

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ С ПОПЕРЕЧНЫМ ПОЛЕМ

Вступление.

В настоящее время существует большое разнообразие задач, таких как создание новых видов электротранспорта, ветро- и гидроэнергетика, требующих применения электрических двигателей и/или генераторов, способных создавать значительные усилия при относительно медленных перемещениях, отличающихся малыми массогабаритными показателями. Среди таких машин выделяется новый класс т.н. «машин с поперечным полем» (transverse flux machine) [1], [2]. По конструкции такие двигатели очень похожи на бесколлекторные синхронные машины, однако главная особенность состоит в особом расположении обмоток статора, что позволяет создавать многополюсные многофазные машины с большим движущим моментом. Такие машины могут иметь постоянные магниты, которые располагаются как на роторе так и на статоре, в качестве концентраторов или возбуждателей потока. Машина с поперечным полем (МПП) в роли генератора обязательно должна иметь магниты.

При конструировании МПП оптимизация дает возможность варьировать массу машины и ее вращающий момент в широких пределах. Такие машины наиболее подходят для применения в безредукторном тяговом электроприводе, поскольку позволяют обеспечивать большой вращающий момент при небольших габаритах, и относительно низкой номинальной частоте вращения ротора.

Один из вариантов МПП представлен на Рис. 1. Как видно из рисунка, магнитопровод представляет собой последовательность стержней (ярмо) из мягкого железа, на роторе расположены постоянные магниты, играющие роль возбуждателей потока. Кольцевая обмотка статора охвачена ярмом. Такая конструкция позволяет реализовать необычайно большое число пар полюсов, при этом образуемое магнитное поле имеет «поперечное направление» по отношению к направлению движения ротора. МПП могут быть как однофазными, так и многофазными. Питающее напряжение имеет пульсирующий характер, и может быть как знакопеременным, так и пульсирующим. Как правило, для успешной работы МПП требует специальной системы управления напряжением питания, хотя в некоторых конструкциях допустимо включение в стандартную трехфазную сеть. К сожалению, при огромном разнообразии конструкций МПП, нельзя сказать какой конкретный вариант лучше в конкретном применении. Кроме того, отсутствуют стандартные алгоритмы расчета такого вида машин, из-за чего их проектирование представляет собой достаточно трудную проблему.

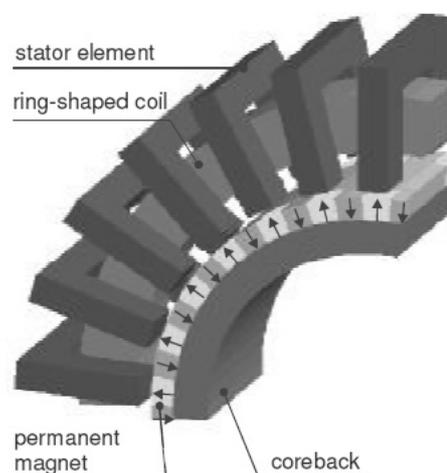


Рис. 1 МПП с постоянными магнитами [4].

Постановка задач исследования.

Таким образом, предлагается свести описание разнообразных конструктивных особенностей МПП к одной общей схеме, после чего применить методы глобальной оптимизации для поиска наиболее оптимального сочетания параметров машины в рамках выбранной области применения готового изделия.

Материалы исследования.

При моделировании МПП наиболее целесообразным является использование схем замещения (Magnetic Equivalent Circuit - MEC) магнитной цепи, что позволяет значительно упростить и ускорить анализ параметров машины. Метод конечных элементов, к сожалению, из-за значительных вычислительных затрат может быть использован только в качестве проверочного этапа проектирования, для уже найденных предварительно параметров.

Наиболее базовым элементом МПП является магнитная система одного полюса. Ее можно описать, пользуясь законами Ома и Фарадея [3]. Если задаться приближением, что полюса ротора и статора повторяются вдоль радиуса машины, то для получения модели магнитной системы полной машины достаточно суммировать влияния магнитных систем отдельных полюсов.

Далее для моделирования движения ротора в систему добавляются механические уравнения движения ротора, которые позволяют получить конкретное положение и скорость ротора в зависимости от развиваемого момента и действующих внешних сил (трение и т.п.).

При перемещении ротора магнитная система каждого полюса меняется, из-за изменения магнитной проводимости участков ротора, так же разделенного на отдельные полюса.

Было условно принято, что машина является радиально симметричной, поэтому каждый отдельный полюсной сегмент ротора и статора является идентичным друг другу. При движении изменения магнитного сопротивления так же являются идентичными и, следовательно, достаточно рассмотреть отдельно модель единственного полюса, с учетом его положения в машине и относительного перемещения ротора.

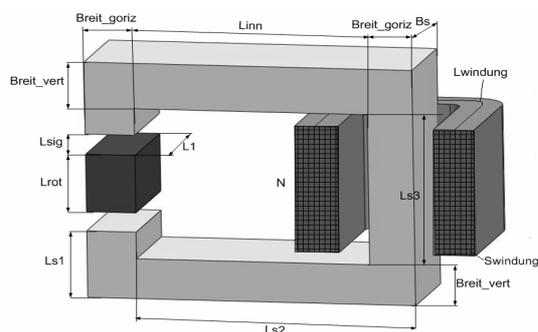


Рис. 2 Модель полюса МПП [5].

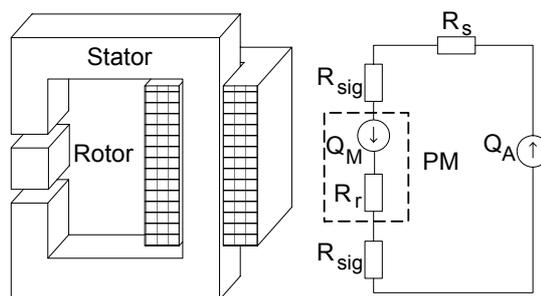


Рис. 3 Схема замещения полюса МПП [5].

Такой подход позволяет, оставаясь в рамках одной параметрической модели полюса моделировать различные виды МПП с постоянными магнитами и без, в режиме генератора или двигателя, варьируя произвольно все геометрические и электрические параметры, в том числе количество фаз, и количество полюсов. Существуют, однако, виды МПП, которые не вписываются в предложенную конкретную модель полюса, например МПП с внешним ротором. Однако такой способ применим и в этом случае если изменить базовую геометрическую модель.

Основная трудность проектирования МПП заключается в том, что пока не найдены такие расчетные схемы, которые бы связали требования к машине с ее конкретными геометрическими и электрическими параметрами.

Однако эту проблему предлагается решать, используя аппарат глобальной оптимизации с ограничениями. В этом случае все геометрические и электрические величины, такие как число витков, ширина полюсов их количество и т.п. принимаются за искомые переменные. Критериями качества принимаются нормы отклонения полученных показателей машины от требуемых показателей.

Поиск решения в этом случае носит итерационный характер, с многократным моделированием предложенной модели полюса и обобщенной машины, до тех пор, пока не будет найдено приемлемое решение.

В качестве требований к машине могут выступать ее массогабаритные показатели, номинальное напряжение, синусоидальность выходного напряжения (для генератора), КПД, номинальный момент, номинальная скорость, уровень шумов, и т.д. Некоторые из этих требований носят противоречивый характер, поэтому должна применяться глобальная многокритериальная оптимизация с ограничениями. Одним из вариантов метода решения такой задачи могут быть генетические алгоритмы [6].

Выводы.

Для моделирования МПП с геометрически одинаковыми полюсами достаточно составить модель одного полюса. Модели сложных машин рассчитываются как сумма отдельных полюсов, с учетом положения ротора относительно статора. Все геометрические и конструктивные параметры машины выбираются как переменные. Требования к машине, в виде определенных показателей качества, составляют критерий поиска оптимальных параметров МПП при расчете новой модели машины. Для поиска оптимальных параметров МПП предлагается использовать многокритериальную оптимизацию с ограничениями. Для этой цели предлагается использовать генетические алгоритмы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Dierk Schröder, Elektrische Antriebe - Grundlagen: Mit durchgerechneten Übungs- und Prüfungsaufgaben Springer; 4., erw. Aufl. edition (August 12, 2009), 742 S.
- [2]. Ion Boldea, Variable Speed Generators (The Electric Generators Handbook), CRC Press; 1 edition (November 9, 2005), 552 p.
- [3]. Marlene Marinescu. Elektrische und magnetische Felder. Eine praxisorientierte Einführung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009, 358 S.
- [4]. Kastinger G. Design of a novel transverse flux machine, ICEM 2002.
- [5]. Polina Tkach. Modellierung und Berechnung eines Transversalfeld-Generators. Universität Magdeburg, Masterabschlussarbeit 2010. 81 S.
- [6]. Karsten Weicker. Evolutionäre Algorithmen. Vieweg+Teubner Verlag, 2007, 313 S.