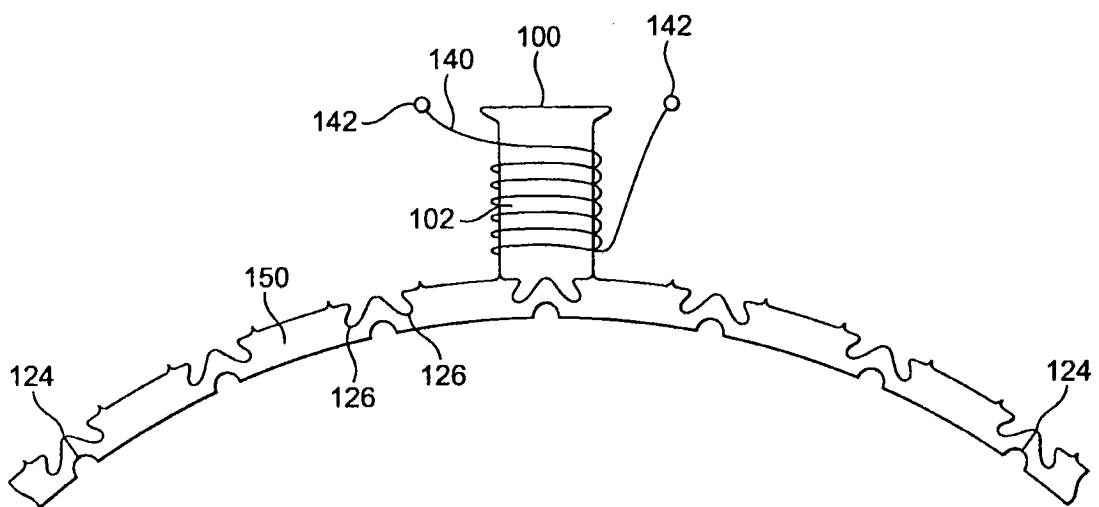


图 16

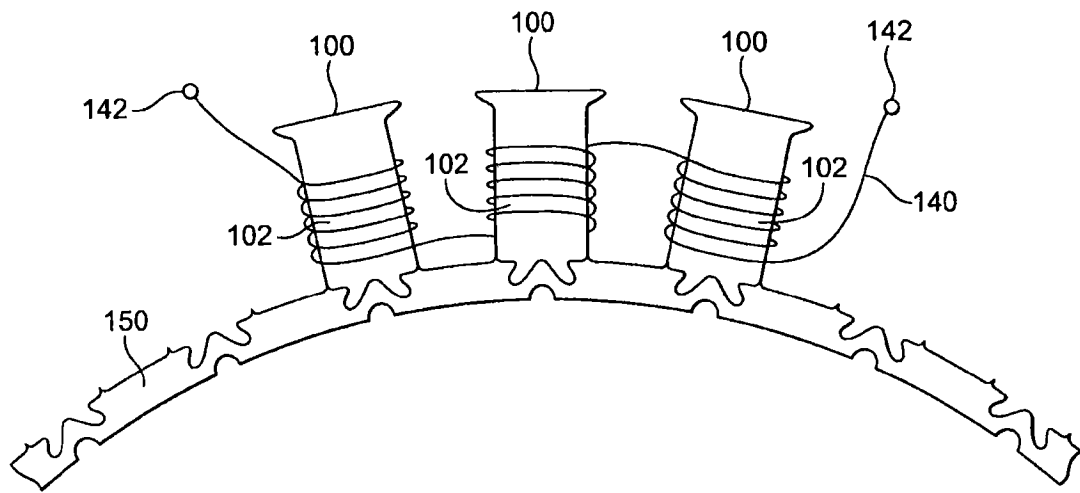


图 17

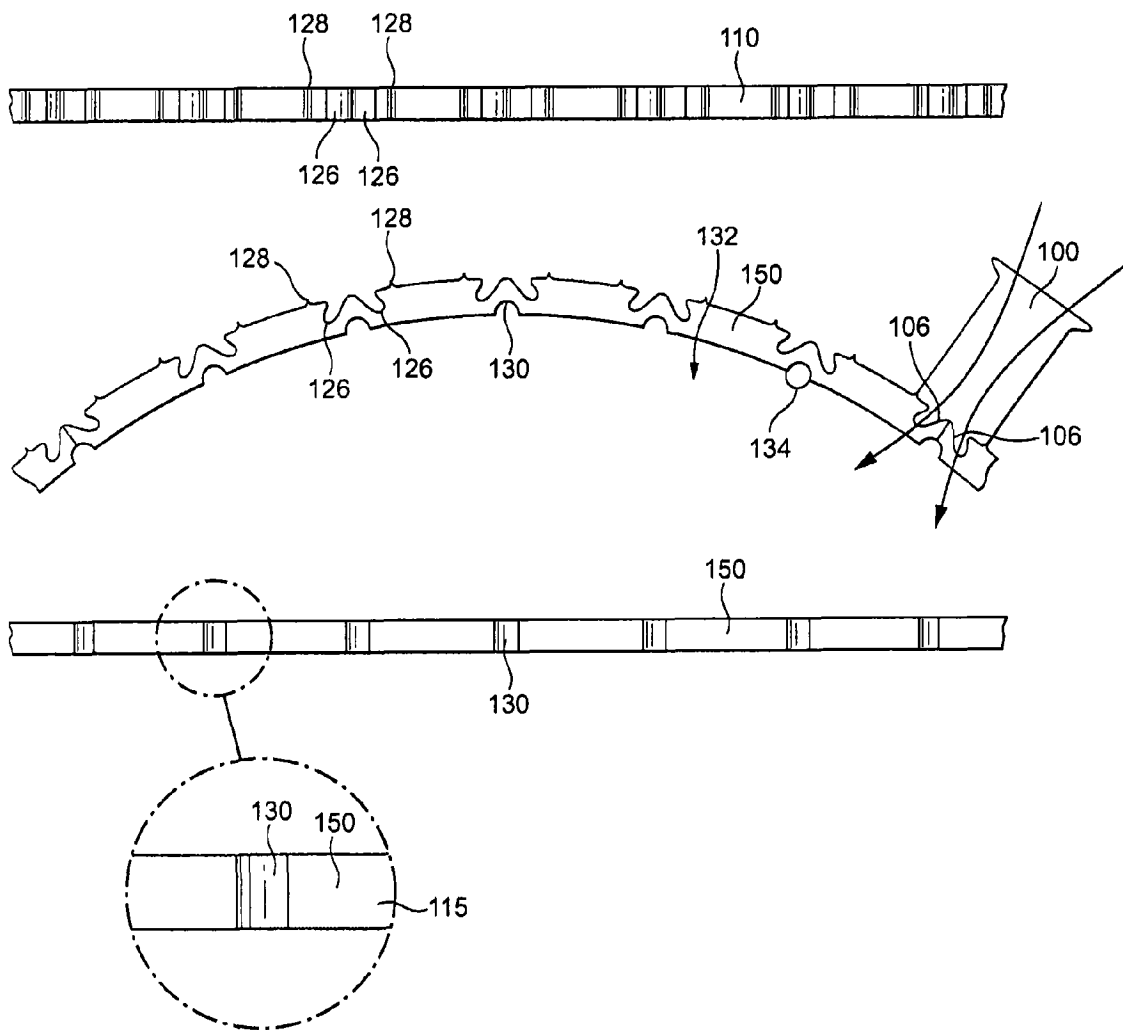


图 18

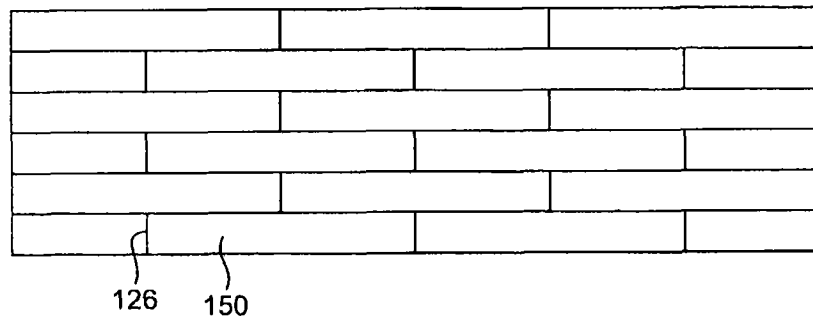


图 19

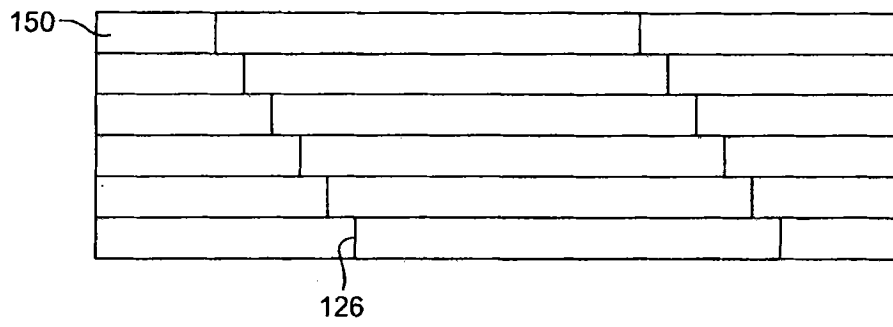


图 20

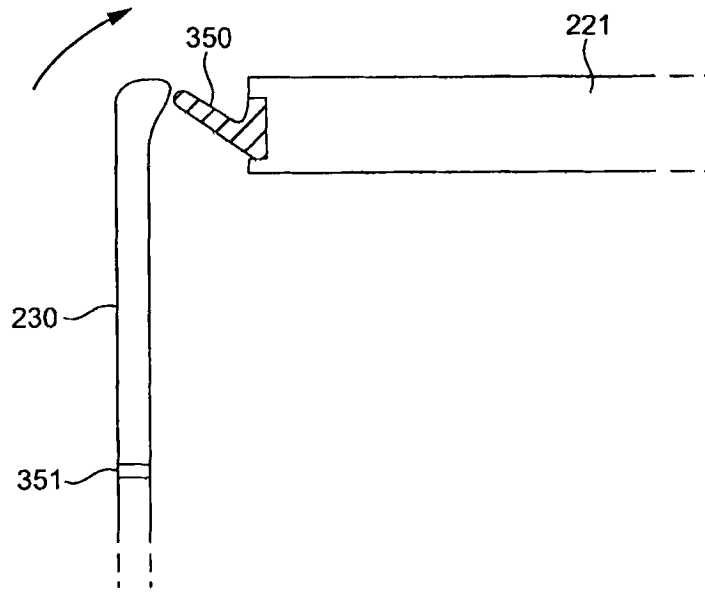


图 21

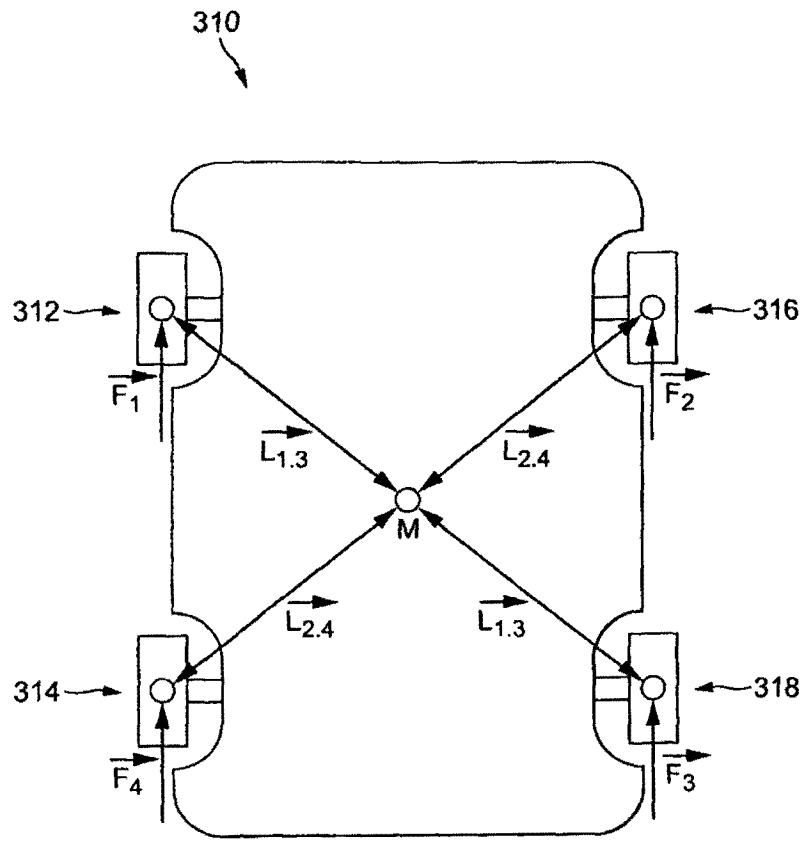


图 22

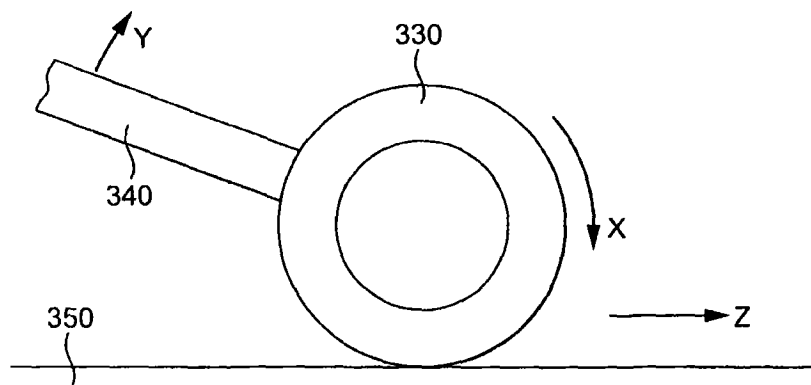


图 23

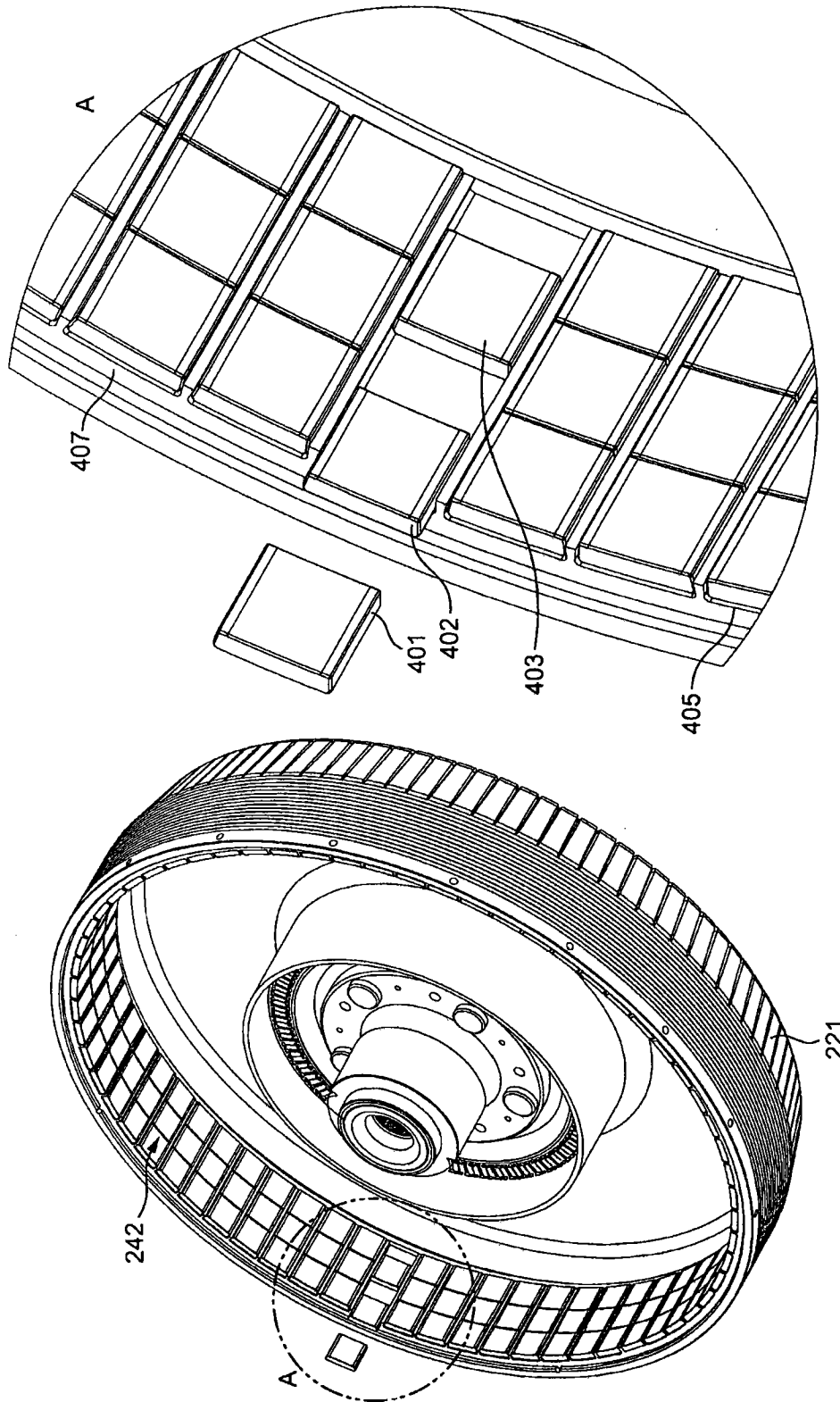


图 24

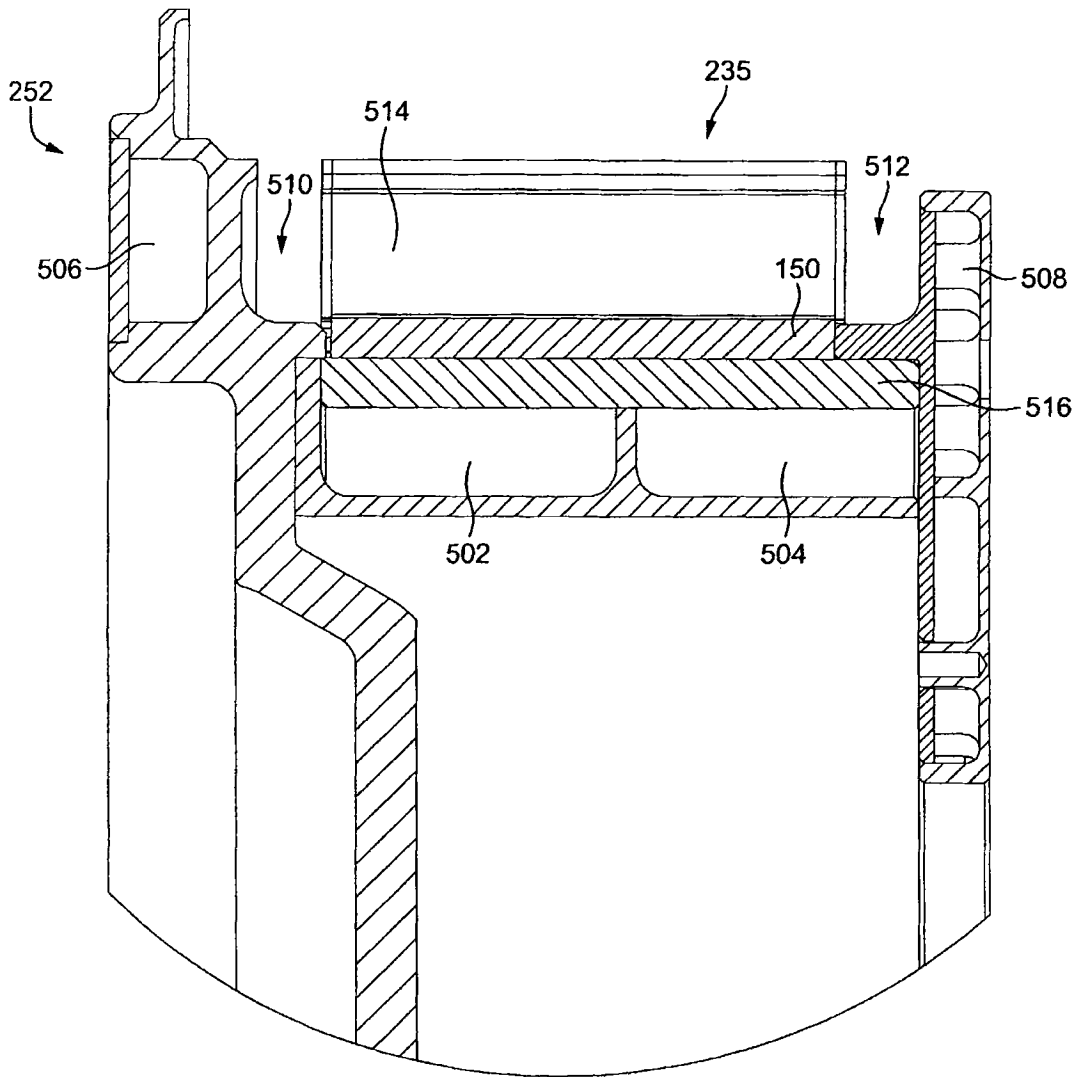


图 25