УДК 621.3

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**Князев К.О.**

*Россия, Москва, НИУ «МЭИ»*

*В данной статье рассматривается математическая модель, применяемая для расчета потерь электроэнергии в асинхронных двигателях и построения статических характеристик.*

*Ключевые слова: нагрузка, потери, мощность, сопротивление.*

*The article consider mathematical model for calculation energy loss in induction motors. In addition to this, we can plot static characteristics using our model.*

*Key words: load, energy loss, power, resistance.*

Важнейшая характеристика нагрузки потребителя — значение её активной и реактивной мощностей. Мощность, потребляемая нагрузкой, зависит от напряжения. Статические характеристики нагрузки по напряжению — это зависимости активной и реактивной мощностей от напряжения в установившемся режиме.

Принцип действия АД основывается на законе электромагнитной индукции Фарадея. Обмотка статора АД подключается к сети переменного тока. Создаваемый при этом магнитный поток Фпри своем вращении пересекает проводники обмотки ротора и индуктирует в них ЭДС. Если обмотка замкнута, то в ней начинает протекать ток, частота которого при неподвижном роторе равна частоте сети. В результате взаимодействия токов ротора с потоком возникают действующие на проводники механические силы F и электромагнитный момент М. В силу того, что цепь ротора асинхронного двигателя всегда обладает определенным активным сопротивлением, ротор двигателя приходит во вращение в направлении вращения поля с некоторым отставанием, или скольжением, относительно поля статора.

В промышленности различают два основных типа асинхронных двигателей: двигатели короткозамкнутым ротором (АДК) и двигатели с фазным ротором.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (АДК) может быть представлен двухконтурной схемой замещения (рисунок 1), которая характеризуется следующими параметрами: R1 и Хσ1 – активное и индуктивное сопротивления рассеяния статорной обмотки; R12 и X12 – активное и индуктивное сопротивления ветви намагничивания; R2(s) и Хσ2(s) – активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенные к обмотке статора

****

****

****

****

****

****

****

****

****

** **

Рисунок 1 - Схема замещения АДК

В АДК необходимо учитывать явление поверхностного эффекта, т.е. вытеснение тока в роторной обмотке. Эффект вытеснения тока приводит к изменению активного сопротивления и индуктивного сопротивления рассеяния роторной обмотки в зависимости от скольжения двигателя s, что достаточно точно описывается следующими зависимостями

Алгоритм расчета параметров схемы замещения подробно описан в работах [1, 2, 4] и здесь приводиться не будет. Отметим лишь основные особенности расчета.

1. Параметры схемы замещения и режима АДК определяются в относительных единицах. За базисные единицы приняты: номинальная полная мощность АДК

;

и базисное сопротивление:



2. Баланса потерь активной мощности в номинальном режиме АДК (при s =)

,

где ΔРΣN – потери активной мощности в номинальном режиме АДК в долях от SN, определяемые выражением

ΔРΣN = (1 - ) .

3. Сумма потерь мощности в стали  и механических потерь мощности ΔРмех.N в номинальном режиме, которую условно можно назвать потерями мощности холостого хода в номинальном режиме ΔРх.N, как следует из уравнения баланса потерь мощности, равна

ΔРх.N = ΔРΣN - ΔР1N – ΔР2N

ΔРΣN = (1 - ) -суммарные потери мощности в номинальном режиме АДК;

ΔР1N = R1 -потери мощности в статорной обмотке в номинальном режиме АДК;

- потери мощности в обмотке ротора в номинальном режиме АДК.

Механические потери мощности и потери мощности в стали АДК составляют устойчивую долю от потерь ΔРх.N, в среднем

.

Из выражений следует:

,

,

.

Расчет параметров схемы замещения АДК ведется по методу последовательных приближений из условия совпадения одноименных каталожных и расчетных данных и продолжается до тех пор, пока не будет выполнено условие:

,

где =0,001 – заданная точность по методу последовательных приближений.

Рассчитав параметры схем замещения, можно определить основные потери в синхронной машине и построить статические характеристики мощности.

Преобразование электрической энергии в механическую в асинхронном двигателе, как и в других электрических машинах, связано с потерями энергии. Из сети потребляется активная мощность:

P1=m1\*I1\*U1\*cosφ

Часть этой мощности теряется в виде электрических потерь в активном сопротивлении первичной обмотки:

P1эл=m1\*I12R1,

а другая часть уходит в виде магнитных потерь в стали магнитопровода:

P1ст=m1\*U122/R12

Оставшаяся часть мощности представляет собой электромагнитную мощность, передаваемую посредством магнитного поля со статора на ротор. На схеме замещения этой мощности соответствует мощность в активном сопротивлении вторичной сети R2(s)/s:

Pэм= P1- P1эл - P1ст = m2\*I22R2/s

Часть этой мощности теряется в виде электрических потерь в активном сопротивлении вторичной обмотки:

P2эл=m2\*I22R,

Остальная мощность превращается в механическую, развиваемую на роторе. Необходимо так же учесть потери механической мощности внутри самой машины (на вентиляцию, на трение в подшипниках), и добавочные потери. Таким образом, полезная механическая мощность на валу:

P2= P1- ∑ P, где ∑ P= P1эл + P1ст + P2эл + Pмех+ Pдоб.

При определении статических характеристик потерь мощности нужно учесть, что нагрузочные потери (включая потери в обмотках двигателей) и потери в стали по-разному зависят от напряжения в узле нагрузки. Первые (ΔРн) определяются соотношением

,

где P(U) и Q(U) – активная и реактивная мощности, передаваемые через элемент с сопротивлением R, которые увеличиваются с уменьшением напряжения.

Вторые (ΔРст) определяются соотношением:

,

где Rм – активное сопротивление ветви намагничивания и уменьшаются с уменьшением напряжения.

От соотношения этих видов потерь мощности, которые в конечном итоге определяются коэффициентами загрузки электрических двигателей, существенно зависит вид статических характеристик потерь мощности.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| а) |  | б) |

Рисунок 2. Статические характеристики потерь активной мощности при различных коэффициентах загрузки: а) АТД-5000; б) АО-112-6;

Анализирую рассматриваемую модель, можно сделать следующие выводы:

* В случае изменения напряжения сети активная мощность на валу двигателя остается практически постоянной, изменяются лишь потери активной мощности в двигателе.
* Наиболее существенное влияние на изменения величины активных и реактивных потерь имеет значение коэффициента загрузки двигателя.
* Общим для рассмотренных двигателей является увеличение потребляемой реактивной мощности при увеличении подведенного напряжения.
* Удельное потребление реактивной мощности растет с уменьшением коэффициента загрузки.
* При снижении напряжения скорость вращения двигателей заметно снижается, особенно для двигателей малой мощности. Наоборот, повышение напряжения приводит к увеличению скорости двигателей.
* Если влияние скорости вращения двигателя на производительность механизмов имеет место, то напряжение на зажимах двигателей должно поддерживаться не ниже номинального при малых коэффициентах загрузки, и в пределах наибольшего допустимого значения при больших коэффициентах загрузки (близких к номинальной).
* При отсутствии влияния скорости вращения двигателя на производительность механизмов целесообразно поддерживать напряжение на зажимах двигателей не выше номинального при больших коэффициентах загрузки и ниже номинального при малых коэффициентах загрузки.

Список литературы

1 Гамазин С.И. Внутризаводское электроснабжение: Промышленное электроснабжение [Текст]: Учебное пособие/ Гамазин С.И, Буре И.Г. – М.: Изд-во МЭИ, 1987. -42 с.

2 Гамазин С.И. Переходные процессы в системах электроснабжения. Лабораторный практикум [Текст]: Учебное пособие/ Гамазин С.И., Цырук С.А, Жуков В.А. – М.: Изд-во МЭИ, 2007. -80 с.

3 Гамазин С.И. Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой [Текст]: Монография/ Гамазин С.И., Ставцев В.А., Цырук С.А. – М.: Изд-во МЭИ, 1997. -424 с.

4 Хабдуллин А.Б. Оптимизация режимов работы систем электроснабжения по статическим характеристикам потерь мощности и нагрузки [Текст]: дис. … канд. техн. наук / Хабдуллин А.Б. – Москва, 2012. -131 с.

5 Вольдек А.И. Электрические машины [Текст]: Учебник для электротехнических специальностей втузов/ Вольдек А.И - Л.: Энергия. 1978. -832 с.

**Князев Кирилл Олегович**, студент очного отделения НИУ «МЭИ», 111116 г.Москва, ул.Энергетическая, д.18, к.651, e-mail: [Knyazevko1@gmail.com](mailto:Knyazevko1@gmail.com) , тел.: 8-968-612-13-35