

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H02P 6/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200480031268.6

[43] 公开日 2006年11月29日

[11] 公开号 CN 1871763A

[22] 申请日 2004.8.19

[21] 申请号 200480031268.6

[30] 优先权

[32] 2003.9.10 [33] US [31] 10/658,191

[86] 国际申请 PCT/US2004/027050 2004.8.19

[87] 国际公布 WO2005/027335 英 2005.3.24

[85] 进入国家阶段日期 2006.4.24

[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 拉柯许·达万

[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 关兆辉 陆锦华

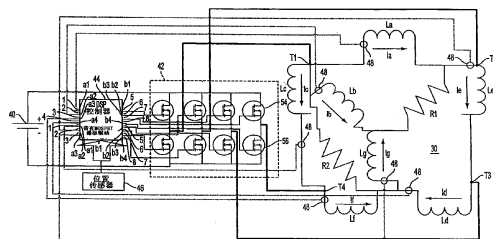
权利要求书3页 说明书9页 附图8页

[54] 发明名称

多相电机绕组的拓扑结构及控制

[57] 摘要

一种多相永磁无刷电机具有定子，所述定子为每一相配备至少一个绕组，所述绕组在多个接合点处彼此固定地连接。电源通过受控的电机激励电路连接到多个端子上，所述端子连接到相应的接合点上，其中端子的数目小于电机的相数。电机激励电路被中央处理器适当地控制。实现可控状态数目的减少并同时保持了高精度的可控性。因此，避免了为每一相复制相同的激励电路。



1. 一种多相无刷电机包括：
转 子，其包括多个永磁体；
定 子，其包括多个绕组，每个绕组对应于一个相应的电机相，所述多个绕组在多个接合点处彼此固定地连接；以及
多个端子，其连接到受控电源；
其中所述的多个端子的数目小于电机的相数，并且每个端子直接连接到所述多个接合点中相应的一个接合点上。
2. 如权利要求 1 所述的多相无刷电机，其中所述端子数目小于所述接合点数目。
3. 如权利要求 1 所述的多相无刷电机，其中所述多个绕组包括：
以三角形结构连接的第一组绕组，所述结构的相邻绕组在所述多个接合点中相应的一个接合点处连接；以及
以星形结构连接的第二组绕组，所述星形结构的端点连接到所述多个接合点中相应的一个接合点上。
4. 如权利要求 3 所述的多相无刷电机，其中所述多个接合点中的连接到星形结构端点的那个接合点不直接连接到端子。
5. 如权利要求 3 所述的多相无刷电机，其中所述电机包括七相，所述三角形结构包括带有五个接合点的五个相绕组，所述星形结构包括两个相绕组，并且只有四个接合点直接连接到相应的端子上。
6. 如权利要求 5 所述的多相无刷电机，进一步包括跨接在三角形结构其中一个相绕组两端的第一电阻元件，和连接在所述星形结构的中心节点和其中一个接合点之间的第二电阻元件。

7. 如权利要求 1 的多相无刷电机，其中定子进一步包括多个彼此铁磁隔离的铁磁铁芯部分，每一铁芯部分具有形成于其上的相应的相绕组。

8. 如权利要求 7 的多相无刷电机，其中每个铁芯部分包括多个磁极，每个磁极穿过气隙面对所述转子。

9. 如权利要求 7 的多相无刷电机，其中所述相数等于定子铁芯的数目并且每个相绕组卷绕在相应的其中一个定子铁芯上。

10. 一种多相无刷电机系统包括：

电机，包括永磁转子和定子，所述定子包括多个绕组，每个绕组对应于一个相应的电机相，所述多个绕组在多个接合点处彼此固定地连接；

电机激励电路，其将定子绕组连接到电源，用以向所述绕组提供受控的激励电流，所述电机激励电路具有多个电源输出端子，其数目小于接合点的数目；以及

中央处理器，其连接到所述电机激励电路并对其进行控制；其中每个所述电源输出端子直接连接到所述多个接合点中相应的一个接合点上。

11. 如权利要求 10 的多相无刷电机，其中所述多个绕组包括：

以三角形结构连接的第一组绕组，所述结构中的各相邻绕组在所述多个接合点中相应的一个接合点处连接；以及

以星形结构连接的第二组绕组，所述星形结构中的端点连接到所述多个接合点中相应的一个接合点上。

12. 如权利要求 11 的多相无刷电机，其中所述电机包括七相，所述三角形结构包括带有五个接合点的五个相绕组，所述星形结构包括两个相绕组，并且只有四个接合点直接连接到相应的端子，由此所述

七相电机被四个受控电源输出所控制。

13. 如权利要求 11 的多相无刷电机，其中所述定子进一步包括多个彼此铁磁隔离的铁磁铁芯部分，每一铁芯部分具有一个形成于其上的相应的相绕组。

14. 如权利要求 11 的多相无刷电机，其中所述电机激励电路包括一组连接到每个电源输出端子的受控开关。

15. 如权利要求 11 的多相无刷电机，进一步包括监测装置，用于监测多个定子相绕组中的每一个定子相绕组的电流，所述监测装置连接到所述中央处理器，用以向其提供电流反馈信号。

16. 如权利要求 12 的多相无刷电机，进一步包括电流监测器，其连接到每一个激励电路电源输出端子上并且连接到所述中央处理器上，用以向所述中央处理器提供电流反馈信号。

17. 如权利要求 11 的多相无刷电机，进一步包括与电池串联连接的电流监测器，其连接到所述中央处理器，用以向所述中央处理器提供电流反馈信号。

多相电机绕组的拓扑结构及控制

相关申请

本申请包含的主题内容与下列申请相关：2001年4月5日申请的 Maslov 等人的美国共同未决申请第 09/826,423 号、2001年4月5日申请的 Maslov 等人的美国共同未决申请第 09/826,422 号、2001年10月1日申请的 Maslov 等人的美国申请第 09/966,102 号、2001年11月27日申请的 Pyntikov 等人的美国申请第 09/993,596 号，以及2002年6月19日申请的 Maslov 等人的申请第 10/173,610 号，所有这些都共同归于本申请。这些申请所公开的内容作为参考包含于此。

技术领域

本发明涉及旋转电机，尤其涉及用于多相电机的绕组电路结构以及使用最小的控制状态数目对多相电机所进行的控制。

背景技术

上述共同未决的专利申请描述了为车辆开发高效电机驱动以作为可行的替代方案取代内燃机的前景。电机绕组的电子控制脉冲激励为更灵活地操控电机特性提供了前景。通过控制脉冲宽度、占空比以及将电池电源可切换地施加到适当的定子绕组上，可以获得多种优越的功能。在许多电机申请中，车辆驱动环境仅仅是一个例子，非常期望能在宽泛的速度范围上实现平稳运行，并同时保持高转矩输出能力且节省能源。

上述共同未决申请中描述的电机结构配置都致力于这些目标。电磁铁芯部分可以配置为隔离的环孔状可透磁结构，以增强磁通密度。隔离的电磁铁芯部分可允许磁芯中的单个磁通密度具有最小的磁通损耗或具有对其他电磁体组件的最小有害变压器干扰效应。

图 1 是示出了例如在共同未决申请第 09/826,422 号中所公开的电机的转子和定子部件，其所公开的内容作为参考包含于此。转子组件 10 是环孔状结构，具有沿着圆柱形支承板 14 大体均匀分布的永磁体 12。该永磁体是转子磁极，该磁极沿着该环孔的内圆周按磁极性交替变化。支承板可以由可透磁材料构成，用作相邻永磁磁极 12 之间的磁通回路。转子包围定子组件 20，转子和定子组件被环形径向气隙分隔。定子 20 包括多个沿该气隙均匀分布的具有相同结构的电磁铁芯部分。每个铁芯部分包括一个通常为 U 形的磁结构 24，该磁结构形成两个具有面对该气隙的表面 26 的磁极。绕组 28 卷绕在磁极对的绕组支架上。可选地，构造铁芯部分，以容纳在连接磁极对的部分上所形成的单个绕组。每个定子电磁铁芯结构与相邻定子铁芯部件相分离，并且与相邻定子铁芯部件磁性隔离。该定子部件 24 被固定到不透磁的支撑结构（未示出）上，由此形成环孔状结构。该结构消除了来自相邻定子极组的离散变压器磁通效应。

上述申请号为 10/173,610 的申请描述了为实现对这些电机的各种应用的精确控制而设计的电机控制策略。虽然通常的控制系统假设整个电机具有均匀的参数值，但是在那个申请中可以认识到独立结构部件的引入会在不同的定子部件间引起电路参数例如相电阻、相自感等的变化。由此电机控制涉及汇合与电流反馈部件相连接的非线性前馈补偿。将每个定子铁芯部分作为单个相进行单独控制，根据与用于激励相绕组的定子相元件相关的控制参数组，响应控制器所产生的控制信号，对每一组相绕组进行激励。在所示的示例性的七相电机中，需要分别对所有七个状态进行有源控制。

图 2 和 3 中示出了根据申请号为 10/173,610 的申请的 control 方法。通过由直流电源 40 所提供的驱动电流经由电子开关组 42 来可切换地激励定子相绕组。该开关组通过栅极驱动器 46 连接到控制器 44。控制器 44 具有一个或多个用户输入和多个用于在运行期间所检测到的电机

状态的输入。每个相绕组中的电流由多个电流传感器 48 中相应的一个电流传感器来检测，该电流传感器 48 的输出提供给控制器 44。为此，该控制器可以具有多个输入，或者可选地，可以将来自电流传感器的信号进行多路复用并且连接到单个控制器输入上。转子位置传感器 46 连接到控制器 44 的另一个输入上以向其提供位置信号。该位置传感器的输出也被施加到速度近似器 50 上，该速度近似器将位置信号转换为速度信号，以便将该速度信号施加到控制器 44 的另一个输入上。

顺序控制器可以包括微处理器或等效微控制器，例如 Texas Instrument 的数字信号处理器 TMS320LF2407APG。开关组可以包括多个 MOSFET H 型桥，例如 International Rectifier 的 IRFIZ48N-ND。栅极驱动器可以包括 Intersil 的 MOSFET 栅极驱动器 HIP4082IB。位置传感器可以包括任何已知的传感装置，例如霍耳效应器件（Allegro Microsystems 的 92B5308）、巨磁电阻（GMR）传感器、电容性旋转传感器、簧片开关、包含非晶传感器的脉冲有线传感器、分解器、光传感器等等。霍耳效应电流传感器例如 F.W.Bell SM-15 可以用作电流传感器 48。速度检测器 50 提供所检测到的位置信号的时间导数的近似值。

图 3 是用于单个定子铁芯部件绕组的开关组和驱动器的部分电路图。定子相绕组 28 连接到具有四个 FET 的桥式电路中。可以使用任何各种已知的电子开关元件，例如双极性晶体管，来控制驱动电流按适当的方向流向定子绕组 28。FET53 和 FET55 串联跨接在电源两端，同样，FET54 和 FET56 也如此连接。定子绕组 28 连接在两个串联的 FET 电路的连接节点之间。栅极驱动器 46 响应从顺序控制器 44 所接收到的控制信号以将触发信号施加到 FET 的栅极端子上。FET53 和 56 同时被触发，从而使电机电流向一个方向流动。为了使电流向反方向流动，则同时触发 FET54 和 55。可选地，可以将栅极驱动器 46 集成到顺序控制器 44 中。

如上示出和所述的特定电路仅仅是各种可选的电机激励电路中的代表。然而，每个相都具有允许对每个相的状态进行有源控制的相关的切换和驱动电路。对于多相电机来说，对这些用于每一相的电路的复制以及所增加的电路实际状态和功能的复杂性不仅昂贵且难以承受。因此需要一种对多相电机进行有效控制并同时能够降低可控状态的数目。

发明内容

本发明实现了上述需要，并同时保持了例如在共同未决申请中所公开的分立且铁磁隔离的单个定子铁芯部件结构的优点。实现了可控状态数目的减少并同时保持了高精度的可控性。

使用多相无刷永磁电机可以获得上述优点，所述多相无刷永磁电机具有定子，所述定子为每一相装配有至少一个绕组，所述绕组在多个接合点处彼此固定地连接。电源通过受控的电机激励电路连接到多个端子上，所述端子连接到相应的接合点上，端子的数目小于电机的相数，并因此，小于接合点的数目。电机激励电路由中央处理器适当地控制。因此，避免了为每一相复制相同的激励电路。

可以通过如下方法获得上述结构，即以三角形（ Δ 形）连接结构配置第一组绕组，同时所述结构的相邻绕组在所述多个接合点中相应的一个接合点处相互连接，以及以星形（Y形）结构连接的第二组绕组，所述星形结构的各端点连接到所述多个接合点中相应的接合点上。所述星形结构的一个端点可以连接到不与端子直接相连的那个接合点上。由于本发明适用于各种相数的电机，因此第一组和第二组绕组的数目也是可变的。在所示的优选实施例中，电机包括七相，三角形结构包括带有五个接合点的五相绕组，星形结构包括两相绕组，星形的一个绕组支架直接连接在一个接合点和连接其他星形绕组的中心节点之间。在该实施例中，仅有四个接合点直接连接到相应的电源端子。第一电阻元件可以跨接在星形结构的两个相绕组上，而第二电阻元件

可以连接在星形结构的中心节点和一个接合点之间。

本发明的优点在于，在电机中，定子进一步包括多个彼此铁磁隔离的铁磁铁芯部分，每一铁芯部分具有形成在其上的一个相应的相绕组。每一铁芯部分包括多个磁极，每个磁极穿过径向气隙面对转子。相数等于定子铁芯数，并且每个相绕组卷绕在相应的一个定子铁芯上。然而可以理解，具有许多定子铁芯部分的电机可以具有多个与相应的相相关的铁芯部分绕组。

根据本发明的电机可以由电机激励电路所控制，所述电机激励电路将定子绕组连接到电源，用以向绕组提供受控的激励电流，电机激励电路具有多个电源输出端子，其数目小于接合点的数目。连接到电机激励电路上的中央处理器，对电机绕组激励而进行适当的控制。电机激励电路可以包括连接到每个电源输出端子的一组受控开关。提供监测装置用于监测多个定子相绕组中的每一个定子相绕组的电流，并且将这些监测装置连接到所述中央处理器以提供电流反馈信号。

通过以下具体的描述本领域技术人员可以容易理解本发明附加的优点，其中仅仅示出和描述了本发明的优选实施例，简单地说明了为实施本发明而设计的最佳方式。可以明白，在不背离本发明的情况下，本发明能够是其他的和不同的实施例，并且在各种显而易见的方面对多个细节进行修改是可能的。因此，附图和说明书在本质上都应当认为是示例性的，而并非限制性的。

附图说明

本发明通过在附图中的实例阐释本发明，而不是要对本发明进行限制，并且其中相同的附图标记代表相似的部件，其中：

图 1 是示出了应用于本发明的电机的转子和定子结构部件的示意图。

图 2 是示出了例如在共同未决申请 10/173,610 中所公开的电机控

制系统的方框图。

图 3 是示出了例如在共同未决申请 10/173,610 中所公开的单个定子铁芯部件绕组的开关组和驱动器的部分电路图。

图 4 是示出了本发明的各种电流波形的时序图。

图 5 是示出了代表七相电机的本发明具体实施例的定子绕组电路结构的电路图。

图 6 是示出了将图 5 的实施例合并到根据本发明的电机控制系统中的框图。

图 7 示出了根据本发明的图 6 的框图的一种变形。

图 8 示出了根据本发明的图 6 的框图的另一种变形。

具体实施方式

如上所述，图 1 是七状态机即七相无刷电机的例子，每一个铁磁隔离的铁芯部件都对应一个相应的相，该铁芯部件具有形成在其上的一个绕组。该机器需要对相应的七相在七个状态下进行有源控制。根据本发明，配置相绕组以使得仅需对四个状态进行有源控制，从而为所有七相提供受控的定子绕组激励。可以明显减少电子设备的尺寸和成本，同时现在只需要较少数量的电子设备即可获得与对所有七个状态分别进行有源控制相同的机械转矩、速度和功率特性。

具有七个均分相的电流控制无刷电机可以由以下七个电流矢量表示：

$$I_a = |I| \cdot (1 + i0)$$

$$I_b = |I| \cdot (0.62 + i0.78)$$

$$I_c = |I| \cdot (-0.22 + i0.97)$$

$$I_d = |I| \cdot (-0.9 + i0.43)$$

$$I_e = |I| \cdot (-0.9 - i0.43)$$

$$I_f = |I| \cdot (-0.22 - i0.97)$$

$$I_g = |I| \cdot (0.62 - i0.78)$$

或者以矩阵形式表示为如下表达式：

矢量 \vec{I} 可以定义为：

$$\vec{I} = \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_d \\ I_e \\ I_f \\ I_g \end{bmatrix} = |I| \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0.62 \\ -0.22 \\ -0.9 \\ -0.9 \\ -0.22 \\ 0.62 \end{bmatrix} + i \begin{bmatrix} 0 \\ 0.78 \\ 0.97 \\ 0.43 \\ -0.43 \\ -0.97 \\ -0.78 \end{bmatrix}$$

可以通过如下变换减小到四个状态：

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.0 & -1.0 & -1.0 & 1.0 & 0.0 & 1.0 & 1.0 \\ 1.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & -1.0 & 0.0 & -1.0 \\ 0 & 0 & 0.0 & -1.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0 & 0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_d \\ I_e \\ I_f \\ I_g \end{bmatrix}$$

上述矩阵处理得到了 I_1 、 I_2 、 I_3 和 I_4 的如下数值：

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = |I| \cdot \begin{bmatrix} -1.9 - i3.08 \\ 1.9 + i2 \\ -i0.87 \\ 1.95i \end{bmatrix}$$

或者可以以极坐标的形式将上述电流表示为：

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = |I| \cdot \begin{bmatrix} 3.62 \cdot e^{j(-121.7)} \\ 2.76 \cdot e^{j(46.4)} \\ 0.87 \cdot e^{j(-90)} \\ 1.95 \cdot e^{j(90)} \end{bmatrix}$$

图 4 示出了由四种状态电流的电流波形所叠加成的七相电流的电流波形的时序图。图 5 示出了七相绕组 28a-28g 的电路结构，其中通过施加所示的四种状态电流的波形而获得波形如图 4 所示的七个均衡的相电流。五个相绕组 28a、28e、28d、28f 和 28c 固定地串联在五个接合点处从而形成三角形结构。相绕组 28b 和 28g 是星形结构的一部分，该结构固定地连接到三角形结构的相绕组之间相应的接合点上。每一

个相绕组 28b 和 28g 的末端都一起连接到中央节点。相绕组 28b 和 28g 的另一端分别连接到相绕组 28a 和相绕组 28c 之间的接合点以及相绕组 28d 和相绕组 28f 之间的接合点上。中央节点经电阻元件 R1 连接到相绕组 28a 和相绕组 28e 之间的接合点上。所示出的电阻元件 R2 连接在相绕组 28g 的引出端和相绕组 28c 和 28f 之间的接合点之间。这些电阻元件用以消除或减小由于绕组间的相互作用而可能出现的环流（或多个环流）。R1 和 R2 的值可以设置为符合期望的设备性能，并且在许多情况下可以省略。在后一情形中，中央节点直接连接到三角形接合点上。电源端子 T_1 - T_4 连接到三角形结构的五个接合点中的四个上，用以提供波形如图 4 所示的四种状态电流 I_1 - I_4 。对电机电源进行控制来提供上述状态电流将会产生图示的均衡的相电流波形。

图 6 示出了对图 5 中的定子结构的相绕组进行激励的电机控制系统。为了避免插图中不必要的混淆，仅仅详细示出了对于理解本发明所必不可少的那些部件。直流电源 40 通过电机激励电路 42 向电机定子供电。优选地，激励电路 42 包括并联跨接在电源两端的多对开关。每一个开关对包括一个上桥臂 MOSFET 开关 54，其与下桥臂 MOSFET 开关 56 串联。开关对的数目等于连接到电机绕组的受控电源输出的数目，在所示的实施例中是四个。将在每个串联连接的开关对之间的接合点连接到电源端子 T_1 - T_4 中相应的一个电源端子上。栅极电极连接到控制器 44 上，并单独由控制器输出的控制信号触发。电流传感器 48 位于每一个相绕组通路中，用以向该控制器提供电流反馈信号。

控制器 44，位置传感器 46 和各电流传感器可以包括在如上述申请号为 10/173,610 的申请中所公开的各部件。正如那个申请中所描述的，由控制器所接收的电机反馈信号为执行算法提供了充分的数据，从而向为每一相绕组提供激励的开关组输出控制信号。在图 6 的系统中，响应在全部七相绕组中所监测到的电流，控制器向四对开关输出控制信号。根据上述的矩阵变换，控制器在四个输出电源连接中获得了电流的等效反馈，并由此向所述开关提供控制信号。因此，本发明将所

需的开关以及相关的电路从二十八个（每相四个）显著地减小到了八个。由于栅极驱动器数目的减少，因此在电路中获得额外的效率。

图 7 和 8 示出了图 6 的实施例的变形，且二者在电流传感器的数目和布置方面有所不同。在图 7 的实施例中，电流传感器 48 被连接到与相应的开关组连接的每个电源输出上。所检测到的四个电流信号被传送到控制器的各个输入上。在图 8 的实施例中，一个电流传感器 48 连接到电池引线中的一个上。将所检测到的电池电流输入到控制器中。在这些实施例中，基于上述矩阵的适当算法被存储在控制器中，用于将控制信号输出到为每个相绕组提供激励的开关组上。

可以理解的是，本发明的电机可以在结构配置很宽的范围内应用。尽管已经示例并描述了七相电机，但是当可以导出适当的相电流矢量和变换时，本发明并不局限于特定的相数。对于多相电机而言，可以实现额外的节约。此外，本发明不要求在单个定子铁芯部件的磁极对上形成每个相绕组。即，本发明也适用于具有分布在多个磁极周围的相绕组的多相电机。

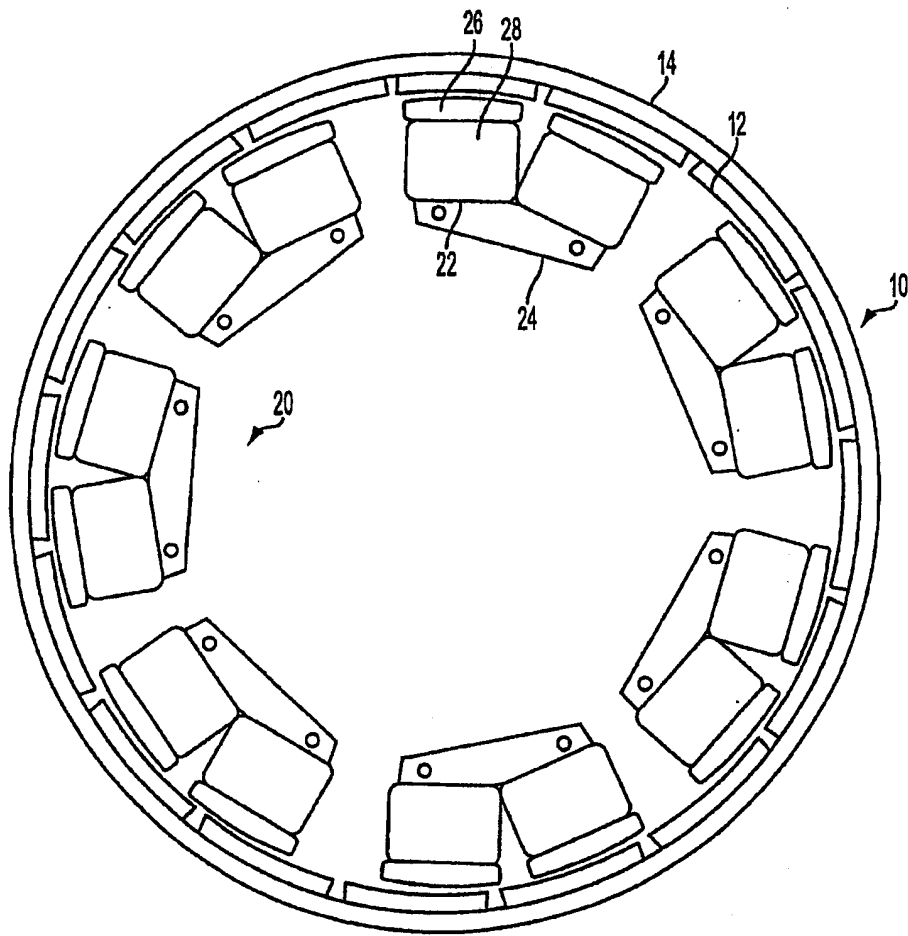


图1

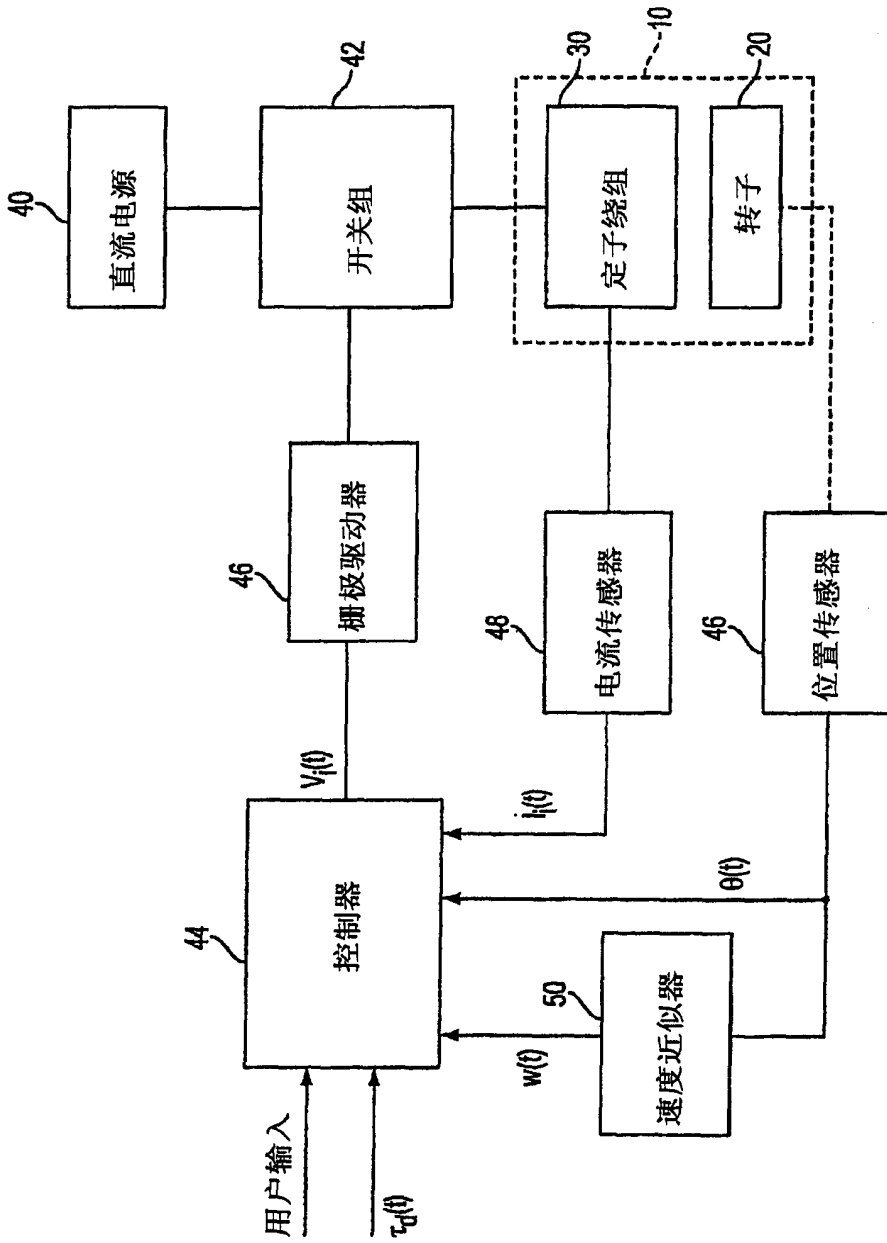


图2

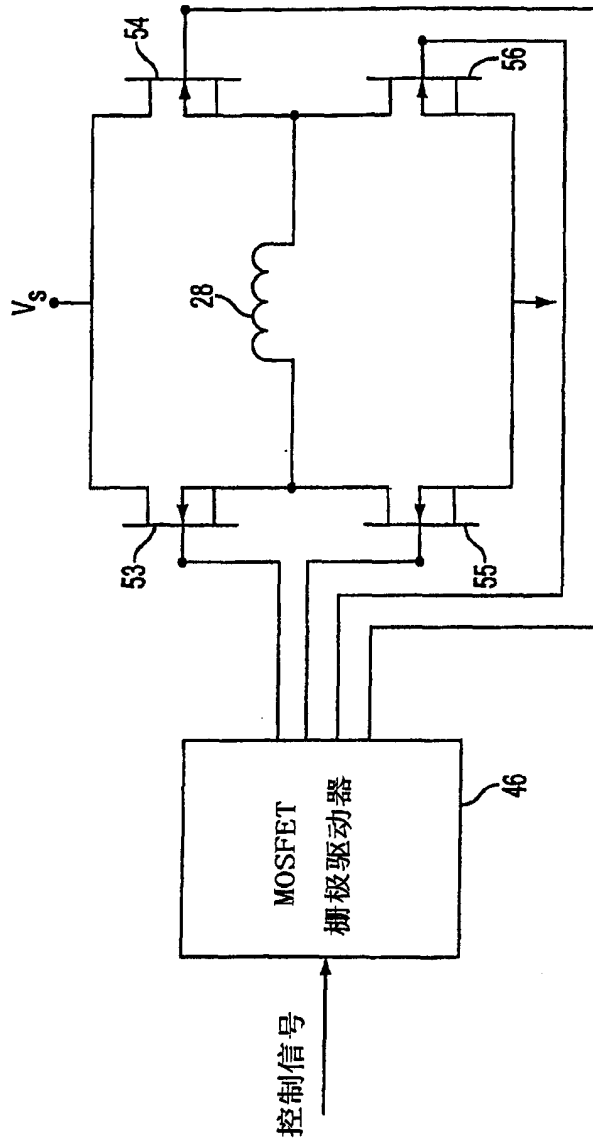


图3

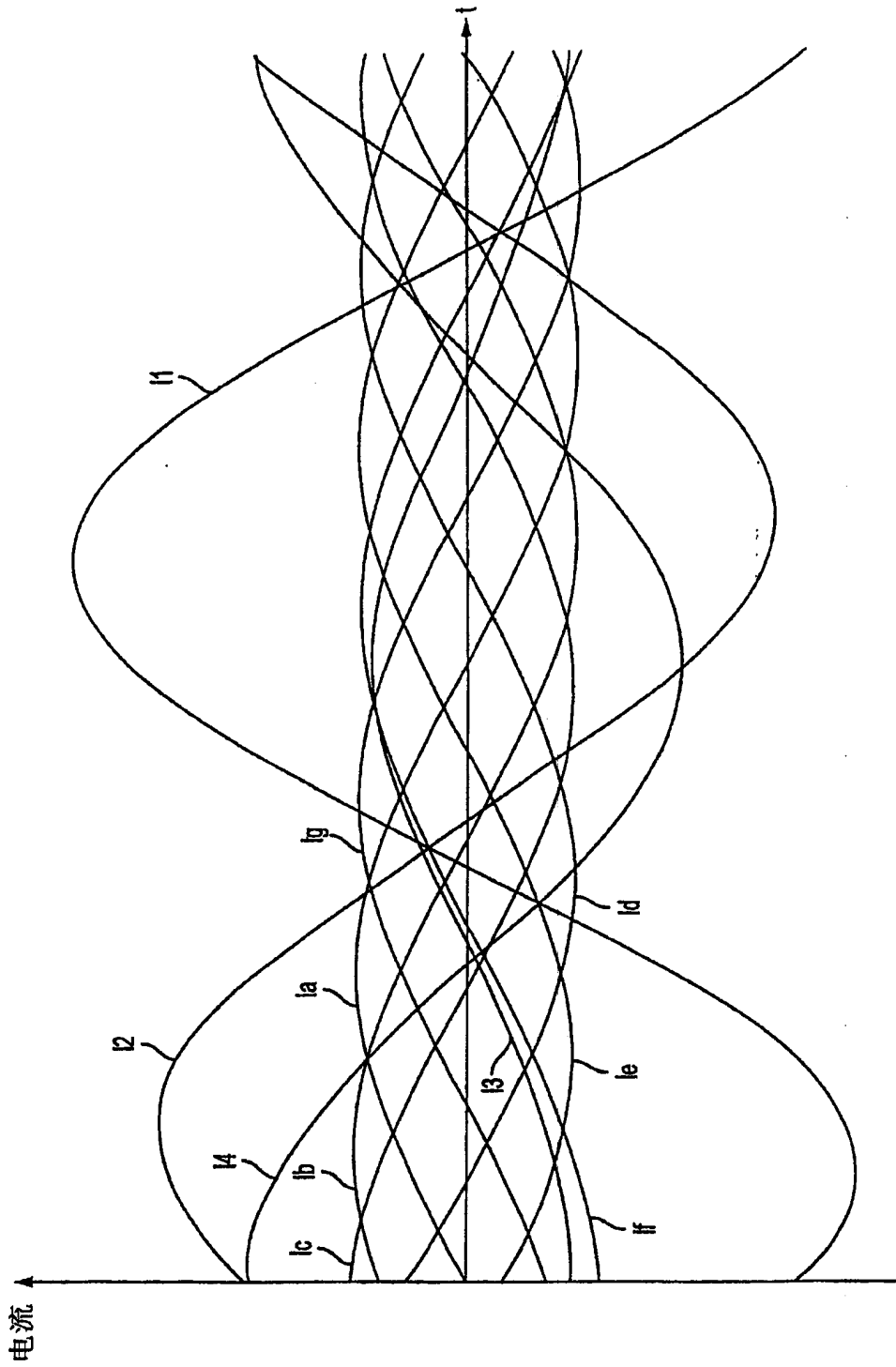


图4

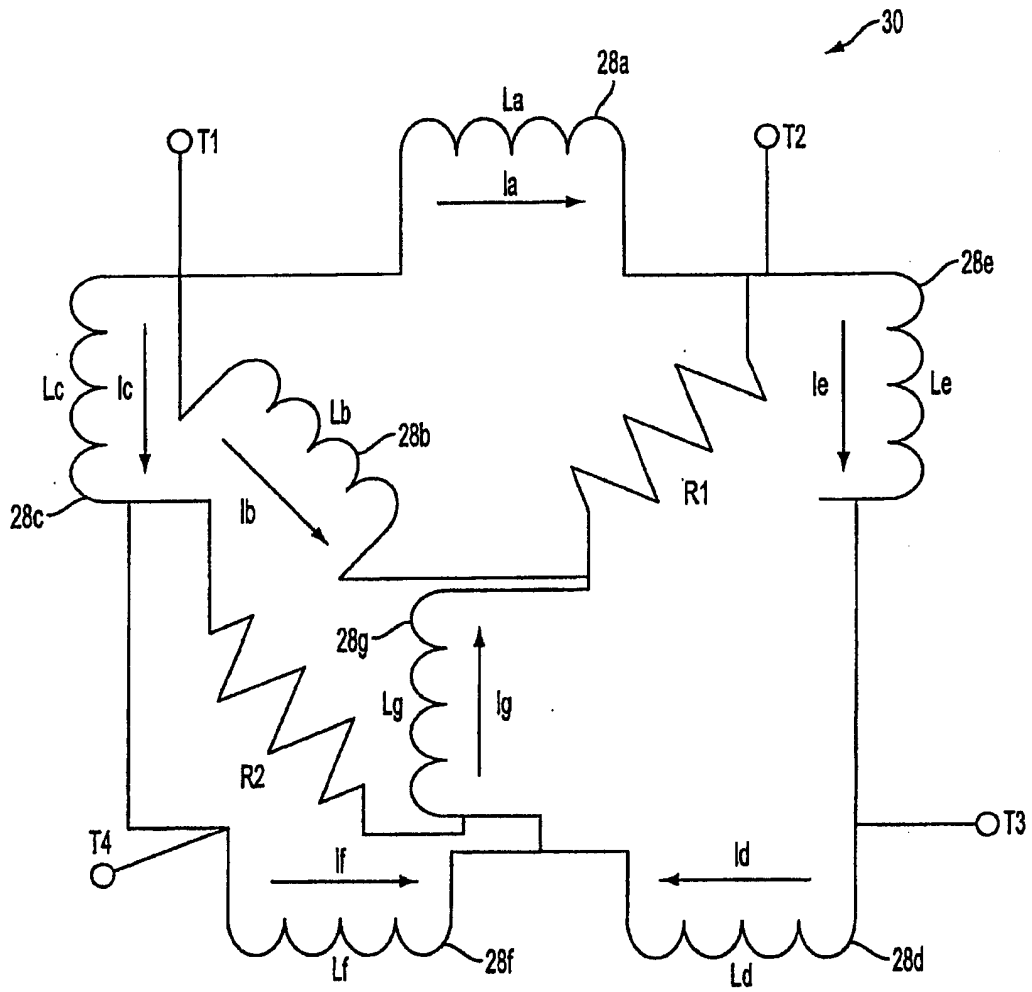


图5

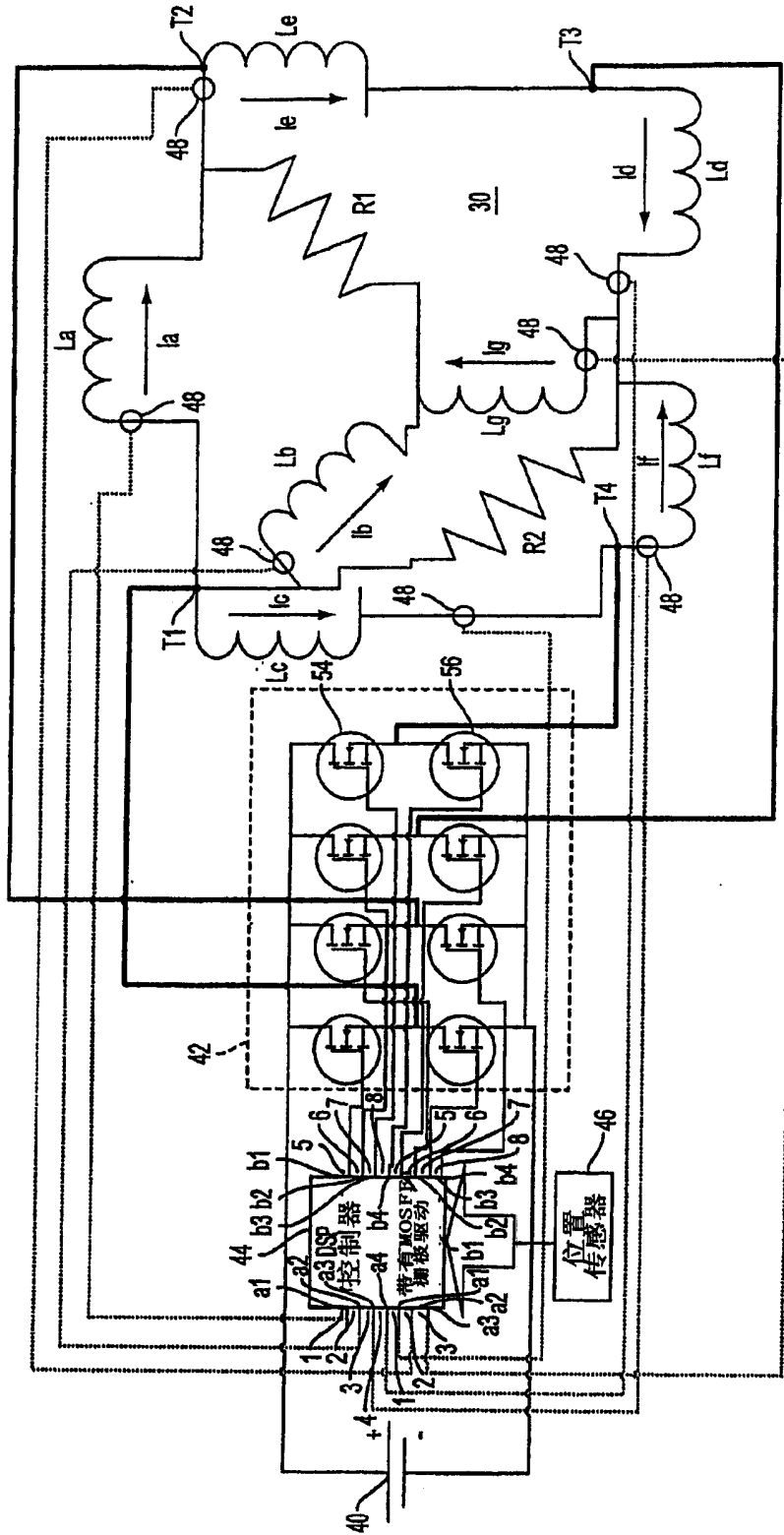


图6

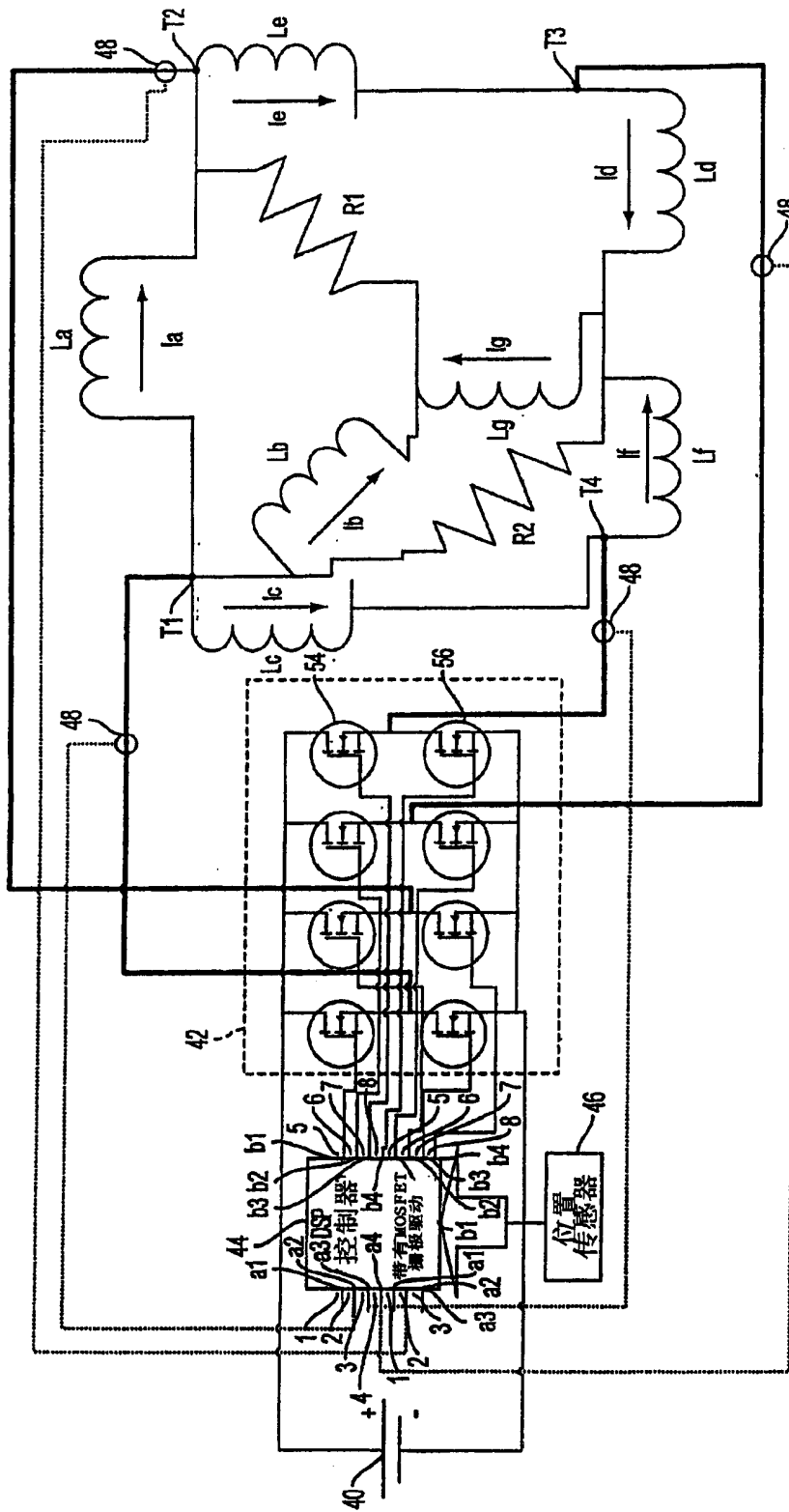


图7

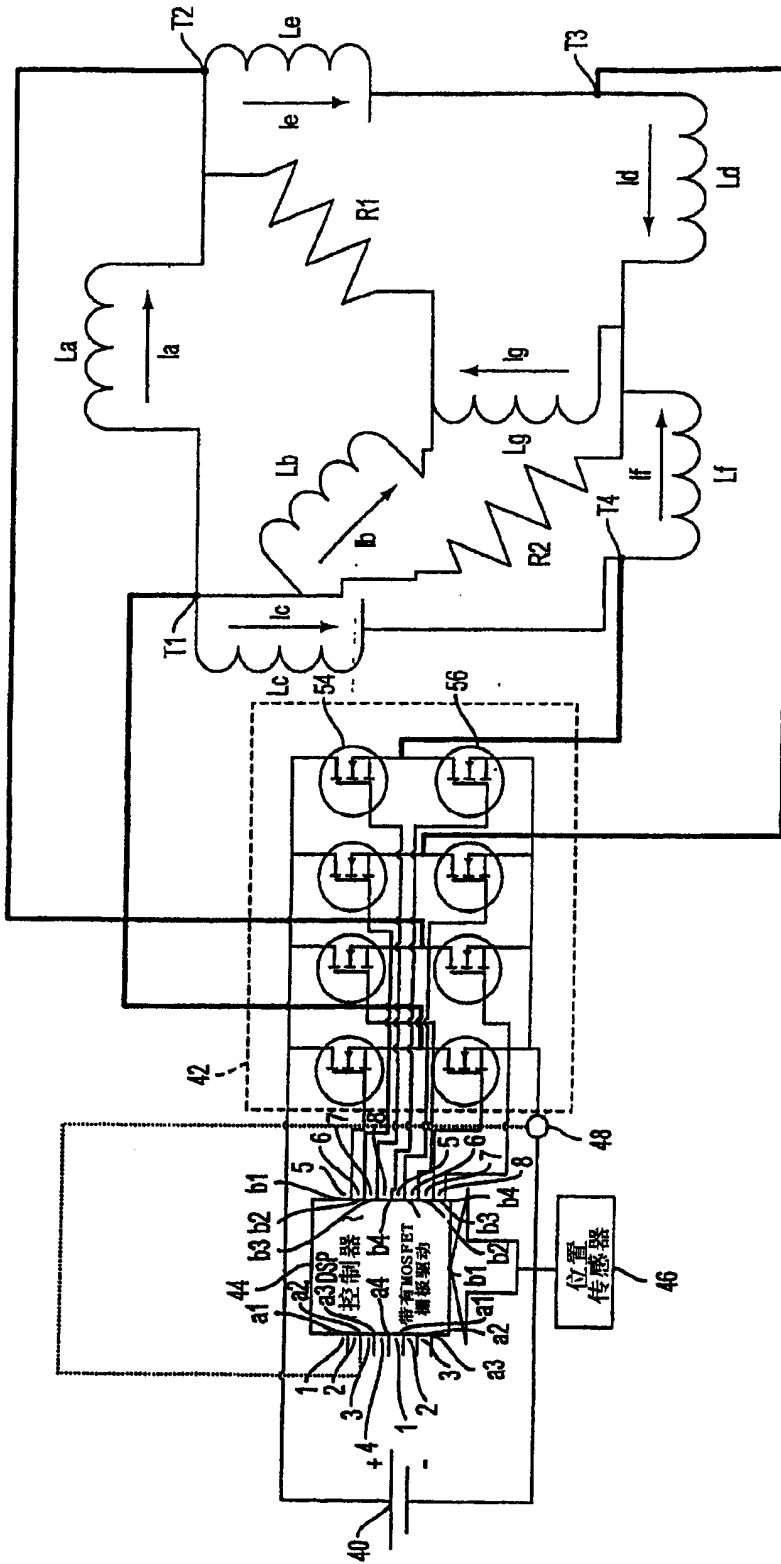


图8