

## **ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РОТОРА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**А.Н. Новожилов, Н.А. Исупова**

*Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова*

**Постановка задачи.** Электромеханическое преобразование энергии обычно сопровождается потерями. В асинхронных двигателях (АД) их можно разделить на основные и добавочные. К основным потерям относят электрические в обмотках, магнитные в ферромагнитных сердечниках и элементах конструкции, а также механические и вентиляционные потери. Они в основном зависят от конструкции АД и достаточно хорошо исследованы. Так соответствии с [1-3], именно их величина определяет коэффициент полезного действия АД, который проставляют в паспорте на заводе.

Добавочные потери [4-6] возникают в результате вторичных процессов электромагнитного характера, например, вследствие искажения воздушного зазора при эксцентриситете или разнице в сопротивлений стержней короткозамкнутого ротора АД. Такие дефекты могут возникнуть в АД при изготовлении на заводе или во время эксплуатации. Эксплуатация АД с такими дефектами обычно не приводит к немедленному выходу его из строя, а сопровождается ухудшением эксплуатационных характеристик и повышением потреблением электроэнергии. Добавочные потери на заводе не отражают в паспортных данных АД. Их уровень в АД при отпуске с завода определен уровнем технологии, квалификации персонала и контроле качества выпускаемой продукции. В этой работе сделана попытка оценки величины дополнительных потерь при естественном смещении ротора, то есть при технологическом эксцентриситете.

Определение величины технологического эксцентриситета и вызванных им потерь осуществляется следующим образом. Первоначально находят общую зависимость тока АД от эксцентриситета ротора. Затем экспериментально на группе двигателей определяют ток при технологическом эксцентриситете и величину технологического эксцентриситета.

**Ток АД при эксцентриситете ротора.** Как правило, статический эксцентриситет ротора возникает в АД при смещении опор подшипников. Он сопровождается неравномерностью воздушного зазора. При этом в зазоре возникают дополнительные поля [5,6]. Последние индуцируют в «беличьей клетке» ротора дополнительные токи. Эти токи существенно изменяют параметры АД и определяют его потери при эксцентриситете ротора.

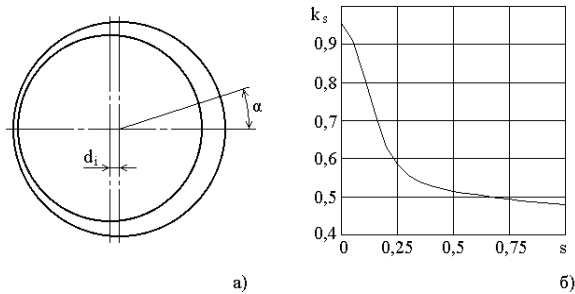


Рисунок 1-Расчетная схема и зависимость коэффициента перемещения в зависимости от  $l_2/l_1$

В соответствии с [1-3] сердечник ротора изготавливают из листов электротехнической стали. Если считать, что первый и последний лист сердечника ротора удалены от неподвижной опоры на расстоянии  $l_1$  и  $l_2$ , то они сместятся на  $d_1$  и  $d_2$  соответственно. Так как обычно технологический эксцентриситет мал, а разница между  $d_1$  и  $d_2$  невелика, то с учетом [5,6] и рис.1,а величина воздушного зазора

$$\delta(\alpha) = k_{\delta} \delta_n - d_{cp} \cos \alpha,$$

где  $d_1 = d_2 l_1/l_2$ ;  $d_{\bar{a}} = (d_1 - d_2)/2$ ;  $\alpha$  - геометрический угол, отсчитываемый вдоль расточки ротора от оси обмотки статора той фазы, в которой ток равен амплитуде при  $t=0$ ;  $k_d$  -коэффициент Картера.

Если принять величину относительного эксцентриситета

$$\varepsilon = d_{cp} / (k_{\delta} \delta_n), \quad (1)$$

то удельная проводимость зазора, образованная сердечником ротора

$$\lambda_{\delta} = \frac{\mu_0}{k_{\delta} \delta_n (1 - \varepsilon \cos \alpha)}.$$

Разложив второй множитель этого выражения в ряд Фурье и ограничившись нулевым и первым членом ряда, можно получить

$$\lambda_{\delta} = \frac{\mu_0}{k_{\delta} \delta_n} \lambda_0 \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0} \cos \alpha \right), \quad \lambda_0 = 1/\sqrt{1-\varepsilon^2}; \quad \lambda_1 = 2\left(1 - \sqrt{1-\varepsilon^2}\right) / \varepsilon \sqrt{1-\varepsilon^2} \quad (2)$$

Пространственное распределение основной гармонической поля воздушного зазора в эксплуатационных режимах работы при синусоидальном напряжении сети моделируется по методу удельной магнитной проводимости зазора [7]. Если считать магнитную проницаемость стали бесконечно большой и принять магнитодвижущую силу ротора равной нулю, то без эксцентриситета в режиме холостого хода индукция магнитного поля воздушного зазора АД

$$B_{\delta} = \frac{\mu_0}{\delta_n k_{\delta}} \frac{m\sqrt{2}w_1 k_{ol}}{2\pi p} I_{1xx} \lambda_{\delta}, \quad (3)$$

где  $I_{1\delta}$  - действующее значение тока холостого хода в фазах АД без эксцентриситета;  $w_1$  - число последовательно соединенных витков в обмотки фазы статора;  $k_{ol}$  - обмоточный коэффициент;  $m$  - число фаз обмотки статора.

Если (2) подставить в (3) и с учетом [3] преобразовать, то при эксцентриситете ротора

$$B_{\delta} = \frac{\mu_0}{\delta_n k_{\delta}} \frac{m\sqrt{2}w_1 k_{ol}}{2\pi p} I_{1xx} \lambda_0 \left\{ \cos(\omega t - p\alpha) + \frac{\lambda_1}{2\lambda_0} \cos[\omega t - (p+1)t] + \frac{\lambda_1}{2\lambda_0} \cos[\omega t - (p-1)t] \right\}, \quad (4)$$

где первое слагаемое уравнения является основной гармонической поля зазора, а второе и третье – дополнительные с числом пар полюсов равным  $\delta \pm 1$ , которые и определяют потери от эксцентриситета ротора.

Анализ (4) показывает, что дополнительные поля в воздушном зазоре пропорциональны основному полю, вращаются асинхронно с ротором и поэтому демпфируются полями “беличьей клетки”. Поле зазора зависит от скольжения  $S$  ротора и определяется отношением  $k_s(s) = E_1/U_1$ , усредненное значение которого приведено на рис.1,б. и построено с учетом [2], где  $E_1$  - ЭДС, индуцируемая в обмотке фазы статора магнитным полем воздушного зазора АД, а  $U_1$  - фазное напряжение сети.. Тогда ток АД при эксцентриситете ротора можно рассчитать как

$$I_1^* = I_1 + I_{1xx} \left( 1 - D_{p\pm 1} \right) \frac{\lambda_1}{\lambda_0} k_s^2, \quad (5)$$

где  $I_1$  и  $I_1^*$  - действующее значение тока в фазе АД до и после

эксцентриситета ротора;  $D_{p\pm 1}$  - коэффициент демпфирования, который по [6] в соответствии с рекомендациями Иордана и Фрейса следует принимать равным  $0,25 \div 0,3$ .

Расчет тока фазы  $I_1^*$  на АД АО-31-4 при эксцентриситете ротора приведен на рис.2,а.

**Экспериментальные исследования.** Экспериментальное исследование зависимости  $I_1^* = f(\varepsilon)$  и определение технологического эксцентриситета ротора АД проводилось в электротехнической лаборатории кафедры «Автоматизация и управление» ПГУ им. Торайгырова на базе группы из десяти двигателей АД АО-31-4. Экспериментальное значение  $I_1^* = f(\varepsilon)$  приведено на рис.2 в виде точек. Из этого рисунка видно, что результаты расчета и эксперимента отличаются не более чем на 10-15%.

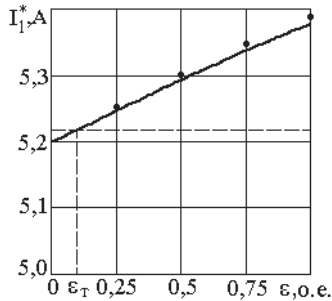


Рисунок 2-Схема и результаты измерения увеличения тока АД в зависимости от эксцентриситета ротора

Экспериментальное среднее значение  $I_1^*$  для группы АД составило порядка  $5,23 \text{ А}$ , а технологический эксцентриситет  $\varepsilon_m$  соответственно примерно 0,1. Таким образом для данного типа двигателя перерасход электроэнергии в режиме номинальной нагрузки составит примерно 35-30 Вт. При непрерывной эксплуатации АД такого типа в течении года перерасход электроэнергии составит примерно  $265 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ . Что соизмеримо со стоимостью самого двигателя. Для избавления от этих потерь следует повышать культуру и улучшать технологию производства АД.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: Учебник для вузов. -М.: Энергия, 1980.- 928 с.

2. Петров Г.Н. Электрические машины. Ч.2. Асинхронные машины и синхронные машины. -М.-Л.: Энергия, 1968.- 224с.
3. Копылов И.П., Горяинов Ф.А., Клоков Б.К. и др. Проектирование электрических машин. -М.: Энергия, 1980.- 495с.
4. Известия Академии наук СССР. Энергетика и транспорт. №1, 1982. Богуславский И.З. Токи в несимметричной короткозамкнутой клетке ротора.
5. Новожилов А.Н. Токи асинхронного двигателя при статическом эксцентриситете// Электротехника. – 1994.- №11.- С.45-47.
6. Геллер Б., Гамата В. Высшие гармоники в асинхронных машинах. -М.: Энергия, 1981.- 351с.
7. Вольдек А.И. Электрические машины. -Л.: Энергия, 1974.- 639с.

### *Түйіндеме*

*Көрінісін процессі қаралған және электр энергиясы шығындарының мөлшерлері асинхрондық қозғалтқыш роторы технологиялық эксцентриситеті жанында көрсетілген.*

### *Resume*

*Process of occurrence and sizes of losses of the electric power is considered at technological exsentrisset a rotor of the asynchronous engine.*

УДК 621.313.333.1

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВУХДВИГАТЕЛЬНЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

**Б.Б. Утегулов, С.С. Исенов**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

Для ряда подъемно-транспортных механизмов, используется двухдвигательный асинхронный электропривод (ДАЭП), регулирование координат которого осуществляется изменением добавочных сопротивлений в цепи роторов. Однако такой способ регулирования координат электропривода, в настоящее время, не может удовлетворить возросшим требованиям. Следовательно, необходимо перейти к другому способу, в котором требуемые характеристики обеспечиваются минимальными затратами, и особенно важно использовать существующие двигатели с фазным ротором, внося изменения только в электрическую часть привода.