

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОТОРА ГЛУБОКОПАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ FEMM

Леонид ЯЗЛОВЕЦКИ, Мария ЯЗЛОВЕЦКИ

Технический Университет Молдовы

Аннотация: В статье приведен способ определения коэффициентов увеличения активного и уменьшения индуктивного сопротивления обмотки ротора глубокопазного асинхронного электродвигателя с пазом колбовидной формы при изменении скольжения от 0 до 1. Способ основан на моделировании магнитного поля двигателя в программе FEMM при различных частотах перемагничивания. Полученные зависимости вышеуказанных коэффициентов от скольжения хорошо согласуются с данными, известными из литературных источников. Предложенный способ определения параметров может быть использован для пазов любой конфигурации, в том числе тех, данные по которым в литературе отсутствуют. Способ может быть также использован для определения параметров двухклеточных двигателей. Полученные зависимости коэффициентов увеличения активного и уменьшения индуктивного сопротивления могут быть использованы при моделировании различных переходных процессов глубокопазных и двухклеточных двигателей.

Ключевые слова: паз ротора, вытеснение тока, коэффициент увеличения активного сопротивления, коэффициент уменьшения индуктивного сопротивления, FEMM.

Глубокопазные и двухклеточные ротора находят достаточно широкое применение в асинхронных двигателях для улучшения их пусковых характеристик. При этом используется эффект вытеснения тока из нижних областей пазы ротора, которые имеют большее потокоцепление, и в которых, в период пуска, при высоких частотах перемагничивания ротора, индуктируются бо́льшие, чем в верхней части, ЭДС, направленные навстречу протекающему току. Конфигурации пазов ротора таких машин могут быть самыми различными.

Эффект вытеснения тока в пазовой части обмотки ротора обычно учитывается коэффициентом увеличения активного сопротивления K_r и коэффициентом уменьшения индуктивного сопротивления K_x .

Помимо вытеснения тока в пазах роторной обмотки на её параметры может оказывать влияние и эффект насыщения участков магнитной цепи из-за больших величин протекающих пусковых токов.

Большое разнообразие конфигураций пазов ротора затрудняет определение K_r и K_x при учёте как вытеснения тока, так и насыщения участков магнитной цепи.

В данной работе приводится определение коэффициентов K_r и K_x , выполненное на основе моделирования магнитных полей с помощью программы FEMM. При этом была использована особенность программы FEMM, заключающаяся в том, что неподключённые к источнику питания проводники (стержни) обмотки ротора представляются параллельно включёнными стержнями, закороченными с торцевых сторон шинами нулевого сопротивления.

Предварительно, по результатам электромагнитного расчёта двигателя и расчёта его рабочих и пусковых характеристик, выполненных без учёта вытеснения тока, были определены амплитудные значения токов фаз статора для первоначального момента пуска т.е. для частоты перемагничивания ротора 50 Гц. Затем эти токи задавались как определяющие токи фаз в окне "Circuit Current" программы FEMM. Остальные параметры модели задавались обычным образом. Ниже приведены результаты моделирования и расчётов выполненных на базе взрывозащищённого двигателя ВАО 7М – 630 с колбовидными пазами ротора.

Полученная картина распределения магнитного поля по поперечному сечению электродвигателя при частоте перемагничивания ротора 50 Гц приведена на рис.1.

Картина распределения магнитного поля по поперечному сечению электродвигателя при частоте перемагничивания ротора, соответствующей номинальному скольжению, приведена на рис.2.

На рис.3а и рис. 3б приведена картина распределения магнитного поля рассеяния паза при частоте перемагничивания ротора 50 Гц и при частоте перемагничивания ротора, соответствующей номинальному скольжению.

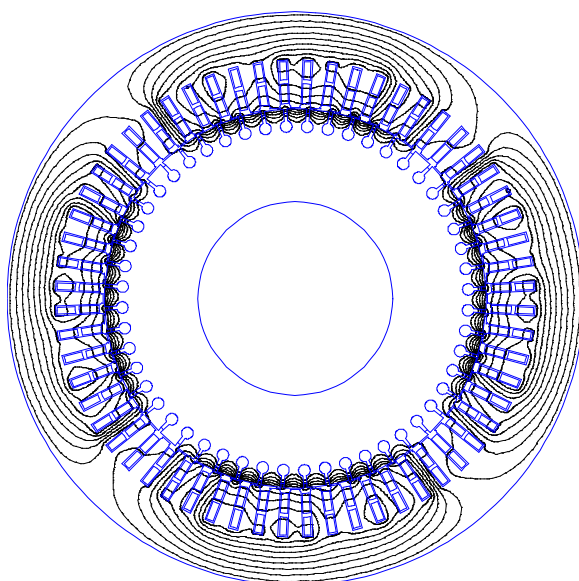


Рис.1. Магнитное поле электродвигателя в начальный момент пуска

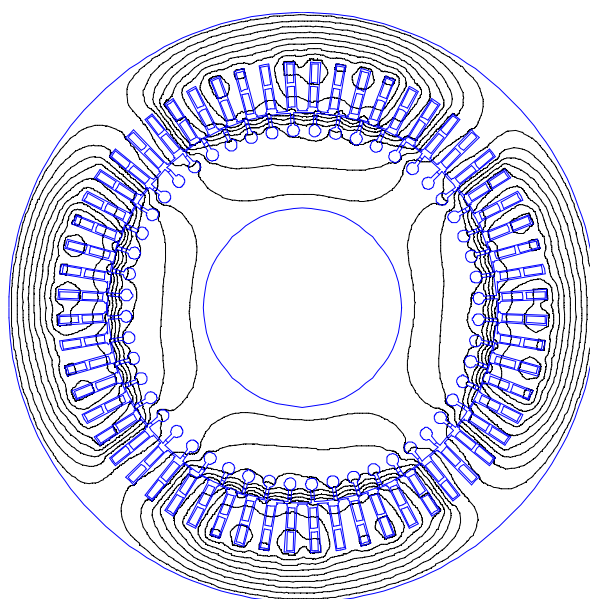


Рис.2. Магнитное поле электродвигателя при номинальном скольжении

Из картин распределения магнитного поля рис.1 – рис.3 хорошо виден эффект вытеснения магнитного поля статора из короткозамкнутых контуров роторной обмотки. Это вытеснение вгораздо большей степени проявляется при неподвижном роторе, чем при роторе, вращающемся с номинальной скоростью.

Магнитное поле электродвигателя было промоделировано при частотах от 0 до 50 Гц с интервалом в 10 Гц. Для выбранного стержня обмотки ротора (был выбран стержень с максимальным потокосцеплением на одном из полюсных делений) в режиме параметров блока через опцию **Block Integrals** определялись:

1. Энергия магнитного поля **Magnetic field energy** W_m ,
2. Активная мощность потерь в стержне **Resistive losses** P_a ,
3. Ток стержня **Total current** (активная и реактивная составляющие) $I_a + jI_r$.

Ниже приводится порядок расчёта коэффициентов K_r и K_x .

Полный ток стержня определялся по формуле

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} \quad (1)$$

Индуктивность стержня определялась как

$$L = \frac{2 \cdot W_m}{I^2} \quad (2)$$

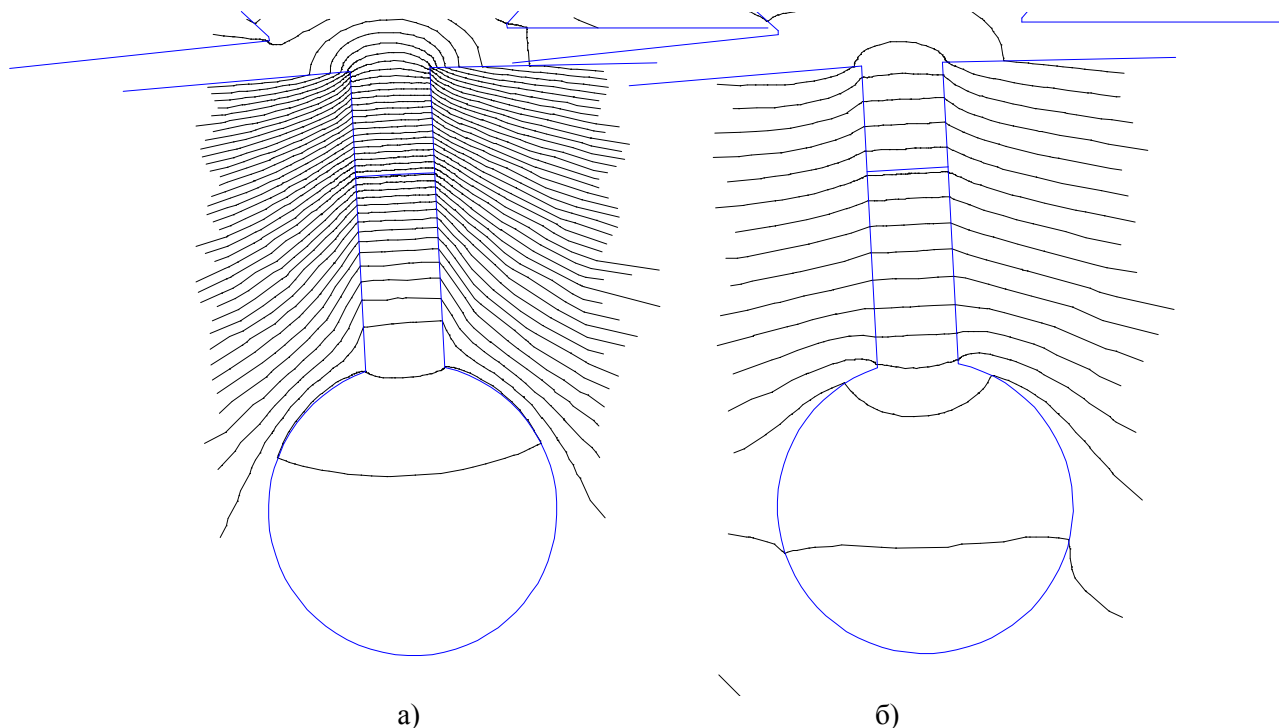


Рис.3. Распределения магнитного поля рассеяния паза
 а) при частоте перемагничивания ротора 50 Гц;
 б) при частоте перемагничивания ротора ,
 соответствующей номинальному скольжению.

Активное сопротивление стержня определялось в соответствии с выражением

$$R = \frac{P_a}{I^2} \quad (3)$$

Коэффициент увеличения активного сопротивления определялся как отношение активного сопротивления стержня при данной частоте R_f к активному сопротивлению стержня при синхронной частоте вращения ротора R_o , т.е.

$$K_r = \frac{R_f}{R_o} \quad (4)$$

Коэффициент уменьшения индуктивного сопротивления определялся как отношение индуктивности стержня при данной частоте L_f к индуктивности стержня при синхронной частоте вращения ротора L_o , т.е.

$$K_x = \frac{L_f}{L_o} \quad (5)$$

Кривые изменения K_r и K_x в функции скольжения приведены на рис.4 и рис.5.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными, приведенными в литературе [1].

Зависимости изменения коэффициента увеличения активного и уменьшения индуктивного сопротивления обмотки ротора могут быть использованы при моделировании различных переходных процессов асинхронных глубокопазных и двухклеточных двигателей.

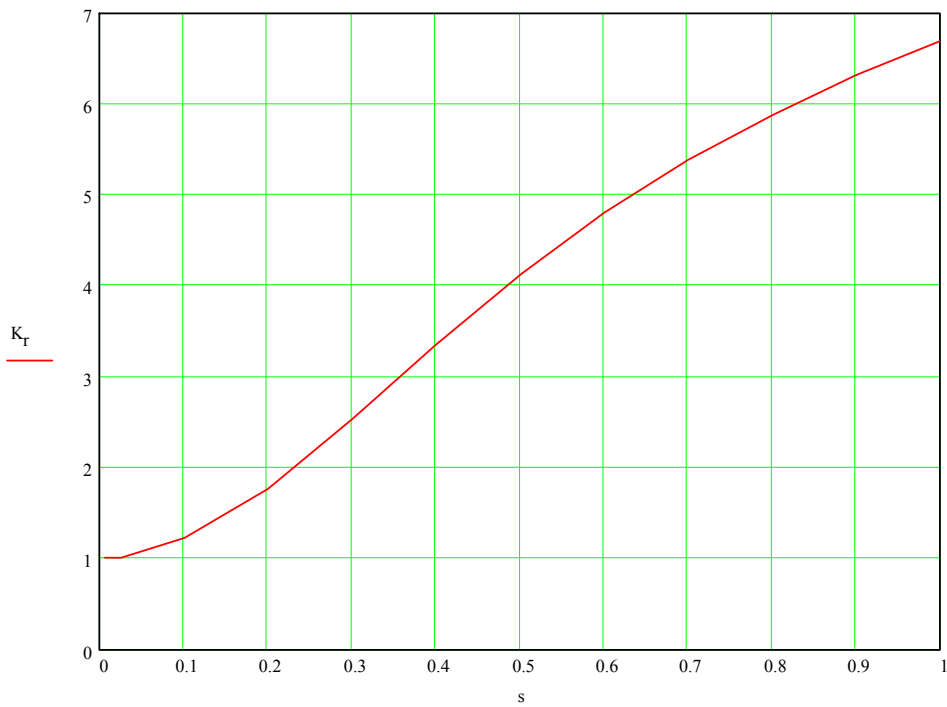


Рис.4. Зависимость коэффициента увеличения активного сопротивления от скольжения

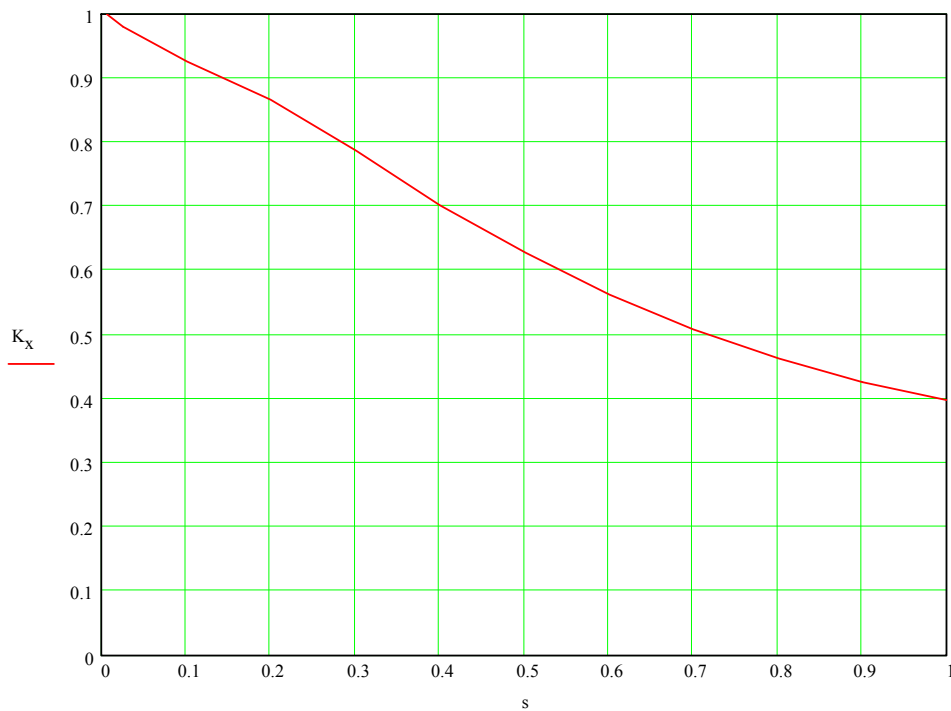


Рис.5. Зависимость коэффициента уменьшения индуктивного сопротивления от скольжения

Приведенная методика может быть использована при расчёте параметров глубокопазных роторов с более сложной конфигурацией пазов, а также при расчёте параметров двухклеточных роторов.

Литература

1. Копылов И.П. *Проектирование электрических машин* – М.: Энергия, 1980. 496с..
2. David Meeker *Finite Element Method Magnetics, Version 4.2, User's Manual*, 2009.