

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА РЕАКТИВНОГО ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ С АКСИАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ

Приведено математичну модель для визначення електромагнітного моменту індукторного реактивного двигуна з аксіальним магнітним потоком. Особливістю моделі є знаходження моменту шляхом інтеграції закону зміни магнітної провідності.

Приведена математическая модель для определения электромагнитного момента индукторного реактивного двигателя с аксиальным магнитным потоком. Особенностью модели является нахождение момента путем интеграции закона изменения магнитной проводимости.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, для «традиционных» электрических машин – постоянного тока, синхронных и асинхронных – вопрос проектирования в настоящее время сводится к следующему: по заданной мощности и частоте вращения выбирают основные геометрические параметры и электромагнитные нагрузки. Затем, используя апробированные математические модели, путём перебора определяют остальные геометрические и электрофизические параметры, которые обеспечивают требуемые рабочие и энергетические характеристики устройств. Такой подход к проектированию основан на большом опыте построения и их длительной эксплуатации, углубленных теоретических и экспериментальных исследованиях процессов, происходящих в электрических машинах.

Теория проектирования индукторных машин, к которым относятся реактивный индукторный двигатель с аксиальным магнитным потоком, находится в стадии становления. Многочисленные публикации носят, как правило, теоретический характер, не дают полной уверенности в справедливости полученного результата [1]. В такой ситуации представляется целесообразным искать новые подходы к решению задачи синтеза индукторных машин.

Задача синтеза устройства может быть решена несколькими путями. Первый путь – это анализ (аналитический либо численный) всех возможных вариантов с последующим выбором требуемого или наиболее подходящего варианта. Однако такой подход требует больших временных затрат и ресурсов.

Вторым путём решение задач синтеза является оптимальное проектирование. В этом случае также решаются задачи анализа, но параметры задачи анализа на последующем шаге итерационного процесса однозначно определяются результатами решения задачи анализа на предыдущем шаге. Закон изменения параметров при переходе от одной итерации к другой заложен в оптимизационном методе. Критерием нахождения оптимального варианта является способность синтезируемого устройства удовлетворять функциональным требованиям с заранее установленными показателями или закономерностями.

Исходя из вышесказанного, задача синтеза реактивного индукторного двигателя с аксиальным магнитным потоком может быть сформулирована таким образом: необходимо создать устройство с заданными рабочими характеристиками (показателями) за счёт нахождения наилучшего сочетания конкретных геометрических и электромагнитных параметров устрой-

ства путём использованием процедуры оптимального проектирования.

Цель работы: разработать модель определения электромагнитного момента и магнитного напряжения индукторного двигателя с аксиальным магнитным потоком, которую можно использовать в качестве задачи анализа при оптимальном проектировании

МАТЕРИАЛ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мгновенное значение электромагнитного момента электрической машины может быть найдено из соотношения [2]

$$M = \left. \frac{\partial W'}{\partial \gamma} \right|_{i=\text{const}} \quad (1)$$

где $\partial W'$ – изменение коэнергии системы, обусловленное изменением координаты ротора $\partial \gamma$, i – токи в обмотках.

Применительно к индукторным машинам в [3] электромагнитный момент M_z , реализуемый на участке зубцового деления, предложено выражать через производную от коэнергии W' зубцовой зоны на участке зубцового деления при условии постоянства магнитного напряжения $U_{\delta z}$ зубцового слоя (рис. 1):

$$M_z = \left. \frac{\partial W'_z}{\partial \gamma} \right|_{U_{\delta z}=\text{const}} \quad (2)$$

С учётом того, что зубцовая зона фазы АИД образована $2Z$ зубцовыми делениями, выражение для мгновенного значения электромагнитного момента фазы АИД имеет вид

$$M = 2Z \left. \frac{\partial W'_z}{\partial \gamma} \right|_{U_{\delta z}=\text{const}} \quad (3)$$

Здесь Z – число зубцов статора (ротора) по одну сторону фазного блока.

Суммарный момент на валу (в мгновенных значениях) равен

$$M_{\text{дв}}(i, \gamma) = \sum_{k=1}^m M_{\text{фк}}(i, \gamma) \quad (4)$$

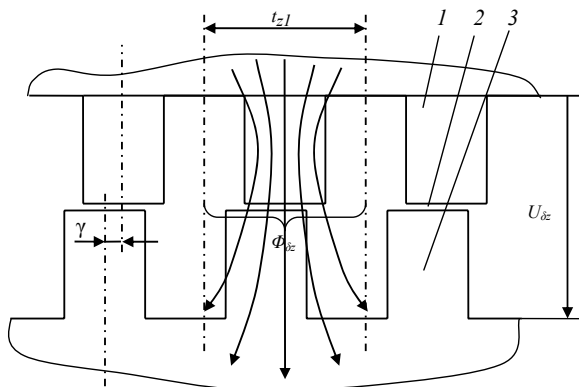


Рис. 1 Зубцовый слой двигателя 1 – зубец статора, 2 – воздушный зазор, 3 – зубец ротора, t_{z1} – зубцовое деление статора, γ – смещение ротора относительно статора, $U_{\delta z}$ – магнитное напряжение, приложенное к зубцовому слою, $\Phi_{\delta z}$ – магнитный поток на участке зубцового деления

Средний момент двигателя определяется по выражению

$$M_{дв\text{ср}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} M_{дв}(i, \gamma) d\gamma = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left(\sum_{k=1}^m M_{\phi k}(i, \gamma) \right) d\gamma \quad (4)$$

С учётом того, что

$$\int_0^{2\pi} \left(\sum_{k=1}^m M_{\phi k}(i, \gamma) \right) d\gamma = \sum_{k=1}^m \left(\int_0^{2\pi} M_{\phi k}(i, \gamma) d\gamma \right)$$

и что среднее значение момента фазы вычисляется по выражению

$$M_{\phi\text{ср}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} M_{\phi}(i, \gamma) d\gamma, \quad (5)$$

выражение (2.4) примет вид

$$M_{дв\text{ср}} = \sum_{k=1}^m M_{\phi\text{ср}k}. \quad (6)$$

Приняв допущение о том, что нарастание и спад тока происходят мгновенно, интервал работы фазы составляет $\Delta\gamma$ радиан по геометрическому углу поворота ротора и момент не изменяется по величине на протяжении интервала $\Delta\gamma$ и равен M_m , вычислим средний момент фазы по выражению (5):

$$M_{\phi\text{ср}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} M_{\phi}(i, \gamma) d\gamma = \frac{1}{\left(\frac{2\pi}{Z}\right)} \int_0^{\frac{2\pi}{Z}} M_m d\gamma = \frac{Z}{2\pi} \left(\int_0^{\Delta\gamma} M_m d\gamma + \int_{\frac{2\pi}{Z}-\Delta\gamma}^{\frac{2\pi}{Z}} 0 d\gamma \right) = \frac{Z \cdot M_m \cdot \Delta\gamma}{2\pi} \quad (7)$$

С учётом выражения (3) можно записать

$$M_m = 2Z \frac{\partial W'_z}{\partial \gamma}, \quad (8)$$

откуда

$$W'_z = \frac{M_m}{2Z} \gamma. \quad (9)$$

Тогда приращение коэнергии на участке зубцового деления на интервале $\Delta\gamma$ составит

$$\Delta W'_z = \frac{M_m \cdot \Delta\gamma}{2Z}. \quad (10)$$

Подставляя произведение $M_m \cdot \Delta\gamma$ из (10) в (7) находим, что средний момент фазы равен

$$M_{\phi\text{ср}} = \frac{Z^2 \cdot \Delta W'_z}{\pi} \quad (21)$$

и, соответственно, средний момент двигателя вычисляется по выражению

$$M_{дв\text{ср}} = \frac{m \cdot Z^2 \cdot \Delta W'_z}{\pi}. \quad (12)$$

Очевидно, что наибольшее приращение коэнергии $\Delta W'_z$ будет иметь место в случае, когда подключение фазы к источнику питания будет происходить при рассогласованном положении зубцов, а отключение – при согласованном. Это соответствует углу поворота π/Z . В этом случае приращение коэнергии равно площади криволинейной фигуры, ограниченной кривыми 1 и 2 (заштрихованная область на рис. 2):

$$\Delta W'_z = S^{(a)} - S^{(u)}, \quad (13)$$

где

$$S^{(a)} = \int_0^{U_a} \Phi^{(a)}(U) dU, \quad (14)$$

$$S^{(u)} = \int_0^{U_a} \Phi^{(u)}(U) dU, \quad (15)$$

В этих выражениях $\Phi^{(a)}(U)$ – вебер-амперная характеристика (ВАХ) зубцового слоя в согласованном положении, $\Phi^{(u)}(U)$ – ВАХ зубцового слоя в рассогласованном положении.

Представим зависимость $\Phi(U)$ в виде

$$\Phi = g(U) \cdot U, \quad (16)$$

где $g(U)$ – магнитная проводимость зубцового слоя, U – магнитное напряжение.

Тогда выражения (2.14) и (2.15) примут вид

$$S^{(a)} = \int_0^{U_a} [g_a(U)U] dU, \quad (17)$$

$$S^{(u)} = \int_0^{U_a} [g_u(U)U] dU. \quad (18)$$

Здесь g_a – проводимость магнитной цепи в согласованном положении, g_u – проводимость магнитной цепи в рассогласованном положении.

Таким образом, задача определения среднего момента двигателя сводится к определению закона изменения магнитной проводимости зубцового слоя от магнитного напряжения для согласованного и рассогласованного положений.

Магнитная проводимость может быть определена следующими способами:

– по результатам расчета магнитного поля зубцового слоя в целом численными методами;

– на основании схемы замещения магнитной цепи, магнитные проводимости элементов которой определены на основании упрощенных аналитических ме-

тодов расчета магнитного поля по геометрическим размерам и свойствам материалов магнитопровода; – путём совмещения первых двух подходов, когда магнитные проводимости части элементов схемы замещения определены по результатам расчета магнитного поля численными методами, а части – упрощенными аналитическими.

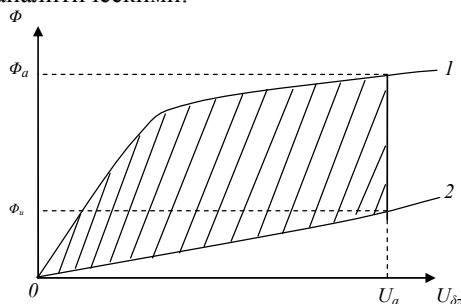


Рис. 2 Энергетическая диаграмма зубцового слоя 1 – вебер-амперная характеристика системы при согласованном положении; 2 – вебер-амперная характеристика при рассогласованном положении; Φ_a – магнитный поток зубца при согласованном положении зубцов и насыщенной магнитной системе; Φ_u – магнитный поток зубца при рассогласованном положении зубцов; U_a – магнитное напряжение зубцового слоя, соответствующее номинальной магнитодвижущей силе фазной катушки

Поскольку геометрические размеры зубцового слоя определяются многими параметрами, определение магнитной проводимости зубцового слоя или его элементов по результатам решения серии полевых задач представляется нецелесообразным исходя из затрат требуемого для этого времени. В связи с этим, нами принят второй подход, где магнитная проводимость зубцов статора и ротора строятся по их геометрическим размерам и кривой намагничивания материала, а магнитная проводимость воздушного зазора определяется по результатам расчёта коэффициента проводимости воздушного зазора по методу Поля [5].

Для согласованного положения, при котором индукция в частях магнитопровода превышает индукцию насыщения стали магнитопровода, схема замещения магнитной цепи будет содержать три элемента (рис. 3а). Для рассогласованного положения в виду с низкими индукциями можно положить проводимости зубцов равными бесконечности и в схеме замещения оставить только магнитную проводимость воздушного зазора (рис. 3б).

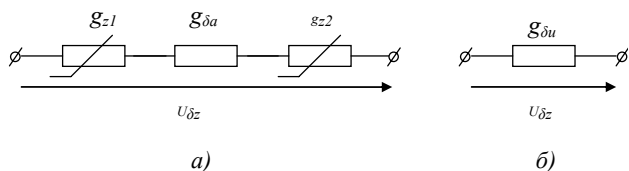


Рис. 3 Схема замещения зубцового слоя а – для согласованного положения б – для рассогласованного положения g_{z1} – нелинейную проводимость зубца статора $g_{\delta a}$ – линейную проводимость воздушного зазора в согласованном положении g_{z2} – нелинейную проводимость зубца ротора $g_{\delta u}$ – линейная проводимость воздушного зазора в рассогласованном положении.

Тогда геометрические размеры зубцового слоя, через которые определяются вышеуказанные магнитные проводимости, и магнитная индукция в воздушном зазоре в согласованном положении будут служить параметрами, от которых зависит электромагнитный момент. Поиск оптимального сочетания этих размеров может быть сформулирован в виде задачи оптимизации АИД.

ВЫВОДЫ

Разработана математическая модель для определения электромагнитного момента индукторного реактивного двигателя с аксиальным магнитным потоком. Особенностью модели является нахождение момента путём интегрирования закона изменения магнитной проводимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильинский Н.Ф. Проектирование вентильно-индукторных машин общепромышленного назначения [Текст] / Ильинский Н.Ф., Штайнбрунн Й., Прудникова Ю.И. // Вестник МЭИ, – №1, 2004, с. 37 – 43.
2. Иванов-Смоленский А.В., Абрамкин Ю.В., Власов А.И. и др. Универсальный метод расчета электромагнитных процессов в электрических машинах / Под ред. А.В. Иванова-Смоленского. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 213 с.
3. Птах, Г. К. Развитие методов расчёта электромагнитных процессов в электромеханических системах с индукторными машинами [Текст] : Монография / Г.К. Птах. – Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск : Ред. журн. «Изв. вузов. Электромеханика», 2003. – с. 232
4. Ткачук, В.І. Електромеханотроніка [Текст] : Підручник / В Ткачук – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2006. – с. 440.

Поступила 30.09.2010

Рябов Евгений Сергеевич,
Любарский Борис Григорьевич, к.т.н., доцент,
Зюзин Дмитрий Юрьевич, к.т.н.
Национальный технический университет
“Харьковский политехнический институт”
Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ “ХПИ”,
кафедра электрического транспорта и тепловозостроения
тел. (057) 707-65-30, E-mail: lboris@kpi.kharkov.ua

Емельянов Вадим Леонидович
Национальный технический университет
“Харьковский политехнический институт”
Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ “ХПИ”,
кафедра электрических аппаратов
тел. (057) 707-68-64, E-mail: evl@kpi.kharkov.ua

E.S. Rjabov, B.G. Lubarskiy, D.Ju.Zjuzin, V.L. Emeljanov
To question of determination of electromagnetic moment of inductor ramjet with axial magnetic flux.

A mathematical model is resulted for the decision of electromagnetic moment of inductor motor with the axial magnetic flow. Of model finding is a feature of moment by integration of law of change of magnetic conductivity.

Key words – mathematical model, electromagnetic moment, inductor motor, axial magnetic flow.