

双凸极定子型永磁电机的控制方式研究

白金文

(鹤庆北衙矿业有限公司, 云南 鹤庆 671507)

【摘要】双凸极定子型永磁电机是一种具有高效率、高功率密度和高扭矩密度的电机结构, 广泛应用于各个领域。为了实现对双凸极定子型永磁电机的精确控制, 研究其控制方式具有重要意义。目前, 针对双凸极定子型永磁电机的控制方式研究已经取得了一定的进展, 传统的控制方式主要包括电流控制和速度控制, 电流控制通过控制电机的相电流来实现对电机转矩和速度的控制, 但存在响应速度慢、动态性能差的问题。速度控制则通过控制电机的转速来实现对电机转矩和速度的控制, 但在低速运行时容易出现失速等问题。基于此, 本文以双凸极定子型永磁电机的控制方式研究为主题, 详细介绍了永磁电机的控制方式及其存在的问题。首先介绍永磁电机的基本原理和特点, 分析传统控制方式的局限性。其次重点介绍磁场定向控制和直接转矩控制两种控制方式的原理和应用, 分析它们的优缺点和适用范围。通过研究发现, 磁场定向控制和直接转矩控制是目前应用最广泛的永磁电机控制方式, 它们具有响应速度快、控制精度高等优点, 适用于各种不同的应用场合。然而双凸极定子型永磁电机的控制方式仍然存在一些问题, 如控制精度不高、抗扰性差等, 需要进一步研究和改进。

【关键词】双凸极定子型; 永磁电机; 控制方式

引言

随着电机技术的不断发展, 永磁电机作为一种高效、节能、环保的电机类型, 受到了越来越广泛的关注和应用。其中, 双凸极定子型永磁电机是一种具有优异性能的永磁电机, 其结构简单、体积小、效率高、响应快等特点, 使其在工业控制、电动汽车、航空航天等领域得到了广泛的应用。然而, 双凸极定子型永磁电机的控制方式仍然存在一些挑战和难点。传统的控制方式存在响应速度慢、控制精度低等问题, 不能满足现代工业对永磁电机控制的高要求。因此, 研究双凸极定子型永磁电机的控制方式, 对于提高永磁电机的控制精度和效率, 具有重要的意义和价值。本文将围绕双凸极定子型永磁电机的控制方式研究为题, 探讨永磁电机控制的现状和存在的问题, 介绍永磁电机的控制方式, 重点分析磁场定向控制和直接转矩控制两种控制方式的原理和应用, 以期对永磁电机控制技术的发展提供一些有益的参考和借鉴。

一、双凸极定子型永磁电机的工作原理和特点

(一) 工作原理

1. 结构: 双凸极定子型永磁电机由定子和转子两部分组成。定子上有两个凸极, 分别位于电机两侧, 而转子上则有永磁体。

2. 磁场产生: 当电机通电时, 定子上的电流会产生磁场, 形成定子磁极。同时, 转子上的永磁体也会产生磁场, 形成转子磁极。

3. 磁场作用: 定子磁极和转子磁极之间产生磁场作用力, 使得转子受到旋转力矩的作用, 从而实现

电机的转动。

(二) 特点

1. 结构简单: 双凸极定子型永磁电机的结构相对简单, 只有两个凸极和一个永磁转子, 使得电机体积小、重量轻, 适合在空间有限的场合应用。

2. 高效率: 由于永磁体的存在, 双凸极定子型永磁电机具有较高的能量转换效率。永磁体产生的磁场不需要外部能量供应, 因此能够减少能量损耗, 提高电机的效率。

3. 响应快速: 双凸极定子型永磁电机具有较快的响应速度, 能够迅速响应控制信号的变化, 并实现快速启动和停止, 适用于对动态性能要求较高的应用场合。

4. 控制精度高: 由于永磁电机具有较高的转矩密度和较低的转动惯量, 双凸极定子型永磁电机能够实现精确的转矩控制, 对控制精度要求较高的应用具有优势。

5. 高速运行: 永磁电机由于没有励磁损耗, 能够在高速运行时保持较高的效率, 适用于高速应用领域, 如电动汽车、风力发电等。

二、双凸极定子型永磁电机传统控制方式的局限性

双凸极定子型永磁电机的传统控制方式存在以下几个局限性: 一是响应速度慢。传统控制方式在响应速度上存在一定的局限性。由于传统控制方式通常采用PI控制器或PID控制器进行控制, 其调节过程较为缓慢, 响应速度相对较慢。这在一些对动态性能

要求较高的应用中可能会受到限制。二是控制精度有限。传统控制方式的控制精度相对有限。传统控制方式主要依靠转子位置或速度的反馈信号进行控制，但传感器的精度和采样频率等因素会对控制精度产生影响。此外，传统控制方式对于非线性特性的处理能力较弱，难以满足一些对控制精度要求较高的应用场景。三是鲁棒性差。传统控制方式的鲁棒性相对较差。双凸极定子型永磁电机在实际应用中可能会受到负载扰动、电网电压波动等因素的影响，传统控制方式对于这些扰动的抵抗能力较弱，容易导致控制性能的下降。四是需要较多的传感器。传统控制方式通常需要使用位置传感器或速度传感器来获取转子位置或速度的反馈信号，以实现闭环控制。这就需要安装和维护传感器，增加了系统的复杂性和成本。最后是难以满足多变工况要求。传统控制方式的参数通常是固定的，难以适应不同工况下的控制需求。在实际应用中，双凸极定子型永磁电机可能面临不同负载、速度范围等多变的工况要求，传统控制方式可能无法灵活调整参数以适应这些变化。为了克服这些问题，研究人员一直在探索和发展新的控制方式，如磁场定向控制和直接转矩控制等，以提高永磁电机的控制性能和适应性。

三、双凸极定子型永磁电机的控制方式

（一）常规控制方式

双凸极定子型永磁电机常规控制方式中的转速电流二闭环控制方式是一种常用的控制策略，用于实现对电机转速和电流的精确控制。该控制方式包括速度环和电流环两个闭环控制系统，通过相互协调调节电机的转速和电流，以达到所需的控制效果。首先，速度环控制用于控制电机的转速，其基本思想是通过比较设定速度和实际速度之间的误差，调节电机的转矩和电流，使实际速度逐渐趋近于设定速度。具体实现过程如下：（1）速度设定值：根据应用需求设置电机的目标转速。（2）速度测量：使用速度传感器或其他测量方法获取电机的实际转速。（3）误差计算：计算设定速度与实际速度之间的误差，通常使用比例-积分（PI）控制器进行误差计算。（4）电流设定值计算：根据误差计算结果，结合速度环的控制参数，计算出电流环的设定值。其次是电流环控制。电流环控制用于控制电机的电流，其目的是根据速度环的设定值和误差，调节电机的转矩，以实现电机转速的控制。

具体实现过程如下：（1）电流设定值：根据速度环的设定值和误差计算结果，计算出电流环的设定值。（2）电流测量：使用电流传感器或其他测量方法获取电机的实际电流。（3）误差计算：计算设定电流与实际电流之间的误差，通常使用PI

控制器进行误差计算。（4）电压设定值计算：根据误差计算结果，结合电流环的控制参数，计算出电压环的设定值。（5）电压控制：根据电压环的设定值和误差，通过逆变器或其他功率电子器件，调节电机的输入电压和电流，实现对电机转速的控制。通过速度环和电流环的协调控制，双凸极定子型永磁电机可以实现对转速和电流的精确控制。速度环控制电机的转速，电流环控制电机的电流，二者相互配合，使电机能够按照设定的转速运行，并根据负载变化调节电流，以保持转速的稳定性和控制精度。需要注意的是，速度环和电流环的参数设置对控制性能有重要影响，需要根据具体应用场景进行调试和优化。此外，该控制方式通常需要使用速度传感器和电流传感器来获取实时的转速和电流信息，以实现闭环控制。

（二）磁场定向控制

磁场定向控制是一种传统的双凸极定子型永磁电机控制方式，也被称为矢量控制或磁链控制。它通过将电机的电流分解为磁轴分量和转矩分量，实现对电机转速和转矩的控制。磁场定向控制具有控制精度高、响应速度快等优点。研究者在磁场定向控制方面进行了大量的研究，提出了各种改进算法和控制策略，以提高控制性能和效率。例如，基于模型预测控制（MPC）、自适应控制、滑模控制等方法在磁场定向控制中得到了广泛应用。此外，研究者们还针对磁场定向控制中的问题，如参数不确定性、非线性等进行了深入研究，提出了相应的解决方案。

1. 坐标变换：磁场定向控制的第一步是进行坐标变换，将三相电流从静止坐标系变换到转子坐标系（dq 坐标系）。这样可以将电机的三相电流分解为磁场定向分量和磁场垂直分量，方便后续的控制。

2. 磁场定向控制：磁场定向分量控制：磁场定向分量与转子磁场同向，控制磁场定向分量的大小和方向可以实现对电机转速的控制。通常采用比例积分（PI）控制器来控制磁场定向分量的设定值，根据设定值和实际值之间的误差来调节电机的转速；磁场垂直分量控制：磁场垂直分量与转子磁场垂直，控制磁场垂直分量的大小和方向可以实现对电机转矩的控制。通常采用比例积分（PI）控制器来控制磁场垂直分量的设定值，根据设定值和实际值之间的误差来调节电机的转矩。

3. 逆变器控制：在磁场定向控制中，需要使用逆变器或其他功率电子器件来控制电机的输入电压和电流，以实现磁场定向分量和磁场垂直分量的控制。逆变器根据磁场定向分量和磁场垂直分量的设定值，通过调节电机的输入电压和电流，控制电

机的转速和转矩。通过磁场定向控制，双凸极定子型永磁电机可以实现对转速和转矩的精确控制。通过调节磁场定向分量和磁场垂直分量的大小和方向，可以实现对电机的转速和转矩的控制。磁场定向控制具有响应速度快、控制精度高的优点，广泛应用于永磁电机的控制领域。需要注意的是，磁场定向控制通常需要使用速度传感器和电流传感器来获取实时的转速和电流信息，以实现闭环控制。此外，磁场定向控制还需要根据具体应用场景进行参数调试和优化，以获得最佳的控制性能。

（三）新型电流滞环控制

双凸极定子型永磁电机是一种常见的永磁同步电机结构，其具有高效、高功率密度和高控制精度等优点。为了进一步提高其控制性能，新型电流滞环控制方式被引入。新型电流滞环控制方式主要通过改变电机的电流滞环特性来实现对电机的控制。传统的永磁电机控制方法通常使用PI控制器来调节电流，但在高速运行时，由于电机的非线性特性，PI控制器无法满足高精度控制的需求。因此，新型电流滞环控制方式应运而生。该控制方式基于电流滞环控制理论，通过测量电机的电流响应和反馈信号，利用滞环控制器来实现电机的精确控制。滞环控制器根据电流滞环特性的非线性程度，对电流进行适当的补偿和调整，以实现更精确的控制效果。这种控制方式可以有效地抑制电机的非线性特性，提高系统的稳定性和响应速度。与传统的PI控制相比，新型电流滞环控制方式具有以下优势：①高精度控制：通过对电流滞环特性的准确建模和控制，可以实现更高精度的电机控制。②抑制非线性：滞环控制器能够有效抑制电机的非线性特性，提高系统的稳定性和响应速度。③自适应性能：滞环控制器具有自适应调整的能力，可以根据电机工作状态的变化进行动态调整，适应不同工况下的控制需求。④抗干扰能力：新型电流滞环控制方式对外界干扰具有较强的抑制能力，能够保证系统的稳定性和可靠性。综上所述，双凸极定子型永磁电机的新型电流滞环控制方式通过改变电流滞环特性来实现对电机的精确控制。该控制方式具有高精度、抑制非线性、自适应性能和抗干扰能力等优势，为永磁电机的应用提供了更高效、更可靠的控制解决方案。

（四）直接转矩控制

直接转矩控制是一种基于状态量测量的控制方式，通过直接测量电机的状态量，如电流、电压、转速等，实现对电机转矩的控制。直接转矩控制具有响应速度快、控制精度高的优点，广泛应用于永磁电机的控制领域。研究者在直接转矩控制方面进行了深入研究，提出了多种转矩估算算法和控制策略。例如，

基于电流矢量控制的直接转矩控制、基于反电动势估算的直接转矩控制等。这些方法通过对电机状态量的测量和估算，实现对电机转矩的精确控制。此外，研究者们还通过优化控制器参数、改进转矩估算算法等手段，进一步提高了直接转矩控制的控制性能和效率。

1. 状态量测量：直接转矩控制的第一步是进行状态量测量，包括电机的电流、电压、转速等状态量。这些状态量可以通过传感器直接测量得到，也可以通过估算算法间接获取。

2. 转矩估算：直接转矩控制的重要部分是转矩估算。转矩估算通过测量电机的状态量，如电流、电压、转速等，估算出当前的转矩值。转矩估算可以通过多种方式实现，如电流矢量控制、反电动势估算等。

3. 转矩控制：通过转矩估算，可以得到当前的转矩值，进而控制电机的转矩。直接转矩控制通常采用开环控制，根据转矩设定值和实际值之间的误差来调节电机的转矩输出。控制器通常采用比例积分(PI)控制器，根据设定值和实际值之间的误差来调节电机的转矩输出。

4. 逆变器控制：在直接转矩控制中，需要使用逆变器或其他功率电子器件来控制电机的输入电压和电流，以实现电机转速和转矩的控制。逆变器根据转矩设定值和实际值之间的误差，通过调节电机的输入电压和电流，控制电机的转速和转矩。通过直接转矩控制，双凸极定子型永磁电机可以实现对转速和转矩的精确控制。直接转矩控制具有响应速度快、控制精度高的优点，广泛应用于永磁电机的控制领域。需要注意的是，直接转矩控制还需要根据具体应用场景进行参数调试和优化，以获得最佳的控制性能。

四、结束语

综上所述，通过对永磁电机控制方式的研究，可以发现，永磁电机控制技术已经得到了广泛的应用和发展，但是仍然存在一些问题和挑战，需要进一步研究和改进。因此，在未来的研究中，可以从以下几个方面入手：首先，进一步优化永磁电机的控制算法，提高控制精度和抗扰性；其次，研究永磁电机的故障诊断和预测技术，提高永磁电机的可靠性和安全性；最后，结合具体应用场景，开发适用于不同场合的永磁电机控制系统，推动永磁电机技术的发展和应

参考文献：

- [1] 潘绪前,朱孝勇,左月飞,张超,全力. 定子永磁型双凸极非稀土永磁电机谐波电流抑制[J]. 电机与控制应用,2017,(11):72-78.
- [2] 姜甄. 定子永磁型双凸极电机的转子设计[J]. 黑龙江电力,2013,(04):355-357+360.