

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H02P 6/00 (2006.01)

H02P 6/08 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200480005337.6

[43] 公开日 2006 年 3 月 29 日

[11] 公开号 CN 1754302A

[22] 申请日 2004. 1. 29

[21] 申请号 200480005337.6

[30] 优先权

[32] 2003. 1. 29 [33] US [31] 10/352,897

[32] 2003. 1. 29 [33] US [31] 10/352,896

[86] 国际申请 PCT/US2004/002376 2004. 1. 29

[87] 国际公布 WO2004/070882 英 2004. 8. 19

[85] 进入国家阶段日期 2005. 8. 26

[71] 申请人 波峰实验室责任有限公司

地址 美国弗吉尼亚

[72] 发明人 亚历山大·A·格拉德科夫

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公司

代理人 李 涛 钟 强

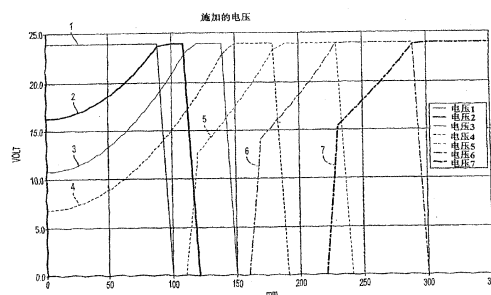
权利要求书 4 页 说明书 12 页 附图 6 页

[54] 发明名称

不同线规、匝数相绕组的多相电机电压控制方法

[57] 摘要

一种多相电机具有多个铁磁隔离的定子电磁体，这些电磁体分布在一个转轴四周。对期望电机运行的连续速度范围进行限定。一组特定的电磁体与一个速度范围有关，每一组特定的电磁体由不同的电磁体组合组成。在每个速度范围内，加在每相绕组的电压幅值是预定的。检测电机在整个运行过程中的速度。在每个限定的速度范围内，只对相关的电磁体组进行激励，并且在每个激励电磁体上施加一个预先设定的不同电压。



1. 一种在多个运行速度范围内对多相电机进行控制的方法，该多相电机包括一定总数的铁磁隔离的定子电磁体，该定子电磁体分布在转轴四周，每个电磁体具有形成在铁磁铁芯上的相绕组，该方法包括下列步骤：

识别第一数量的电磁体中的特定电磁体，该第一数量小于该总数；

电机在第一速度范围内运行时，采用不同的预定电压幅值来对每个所识别的电磁体的相绕组进行激励；

检测整个电机运行期间的电机速度；

电机在检测到的第二速度范围内运行期间，给所识别的电磁体的相绕组施加电压，该电压与第一速度范围内所施加的电压具有不同的预定幅值。

15

2. 根据权利要求1的方法，还包括下列步骤：

电机在检测到的第三速度范围内运行期间，给第二数量的电磁体的相绕组施加预定电压，这个步骤中施加给这些绕组中每个绕组的电压幅值彼此不同。

20

3. 根据权利要求1的方法，其中第二数量小于第一数量。

4. 根据权利要求3的方法，其中在第三速度范围内被激励的相绕组特性与第一和第二速度范围内被激励的相绕组特性相同，以及第三速度范围内施加给每个相绕组的电压与第一和第二速度范围内施加给相应相绕组的电压幅值是不同的。

25

5. 一种在多个运行速度范围内对多相电机进行控制的方法，该多相电机包括一定总数的铁磁隔离的定子电磁体，该定子电磁体分布在转轴四周，每个电磁体具有形成在铁磁铁芯上的相绕组，该方法包

30

括下列步骤：

对电机可预期运行速度的连续范围进行确定；

关联对应于每个速度范围的电磁体总数的一个子组，每个特定子组包括电磁体的不同组合；

5 预先确定对应每个确定的速度范围、加给每个相绕组的相应电压幅值；

检测整个电机运行期间的电机速度；

电机在每个所确定的速度范围内运行期间，仅对相关子组的电磁体进行激励，施加给每个被激励的电磁体不同的预定电压幅值。

10

6. 根据权利要求5的方法，其中电机在每个所确定的速度范围内运行期间，至少电磁体相绕组总数中的一个相绕组被激励。

15 7. 根据权利要求5的方法，其中，在第一确定速度范围内被激励的至少一个相绕组，在第二确定速度范围内也被激励，在每一速度范围内，施加不同的预定电压幅值。

8. 根据权利要求7的方法，其中，在第一确定速度范围内受激励的相绕组数目同第二确定速度范围内被激励的相绕组数目不同。

20

9. 根据权利要求5的方法，其中在第一确定速度范围内的被激励的相绕组数目与第二确定速度范围内被激励的相绕组数目不同。

25 10. 根据权利要求5的方法，还包括响应用户指令对所有的相绕组的预定电压幅值进行调整的步骤。

11. 根据权利要求10的方法，其中用户指令表示电机转矩请求，预定的电压幅值表示在某一设定转矩下的电机运行，并且调整的步骤包括将预定的电压幅值乘以一个取决于所需转矩的值。

30

12. 根据权利要求11的方法，其中设定的转矩是最大电机转矩，并且调整的乘数是一个0和1之间的分数。

5 13. 根据权利要求5的方法，其中每相绕组与每个其它相绕组具有不同的线圈总数。

14. 根据权利要求5的方法，其中每相绕组与其它相绕组具有不同的线规。

10 15. 一种电机控制系统，包括：

多相电机，该多相电机具有一总数的铁磁隔离的定子电磁体，这些电磁体分布在转轴的四周，每个电磁体具有一个形成在铁磁铁芯上的相绕组；

15 电压转换装置，其连接在每相绕组和电源之间，用于为相绕组施加多个电压幅值；

控制器，其与电压转换装置相连，该控制器包括存储数据的存储器装置，对于每个电磁体相绕组，这些存储数据将电压幅值与电机运行速度范围关联起来；

电机速度反馈装置，其与控制器的一个输入端相连。

20

16. 根据权利要求15的电机控制系统，其中存储的数据表示一个表，该表识别要在多个速度范围中每个速度范围内被激励的电磁体总数的一个特定子组，每个特定组包括电磁体的不同组合。

25 17. 根据权利要求16的电机控制系统，其中每相绕组与每个其它相绕组具有不同的线圈总匝数。

18. 根据权利要求17的电机控制系统，其中每相绕组与其它相绕组具有不同的线规。

30

19. 根据权利要求16的电机控制系统，其中对于在每一速度范围内每个被激励的电磁体，存储在表中的电压幅值是不同的。

5 20. 根据权利要求19的电机控制系统，其中电磁体的总数是奇数，该表表明对应每个速度范围至少一个相是零电压。

21. 根据权利要求19的电机控制系统，其中存在该表中的电压幅值表示电机以最大转矩运行，该控制器还包括代表电机转矩请求的用户输入端；

10 响应电机运行期间用户输入信号，控制器将存储的电压幅值乘以相应的分数值，施加于相绕组。

不同线规、匝数相绕组的多相电机电压控制方法

5 相关申请

本申请包含与下列待批的美国申请有关的主题，这些待批的美国申请号是：Boris Maslov et al.在2001年4月5日申请的09/826423、Boris Maslov et al在2001年4月5日申请的09/826422、Boris Maslov et al.在2002年6月19日申请的10/173610、Boris Maslov et al.在2002年11月8日申请的10/290505，和Alexander Gladkov在2003年1月9日申请的10/352897。一般地，这些待批申请号全部属于本申请。这些申请所公开的内容作为参考被包含在本文中。

技术领域

15 本发明涉及对多相电机的控制，尤其涉及在整个连续电机运行速度范围内对不同绕组和线圈规格拓扑的单个相绕组施加的不同电压。

背景技术

20 对诸如应用在电机控制领域的微控制器、微处理器以及改良的便携式电源的可用性等电子系统的改进已经作为一种急迫的挑战使车辆的高效电机驱动得到发展，并且电机驱动已经成为一种可行的内燃机替代设备。电机绕组的电子控制脉冲激励为更加灵活的运用电机特性提供前景。通过控制脉冲的宽度、占空比以及对加到适当定子绕组上的电池电源进行切换，可以实现功能多样性，实际上，很难从交流同步电机操作中察觉出功能多样性。

25 前面提到的Maslov et al.待审批相关美国专利申请09/826423，致力于满足的需求是改善电机以简化制造并提供有效、灵活的工作特性。在车辆驱动环境中，最好的是在较宽速度范围内获得平滑的操作特性，而在低功耗下维持高的转矩输出能力。待审批的相关美国申请

30

将电磁极合并成分隔开的磁可穿透结构，该结构为位于环孔上的段，该环沿径向相对较薄，从而具有有利的效果。与现有技术中的实施方式相比，采用这种结构可以使磁通集中，电磁铁芯几乎没有损耗或者有害的互感干扰影响。

5

Maslov et al.的申请认为电磁段之间分隔开可以使每一磁芯的磁通单独地集中，几乎没有任何磁通损耗或者有害的互感干扰影响。通过将单个极对配置成独立的电磁体，可以获得操作上的优势。改变激励的极对绕组时，单个极对与其它极对之间的磁路隔离消除了相邻组上的磁通互感效应。

10

前面提到的 Maslov et al.待审批美国专利申请 10/173610 所针对的是具有这些结构特征的多相电机控制系统。因为每一相的控制环都与其对应的绕组和结构完全匹配，所以描述的控制策略是：补偿单相电路特性、提供更高的控制精确度。优选的，控制参数与各自定子相中每一相的特性匹配。控制器控制每相绕组进行连续的切换激励，控制器根据与被激励相绕组的定子相组件相关的参数产生信号。

15

尽管上面提到申请中的电机具有操作上的优势，但是在所有的宽运行速度范围内，甚至所带负载不变的条件下，这些电机和先前技术的电机都没有始终表现出高效率。对于一个固定的电机拓扑，有效的磁动势根据绕组匝数和激励电流而定。这里，使用的术语“电机拓扑”指物理电机特性，例如尺寸、定子铁芯的磁特性、定子绕组的线圈数以及线径（规格）等等。有效的磁动势将转矩和速度在工作范围之内之间的关系限定成是一个变化，通常是反向，的关系。施加的激励电流将电机驱动到额定运行速度。当电机朝着额定速度加速时，转矩减小，驱动电机的电流也相应地减少，并且效率增加到最大值。当速度超过最大效率对应的速度时，需要额外的驱动电流，因此降低了效率。所以，效率在整个速度范围内是变化的，并达到一最大值，效率达到最大值时的速度比最大速度小。

20

25

30

具有不同拓扑的电机在不同的速度下获得峰值效率，如图 1 所示。该图给出的是不同拓扑的电机在宽速度范围内电机效率与电机运行速度之间的关系曲线图。图中表示的拓扑仅在于定子绕组匝数不同。当速度从 0 增加到一特定速度时，每条效率曲线接近一峰值，并且效率在达到峰值后逐渐降低到 0。曲线 A 表示具有最大绕组匝数的电机，该曲线 A 显示了在到最先速度 V_2 时达到峰值效率的最陡斜率。然而当超过该速度时，曲线显示了一个相似的负斜率。因此，电机的工作范围是有限的。电机在可接受的效率水平或者以上工作时对应的速度范围是相当小的，在图 1 中用 $X\%$ 表示可接受的效率水平。

曲线 B~E 依次表示具有更小绕组匝数的电机。当绕组匝数减小时，与最大效率时对应的电机运行速度增加。曲线 B 在速度 V_3 时达到峰值效率，曲线 C 在速度 V_4 时达到峰值效率，曲线 D 在速度 V_5 时达到峰值效率，曲线 E 在速度 V_6 时达到峰值效率。每个电机在不同的电机运行速度具有峰值效率，而且没有一个在整个电机运行速度范围内具有可接受的效率。

在较宽速度范围内驱动电机的应用中，比如在车辆驱动场合，图 1 显示出没有理想的单个电机拓扑可以在整个速度范围内均匀地提供较高的运行效率。例如，在速度大于 V_6 时曲线 A 和 B 示出的效率是零。在速度范围的低速端，例如一直到 V_2 ，曲线 C 到曲线 E 示出的效率明显低于曲线 A 和 B。

在电机车辆驱动中运行效率尤其重要，因为需要延长电池的寿命，而超过电池的使用寿命时必须要对其进行充电或者换掉车内电池。因此存在这样的需求——需要电机的运行效率在较宽速度范围内比目前使用的具有更加均匀的高效率。美国申请 10/290505 就致力于满足这个需求。文本中所采用的方法是，基于动态原理，在对应于期望电机运行的启动速度和最大速度之间的多个速度范围的每一个速度

范围内，改变每一个定子绕组的有效线圈数。这些速度范围与图 1 中示出的速度范围类似，将一个不同数目的电机定子绕组线圈进行激励，并将其指定到每一个速度范围进而获得对应于多个运行速度范围中每一速度范围的最大效率。当速度经过相邻速度范围之间的阈值时，激励线圈的数目被改变。每一个绕组包括多个单个、串联线圈组，这些线圈组用抽头连接分隔开。在单个的、相应速度范围期间，通过开关将每一个抽头连接到激励源上。因此在每个速度范围内绕组具有不同数目的激励线圈。

10 尽管这种设置拓宽了获得高效率的速度范围，但是电机绕组的感应特性需要对抽头与电源之间的连接或断开进行精确的时间控制。因此需要提供有效数量的电子电源电路和控制电路来实现正确的功能。特殊电机结构中对结构的限制，可以限制抽头的数目、线圈组的数目，这在单个定子绕组中是可行的。

15 其余的需求是，在扩展的速度范围获得高效电机运行的其它方法。上面提到的 Gladkov Application (Attorney Docket 57257-053) 就致力于满足这个需求。该申请描述的电机结构是每个定子相绕组配置的拓扑与其它每个相绕组的拓扑不同。绕组拓扑的特征在于每个相绕组中的线圈总匝数和每个相绕组中线圈的规格。每个相绕组与其它每个相绕组的线圈总匝数或者线规不同，优选两者都不同。相绕组的规格尺寸与线圈总匝数之间是反比关系，全部相绕组具有大体相同的总线圈量。可对相绕组激励进行调整，使其在对应起动速度和最大速度之间的多个运行速度范围中每个速度范围内都能得到最大的效率，这个速度范围是期望电机在其间运行的速度范围。

25 存在的需求是要在每个运行速度范围内都能给每个相绕组施加最佳的电压。对由许多相组成的机器结构而言，在每个速度范围内必须要预先确定哪一相绕组不需要施加电压，以及还要确定施加给其余每个相绕组的预定电压幅值。将要被激励的相绕组的数目和特性以及个

别所施加电压的幅值在每一速度范围内可以不同。

5 对于一个给定的转矩，尽管可以导出相绕组的预定电压，使电机在整个运行速度范围内提供最优效率，但是还有电机应用需要对各种电机速度进行控制，例如在电动车辆中。电机输出转矩可以根据用户的输入指令调节，这个输入指令与所需速度有关。因此还存在的需求是，要对加在相绕组上的电压进行完善，这样在整个运行速度范围内，在转矩变化的情况下，根据用户指令对效率进行优化。

10 发明内容

15 在多个运行速度范围内，本发明实现了上面提到的各种控制需求，一种多相电机具有多个铁磁隔离的定子电磁体，这些电磁体分布在一个转轴四周，并且每个电磁体在铁磁铁芯上形成一个相绕组。对期望电机运行的连续速度范围进行限定。一特定子组的电磁体与一个速度范围有关，每一特定子组由不同的电磁体组合组成。在每个速度范围内，加在每相绕组的各电压幅值是预定的。检测电机在整个运行过程中的速度。在每个限定的速度范围内，只对相关子组的电磁体进行激励，并且在每个激励电磁体上施加一个预先设定的不同电压幅值。

20

因为电磁体的不同相绕组拓扑，所以本发明中是很有优势的，其中每相绕组具有与其他相绕组不同总数的线圈匝数以及不同的线规，允许将整个运行速度范围划分成多个狭小的速度范围，并且在狭小速度范围内可以得到精确的效率调整。在运行期间，在每个限定的速度范围内，至少可对电磁体相绕组总数中的一个相绕组进行退磁。

25

30 在一个速度范围内用指定的预定电压进行激励的相绕组在另一不同的限定速度范围内也可以用不同的预定电压进行激励。在一个限定速度范围内被激励的相绕组数目和特性与在另一速度范围内被激励的相绕组总数和特性不同。

5 本发明还具有一个优势：为了得到最大电机转矩输出，可以对所有速度范围内的预定电压幅值进行设定。可以根据用户转矩输入指令对预定的电压幅值进行调整，从而在其他转矩输出得到最优的电机驱动效率。用户转矩输入指令可以在零转矩和最大转矩之间的范围内变化。通过将用户输入范围与一个在 0 和 1 之间变化的分数值联系，控制系统将所有速度范围的预定最大转矩电压值乘以与用户输入相对应的分数值，从而在所有转矩输出得到最优的电机驱动效率。

10 对本领域的技术人员来说，通过下文的详细描述就可以清楚的了解本发明的其它优点，其中仅通过示例性的实施本发明的预期的最佳方式只说明和描述本发明的优选实施例。应该了解的是，本发明还有其它不同的实施方式，各种实施方式中的细节可以在不偏离本发明的情况下进行各种明显的改进。因此，附图和说明书实际上是示例性的
15 而非限制性的。

附图说明

本发明通过举例来说明，但不是限制性的，其中附图中相同的附图标记表示相同的元件，其中：

20 图 1 给出的是电机效率与电机运行速度之间的关系曲线图，这个关系曲线图是不同普通电机在较宽速度范围内得到的，并且这些不同的普通电机具有不同绕组匝数。

图 2 给出的是应用在本发明中的转子和定子元件的示意性结构。

25 图 3 列出的是一图表，其显示的是本发明举例的多相电机每一相绕组的线规和绕组总匝数。

图 4 是图 2 中电机的电压供电电路的部分框图。

图 5 是图 2 所示电机在运行速度范围内提供给每相绕组的电压示意图。

30 图 6 是对应图 5 工作电压下的电机效率与电机运行速度的关系曲线图。

具体实施方式

图 2 是应用在本发明中的转子和定子元件的示意性结构。以前面提到的待批 Maslov et al. 的申请 09/826422 作为参考来更详细的说明本文所列举的电机。转子件 20 是环孔结构，具有彼此间隔开并沿圆周支承板 25 大体均匀分布的永磁体 21。永磁体是转子极，沿环孔内周其磁极性是交替的。转子环绕定子件 30，转子和定子件通过环孔径向气隙而间隔开。定子 30 包括多个统一结构的电磁铁芯段，这些铁芯段沿气隙均匀分布。

定子包括七个铁芯段，每个铁芯段形成为普通的 U 形磁结构 36，该结构包括两个极，该极具有面对气隙的表面 32。极对的脚上缠绕着绕组 38，尽管铁芯段的结构可以构造成在容纳在连接极对的部分上形成的单个绕组。每个定子电磁铁芯段是独立的并与相邻铁心元件磁性隔离的。每个铁芯段可以认为代表一相，该相绕组沿气隙用标记 38a—38g 连续标识。定子元件 36 固定到非磁性可穿透支撑结构上，进而形成了环孔结构。这种结构可以消除相邻定子极组产生的杂散变压器磁通。适当的定子支撑结构可以在前述专利申请中了解到，该结构在本文中并没有说明这样可以使有效的电机元件更清楚直观。

绕组 38a—38g 在绕组拓扑方面彼此不同，其中该绕组拓扑涉及线规和绕组线圈总匝数。而在本实施方式中优选的是，每个相绕组具有唯一的绕组总匝数和唯一的线规，两个或多个相绕组可以具有相似的线规或匝数。其它实施方式可以包括更多分隔开的铁芯段极对。在这些实施方式中优选的是某些相绕组具有相同绕组拓扑。

图 3 是举例说明图 2 所示七相电机的相绕组拓扑图的图表。每个相绕组具有唯一的线圈匝数并用唯一线规构成。每个相绕组的总用铜量是相同的。

图4是附图2中电机的电压供电电路的部分框图。相绕组38a—38g通过分别与电压转换器42a—42g串联而与直流电源40连接。每个电压转换器的控制端与控制器44连接，控制器44也与电源40跨接。控制器和电压转换器是普通的装置，在Maslov et al.的待审批申请10/173610中有更详细的描述。包括微控制器和相关存储装置的控制器44可以具有一个或多个用户输入端和多个用于检测电机运行期间状态的输入端。为了清楚的解释本发明，电机速度输入端是唯一被示出的电机状态反馈输入端。可以通过任何普通的电机速度传感器产生速度输入信号。存储在控制器中的是一个表，该表可识别将要加给每个相绕组的电压值，该电压对应于工作范围内多个速度范围中的每个速度范围。电压值是在下表中被识别，这个电压值被找到是用于在各种速度范围内给每个相绕组38a—38g在最大转矩输出提供最大工作效率的。每个范围的工作效率也在该表中列出。

表

RPM	相绕组 38a 的 电压	相绕组 38c 的 电压	相绕组 38e 的 电压	相绕组 38g 的 电压	相绕组 38b 的 电压	相绕组 38d 的 电压	相绕组 38f 的 电压	效率
0	24.0	16.3	10.8	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0
10	24.0	16.4	10.9	6.9	0.0	0.0	0.0	13.3
20	24.0	16.7	11.2	7.2	0.0	0.0	0.0	26.1
30	24.0	17.1	11.7	7.6	0.0	0.0	0.0	38.1
40	24.0	17.8	12.4	8.1	0.0	0.0	0.0	49.1
50	24.0	18.6	13.3	8.9	0.0	0.0	0.0	59.0
60	24.0	19.6	14.4	9.8	0.0	0.0	0.0	67.6
70	24.0	20.8	15.7	10.8	0.0	0.0	0.0	74.6
80	24.0	22.2	17.2	12.1	0.0	0.0	0.0	79.3
90	24.0	23.8	18.9	13.5	0.0	0.0	0.0	80.9
100	0.0	24.0	20.8	15.0	0.0	0.0	0.0	83.5
110	0.0	24.0	22.9	16.7	0.0	0.0	0.0	83.2
120	0.0	0.0	24.0	18.6	12.7	0.0	0.0	84.1
130	0.0	0.0	24.0	20.7	14.1	0.0	0.0	86.2
140	0.0	0.0	24.0	22.9	15.8	0.0	0.0	84.3
150	0.0	0.0	0.0	24.0	17.5	0.0	0.0	84.5
160	0.0	0.0	0.0	24.0	19.3	0.0	0.0	86.8
170	0.0	0.0	0.0	24.0	21.3	14.0	0.0	85.6
180	0.0	0.0	0.0	24.0	23.4	15.5	0.0	82.8
190	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	17.0	0.0	85.0
200	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	18.6	0.0	87.7
210	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	20.3	0.0	87.4
220	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	22.1	0.0	84.4
230	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	23.9	15.3	80.5
240	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	16.6	84.9
250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	18.0	87.9
260	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	19.4	88.6
270	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	20.8	87.2
280	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	22.3	84.0
290	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	23.9	79.7
300	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	81.9
310	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	84.6
320	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	87.4
330	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	90.1
340	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	92.8
350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	
360	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	

在运行中，控制器 44 对表格中的数据进行访问以确定在起动时

要激励哪一相绕组以及要加给每个相绕组的电压电平。控制器将这些值的适当控制电压输出到与相绕组连接的各个电压转换器中。在电机加速时，对电机速度进行重复取样并作为信号输入反馈到控制器中。响应于接收到的速度输入信号，控制器对存储的表进行访问，在检测到的速度所在的速度范围内接收对于每个相绕组的电压数据。新的控制信号，对应于所访问到的数据，输出到电压转换器中去改变（如果合适的话）施加给相绕组的电压。在电机负载改变时，电机速度可以相应地改变。控制器对该表提供的这些变化将依次对其输出控制电压进行调节，从而在整个运行速度范围上维持最优的工作效率。

10

该表描述的速度运行范围是 360rpm，为了精确调节电压电平，对这个速度运行范围进行了非常细的划分。图 5 中的图形可以体现这个信息，每个曲线表示在全部范围内要加到各个相绕组上的电压。曲线 1 表示加到绕组 38a 上的电压；曲线 2 表示加到绕组 38c 上的电压；曲线 3 表示加到绕组 38e 上的电压；曲线 4 表示加到绕组 38g 上的电压；曲线 5 表示加到绕组 38b 上的电压；曲线 6 表示加到绕组 38d 上的电压；曲线 7 表示加到绕组 38f 上的电压。

15

在运行速度范围的不同部分期间，不同组合的相绕组将被激励。在任何时候都不是七相绕组全部被激励。如图 5 中所示，在起动的時候，采用如图所示的变化的电压电平对四个相绕组激励，直到速度到达 100rpm。对于 100 到 140rpm 之间的速度，用如图所示的电压电平对三相绕组进行激励；140 到 160rpm 之间的速度，两相绕组受到激励；160 到 180rpm 之间的速度，三相绕组受到激励；180 到 220rpm 之间的速度，两相绕组受到激励；220 到 230rpm 之间的速度，三相绕组受到激励；230 到 290rpm 之间的速度，两相绕组受到激励；大于 290rpm 的速度，只有一个绕组受到激励。对于这些范围中的每一个范围，被激励相绕组的不同组合被识别并提供以不同的激励电压。

20

25

在整个速度范围内根据该图表运行的电机效率在图 6 中示出。这

30

个曲线同图 1 中示出按常规运行的电机的效率曲线相比, 本发明的运行效率有改善。当在整个电机运行范围内根据图表中示出的电压进行激励时, 在大约四分之三的速度范围内, 本发明定子绕组结构所提供的电机工作效率超过了百分之八十。

5

图 4 所示控制器用户输入代表转矩命令信号, 如上述美国专利申请 10/173610 中所述。其中描述了一个汽车驱动应用的例子, 用户输入代表用户的油门命令所指示的理想转矩。用户可以在零和和最大水平之间改变油门。油门的增加表示增大速度的命令, 速度增大是通过增加转矩实现的。对电机运行的这方面的描述集中在对最大电机转矩输出的控制上, 对此相应的用户输入代表最大油门。

10

可变用户转矩输入命令与分数值有关, 该分数值是可在对应零转矩输入命令的零和对应最大转矩输入命令的一个值之间变化。电机速度被重复采样并作为信号输入馈送到控制器。响应测量的速度信号输入, 控制器将存取代表电压幅值存储在表中的存储数据, 并把这些电压幅值乘以对应于用户转矩输入命令设定的分数值。当接收到不同速度范围的速度信号时, 从表中获得合适的电压幅值, 并产生新的控制信号, 所述新的控制信号是这些电压幅值与对应于用户输入命令的分数值的乘积。对于设定的用户输入命令, 在所有速度范围实现最佳电机驱动效率。对于所有设定用户转矩输入, 类似地在所有速度范围获得最大运行效率。

15

20

在公开的内容中, 图示和描述的仅是本发明的优选实施方式以及仅仅几个其通用性的例子。应该了解的是本发明可以用于各种组合和场合, 本发明也可以在本文阐述的发明原理范围内进行变化和更改。例如, 有利的是, 电机拓扑可以明显改变不同的极数、极尺寸、结构、极组成物等等。可以选择不同数量的线圈组和速度范围子集来适应特殊的拓扑。用不同规格的线圈替代每个定子铁芯段上的绕组, 每个定子铁芯段上的匝数可以变化为全部的线圈采用同一种规格。线圈部分

25

30

的结构可以针对不同拓扑进行改变以达到最优效率曲线。可以对阈值电平进行调整，以增加和/或减少一个或多个速度范围，进而设定多个均匀或不均匀分布的速度范围子集。

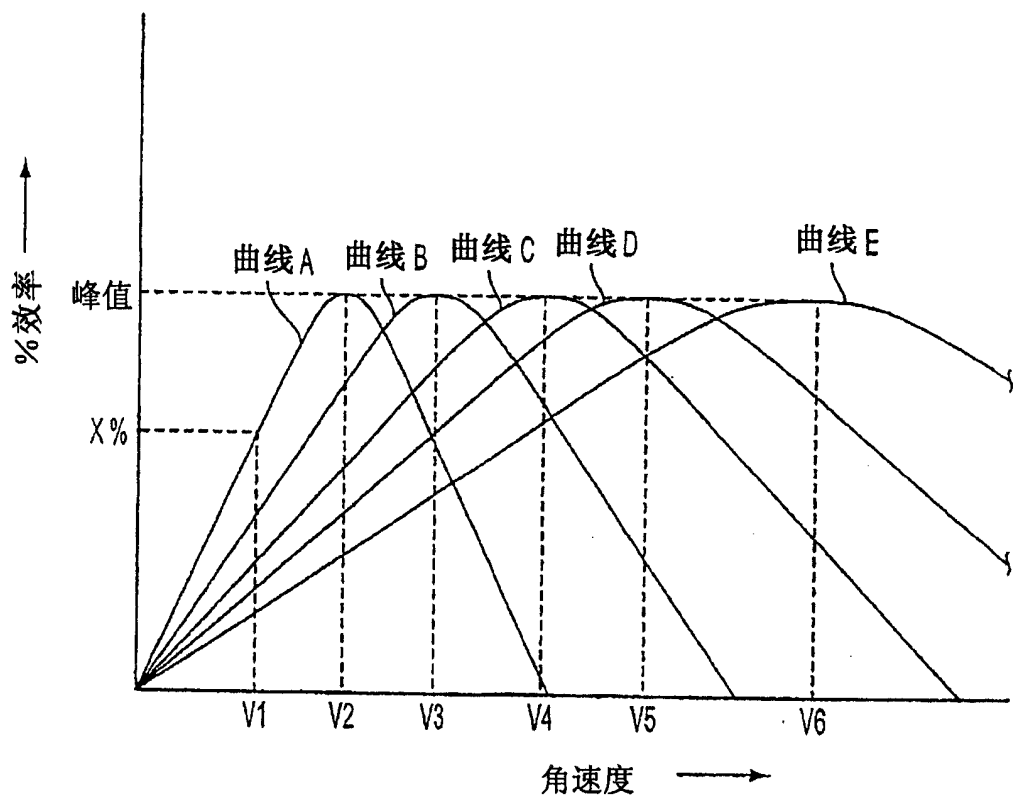


图1

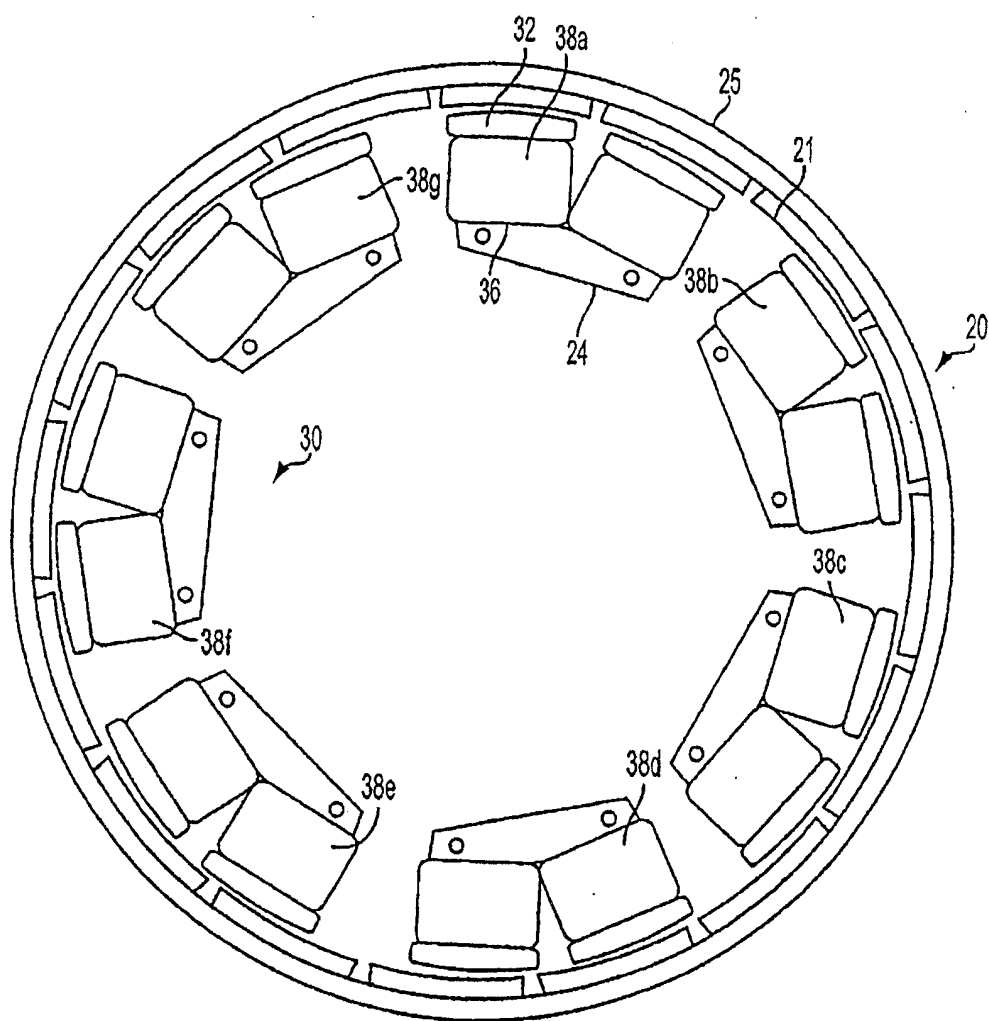


图2

相绕组	线规	匝数
38a	22	670
38c	21	560
38e	20	460
38g	19	370
38b	18	290
38d	17	220
38f	16	160

图3

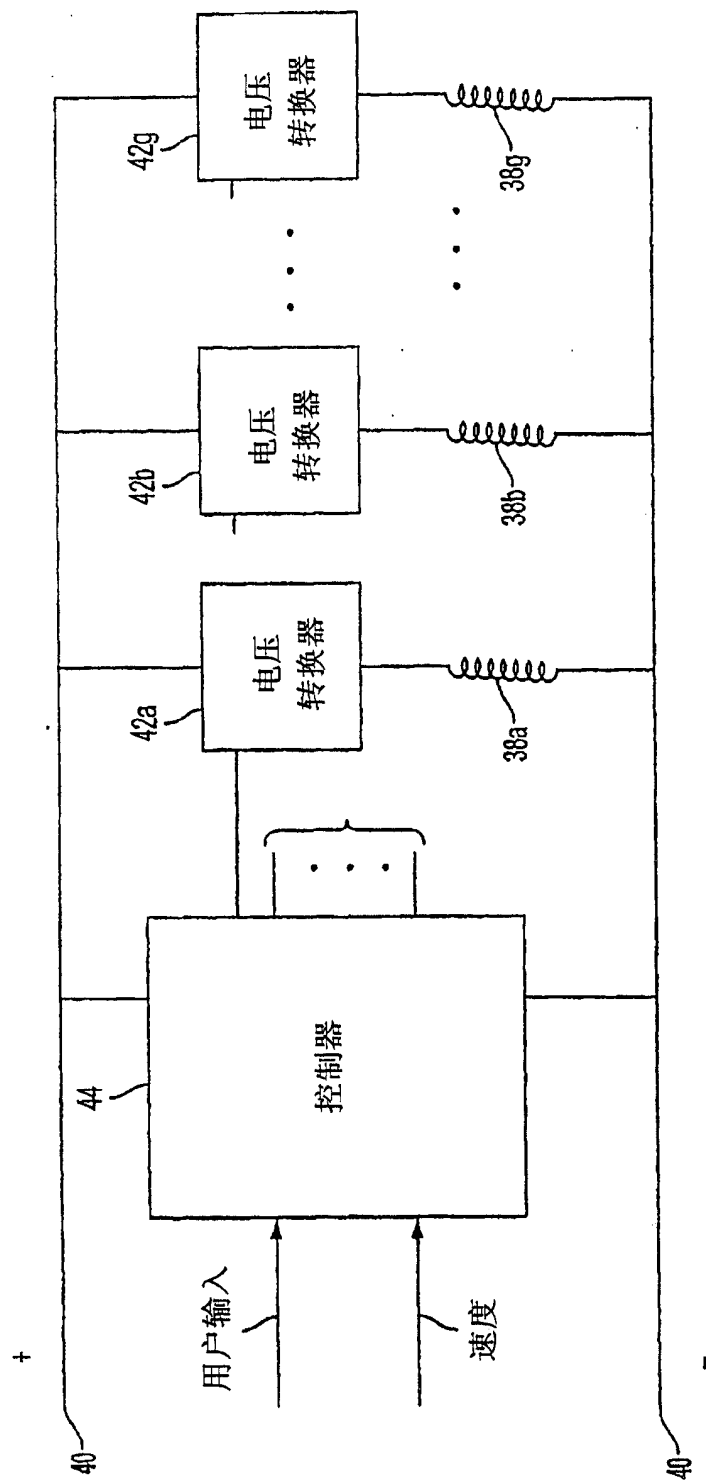


图4

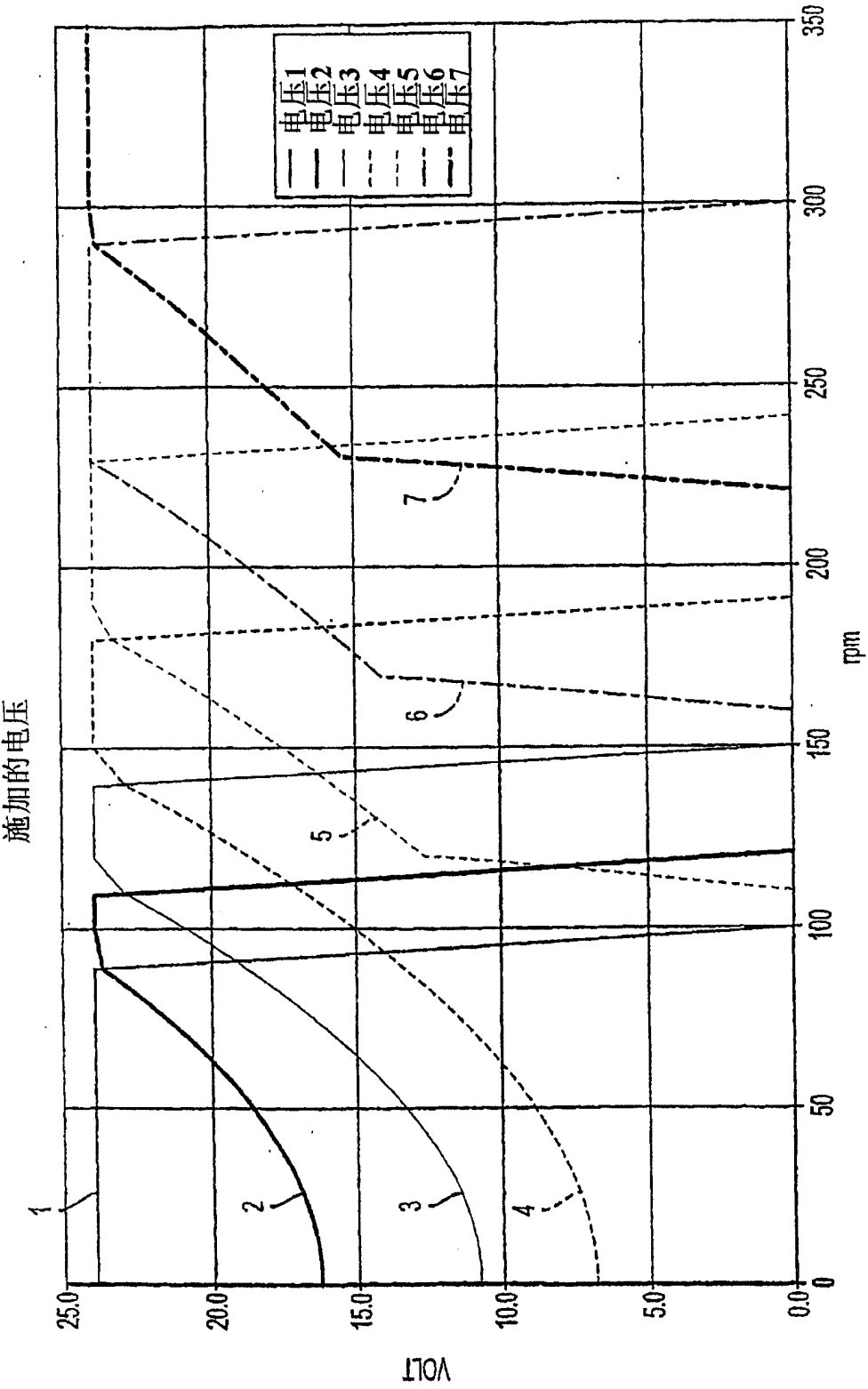


图5

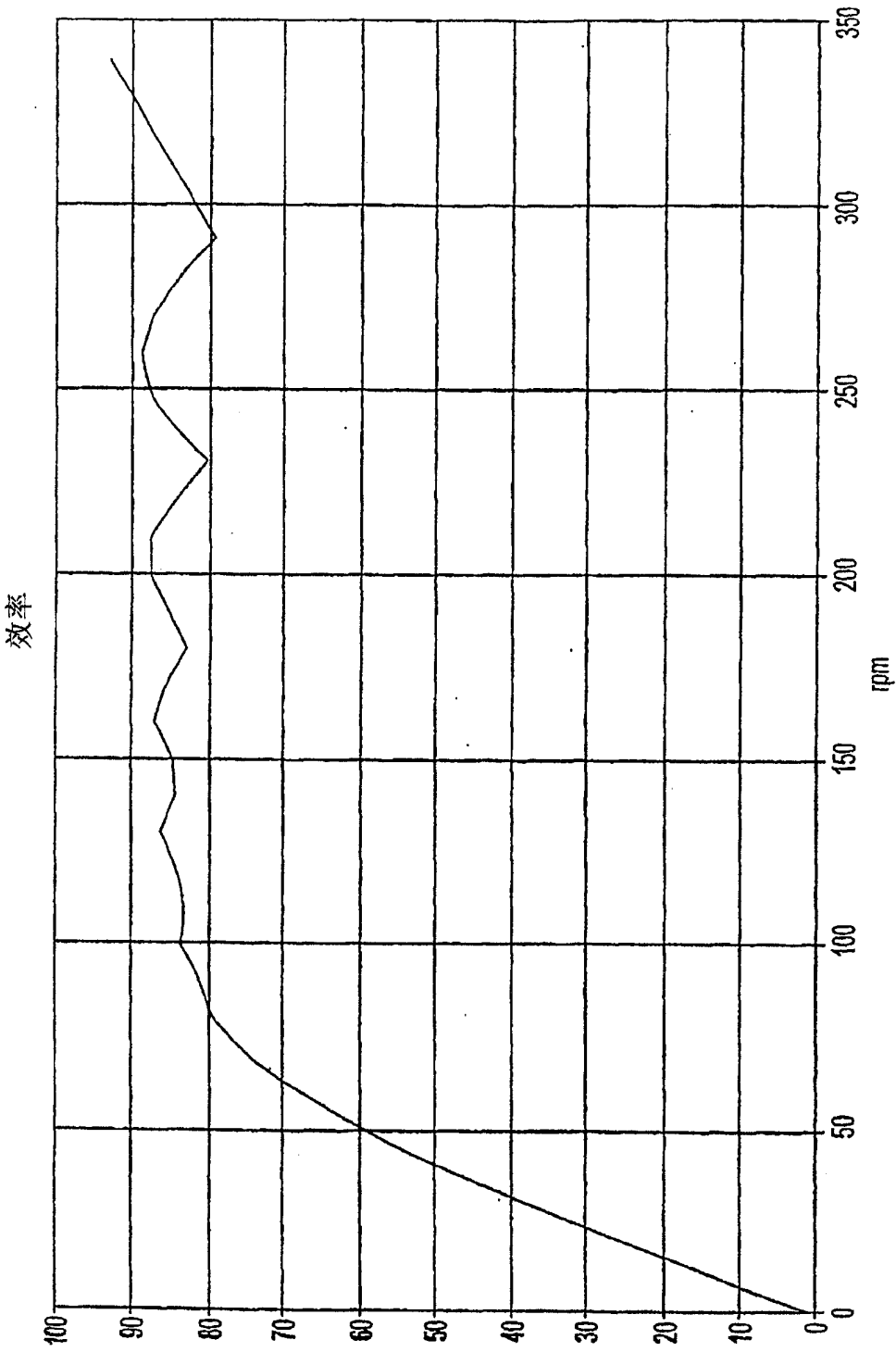


图6