

В.В. ОБЧАРОВ, д-р техн. наук, проф., Таврический государственный агротехнологический университет, Мелітополь

С.В. ОБЧАРОВ, канд. техн. наук, ас., Таврический государственный агротехнологический университет, Мелітополь

Р.В. ТЕЛЮТА, инж., Таврический государственный агротехнологический университет, Мелітополь

О.В. ЮДИНА, инж., Таврический государственный агротехнологический университет, Мелітополь

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ В ФУНКЦИИ СКОЛЬЖЕНИЯ

У статті розглянута методика визначення витрат активної потужності у асинхронному електродвигуні.

В статье предложена методика определения потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе.

Введение. Асинхронные электродвигатели имеют сравнительно невысокий коэффициент полезного действия, особенно при неполной нагрузке. Поэтому исследование потерь активной мощности является необходимым, в частности для обоснования уставок устройств регулирования величины питающего напряжения.

Вопросы потерь активной мощности в асинхронных электродвигателях исследованы достаточно глубоко [1]. Но отсутствует исследование удельных потерь активной мощности.

Цель работы – исследование потерь активной мощности в асинхронных электродвигателях с помощью круговых диаграмм мощности.

Схема замещения асинхронного электродвигателя. Исследуем переменные потери активной мощности в асинхронном электродвигателе в функции скольжения.

Представим Г-образную схему замещения асинхронного электродвигателя (для одной фазы) в уточненном виде (рис. 1). На схеме используются обозначения: R_m – активное сопротивление, эквивалентное потерям активной мощности в магнитопроводе (от вихревых токов и на перемагничивание), Ом; $R_2''(1-s)/s$ – активное сопротивление, эквивалентное активной мощности, передаваемой на вал, Ом.

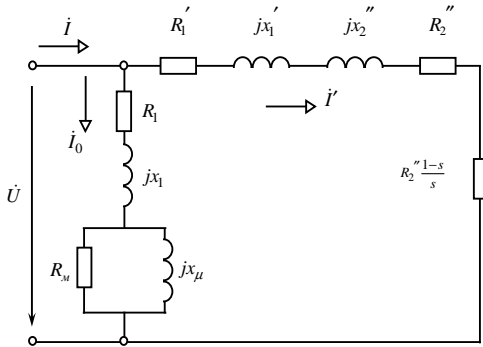


Рис. 1.

Для электродвигателя типоразмера 4А100S2У3 потери в магнитопроводе составляют 139 Вт, активное сопротивление, эквивалентное этим потерям, равно 348,2 Ом.

Запишем комплекс действующего значения силы тока намагничивающего контура \dot{I}_0 :

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}}{R_1 + jx_1 + \frac{R_M \cdot jx_\mu}{R_M + jx_\mu}} = I_0 e^{-j\varphi_0} \quad (1)$$

Комплекс полной мощности. Принимая $\psi_u = 0$, комплекс полной мощности в намагничивающем контуре равен

$$\tilde{S}_0 = \dot{U} \dot{I}_0^* = UI_0 e^{j\varphi_0} = S_0 e^{j\varphi_0} \quad (2)$$

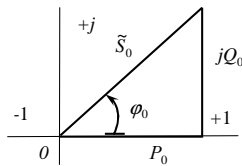


Рис. 2.

Построим комплекс полной мощности на комплексной плоскости (рис. 2). Проекция комплекса полной мощности на вещественную ось представляет собой потери активной мощности в намагничивающем контуре:

$$P_0 = S_0 \cos \varphi_0 \quad (3)$$

Если экспериментально измерить действующее значение силы электрического тока холостого хода I_{xx} и коэффициент мощности $\cos \varphi_{xx}$, то можно более точно рассчитать постоянные потери при номинальном режиме ($U = U_H$) с учетом добавочных потерь и механических потерь в механической системе двигателя

$$\Delta P_{CH} = 3U_H \cdot I_{xx} \cdot \cos \varphi_{xx} \quad (4)$$

Запишем комплекс действующего значения силы электрического тока в другой ветви схемы замещения:

$$\dot{I}' = \frac{\dot{U}}{R_1' + R_2'' + j(x_1' + x_2'') + \frac{R_2''(1-s)}{s}} \quad (5)$$

Введем обозначение:

$$Z = R_1' + R_2'' + j(x_1' + x_2''). \quad (6)$$

Тогда

$$i' = \frac{\dot{U}}{Z + R_2'' \frac{1-s}{s}}. \quad (7)$$

Преобразуем (7):

$$i' = \frac{\dot{U}/Z}{1 + \frac{R_2''(1-s)/s}{Z}} = \frac{i_k'}{\frac{Z}{1 + \frac{R_2''(1-s)/s}{Z}} e^{j\psi}}, \quad (8)$$

где $i_k' = \dot{U}/Z$; $Z = z e^{j\varphi}$; $\varphi = \text{arccctg} \frac{R_1' + R_2''}{x_1' + x_2''}$; $\psi = -\varphi$;

$$z = \sqrt{(R_1' + R_2'')^2 + (x_1' + x_2'')^2}; \quad \dot{U} = U e^{j\psi_u}.$$

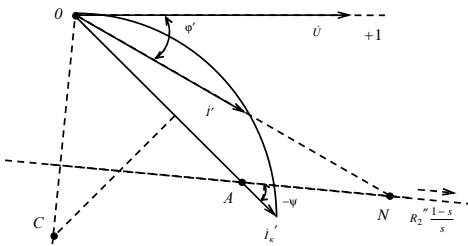


Рис. 3.

Уравнение (8) представляет собой уравнение круговой диаграммы тока i' . Построим круговую диаграмму тока i' , приняв $\psi_u = 0$ (рис. 3). Запишем комплексы действующих значений напряжения и полной мощности в указанной ветви, приняв

$$\psi_u = 0:$$

$$\dot{U} = U; \quad \tilde{S}' = \dot{U} I'^* = U I' e^{j\varphi'} = S' e^{j\varphi'}, \quad (9)$$

где $I'^* = I' e^{j\varphi'}$.

В другом виде

$$\tilde{S}' = \dot{U} \frac{I_k^{*'}}{1 + \frac{R_2''(1-s)/s}{Z}} e^{j\psi}, \quad (10)$$

где $I_k^{*'} = I_k' e^{j\varphi_k'}$.

Подставим \dot{U} и \dot{I}'_K в (10) и получим

$$\tilde{S}' = \frac{U \cdot \dot{I}'_K e^{j\varphi_K}}{1 + \frac{R_2''(1-s)/s}{\tilde{z}} e^{j\psi}} = \frac{\tilde{S}'_K}{1 + \frac{R_2''(1-s)/s}{\tilde{z}} e^{j\psi}}. \quad (11)$$

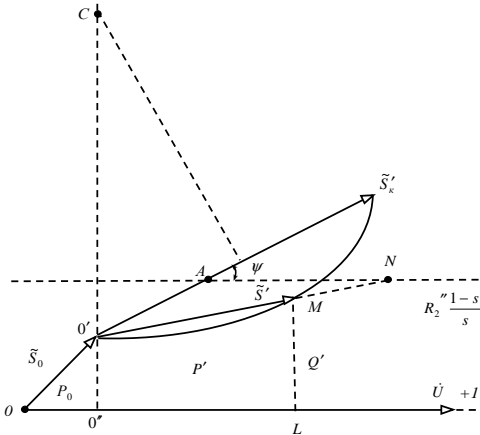


Рис. 4.

Уравнение (11) представляет собой уравнение круговой диаграммы комплекса полной мощности \tilde{S}' , построенной на рис. 4. Проекция комплекса полной мощности \tilde{S}' на ось напряжения представляет собой общую активную мощность в этой ветви P' , то есть $P' = S' \cos \varphi'$. Активная мощность, передаваемая на вал, равна $P_2 = R_2''(1-s)/s I'^2$. Тогда

переменные потери активной мощности равны

$$\Delta P_M = 3(P' - P_2). \quad (12)$$

Суммарная полная активная мощность равна $\Delta P = \Delta P_{с.н} + \Delta P_M$.

Уравнение (12) можно записать в другом виде:

$$\Delta P_M = 3 \frac{R_1' + R_2''}{R_1' + R_2''/s} P'. \quad (13)$$

Таким образом, с помощью круговой диаграммы комплекса полной мощности \tilde{S}' можно найти переменные потери активной мощности в функции скольжения S .

Для электродвигателя типоразмера 4А100S2У3 рассчитаем круговую диаграмму комплекса полной мощности:

$$Z = R_1' + R_2'' + j(X_1' + X_2'') = 4,985 e^{j60^\circ} \text{ Ом};$$

$$\dot{I}'_K = \frac{\dot{U}}{Z} = 44,13 e^{-j60^\circ} \text{ А}; \quad \tilde{S}'_K = \dot{U} \dot{I}'_K{}^* = 9708,6 e^{j60^\circ} \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Исследуем потери активной мощности в асинхронном электродвигателе в функции загрузки на валу со стороны рабочей машины. Основное уравнение движения электропривода рабочей машины:

$$J \frac{d\omega}{dt} + M_c = M, \quad (14)$$

где J – момент инерции системы электродвигатель-рабочая машина, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; M_c – приведенный к валу двигателя момент сопротивления рабочей машины, $\text{Н} \cdot \text{м}$; M – момент, развиваемый электродвигателем, $\text{Н} \cdot \text{м}$. В установившемся режиме $M_c = M$.

Запишем эмпирическое выражение момента сопротивления рабочей машины:

$$M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) (\omega / \omega_n)^x, \quad (15)$$

где M_0 – момент трогания рабочей машины, $\text{Н} \cdot \text{м}$; $M_{сн}$ – номинальный момент сопротивления рабочей машины при номинальной угловой скорости электродвигателя при прямой передаче, $\text{Н} \cdot \text{м}$; ω – угловая скорость рабочей машины, с^{-1} ; ω_n – номинальная угловая скорость электродвигателя и рабочей машины при прямой передаче, с^{-1} ; x – коэффициент, характеризующий рабочую машину (0, 1, 2, -2); k_3 – коэффициент загрузки рабочей машины; M_n – номинальный момент электродвигателя, $\text{Н} \cdot \text{м}$.

Механические характеристики электродвигателя на рабочем участке и рабочей машины при различной загрузке 2 и 2' приведены на рис. 5.

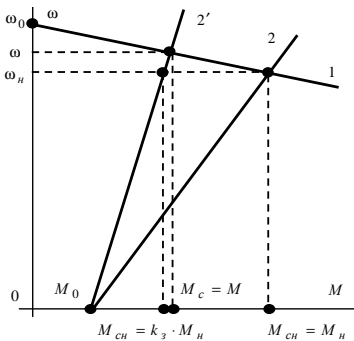


Рис. 5.

Найдем зависимость M_c в функции коэффициента загрузки k_3 и скольжения, для чего подставим в (15) зависимости $M_{сн} = k_3 M_n$, $\omega / \omega_n = (1-s) / (1-s_n)$ и получим:

$$M_c = M_0 + (k_3 M_n - M_0) \left(\frac{1-s}{1-s_n} \right)^x. \quad (16)$$

Найдем зависимость M в функции скольжения S , рассмотрев подобные треугольники:

$$\frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0 - \omega} = \frac{M_H}{M}.$$

После преобразования получаем:

$$M = M_H \frac{S}{S_H} = M_0 + (k_3 M_H - M_0) \left(\frac{1-S}{1-S_H} \right)^x. \quad (17)$$

Перепишем (17) в относительных единицах:

$$\frac{s}{s_H} = m_0 + (k_3 - m_0) \left(\frac{1-s}{1-s_H} \right)^x, \quad (18)$$

где $m_0 = M_0/M_H$.

Найдем зависимость скольжения от коэффициента загрузки.

Для привода рабочей машины с независимой механической характеристикой ($x=0$) находим $S = S_H k_3$.

Произведём расчёт скольжения для электродвигателя типоразмера 4А100S2У3. Результаты расчетов представлены в табл. 1. На основании полученных данных на рис. 6 построена зависимость скольжения электродвигателя от коэффициента загрузки.

Таблица 1.

K_3	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
s	0,007	0,013	0,020	0,026	0,033	0,040

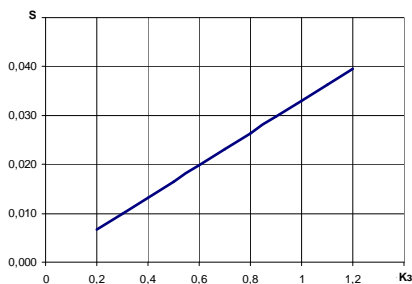


Рис. 6.

Исследуем потери активной мощности в электродвигателе с помощью круговой диаграммы. Выбранные масштабы:

$$m_z = 0,2 \frac{\text{Ом}}{\text{мм}}, \quad m_s = 25 \frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{мм}}$$

Результаты заносим в табл. 2. Зависимости потерь активной мощности в обмотках $\Delta P_M = f(k_3)$ и потерь активной мощности в целом $\Delta P = f'(k_3)$ в электродвигателе в функции коэффициента загрузки приведены на рис. 7.

Таблица 2.

k_3	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
S	0,007	0,013	0,020	0,026	0,033	0,040
$R_2'' (1-s)/s$, Ом	142,7	76,4	49,3	37,7	29,5	24,1
AN , мм	713,5	382	246	188	147	120,5
$\frac{R_1' + R_2''}{R_1 + R_2''/s}$	0,017	0,031	0,048	0,061	0,076	0,091
$O''L$, мм	5,62	17	30	40,8	58	64,8
P' , Вт	421	127	2250	3060	4350	4860
ΔP_M , Вт	7,17	39,5	108	186,6	330,6	442
P_2 , Вт	414	1235	2142	2873	4019	4418
ΔP_{const} , Вт	274	274	274	274	274	274
ΔP , Вт	281	313	382	460,7	604,6	716

Зависимость коэффициента $k_i = \Delta D/D_2$ потерь мощности в электродвигателе без учета роста сопротивления обмоток при нагревании построена на рис. 8.

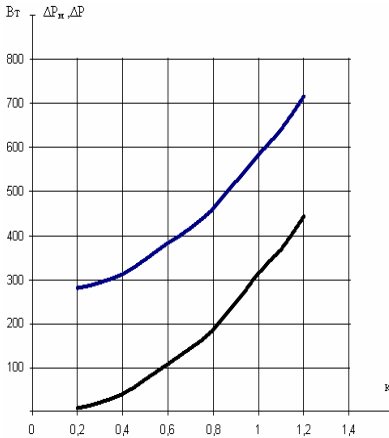


Рис. 7.

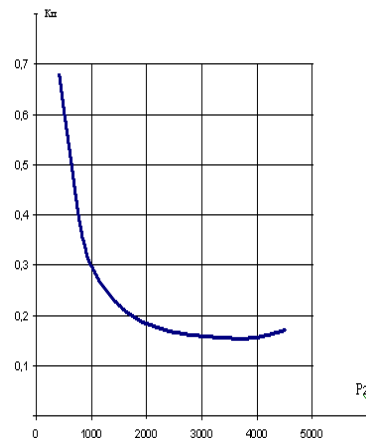


Рис. 8.

Введем понятие коэффициента потерь энергии в электродвигателе как отношение потерь мощности к номинальным потерям,

$$\kappa_{нэ} = \Delta P / \Delta P_H .$$

Для указанного электродвигателя $\Delta P_H = 624$ Вт . Рассчитаем значение этого коэффициента. Результаты заносим в табл. 3.

Таблица 3.

$k_з$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
$k_{нэ}$	0,451	0,502	0,612	0,738	0,938	1,148

Строим зависимость коэффициента потерь энергии в функции коэффициента загрузки электродвигателя (рис. 9).

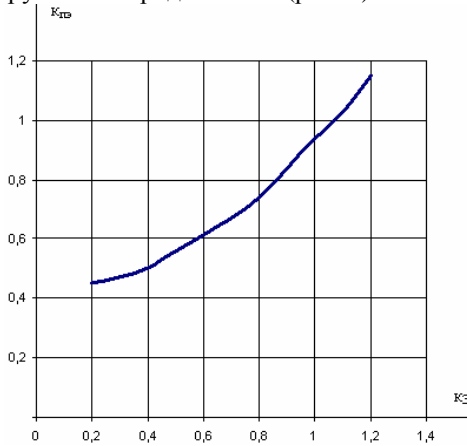


Рис. 9.

Вывод. Таким образом, получен алгоритм исследования потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе в функции коэффициента загрузки с помощью круговой диаграммы.

Список литературы: 1. Овчаров В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / В.В. Овчаров. – К.:УСХА, 1990. – 168 с.

Поступила в редколлегию 10.12.2009