



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104009683 A

(43) 申请公布日 2014. 08. 27

(21) 申请号 201410067243. 7

(22) 申请日 2014. 02. 26

(30) 优先权数据

1303417. 8 2013. 02. 26 GB

61/769, 456 2013. 02. 26 US

(71) 申请人 尼得科 SR 驱动有限公司

地址 英国北约克郡

(72) 发明人 S. P. 兰达尔 M. J. 彻尼

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 李国华

(51) Int. Cl.

H02P 6/10 (2006. 01)

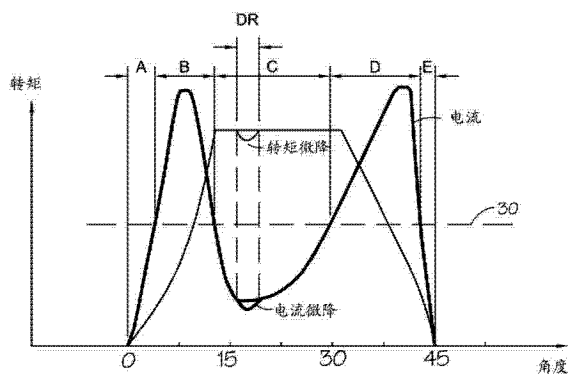
权利要求书2页 说明书8页 附图8页

(54) 发明名称

无刷电机的控制

(57) 摘要

一种无刷电机,具有至少一个相绕组,其产生转矩以驱动负载。用于该机器的控制系统能够改变供给相的通量和电流,以按照转子位置的函数改变转矩输出。在特定的角度处减少激励以在转矩曲线中产生微降,因此确保,如果驱动失速,则其将在预定位置处,例如驱动中的损耗最小的位置处失速。



1. 一种控制无刷电机以产生输出的方法,其中,所述输出为转矩或力,所述方法包括响应于输出需求在接通点与切断点之间的导电区中激励所述机器的第一相,对所述无刷电机的输出与所述第一相中的电流之间的非线性关系进行补偿,以产生在输出上下限之间的输出,该输出上下限分别比所述输出需求更高或更低,其中所述第一相受到激励以从所述导电区的开始到止动区以及从所述止动区到所述导电区的结束产生在所述输出上下限之间的输出,并且在所述止动区中产生低于所述下限的止动水平的输出,从而促成所述机器在所述止动区内止动点处失速。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中,对于恒定的输出需求,由所述第一相吸收的所述电流在所述导电区的第二和第四部分中高于一个水平,该导电区的第二和第四部分分别在所述导电区的第一部分与第三部分之间和所述导电区的第三部分与第五部分之间,在所述导电区的第一、第三和第五部分中所述电流低于所述水平,并且其中,所述止动位置在所述导电区的所述第三部分之内。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其中,所述水平不超过所述导电区中的最大电流和所述第三部分中的最小电流的平均值。

4. 如权利要求 2 或 3 所述的方法,其中,在所述第三部分中的最小电流出现在所述止动区中。

5. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述止动水平低于所述输出需求的 96%。

6. 如前述权利要求中任一项所述的方法,所述方法进一步包括:在所述止动区之前的所述导电区的第一部分中以及在所述止动区之后的所述导电区的第二部分中,与所述第一相一起分别激励第二和第三相,以产生在所述上下限之间的输出。

7. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述无刷电机具有一个以上的相,每一个相均如前述权利要求中的任一项所述的相那样被激励,所述方法包括在至少两个水平之间改变所述输出需求以导致所述机器在不同止动位置处失速,其中,所述不同止动位置中的每一个处于不同的相。

8. 如权利要求 7 所述的方法,其中,响应于检测到所述机器已经失速而改变所述输出需求。

9. 如权利要求 7 或 8 所述的方法,其中,所述不同相是相邻的。

10. 如权利要求 7 或 8 所述的方法,其中,所述无刷电机具有 n 个相并且所述输出需求在 n 个水平之间改变。

11. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述方法包括确定所述机器的速度,并且,如果所述速度低于第一值则在所述止动区中以所述止动水平产生输出,并且如果所述速度高于第二值,则在所述止动区中以所述低水平或高于该低水平的水平产生输出,其中,所述第二值等于或大于所述第一值。

12. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述无刷电机具有转矩或力的输出,并通过用于将所述输出传输至所述负载的柔性传输装置被耦接至负载。

13. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述无刷电机被耦接至车辆的一个或多个牵引轮。

14. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述无刷电机为开关磁阻电机。

15. 一种控制系统,其包括根据权利要求 1 至 14 中任一项所述的对无刷电机进行控制的器件。

16. 一种驱动,包括无刷电机和被耦接至所述无刷电机的控制系统,所述控制系统包括被配置成导致所述控制系统依照如权利要求 1 至 14 中任一项所述的方法控制所述无刷电机的处理器。

无刷电机的控制

技术领域

[0001] 本发明涉及无刷电机的控制。本发明尤其,但不排他地,涉及开关磁阻电机 (switched reluctance machine)。

背景技术

[0002] 开关磁阻电机是一种无刷电机。它包括转子、限定转子磁极、定子、限定定子磁极,以及与定子磁极相关布置以限定出一个或多个可单独激励的相的一组绕组。在磁阻电机中,对一个或多个相绕组的激励在包括相关定子磁极的电路中产生磁通量,促使转子到达使该电路的磁阻最小(且相关联的相绕组的电感最大)的位置。在电动机操作中,根据转子位置适时地按顺序激励绕组引起转子的运动。对结合开关磁阻电机的电驱动的一般处理可在多种教科书中找到,例如 TJE Miller 所著的“Electronic Control of Switched Reluctance Machines”,Newnes,2001,在此并入本文作为参考。在 1993 年 6 月 21 日至 24 日德国 Nurnberg 召开的 PCIM' 93 Conference and Exhibition 中由 Stephenson 和 Blake 发表的论文 ‘The Characteristics, Design and Applications of Switched Reluctance Motors and Drives’ 中提供了更多的细节,在此并入本文作为参考。如本领域中已知的,可通过改变对相绕组施加激励的时序,而像电动机或发电机那样操作这些机器。

[0003] 不同于常规电感和同步“电磁”机器,例如,所谓的无刷直流电机,在其中电流在定子线圈中,并且场由转子上的永磁体产生,开关磁阻电机是纯“磁性”机器。随着磁性电路的磁阻改变,完全通过磁场产生转矩。由此可见,控制这两种机器的方法有很大的不同,这是由于这种控制与转矩产生的方式有关。在一般情况下,用于正弦馈给常规机器的控制方法并不适合用于开关磁阻电机。

[0004] 图 1 示出了典型的开关磁阻电机的横截面图。在该示例中,铁磁定子 10 具有六个定子磁极 12。铁磁转子 14 具有四个转子磁极 16。每一个定子磁极带有线圈 18。在沿直径相对的磁极上的这些线圈串联连接以提供三相绕组。为了清楚起见仅示出了一个相绕组。对开关磁阻电机的控制可通过本领域技术人员所熟知的多种方式进行。如果可从例如位置传感器得到关于转子的角位置的信息,则可按照位置的函数来施加激励。这样的机器通常被称为“转子位置开关机器”。

[0005] 在图 2 中示出了一种典型的开关磁阻驱动,在该示例中,机器 36 与图 1 中示出的对应。三个相绕组 A、B 和 C 通过一组电源电子开关 48 依次被接通至 DC 电源 V。操作开关的时刻(即,转子位置)是由控制器 38 确定的,该控制器 38 可在硬件中或在诸如微控制器或数字信号处理器的处理装置的软件中实施。这些控制信号经由数据总线 46 被发送至开关。通过使用电流传感器 44 感应相电流,并反馈与所需电流 i_D 相当的相电流成正比的信号,来提供闭环电流反馈。这些控制算法可包括比例(P)、比例加积分(P+I)、时间优化、反馈线性化、比例/积分/微分(PID)函数,或如本领域熟知的许多其它算法中的一种。通过从位置检测器 40 反馈转子位置信号来提供位置或速度的外环控制也是普遍使用的。

[0006] 操作中,向控制器提供与电流需求(demand)42 相对应的信号。这依据所采用的特

定控制方案调整绕组中的电流,以由该机器产生期望的输出。

[0007] 开关磁阻电机的性能部分地取决于相对于转子位置进行相激励的准确定时。对转子位置的检测常规地是通过使用实体的转子位置传感器(RPT) 40 实现的,如图 2 中示意性示出的,诸如被安装在机器转子上的转动齿盘,其与例如被安装在定子上的光或磁传感器协同工作。生成指示转子相对于定子的位置的脉冲列,并将其供应给处理装置,以能够进行准确的相激励。位置检测的备选方法包括所谓的“无传感器”方法,该方法中没有实体的位置传感器,而位置是由对机器的一个或多个其它参数的测量推导出的。

[0008] 由于绕组中的电流相对容易测量出,对机器的闭环控制常规上是通过监测和控制绕组中的激励电流完成的。但是,所期望的机器的输出通常是转矩、位置或速度,并且电流与它们全都具有高度的非线性关系。因此电流控制技术通常导致输出不准确,例如转矩脉动(torque ripple)、位置误差和/或速度误差。现已提出了许多电流控制方案来解决这些缺点,正如在下面将进一步讨论的。

[0009] 许多不同功率转换器的拓扑结构都是已知的,其中的一些在以上所引用的 Stephenson 的论文中有所讨论。在图 3 中示出了多相系统中单相的最常用的配置中的一种。其中,在母线 26 和 27 之间,机器的相绕组 32 与两个开关装置 21 和 22 串联。母线 26 和 27 一起被描述为转换器的“DC 链路”。能量恢复二极管 23 和 24 被连接至绕组,以在开关 21 和 22 被打开时使绕组电流流回 DC 链路。电容器 25,被称为“DC 链路电容器”,连接在 DC 链路两端以获得或吸收 DC 链路电流的不能从电源吸取或返回电源的所有交流成分(即,所谓的“脉动电流”)。在实际应用中,电容器 25 可包括被串联和/或并联连接的若干个电容器。在使用并联连接的情况下,这样的元件中的一些可分布在整个换转器中。多相系统通常使用并联连接的图 3 中的若干个“相脚(phase leg)”,以单独地激励电机的相。

[0010] 开关磁阻电机的相电感周期就是连续的周期中公共点之间(例如当转子磁极和有关的各个定子磁极完全对准时电感最大值之间)的相或每一个相的电感变化的时间段。正如在以上所引用的 Stephenson 的论文中所揭示的,最大电感区的中心在一对转子磁极与一对定子磁极完全对准的转子位置周围。类似地,最小电感区的中心在转子上极间轴线与定子磁极轴线对准的位置周围,如图 1 所示。

[0011] 在低速下,开关磁阻系统通常工作在电流控制的或“斩波(chopping)”模式下。正如以上提到的 Stephenson 的论文中所解释的,使用“硬”斩波的迟滞电流控制器经常被采用。在图 4(a)中示出了在对该相进行激励的接通角 θ_{on} 和消除激励的切断角 θ_{off} 之间,所研究的相的导电区(conduction region)中电流在高迟滞水平 I_u 和低迟滞水平 I_l 之间循环。另一种备选的控制机制是“软”斩波,其中在电流达到其高水平时仅打开一个开关。然后通过绕组、第二开关和一个二极管,电流极慢速地衰落。这在图 4(b) 中示出。取决于开关和电流控制器的性能,可缩小迟滞带的宽度直到电流实际上变成平坦的。如果转子的角速度慢,则在接通和达到期望水平之间转子经过的角度非常小,使得电流波形显示为方波,如下面将讨论的。其它类型的电流控制器,例如在 EP-A-0769844 (在此结合该文作为参考)中所说明的那些切断时间控制器、恒定频率控制器等,是本领域已知的,而本文将不进行进一步说明。

[0012] 在高速下,开关磁阻系统通常工作在“单脉冲”激励模式下,而不是斩波模式下。这在以上所参考的 Stephenson 的论文中也进行了解释。

[0013] 因此,系统通常在低速下使用斩波模式而在高速下使用单脉冲模式。高低斩波电流水平在正常情况下被设定成高于单脉冲模式的期望峰值电流的值,以使得这些参数不干扰单脉冲操作。已知的是要将高电流水平设定成起到“安全网”作用的值,使得在驱动中发生故障情形时,电流将超过高水平并导致一个或多个开关装置被打开,从而将电流限制在安全值。

[0014] 虽然在以上的说明中已经假定为电动机操作,但是开关磁阻电机在发电模式下能够同样良好地工作是公知的,其中电流波形通常为电动机波形的镜像图像。

[0015] 与一些其它类型的电机不同,开关磁阻电机的转矩与电流之间通常并不具有线性关系。其原因在 Miller 的书中以及在以上所引用的 Stephenson 的论文中更加详细地讨论过。图 5 中示出了这样的关系,其中对于在 45° 转子角度上施加的恒定电流,示出图 1 的三相机器中的一个相的所谓静态转矩。对于该机器的的工作区域中的低电流(10%以下),转矩将几乎为方形的。但是,随着通量和电流水平提高,携带该通量的铁的磁性明显变为非线性,且转矩的形状变为圆形的。所示出的转矩曲线形状对于机器的额定电流是典型的。

[0016] 那些本领域技术人员将认识到,在图 5 中所示出的电流波形是被理想化的,这是因为实际的波形一般将具有一些叠加在所示出的平均电流上的斩波脉动。

[0017] 图 6 示出了机器的不同相的转矩曲线之间的关系。对于具有 6 个定子磁极和 4 个转子磁极的机器,曲线的角位移(所谓的“ ϵ 角”)为 30° 。在机器旋转时由机器提供连续转矩的最简单的方法是:在转矩曲线交叉时接通该相,并且在经过 ϵ 角后将该相切断并接通下一个相。这在图 7 中再一次针对恒定相电流被示出。虽然这是一种实现简单的控制机制,但是其明显缺陷在于产生大的转矩脉动。以任意角度可获得的最小转矩被称为 ϵ 转矩,并在图 7 中示出。在 ϵ 角度上产生的平均转矩将处于峰值转矩和 ϵ 转矩之间的某处,这取决于曲线的确切形状。这种方法的另一个缺陷在于,每一个相仅在该相时期的三分之一中使用,因此定子和电子控制器的利用率较差。

[0018] 为了克服这些缺陷,已知的是每当有可能在期望方向上产生转矩时激励每个相。对于所示出的 3 相机器,给出了激励模式:相 A 单独为 15° ,然后 A+B 为 15° ,然后相 B 单独为 15° ,等,在图 8 中示出(其中已忽略相之间的所有交互作用)。这种模式在不同情况下被称为相重叠或被称为“1 又 1/2 相接通”。可见, ϵ 转矩已经有效加倍(因为现在两个相在前面交叉点处正在产生相同的转矩,并且转矩曲线的斜率已经大致为相同的数量级)。因为未改变峰值转矩,转矩脉动明显降低并且平均转矩显著上升。现在每一个相被使用半个相持续时间,因此提高了定子利用率。

[0019] 虽然这种励磁机制被许多驱动所采用,但是还存在一些应用需要平滑的转矩,而不得将额定用于控制电流的装置的电流无故打折。

发明内容

[0020] 本发明的一个方面,提供了一种如权利要求中所限定的控制无刷电机的方法。本发明进一步的方面提供了一种如权利要求所限定的控制系统以及驱动。

[0021] 在一个实施例中,提供了一种控制无刷电机以产生输出的方法,其中,该输出为转矩或力。该方法包括在接通点和切断点之间的导电区中激励(energise)机器的第一相。响应于输出需求(output demand)激励该机器以产生在分别高于或低于输出需求的上下输出

限制之间的输出,补偿无刷电机的输出与第一相中的电流之间的非线性关系。从导电区的开始到止动区(detent region)以及从止动区到导电区的结束,响应于输出需求产生在上下输出限制之间的输出。在止动区中,以止动水平产生输出。止动水平在下限以下。以这种方式,促使机器在止动区内的止动位置处失速(stall)。

[0022] 有利地,通过控制无刷电机以在止动区以外产生上下输出容限之间的输出,并且控制机器使得输出下降至下容限以下,可限定出止动区,在该止动区中机器更有可能失速。这提供了对机器的失速行为的控制。

[0023] 在理想条件下,上下输出限制相同(等于输出需求),使得在导电区中的输出为理想的平滑的或平坦的。在真实世界的情况下,以上说明的输出波动不能得到充分补偿以使得机器受控产生为输出需求的输出,其基本上是平滑的或平坦的,并且由于无补偿性输出波动而在上下限之间变化。例如,在输出需求的两侧,上下限可为 5%,潜在地可获得在输出需求两侧的具有例如 3%或甚至 1%或 2%的上下限的更为平坦的输出(相对于输出需求)。为实现基本上平滑的或平坦的输出,可使用任意的已知输出调节技术,例如,分析电流(或其它控制量,例如通量)以获得输出的期望平滑度。控制和/或分析(profiling)可基于前馈控制或反馈控制,该前馈控制基于机器的特征,该反馈控制基于适当的反馈量,诸如输出或输出的变化。前馈和反馈控制相结合同样是可以的。不同可能的控制方案可采用无传感器形式的转子位置检测,或使用转子位置检测器硬件进行位置检测。无传感器和硬件形式的转子位置检测的结合同样是可能的。

[0024] 在一些实施例中,止动水平小于输出需求的 96%。例如,止动水平可以是 95%。止动水平的较低或较高值同等可能,虽然对于较高的值止动效果降低,但是较低的水平可引入不期望的转矩脉动。

[0025] 在一些实施例中,该方法可包括与第一相一起分别激励第二和第三相。在止动区之前导电区的第一部分中一起激励第二相与第一相,在止动区之后的导电区的第二部分中一起激励第三相与第一相,以产生上下限之间的输出。这些实施例可使用以上参考图 8 所说明的激励方案以有利于使输出平滑。

[0026] 在一些实施例中,控制机器产生基本上平滑的输出的结果是,对于恒定输出需求,由第一相吸引的电流在导电区的第二和第四部分中在概念性的水平(notional level)之上。导电区的第二和第四部分位于导电区的第一第三和第五部分之间,其中电流低于概念性的水平。因此,电流曲线(无论直流电流控制或例如通量控制的结果)具有两个峰值以及峰值之间的低谷。在一些实施例中,止动位置在第三部分内,该第三部分是在电流曲线的两个峰值之间的低谷部分。以这种方式,止动区被放置成使得止动位置位于由第一相吸收的电流相对低的区域内。这意味着,当与吸收电流的情况相比失速降低时,与该相吸收的电流相对应的热负载将更高。概念性的水平可能比第一相的导电区中的最大电流以及第一相的导电区的第三部分中的最小电流的平均更低。概念性的水平可小于第一相导电区中的最小电流的 90%和最大电流的 10%的和。在一些实施例中,第一相的导电区的第三部分中的最小电流出现在止动区中。这导致该相在止动区中失速的时候吸收最小电流(或接近于最小的电流)。

[0027] 在一些实施例中,无刷电机通过柔性(compliant)转矩传输装置被耦接至负载。该传输装置的柔度(compliance)意味着机器可在负载不移动的情况下移动到止动区内的失

速位置。在一些实施例中，无刷电机被耦接至车辆的一个或多个牵引轮(traction wheel)，例如在下面说明的装载机(loader)。

[0028] 在一些实施例中，无刷电机具有一个以上的相，并且本方法包括在至少两个水平之间改变输出需求，以导致机器在不同的止动位置处失速，其中，每一个止动位置处于不同的相中。这使得与失速电流相关联的热负载将在相之间被分担，并因此可降低在失速条件下对机器的加热。尤其是，在一些实施例中，输出需求响应于检测到机器的失速而改变。不同相可相邻并且对于具有 n 个相的无刷电机，输出需求可在这 n 个水平之间变化(导致经过与这 n 个相中的每一个相关联的失速位置)。

[0029] 在一些实施例中，无刷电机具有转子，也就是说这是具有转矩输出的旋转电机。但是，本揭示内容可同等适用于具有布置成用于相对于固定部分线性运动的可运动部件的机器并因此为具有力输出的线性机器的实施例。

[0030] 在一些实施例中，无刷电机就是开关磁阻电机。在其它实施例中，无刷电机可以是无刷 DC 电机或任意其它可适用类型的无刷电机。

[0031] 在一些实施例中，引入具有止动水平的输出的止动区与速度相关。为此，例如，确定机器的速度，并且在速度低于第一值的情况下，在止动区中产生的输出处于止动水平，而在速度高于第二值的情况下，该输出处于或高于低水平。第二值可以与第一值相同并作为阈值水平。备选地，第二值可大于第一值，例如，通过随着速度从第一值提高至第二值而实施从止动水平至根本无输出减少的逐级跃迁。这将由于与输出周期减少至止动区中的止动水平相关联的转矩脉动而使共振被引入机器/驱动的风险降低。

[0032] 在其它实施例中，提供了一种控制系统，包括依据以上所说明的方法和技术控制无刷电机的器件。在又进一步的实施例中，提供了一种包括无刷电机的驱动和被耦接至该无刷电机的控制系统。该控制系统包括被配置成使得该控制系统依据以上所说明的方法和技术控制无刷电机的处理器。

附图说明

[0033] 本发明可以不同的方式付诸实践，现在将参考附图通过举例的方式来说明其中的一些方式，其中：

[0034] 图 1 示出了开关磁阻电机的示意性轴向截面图。

[0035] 图 2 示出了开关磁阻电机驱动系统的示意图。

[0036] 图 3 示出了可适用于开关磁阻电机的功率转换器电路的一部分。

[0037] 图 4(a) 示出了斩波电流波形及其与电感曲线的角度关系。

[0038] 图 4(b) 示出了结合续流(freewheeling)的斩波电流波形。

[0039] 图 5 示出了机器的一个相的转矩和电流波形。

[0040] 图 6 示出了针对该机器的其它相交叠起来的图 5 中的波形。

[0041] 图 7 示出了一次激励一个相所产生的转矩波形。

[0042] 图 8 示出了通过交叠相产生的转矩波形。

[0043] 图 9 示出了用于在给定转子角度上产生平滑转矩的相电流曲线。

[0044] 图 10 示出了相电流曲线，其与另一个交叠以产生平滑的转矩。

[0045] 图 11 示出了驱动和负载转矩。

[0046] 图 12 示出了转矩和电流波形。

[0047] 图 13 示出了依据本发明的一方面的转矩波形 ; 以及

[0048] 图 14 示出了依据本发明另一方面的转矩波形。

具体实施方式

[0049] 一些类型的负载尤其容易受到由于原动机造成的转矩脉动的影响, 并且目前存在许多用于产生“平滑”转矩(即转子位置无明显改变的转矩)的技术。这些技术中的一些专注于机械的解决方案, 即, 改变转子和 / 或定子磁极的外形, 正如在 EP0930694 (Randall) 中所公开的。其它方法使得电流作为转子角度的函数, 使得不再是恒定不变的(例如在图 5 至图 8 中所示出的), 而是电流幅度在导通角期间改变, 正如在 US6922036 (Ehsani) 中所揭示的。这些后来的技术通常被称作“电流分析(current profiling)”。

[0050] 电流分析可通过不同的方式进行。一种最简单的方法符合图 7 并且一次使用一个相(phase)。针对任意相在 ϵ 角期间, 与转矩的形状相反地调制电流, 以保持转矩在该 ϵ 角上一直恒定不变。这在图 9 中已示出。但是实际上, 这种方法具有三个缺点。首先, 其不可能瞬时地向相(phase) 施加电流或从该相移除电流。其次, 如以上已经根据图 7 所讨论的, 当一次仅激励一个相时 ϵ 转矩非常低, 因此, 该机器的输出从图 7 中的平均转矩(接近 ϵ 转矩的两倍, 这取决于实际的波形)下降至 ϵ 转矩。第三, 由于仅在电周期的一个很小的部分中存在电流, 并且由于电流具有高峰值, 因此其具有相对高的 RMS 值, 这导致对于所产生的转矩的绕组损耗相对较高。

[0051] 可以如以上在图 8 中所说明的方法相同的方式, 通过在一些转子角度下激励两个(或更多)相来至少部分地克服这些缺陷。现在该相电流的上升沿和下降沿以这样的方式进行分析, 即, 使得由输出相产生的转矩与由输入相产生的转矩互相配合, 以产生所需的恒定值的转矩。这在图 10 中针对一个相进行说明, 在这种情况下可针对比图 9 中的布置小得多的电流获得恒定不变的、无脉动的转矩。

[0052] 虽然在图 10 中 ϵ 转矩被示出为与理想的平坦或平滑的转矩相对应的直线, 但是实际中, 例如由于模型的不精确性或有限的反馈增益, 对于给定的转矩需求, 转矩输出将关于该转矩需求而稍有波动, 该波动在可接受的转矩波动的上下水平之间。例如, 在真实世界的实施中, 转矩输出将是基本上平坦或平滑的, 在控制过程中允许具有噪声、误差或设计约束条件。

[0053] 有很多不同的方法可用于选择电流的曲线以获得这种平滑转矩, 这是由于对于单独的相电流并没有唯一的方案。例如: 在 Mechatronics, Vol4, No8, 1994, pp785-794 中, 由 Hung, JY 所著的论文“Torque ripple minimisation for variable reluctance motors”中讨论了一种十分简单的方法, 该方法忽略了磁电路中饱和的问题; 1992 年 9 月 15 日至 17 日在英国 Manchester 举行的关于电机的国际会议的会议录 Vol2, pp484-488 中由 Schramm, DS, Williams, BW&Green TC 所著的“Optimum commutation-current profile on torque linearization of switch reluctance motors”揭示了一种使用查询表的较复杂的方法; 并且, 在 04 年 11 月 2 日至 6 日在韩国的 Busan 举行的 Industrial Electronics Society 的第 30 届年度会议的会议录, vol4, pp3172-3177 中由 Gobbi, R&Sahoo, NC 所著的“A fuzzy iterative approach for determination of current waveform for switched

reluctance motors using a torque sharing function at positive and negative torque production regions”中引用了模糊逻辑(fuzzy logic)的方法来迭代逼近用于单独相电流的解决方案。

[0054] 所有这些方法的共同点都是对相供电,使其携带随转子位置变化的电流以(尽量完全地或部分地)补偿相电流和该相所生成的转矩之间的非线性关系。通常,所产生的电流波形将具有两个峰值,在这两个峰值之间具有低谷,以反折(reflect)转矩生成特性,该转矩生成特性在相导电区的中间区域中对于给定电流产生更高的转矩。

[0055] 虽然产生本质上无脉动转矩通常被认为是需要电驱动系统的应用的方案,但是令人惊奇的是,对于有一类应用,这并不总是最佳的总体方案。负载所需的转矩超过可从驱动得到的转矩而导致系统失速(stall)的情况并不少见。这种情况可能意外地发生,也可能是用于将负载保持在特定位置的蓄意事件。例如,如果由驱动系统驱动升降机并且期望将负载保持在特定高度,则可将该负载驱动至某位置并且将转矩降低直至该负载被保持在那个位置,因此不需要使用止动器。进一步的示例是正在铲起松散材料的车辆的牵引驱动,例如装载机,其中车辆被驱动至一堆材料处并停留在那,同时执行另一个操作。由于将驱动系统的转矩传递至地面的橡胶轮胎存在很大的柔度(compliance),所以这种类型的系统更为复杂。当车辆沿平滑的、梯度恒定不变的表面稳速运动时,在转矩的传输中这种柔度对于驱动没有影响。但是,如果遇到失速情况,随着驱动继续施加转矩,轮胎“绕紧(wind up)”,而车辆不能移动。

[0056] 这在图 11 中进行了说明,其中平滑转矩由驱动提供,并且绕紧轮胎的柔度直到轮胎产生的转矩等于驱动转矩,在点 X 处。一般地,车辆的传动装置是这样的,在绕紧过程中,电动机将经过许多相周期,并且可能已经转动了几转。随后柔度的非常小的变化(例如,这可能由环境温度的改变而导致的)使相周期中转子停止的特定位置有很大的改变。参考图 9 或图 10,示出了失速电流如何因此而能够轻易地改变到 2 或 3 倍。随后绕组和开关装置中的相关损耗发生很大的改变,导致很难进行驱动的热管理。

[0057] 为了控制或影响在驱动失速时的转子位置,在导电区内的止动区(detent region)中改变相线圈的电流曲线,以保证驱动将在相电流处于或接近其最低值的点(或止动位置)处失速,因而最小化了驱动系统中的相关损耗。图 12 示出了在止动区 DR 中被引入图 10 的电流曲线中的微降(dip),以促使驱动在止动区内的止动位置处失速。这在转矩中产生了相应的微降,如图所示。当该转矩波形被施加至轮胎的柔度中时,由图 13 可见,驱动在转矩微降处失速,对应于最低电流。这不仅具有对驱动失速处转子角度进行控制的有益效果,而且还具有确保了失速点处于止动区中电流曲线的最低点处的有益效果。进一步地,如果驱动为 3-相驱动,查看图 8 和图 12 会发现,由于微降被置于电流波形的中间三分之一处,在该点处相邻相中没有电流。这进一步简化了对驱动的热管理。

[0058] 这种技术是与直觉相反的,因为其将一些转矩脉动再次引入了机器的输出,而在一般情况下这被认为是要避免的情况。但是,从以上说明中可以看出,受控地偏离图 9 或图 10 中的平滑转矩可用于通过使失速条件下的热管理难度大大降低而在总体上使驱动系统受益。

[0059] 除其他以外,所需的转矩微降的量将取决于转矩传输中柔度的量以及机器的电气循环与负载之间的传动,但是大型工业车辆的典型值将引入输出转矩的 5% 左右的转矩微

降。

[0060] 从概念上讲,在图 12 中概念性的电流水平 30 可以被绘制成将导电区划分成五部分:两侧的两个部分 A 和 E;中间部分 C,其中电流低于概念性的水平;以及两个居间部分 B 和 D,其中电流在概念性的水平以上。当在中间部分中引入电流(并进而转矩)微降时可获得失速电流降低的益处,此时电流比居间部分中更低。受益越高,概念性的水平越低。如果止动区被选成将中间部分的最低点包括在内,则可获得最佳的或接近最佳的失速电流降低。通过选择使微降出现在中间部分中,同样可降低一些激励方案中由相邻相吸引的电流,这取决于微降的位置,激励方案和机器中的相数。

[0061] 引入与速度有关的止动区可能是有用的,使得止动区仅在驱动工作在低速的时候或者速度接近零和几乎达到失速条件的时候被引入。这将减少转矩中的脉动在驱动链中引起共振的所有可能性。

[0062] 虽然以上所说明的技术可用于在很大程度上减少失速条件下热管理的问题,但是损耗仍然集中于一个相绕组以及供应该相的转换器的相脚中。如果该驱动长时间失速,发热限制可能仍然是一个考虑因素。现在将说明本发明的进一步的方面,其可进一步有益地改善驱动系统。观察图 12 和图 13 将发现,相邻转矩微降(并进而相邻止动/失速位置)与机器的相邻相相关。可见,如果将转矩输出改变相对较小的量,轮胎转矩线将与驱动转矩曲线相交于不同的微降上。这在图 14 中有所说明,其示出了图 13 的放大的部分。

[0063] 在图 14 中,驱动转矩从其原始值 T 变至增长值 T_i 以及下降值 T_r 。可见,负载现在导致系统在新的止动位置 X_i 和 X_r 处失速,这取决于所产生的转矩。位置 X_i , X 和 X_r 分别对应于本示例中所使用的机器的三个相中的位置。清楚的是,对于相数更多的系统,将产生相应的效果。这样,失速条件的热负载可遍布于驱动的一些或所有相上。为了清楚起见,图 14 已经示出角度比例经夸大的运动视图,但实际上该运动相对较小,并且将不会对负载产生不良的影响。虽然用未使用所描绘的相曲线的系统也可能获得相似的效果,但是以上所说明的实施例使得受控地从一个相移动至另一个相,并保证驱动停留所处的这些点全部对应于驱动上的可获得的最低热负载。

[0064] 以上已经描绘了在整个导电角中利用电流分析,这可使用在驱动系统中普遍使用的电流控制器来实施。但是,本发明也可通过使用其它参数来控制机器中的激励水平来实现,例如,该驱动可包括通量控制器,并且该激励可通过监控机器中的通量并控制其以符合预定曲线来控制。

[0065] 以上已经描述了具有被布置成相对于定子转动的转子以产生输出转矩的转子电机的示例。以上说明可被等效地用于具有可相对于固定构件线性移动以产生输出力的可移动构件的线性机器。将理解的是,在这样的情况下,对“转子”、“转动”、“转矩”、“角度”等的引用可相应地进行替换。

[0066] 本发明以其不同的实施例为各种类型的电子开关无刷式机器提供了转矩控制技术,并且尤其适用于开关磁阻电机。其能够精密地控制驱动系统的热行为。所揭示的实施例说明了明显优势在于可通过最小的改变将额外的控制方案与现有控制系统相结合。对于本领域技术人员可显而易见的是,对于具体所揭示的实施例可作出不同的变体和改变,而不背离本发明。本发明应仅由随附的权利要求书的范围限定。

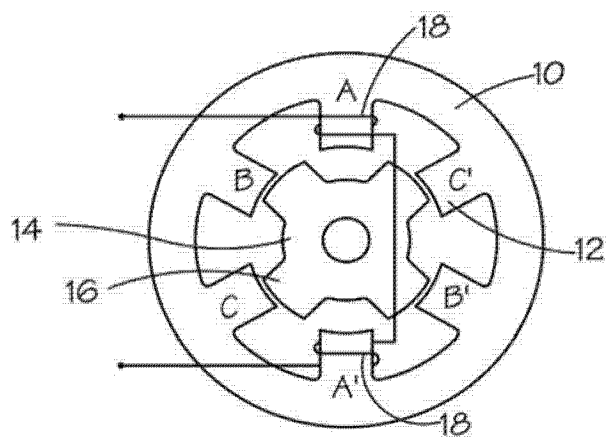


图 1

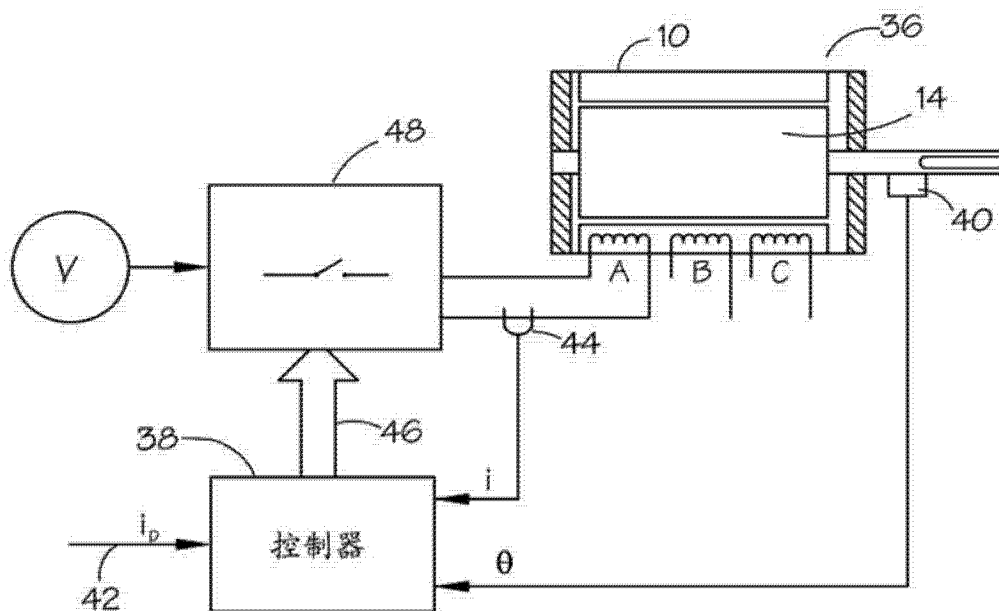


图 2

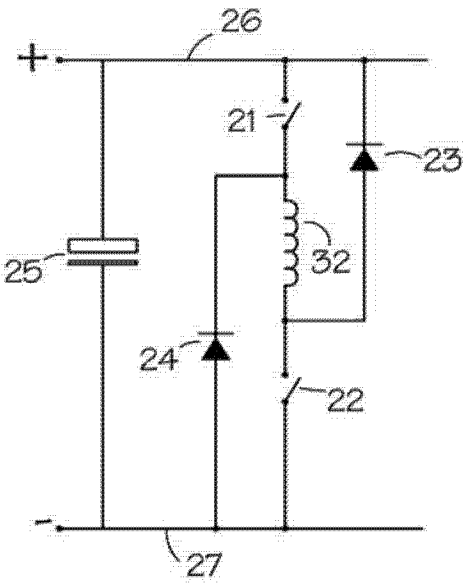


图 3

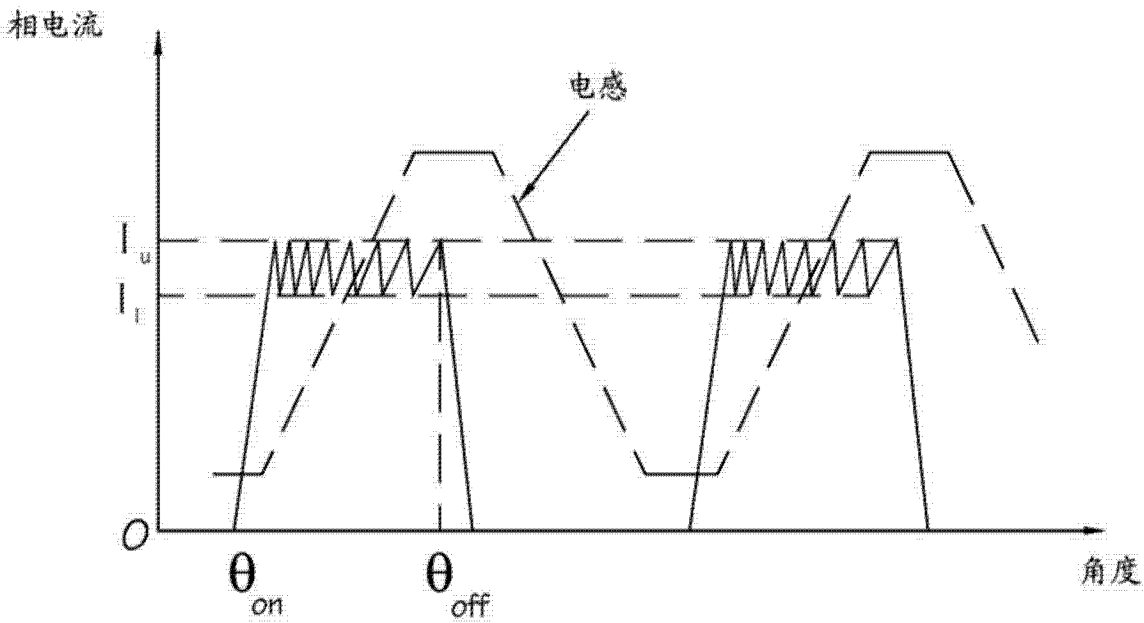


图 4(a)

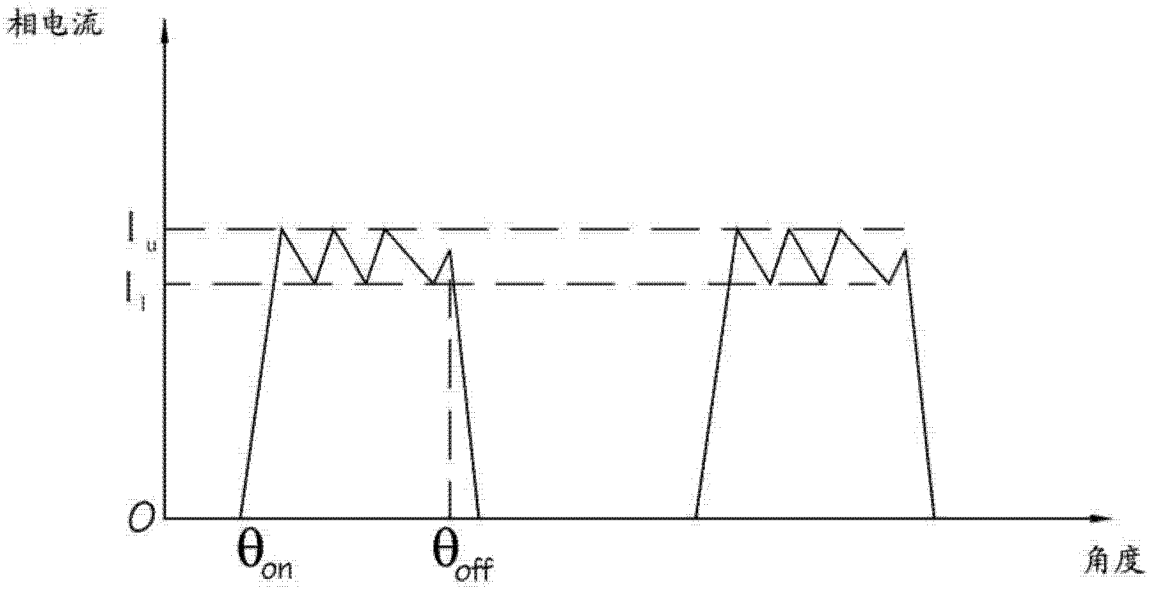


图 4(b)

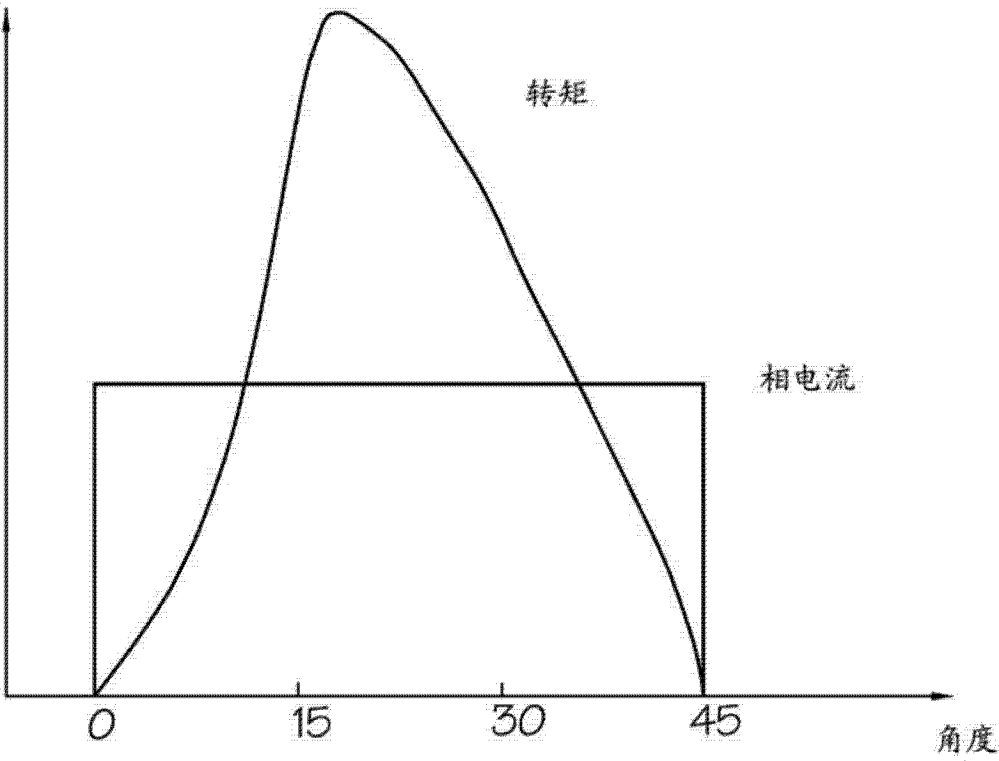


图 5

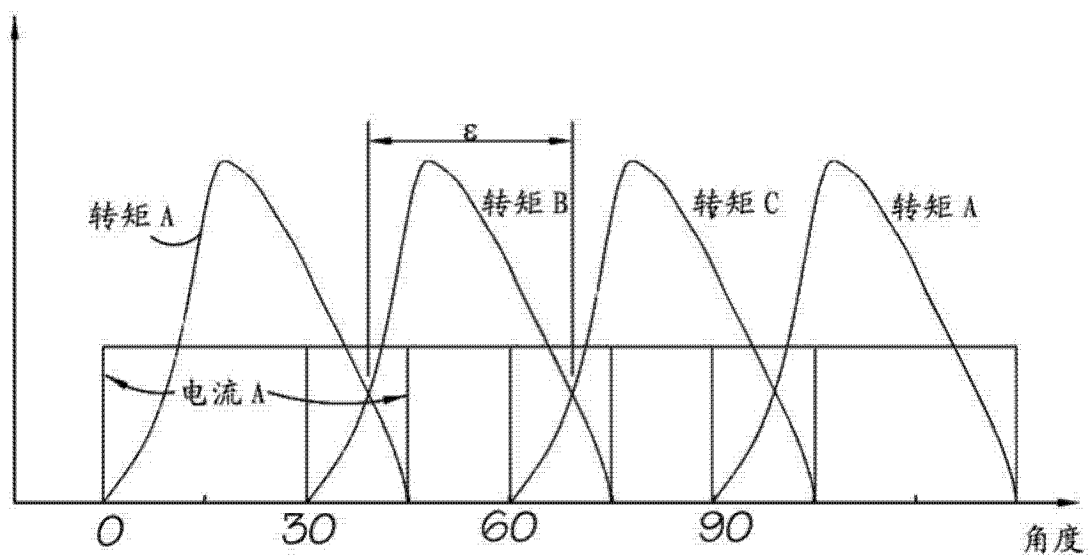


图 6

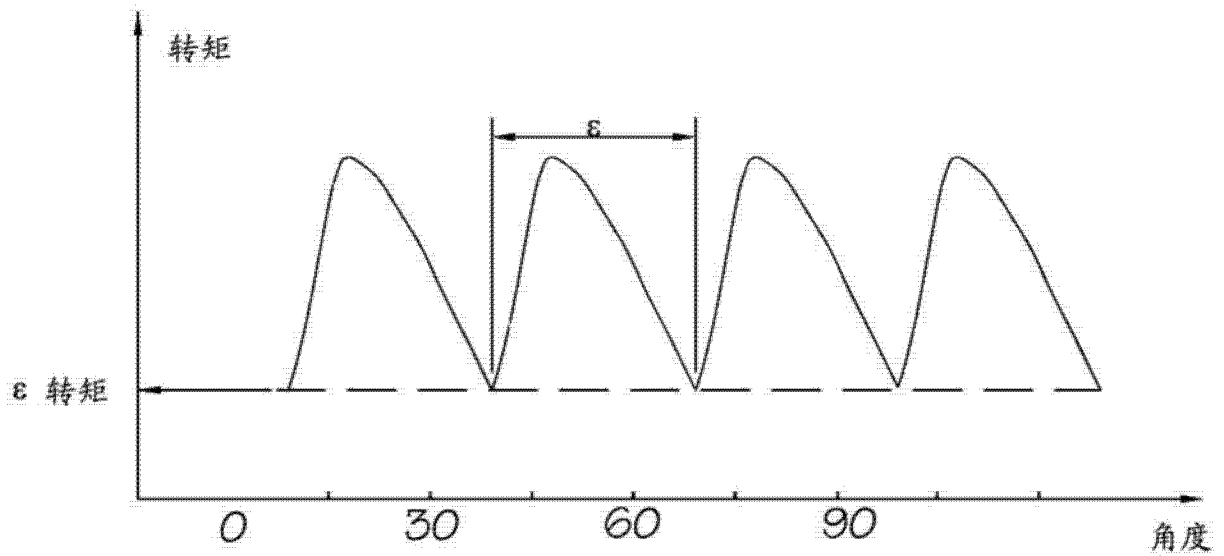


图 7

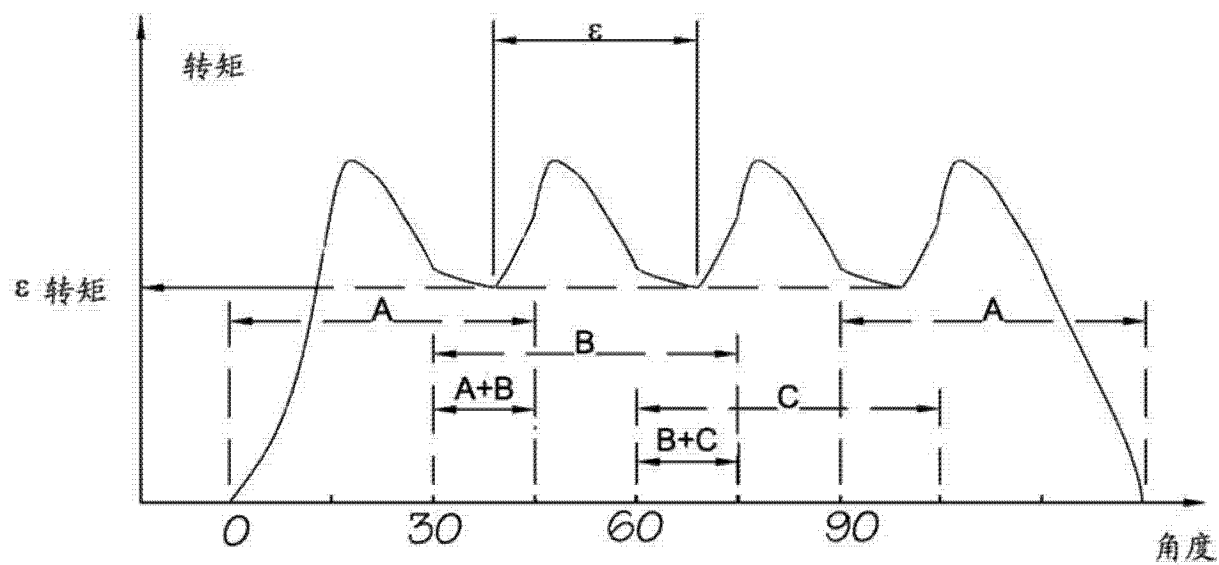


图 8

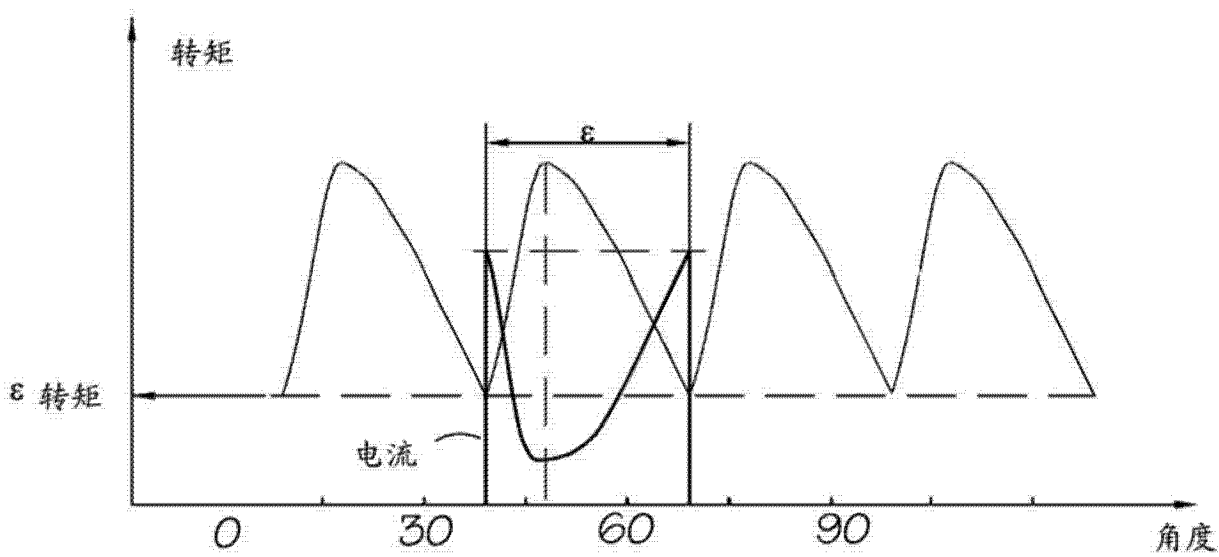


图 9

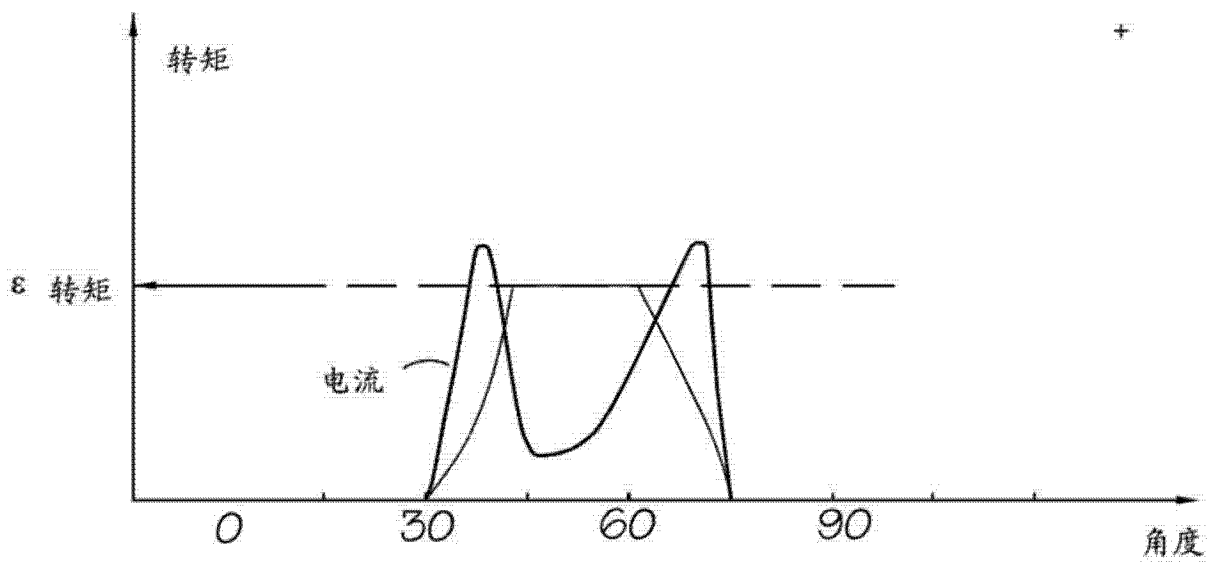


图 10

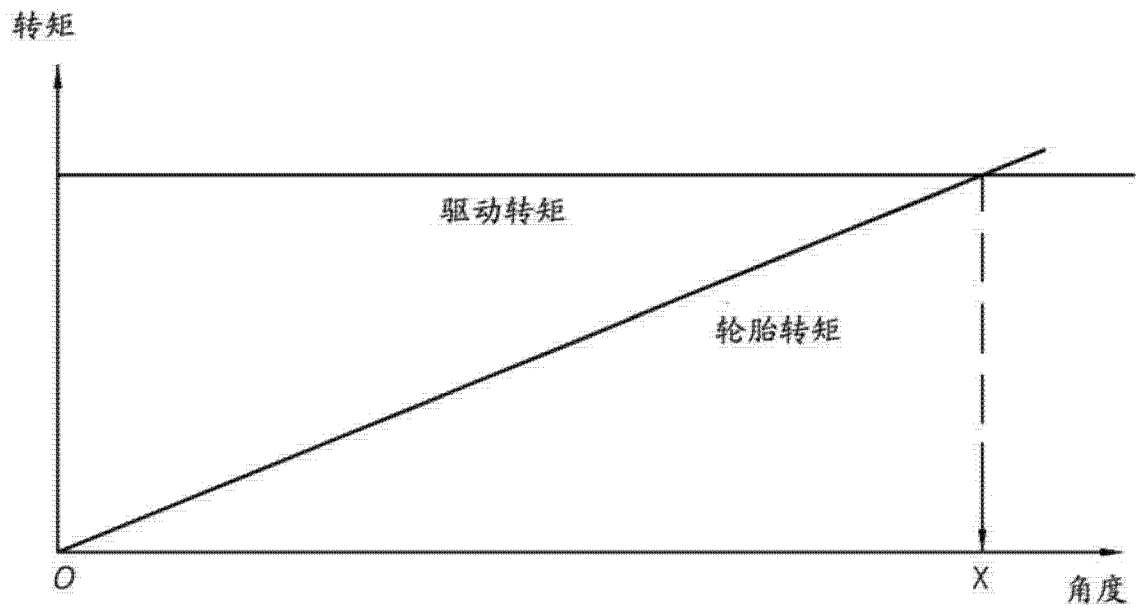


图 11

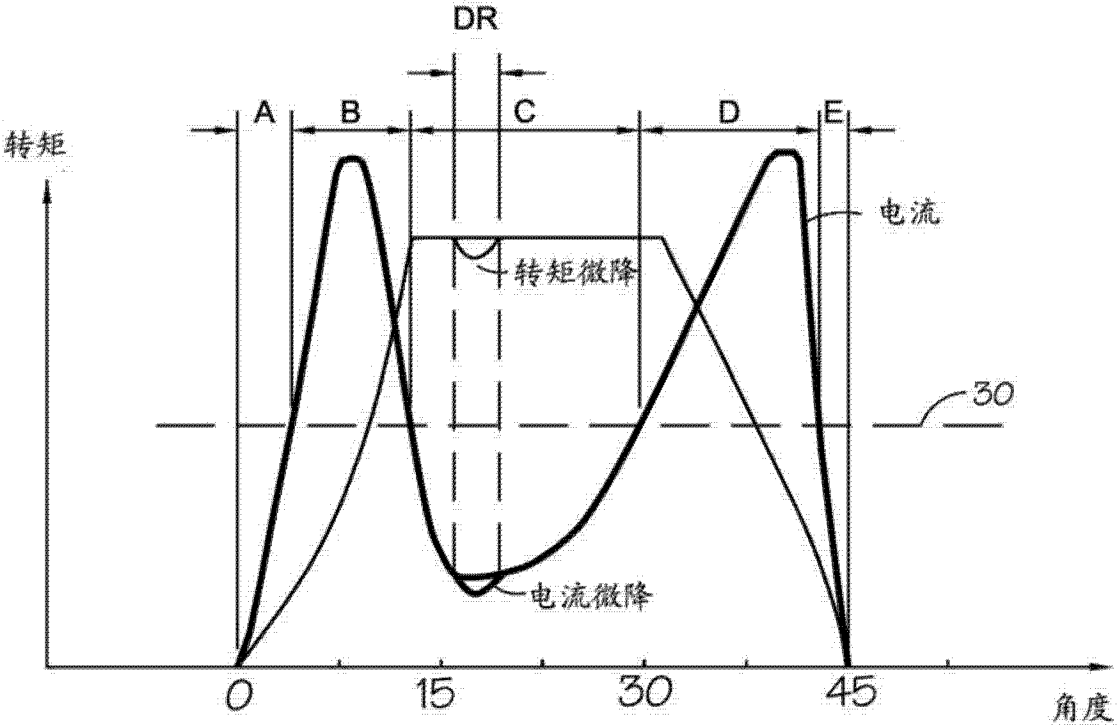


图 12

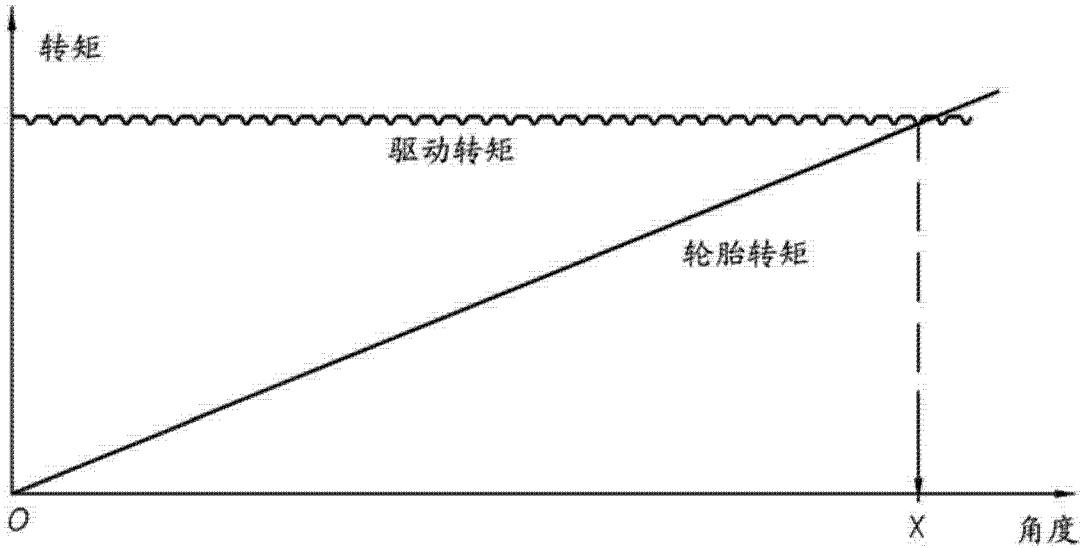


图 13

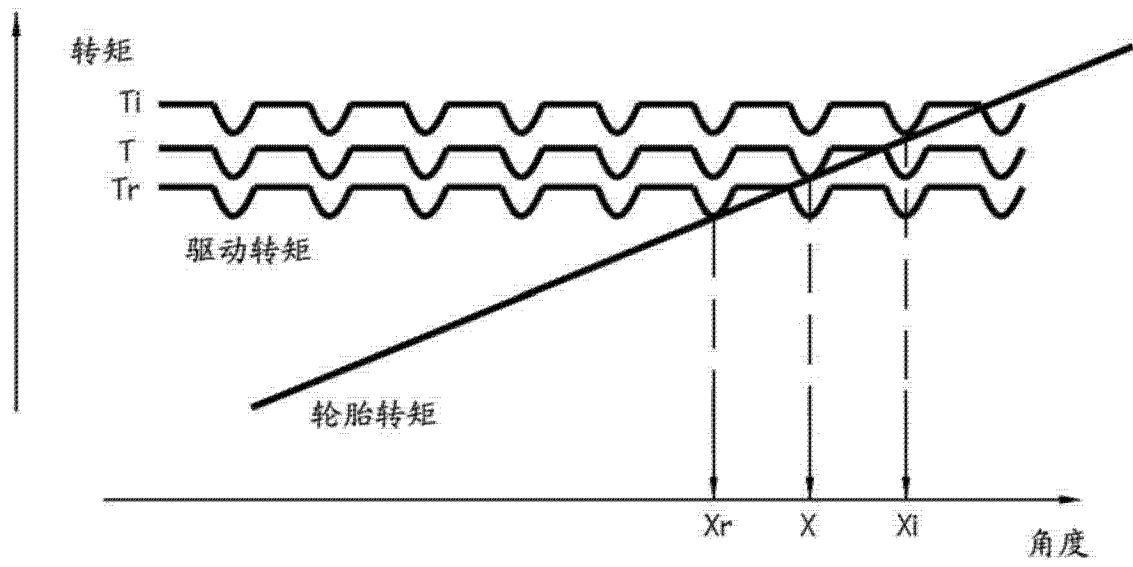


图 14