

## 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  $\eta$  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].

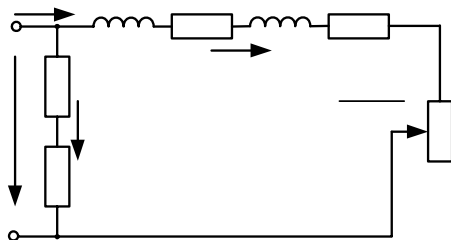


Рис. 1. Схема замещения

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,  $\omega$  и  $\omega_1$  – 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

$$Z_{1b} = U_{1H} / I_{1H},$$

где  $U_{1H}$ ,  $I_{1H}$  – 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