УДК 621.313.323

**Математическая модель для определения статических характеристик потерь мощности синхронных двигателей**

**Орлова К.В.**

*Россия, Москва, НИУ «МЭИ»*

*Аннотация. Статья посвящена анализу математической модели синхронных двигателей и ее применению для построения статических характеристик мощности. В статье представлены статические характеристики потерь активной мощности, анализируя которые, автор приходит к определенным выводам относительно минимизации потерь в синхронном двигателе.*

*Ключевые слова: математическая модель; потери мощности; синхронный двигатель; статические характеристики.*

*Abstract. This article analyzes the mathematical model of synchronous motors and its application to build static power characteristics. The paper presents the static characteristics of active power losses, analyzing which the author comes to certain conclusions regarding the minimization of losses in the synchronous motor.*

*Keywords: mathematical model; power losses; synchronous motor; static characteristics.*

Статические характеристики мощности нагрузки в установившемся режиме, предсталяющие собой зависимости активной P(U) и реактивной Q(U) мощностей нагрузки от напряжения, находят широкое применение при решении задач электроснабжения.

 В данной статье рассмотрены математические модели синхронных двигателей и их применение для учета потерь электроэнергии в двигателе и построения статических характеристик потерь мощности нагрузки.

В промышленности различают два основных типа синхронных двигателей: двигатели с шихтованными полюсами (СДШП) и двигатели с массивным гладким ротором (СДМР).

Двигатели СДШП - наиболее распространенный тип явнополюсных СД с частотой вращения ≤ 1000 об/мин.

Схемы замещения синхронных двигателей по продольной (а) и поперечной (б) осям приведены на рисунке 1.





Рисунок 1. Схемы замещения СД по продольной (а) и поперечной (б) осям

Параметрами схемы замещения являются:

Rad, Raq, Rст, Rf, R1d, R1q – соответственно активные сопротивления ветви намагничивания по продольной и поперечной осям ротора, статорной обмотки, обмотки возбуждения и демпферных обмоток по продольной и поперечной осям ротора;

Xad, Xaq – сопротивления взаимоиндукции между статорными и роторными обмотками по осям d и q;

 , ,  – соответственно индуктивные сопротивления рассеяния статорной обмотки, обмотки возбуждения и демпферных обмоток по осям d и q;

Rfп – активное сопротивление обмотки возбуждения при пуске СД, когда обмотки возбуждения замкнуты на дополнительное пусковое сопротивление Rп (Rfп = Rf + Rп).

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

 Активное сопротивление статорной обмотки в относительных единицах равняется потерям активной мощности в этой обмотке в номинальном режиме СД, которые составляют устойчивую долю (в среднем 0,4) от суммарных потерь активной мощности в СД

. (1)

Основным расчетным выражением для определения синхронного сопротивления Xd служит выражение для максимального синхронного момента

  (2)

где  – внутренний угол СД, соответствующий максимальному синхронному моменту и максимальной активной мощности РМ в синхронном режиме; SN – номинальная полная мощность СД.

Остальные параметры схемы замещения СДШП определяются по методу последовательных приближений из условия совпадения одноименных каталожных и расчетных данных.

Двигатель СДМР - наиболее распространенный тип неявнополюсных СД со скоростью вращения ротора = 3000 об/мин.

В отличие от СДШП СДМР характеризуются следующими особенностями.

1. В связи с симметрией ротора по продольной (d) и поперечной (q) осям имеют место следующие соотношения[1]:

 (3)

2. В массивном роторе СДМР необходимо учитывать вытеснение тока в демпферных контурах ротора. Степень вытеснения в основном зависит от частоты наводимых в роторе токов, т.е. в конечном итоге от скольжения двигателя. Эффект вытеснения тока приводит к изменению активного R1 и индуктивного сопротивления рассеяния  эквивалентного демпферного контура в зависимости от скольжения ротора.

Изменения сопротивлений эквивалентного демпферного контура определяются следующими зависимостями, вытекающими из теории массивного ротора:

 , (4)

, (5)

где , ,,  – активные и индуктивные сопротивления рассеяния демпферного контура соответственно при пуске (s = 1) и в синхронном режиме (s = 0).

3. В связи с тем, что сопротивления  и  эквивалентного демпферного контура зависят от скольжения, то и обобщенные параметры СДМР, в расчетные выражения для которых входят сопротивления  и  также зависят от скольжения.

Ненасыщенное значение синхронного сопротивления  определяется как

. (6)

Остальные параметры схемы замещения СДМР определяются по методу последовательных приближений из условия совпадения одноименных каталожных и расчетных данных.

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

Основные потери в синхронной машине слагаются из электрических потерь в обмотке статора, потерь на возбуждение, магнитных потерь и механических потерь.

Электрические потери в обмотке статора [3]:

∆Р1=I2×Rs  (7)

где Rs— активное сопротивление одной фазы обмотки статора
при расчетной рабочей температуре, Ом.

Потери на возбуждение:

∆Pf=I2×Xad×Rf (8)

Магнитные потери синхронной машины происходят в сердечнике статора, который подвержен перемагничиванию вращающимся магнитным полем. Эти потери состоят из потерь от гистерезисаи от вихревых токов

, (9)

Механические потери определяются суммой потерь на трение
в подшипниках и потерь на вентиляцию.

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

Статические характеристики потерь мощности рассмотрены на примере синхронных двигателей с шихтованным и массивным ротором[4].

На рисунке 2 представлены статические характеристики суммарных потерь активной мощности ΔРΣСД в синхронных двигателях СДН-18-74-16 (Рном=4000 кВт), СТД-10000-2 (Рном=10000 кВт), СД2-74/25-604 (Рном=225 кВт) при коэффициентах загрузки (Кз) от 0,5 до 1.

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

Рисунок 2. Статические характеристики потерь активной мощности при различных коэффициентах загрузки: а) СДН-18-74-16; б) СТД-10000-2;

в) СД2-74/25-604

 Анализируя данные характеристики, можно сделать следующие выводы:

-напряжение на выводах, при котором обеспечивается минимум суммарных потерь активной мощности СД с шихтованными полюсами, существенно зависят от коэффициента загрузки и изменяются при изменении коэффициента загрузки от 1 до 0,5 в пределах от 1,1 до 0,7 от номинального.

-напряжение на выводах, при котором обеспечивается минимум суммарных потерь активной мощности СД с массивным гладким ротором, существенно зависят от коэффициента загрузки и изменяются при изменении коэффициента загрузки от 1 до 0,5 в пределах от 1,1 до 0,7 от номинального.

Математические модели позволяют оценить потери мощности и зависимость этих потерь от параметров режима двигателя, что впоследствии будет использовано для исследования способов и средства для снижения потерь мощности СД и обеспечения экономного режима работы.

Список литературы

1. Гамазин, С.И. Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой [Текст] : Монография/ С.И. Гамазин, В.А. Ставцев, С.А. Цырук. – М.: изд-во МЭИ, 1997. – 424 с.
2. Гамазин, С.И. Переходные процессы в системах электроснабжения [Текст] : Лабораторный практикум : учебное пособие/ С.И. Гамазин, С.А. Цырук, В.А. Жуков – М.: Издательский дом МЭИ, 2007, 80 с.
3. Кацман, М.М. Электрические машины [Текст]: Учеб. для студентов сред. проф. учебных заведений/ М.М. Кацман. -3 изд., испр. – М.: Высш. шк.; Издательский центр «Академия»; 2001.-463 с.: ил.
4. Хабдуллин, А.Б. Статические характеристики потерь мощности в электрических сетях [Текст] : Тез. докл. IV межд.научно-практ. конференции «Тинчуринские чтения»/ А.Б. Хабдуллин. -Казань, 2009, -с. 213-215.

**Орлова Ксения Валерьевна**, студент очного отделения НИУ «МЭИ», 111116 г.Москва, ул.Энергетическая, д.18, к.751, e-mail: [orlova.KV93@yandex.ru](file:///C%3A%5CUsers%5C%D0%9A%D1%81%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%5CDownloads%5Corlova.KV93%40yandex.ru) , тел.: 8-968-528-05-64