

УТОЧНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Невзлин Б.И., к.т.н.

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

Загирняк М.В., д.т.н., Загирняк В.Е.

Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского

*Для асинхронних двигунів середньої потужності уточнена залежність коефіцієнта корисної дії від ковзання.**Для асинхронных двигателей средней мощности уточнена зависимость коэффициента полезного действия от скольжения.*

ВВЕДЕНИЕ

Известно [1], что для АД всегда имеет место неравенство

$$\eta < 1 - s, \quad (1)$$

где s – скольжение АД (величины s и η представляются в относительных единицах).

На основе анализа значительного количества опытных данных из [2] авторами [3] ранее было предложено полуэмпирическое выражение, которое выполняется для АД общепромышленного применения:

$$\eta \approx 1 - (3 \dots 5)s. \quad (2)$$

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Аналитическим путем уточнить зависимость значения КПД АД от скольжения на основе обоснованных допущений.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Во многих случаях для практических расчетов используется упрощенная схема замещения асинхронной машины мощностью более 10 кВт с вынесенным намагничивающим контуром (рис. 1) [1, 4].

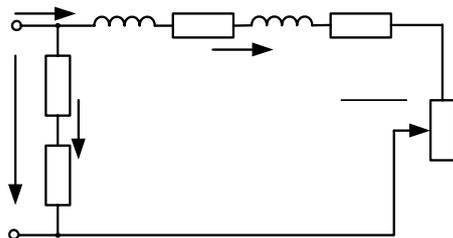


Рис. 1. Схема замещения

При этом приняты следующие обозначения: U_1 , I_1 – напряжение и ток статора; I_0 – намагничивающий ток; I_2 – приведенный ток ротора; Z_1 , R_1 , X_1 – полное и активное сопротивления, а также индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора; Z_2 , R_2 , X_2 – приведенные полное и активное сопротивления, а также индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора; Z_m , R_m , X_m – пол-

ное, активное и индуктивное сопротивления намагничивающей ветви.

Согласно схеме замещения (рис. 1) выражения для вращающего момента M и потребляемой АД мощности P_1 могут быть представлены в следующем виде:

$$M = \frac{m_1 U_1^2 R_2' / s}{\omega_1 \left[(R_1 + R_2' / s)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]}; \quad (3)$$

$$P_1 = m_1 U_1^2 \left[\frac{R_1 + R_m}{(Z_1 + Z_m)^2} + \frac{R_1 + C_1 R_2' / s}{(Z_1 + Z_2')^2} \right], \quad (4)$$

где m_1 – число фаз обмотки статора, ω и ω_1 – соответственно частоты вращения ротора и магнитного поля.

Поскольку полезная P_2 и потребляемая P_1 мощности АД могут быть определены из выражений:

$$P_2 = M\omega;$$

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1,$$

то согласно $\eta = P_2 / P_1$ [1, 3, 4] получаем

$$\eta = \frac{M\omega}{m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1}. \quad (5)$$

Здесь $\cos \varphi_1$ – коэффициент мощности обмотки статора.

Подставив (3) и (4) в (5) с учетом того, что $\omega = \omega_1(1 - s)$, после соответствующих преобразований находим

$$\eta = \frac{(1 - s)R_2'}{R_1 s + R_2' + \frac{(R_1 + R_2' / s)^2 + (X_1 + X_2')^2}{R_1 + R_m + (X_1 + X_m)^2 / (R_1 + R_m)}} s. \quad (6)$$

В (7) переменной величиной является только скольжение s , что позволяет сделать следующие предположения.

1. Если $R_1 \approx R_2'$, то при скольжениях $0,01 \leq s \leq 0,04$, наиболее характерных для АД общепромышленного применения мощностью более 10 кВт [2],

$$\eta = \frac{1 - s}{1 + s + \frac{\left[(R_1 + R_2' / s)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right] s / R_2'}{R_1 + R_m + (X_1 + X_m)^2 / (R_1 + R_m)}}, \quad (7)$$

учитывая, что величины X_1 , X_2' и R_1 малы по сравнению с (R_2'/s) , величины X_1 и R_1 по сравнению с X_m и R_m , а также полагая R_m значительно меньше X_m , получаем

$$\eta = \frac{1-s}{1+s + \frac{R_2' R_m}{X_m^2 s}} \quad (8)$$

Примем за базисное сопротивление обмотки статора величину

$$Z_{1b} = U_{1н} / I_{1н},$$

где $U_{1н}$, $I_{1н}$ – номинальные значения напряжения и тока статора.

Тогда, учитывая диапазон изменения соотношений между относительными значениями параметров АД мощностью 3...100 кВт [5], а именно:

$$\begin{aligned} X_m^* &= X_m / Z_{1b} = 2,5...4; \\ X_1^* &\approx X_2'^* = X_1 / Z_{1b} = 0,07...0,15; \\ R_1^* &\approx R_2'^* = R_1 / Z_{1b} = 0,01...0,07; \\ R_m^* &= R_m / Z_{1b} = 0,1...0,4; \end{aligned}$$

где X_m^* , X_1^* , $X_2'^*$, R_1^* , $R_2'^*$, R_m^* – относительные значения параметров, и приняв приближенное равенство $(0,1...0,4) / [(2,5...4)^2 (0,01...0,04)] \approx 1$, находим

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{1-s}{1+s + \frac{(0,01...0,07)(0,1...0,4)}{(2,5...4)^2 (0,01...0,04)}} \approx \\ &\approx \frac{1-s}{1+s + (0,01...0,07)}. \end{aligned} \quad (9)$$

Принимая во внимание реальный диапазон изменения значений скольжения ($0,01 \leq s \leq 0,04$) и учитывая, что оно уменьшается с возрастанием мощности АД, получаем для знаменателя

$$1+s + (0,01...0,07) = 1+s + (1...2)s = 1+(2...3)s. \quad (10)$$

Согласно [6]

$$\frac{1}{1+s} \approx 1-s, \quad (11)$$

тогда при малых s (пренебрегая величинами второго порядка малости) с погрешностью менее 3% находим

$$\eta = (1-s)(1-(2...3)s) = 1-(3...4)s, \quad (12)$$

что с определенной степенью точности можно считать соответствующим выражению (2) для АД мощностью более 10 кВт.

2. Как показывают расчеты реальных АД [7] соотношение $R_1^* / R_2'^* = 0,5...2,0$.

Тогда выражение (6) можно представить в виде

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{(1-s)}{(0,5...2)s + 1 +} \rightarrow \dots \\ \dots &\rightarrow \frac{(1-s)}{\frac{(R_1 + R_2^1/s)^2 + (X_1 + X_2^1)^2}{R_1 + R_m + (X_1 + X_m)^2 / (R_1 + R_m)} \frac{s}{R_2^1}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Вновь пренебрегая величинами X_1 , X_2' и R_1 по сравнению с R_2'/s , а X_1 и R_1 по сравнению с X_m и R_m , а также полагая R_m значительно меньше X_m , получаем

$$\eta \approx \frac{1-s}{1 + (0,5...2)s + R_2' R_m / (X_m^2 s)}. \quad (14)$$

Выполняя те же преобразования и принимая те же допущения, что и при переходе от (8) к (12), находим

$$\eta \approx 1 - (2,5...5,5)s,$$

что в большей мере соответствует реальному диапазону значений КПД АД, т.к. в указанные пределы укладываются параметры не только АД общепромышленного исполнения, но и часть двигателей с повышенным скольжением.

ВЫВОД

Установлено, что КПД асинхронных двигателей мощностью более 10 кВт меньше единицы на 2,5...5,5 значений скольжения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины. Часть 1. – М.: Высш. шк., 1986. – 319 с.
- [2] Справочник по электрическим машинам. Т.1 / Под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
- [3] Загирняк М.В., Невзлин Б.И. Электрические машины. Ч.3. Асинхронные машины. Ч.4. Синхронные машины: – К.: ИСЮ, 1996. – 196 с.
- [4] Вольдек А.И. Электрические машины. Л.: Энергия, 1974. – 840с.
- [5] Радин В.И., Брускин Д.Э., Зорохович А.Е. Электрические машины. Асинхронные машины. – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.
- [6] Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. – М.: Наука, 1969. – 228 с.
- [7] Копылов И.П., Горяинов Ф.А., Клоков Б.К. и др. Проектирование электрических машин. Под ред. И.П. Копылова. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.

Поступила 19.11.2007