

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА РАБОЧИХ И ПУСКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

*А. М. Галиновский, к.т.н., доц., В. А. Бобер, инж., А. Н. Давыдов, к.т.н., доц., А. С. Вишневецкий, студ. Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев
пр. Победы, 37, 03056, г. Киев, Украина
e-mail: ntuukafem@ua.fm*

Приведена усовершенствованная методика автоматизированного расчета рабочих и пусковых характеристик асинхронного двигателя с учетом насыщения основной магнитной цепи, коронок зубцов статора и ротора, а также эффекта вытеснения тока в обмотке ротора.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, скольжение, насыщение, вытеснение.

Введение. Кафедра электромеханики НТУУ «КПИ» работает над созданием методик автоматизированного проектирования асинхронных (АМ), синхронных (СМ) и асинхронизированных машин (АСМ). Важным является общий подход к разрабатываемым методикам проектирования.

Анализ предыдущих исследований. При проектировании асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (АД) расчет рабочих и пусковых характеристик базируется на соотношениях, связывающих параметры Т-образной и Г-образной схем замещения [1–3]. Расчеты напряжений и токов АД проводятся в скалярной форме с некоторыми допущениями. Поэтому в некоторых работах допускаются неточности в определении ряда величин, которые могут существенно сказаться на конечном результате расчета.

Вместе с тем применение широко распространенных компьютерных программ (например, Mathcad) позволяет создавать простые методики автоматизированного проектирования АД с применением векторной формы расчета. Применение подобных методик позволяет проектировщикам больше внимания уделять поиску оптимальных решений.

Немаловажным также является единый подход к построению уточненных схем замещения и векторных диаграмм [4] машин переменного тока и трансформаторов, к расчету характеристик машин по указанным схемам замещения. Такой подход позволит совершенствовать методику расчета электромашино-вентильных систем, состоящих из электрических машин, трансформаторов, полупроводниковых преобразователей.

Цель работы. Совершенствование методики расчета рабочих и пусковых характеристик АД с короткозамкнутым ротором с учетом изменения насыщения основной магнитной цепи, коронок зубцов статора и ротора, эффекта вытеснения тока в обмотке ротора.

Задачей исследований является совершенствование методики автоматизированного электромагнитного расчета АД; определение параметров уточненной схемы замещения АД по результатам электромагнитного расчета; построение векторных диаграмм напряжений и намагничивающих сил асинхронных машин в режимах двигателя и генератора на базе векторных диаграмм асинхронизирован-

ных машин, а также разработка методики расчета рабочих характеристик АД по уточненной схеме замещения.

Материал и результаты исследования. *Схема замещения и векторная диаграмма асинхронной машины.* Схема замещения АМ с короткозамкнутым ротором показана на рис. 1, где r_1 , x_1 , r_2 , x_2 – активные сопротивления и сопротивления рассеяния обмоток; x_m , r_m – индуктивное и активное сопротивление намагничивающего контура; U_{1C} , I_1 – напряжение сети и ток обмотки статора; I_2 – ток ротора; E_δ – результирующая ЭДС воздушного зазора; $I_{\delta r}$, $I_{\delta a}$, I_δ – реактивная, активная составляющие и полный ток намагничивающего контура.

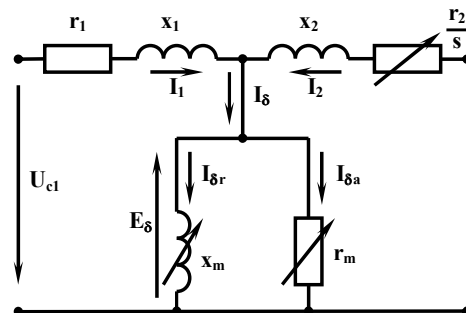


Рисунок 1 – Схема замещения асинхронной машины с короткозамкнутым ротором

Уравнения напряжений и намагничивающих сил:

$$\begin{cases} \dot{U}_{1C} + \dot{E}_\delta - j\dot{I}_1 x_1 - \dot{I}_1 r_1 = 0 \\ \dot{E}_\delta - j\dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2/s = 0 \\ \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_\delta \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} \dot{E}_\delta = \dot{U}_1 + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 \\ \dot{E}_{2p} s = \dot{I}_2 r_2 \\ \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_\delta \end{cases},$$

$$\text{где } \dot{U}_1 = -\dot{U}_{1C}, \dot{E}_{2p} = \dot{E}_\delta + \dot{E}_{2s} = \dot{E}_\delta - j\dot{I}_2 x_2.$$

Параметры ротора приведены к статору.

На рис. 2 показана векторная диаграмма АД

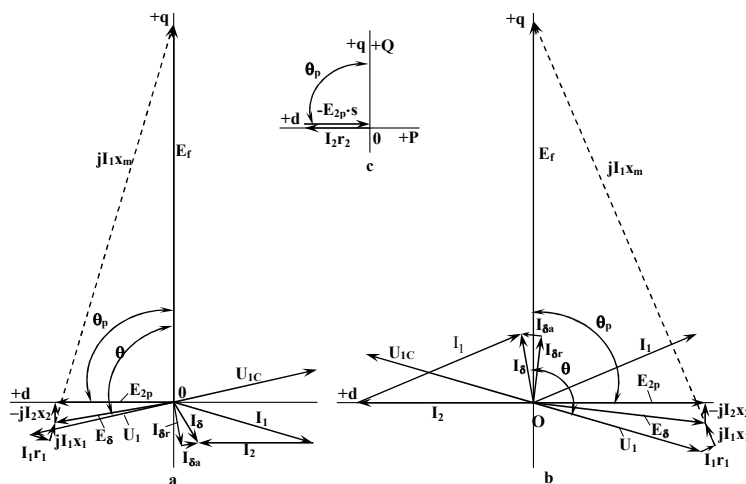


Рисунок 2 – Векторная диаграмма АМ с короткозамкнутым ротором в режиме двигателя (а) и генератора (с)

(а) и генератора (б). Угол нагрузки АД $\theta > \pi/2$. На рис. 2, с – фрагмент диаграммы.

Совершенствование методики электромагнитного расчета асинхронного двигателя [3] проводилось при совместной работе с электромашиностроительными предприятиями по разработке и внедрению новых типов машин, а также в процессе выполнения курсовых и дипломных проектов студентами-электромеханиками.

Покажем один из вариантов эффективной (на наш взгляд) методики выполнения проекта.

Выбираем по справочнику базовый АД, параметры которого наиболее близки к параметрам техзадания. Рассчитываем параметры r_1, x_1, r_2, x_2 . Записываем кривые намагничивания зубцов и ярма в аппроксимированном виде. Задаемся диапазоном изменения мощности P_1 , количеством точек расчета. При известной величине P_1 предварительно задаемся величиной Q_1 , определяем $I_1, \dot{E}_{\delta 1}$. Дальнейший расчет проводится по [3]. Уточняем величину Q_1 . Повторяем цикл расчета до заданной величины погрешности. Строим рабочие характеристики. Сопоставляем полученные результаты расчета с данными справочника.

Убедившись в правильности программного расчета, приступаем к изменению параметров машины для достижения требуемых по техзаданию параметров машины.

Уточненная схема замещения АД в рабочем режиме работы показана на рис. 3.

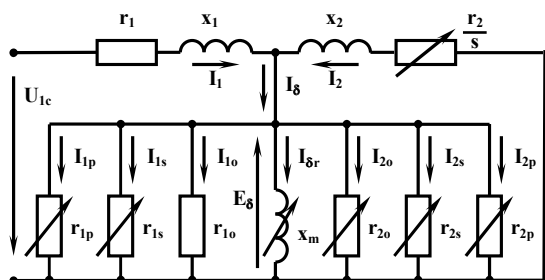


Рисунок 3 – Уточненная схема замещения АД в рабочем режиме

На схеме в обозначениях активных сопротивлений и токов намагничивающего контура первые

нижние индексы («1» и «2») присвоены величинам статора и ротора, а вторые нижние индексы – величинам, соответствующим потерям в стали: «o» – основные; «s» – поверхностные; «p» – пульсационные. Величина $I_{\delta r}$ определяется по кривой намагничивания, определенной в результате электромагнитного расчета.

Последовательность расчета рабочих характеристик АД по уточненной схеме замещения.

Предварительно задаемся величинами I_1, Q_1 и s . Принимаем за базовый вектор U_{1c} . Определяем $S_1, P_1, \phi_1, \dot{I}_1, \dot{E}_{\delta}, \dot{I}_{\delta}, \dot{I}_2$. Рассчитываем потери, мощности, КПД, момент и скольжение. Сравниваем рассчитанные Q_1 и s с заданными. Если погрешность больше заданной, то повторяем расчет с новыми величинами Q_1 и s .

На рис. 4 показаны рабочие характеристики АД типа 4А200М4У3 мощностью 37 кВт с учетом и без учета насыщения магнитной цепи.

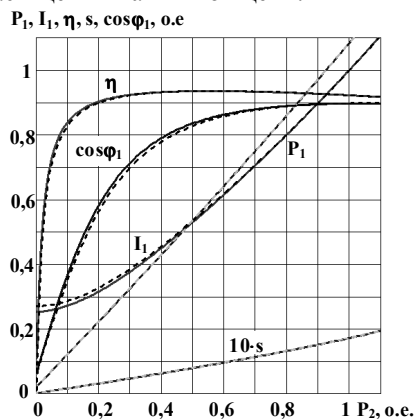


Рисунок 4 – Рабочие характеристики АД: — с учетом насыщения магнитной цепи; ---- без учета насыщения

Последовательность расчета пусковых характеристик АД для всего диапазона изменения скольжения – от холостого хода до начала пуска.

Принимаем за базовый вектор напряжения U_{1c} . Предварительно задаемся величинами I_1, Q_1 и s . Определяем предварительно S_1, P_1, ϕ_1 , а также I_2 . Уточняем параметры x_1, r_2, x_2 с учетом насыщения

коронки зубцов, эффекта вытеснения тока ротора. Определяем $\dot{I}_1, \dot{E}_\delta, \dot{I}_\delta, \dot{I}_2$. Рассчитываем потери, мощности, КПД, момент и скольжение. Сравниваем рассчитанные величины Q_1 и s с заданными. Если погрешность больше заданной, то повторяем расчет с новыми величинами Q_1, s и I_2 .

На рис. 5 показаны пусковые характеристики АД 4А200М4У3 при условиях:

1 – $r_1, x_1, r_2, x_2, x_m = \text{const}$, потери в стали, рассчитанные по номинальному режиму, $p_{\text{ст}} = \text{const}$;

2 – $r_1, x_1, r_2, x_2 = \text{const}$, $x_m = \text{var}$ (изменение насыщения основной магнитной цепи), $p_{\text{ст}} = \text{var}$;

3 – $r_1, x_1 = \text{const}$, $x_m = \text{var}$, $p_{\text{ст}} = \text{var}$, $r_2, x_2 = \text{var}$ (учет эффекта вытеснения тока ротора);

4 – $r_1 = \text{const}$, $x_m = \text{var}$, $p_{\text{ст}} = \text{var}$, $r_2, x_2 = \text{var}$ (учет эффекта вытеснения тока ротора), $x_1, x_2 = \text{var}$ (учет насыщения коронок зубцов);

5 – $r_1, x_m, p_{\text{ст}} = \text{const}$, $r_2, x_2 = \text{var}$ (учет эффекта вытеснения тока ротора), $x_1, x_2 = \text{var}$ (учет насыщения коронок зубцов).

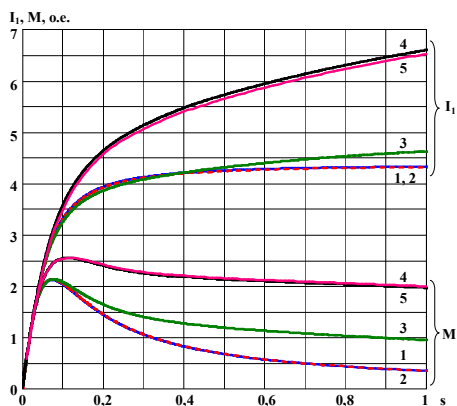


Рисунок 5 – Пусковые характеристики АД

Выводы. 1. Проведено совершенствование методики автоматизированного расчета рабочих и

пусковых характеристик АД с учетом насыщения основной магнитной цепи, коронок зубцов статора и ротора, а также эффекта вытеснения тока в обмотке ротора.

2. По результатам электромагнитного расчета АД определены параметры уточненной схемы замещения с дополнительными активными сопротивлениями намагничивающего контура.

3. Разработана методика расчета рабочих характеристик асинхронного двигателя по уточненной схеме замещения с учетом насыщения магнитной цепи.

3. Уточненная схема замещения может быть применена при расчете рабочих характеристик асинхронных генераторов со статорным возбуждением при широком изменении скорости вращения вала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постников И.М. Проектирование электрических машин. – К.: Гостехиздат УССР, 1960. – 912 с.
2. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с., ил.
3. Копылов И.П. и др. Проектирование электрических машин. – М.: Высш. шк., 2002. – 757 с.
4. Галиновский А.М., Дубчак Е.М., Ленская Е.А. Электромашино-вентильные преобразователи машин двойного питания (часть 1). Гірнична електромеханіка та автоматика. – Наук.-техн. зб., 2010. – № 84. – С. 218–227.

Стаття надійшла 30.06.2011 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ РОБОЧИХ ТА ПУСКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНУТИМ РОТОРОМ

О. М. Галіновський, к.т.н., доц., В. А. Бобер, інж. О. М. Давидов, к.т.н., доц., А. С. Вишневський, студ. Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ, Україна e-mail: ntuukafem@ua.fm

Наведена вдосконалена методика автоматизованого розрахунку робочих та пускових характеристик асинхронного двигуна з врахуванням насичення основної магнітної ланки, коронок зубців статора та ротора, а також ефекту витіснення струму в обмотці ротора.

Ключові слова: асинхронний двигун, ковзання, насичення, витіснення.

PERFECTION OF METHOD OF CALCULATION OF WORKINGS AND STARTING DESCRIPTIONS OF ASYNCHRONOUS ENGINE WITH SHORTCIRCUITED ROTOR

A. Galinovsky, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof., V. Bober, eng., A. Davydov, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof., A. Vishnevsky, stud. National Technical University of Ukraine «KPI», Kyiv pr. Peremohy, 37, 03057, Kyiv, Ukraine e-mail: ntuukafem@ua.fm

The improved method of the automated calculation of workings and starting descriptions of asynchronous engine is resulted taking into account the saturation of basic magnetic chain, crowns of indents of stator and rotor, and also effect of expulsing of current in the puttee of rotor.

Key words: asynchronous engine, sliding, saturation, expulsing.