

АНАЛИЗ РЕЖИМА РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ СХЛЕСТЫВАНИИ ПИТАЮЩИХ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Овчаров С.В., к.т.н.

Островский А.В., инженер

Курашкин С.Ф., инженер

Таврический государственный агротехнологический университет

пр. Б. Хмельницкого 18, г. Мелитополь, 72312, Украина

Тел. +38(0619) 423-263

Аннотация – в работе проведен анализ режима работы асинхронного электродвигателя привода рабочей машины при схлестывании проводов воздушной линии электропередачи.

Ключевые слова – силовой трансформатор, асинхронный электродвигатель, воздушная линия электропередачи, схлестывание проводов.

Постановка проблемы. В сельскохозяйственном производстве часто осуществляется питание по воздушным линиям электропередачи одновременно бытовых и производственных потребителей напряжением 0,4 кВ. Из-за неравномерной нагрузки по фазам бытовых потребителей в указанных сетях наблюдается асимметрия напряжения, которая негативно сказывается на работе трёхфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором привода рабочих сельскохозяйственных машин.

При сильных ветрах на таких линиях наблюдается явление схлестывания проводов, которое, как показывает практика, приводит к аварийным режимам работы электродвигателей, запитанных от этих линий, в случае несрабатывания защиты от коротких замыканий из-за большого сопротивления петли «фаза-нуль».

Анализ последних исследований. Режимы работы системы «силовой трансформатор – линия электропередачи – асинхронный электродвигатель» при схлестывании питающих проводов исследованы недостаточно.

Формулирование целей статьи. Требуется дальнейшее исследование указанных режимов с целью их диагностирования в процессе эксплуатации и обеспечения безаварийности асинхронных электродвигателей.

Основная часть. Проведём аналитическое исследование режима работы системы «силовой трансформатор – линия электропередачи – асинхронный электродвигатель» в случае, когда механическая характеристика рабочей машины носит гиперболический характер.

В [1] найдено выражение скольжения электродвигателя в функции кратности симметричных составляющих прямой и обратной последователь-

ностей фазных напряжений электродвигателя, если он приводит во вращение рабочую машину с гиперболической механической характеристикой:

$$s = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (1)$$

$$\text{где } a = k_3 - m_0; \quad (2)$$

$$b = -2(k_3 - m_0) - (1 - s_n)^2 \left(\frac{k_{u1}^2}{s_n} - m_n k_{u2}^2 \right); \quad (3)$$

$$c = m_0(1 - s_n)^2 + (k_3 - m_0); \quad (4)$$

$$k_{u1} = \frac{U_1}{U_n}, \quad k_{u2} = \frac{U_2}{U_n}; \quad (5)$$

k_3 – кратность загрузки рабочей машины (отношение момента сопротивления на валу рабочей машины к его номинальному значению);

m_0 – относительный момент трогания рабочей машины (отношение момента трогания рабочей машины к его номинальному значению);

s_n – номинальное скольжение электродвигателя;

m_n – относительный пусковой момент электродвигателя;

k_{u1} – кратность напряжения симметричной составляющей прямой последовательности;

k_{u2} – кратность напряжения симметричной составляющей обратной последовательности;

U_1 – действующее значение напряжения симметричной составляющей прямой последовательности, В;

U_2 – действующее значение напряжения симметричной составляющей обратной последовательности, В;

U_n – номинальное действующее значение фазного напряжения, В.

На рис. 1 приведена расчётная схема системы «силовой трансформатор – линия электропередачи – асинхронный электродвигатель» в случае схлестывания двух проводов в конце линии.

На расчётной схеме введены следующие условные обозначения:

$\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ – комплексы действующих значений э. д. с фаз силового трансформатора на стороне 0,4 кВ, В;

z_m – комплекс полного сопротивления фазы силового трансформатора, Ом;

z_l – комплекс полного сопротивления фазы линии электропередачи, Ом;

z_d – комплекс полного сопротивления фазы электродвигателя, Ом;

$\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ – комплексы действующих значений фазных напряжений электродвигателя, В;

$\dot{I}_A$ – комплекс действующего значения силы электрического тока в фазе А, А.

Комплексы действующих значений напряжений прямой и обратной последовательностей находим по выражениям [2]:

$$\dot{U}_1 = \frac{1}{3} \left(\dot{U}_a + \dot{U}_b e^{j120^\circ} + \dot{U}_c e^{-j120^\circ} \right); \quad (6)$$

$$\dot{U}_2 = \frac{1}{3} \left(\dot{U}_a + \dot{U}_b e^{-j120^\circ} + \dot{U}_c e^{j120^\circ} \right). \quad (7)$$

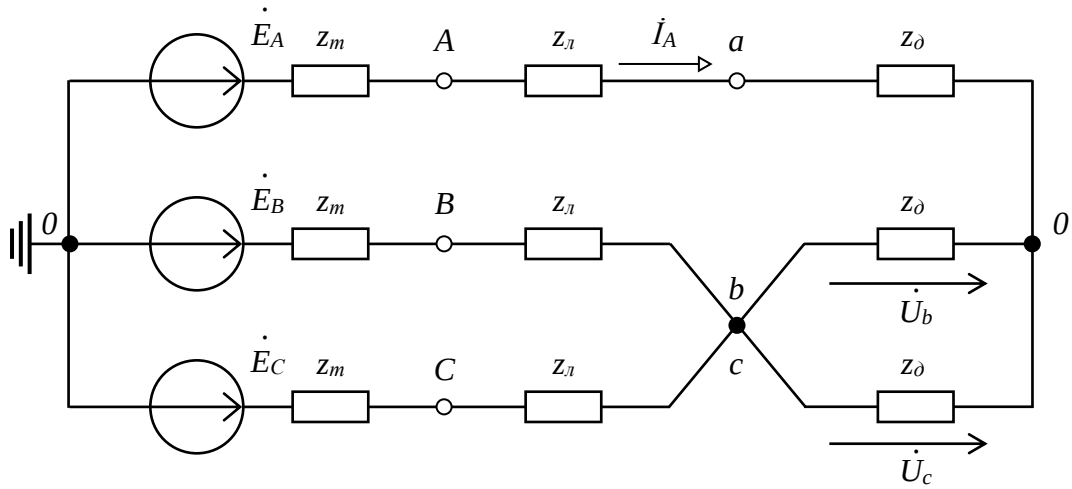


Рис. 1 Расчётная схема системы «силовой трансформатор – линия электропередачи – асинхронный электродвигатель» при схлестывания двух проводов в конце линии

Комплексы действующих значений фазных напряжений электродвигателя:

$$\dot{U}_a = z_d \dot{I}_A; \quad (8)$$

$$\dot{U}_b = -z_d \frac{\dot{I}_A}{2}; \quad (9)$$

$$\dot{U}_c = -z_d \frac{\dot{I}_A}{2}. \quad (10)$$

Комплекс действующего значения силы электрического тока в фазе A :

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{\phi}_0 - \dot{\phi}_b + \dot{E}_A}{z_A} = \frac{\dot{E}_A - \dot{U}_{b0}}{z_A}, \quad (11)$$

где $\dot{\phi}_0, \dot{\phi}_b$ – комплексы действующих значений потенциалов точек 0 и b , В;

$\dot{U}_{b0}$ – комплекс действующего значения напряжения между точками b и 0, В;

z_A – комплекс полного сопротивления первой ветви, Ом.

Последний, в свою очередь равен:

$$z_A = z_m + z_l + 1,5z_d. \quad (12)$$

Напряжение между точками b и 0 находим по методу двух узлов [2]:

$$\dot{U}_{b0} = \frac{\dot{E}_A Y_A + \dot{E}_B Y_B + \dot{E}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C}, \quad (13)$$

где Y_A, Y_B, Y_C – комплексы полных проводимостей ветвей расчётных схем, См.

В свою очередь проводимости равны:

$$Y_A = \frac{1}{z_A}; \quad Y_B = \frac{1}{z_B}; \quad Y_C = \frac{1}{z_C}. \quad (14)$$

Тогда:

$$z_B = z_m + z_l, \quad z_C = z_m + z_l. \quad (15)$$

Введём обозначения:

$$z_m + z_l = z; \quad (16)$$

$$\frac{1}{z_B} = \frac{1}{z_C} = \frac{1}{z} = Y. \quad (17)$$

После преобразований находим:

$$\dot{U}_{bo} = \dot{E}_A \frac{Y_A - Y}{Y_A + 2Y}; \quad (18)$$

$$\dot{I}_A = \dot{E}_A \frac{1}{z + 2z_A}. \quad (19)$$

Запишем комплексы действующих значений фазных напряжений:

$$\dot{U}_a = \dot{E}_A \frac{z_\partial}{z + 2z_A}; \quad (20)$$

$$\dot{U}_b = -\frac{\dot{E}_A}{2} \frac{z_\partial}{z + 2z_A}; \quad (21)$$

$$\dot{U}_c = -\frac{\dot{E}_A}{2} \frac{z_\partial}{z + 2z_A}. \quad (22)$$

Находим симметричные составляющие прямой и обратной последовательностей фазных напряжений электродвигателя, подставляем в (6) и (7) выражения (20), (21) и (22) и преобразовав:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 = 0,5 \dot{E}_A \frac{z_\partial}{z + 2z_A}. \quad (23)$$

Комплекс полного сопротивления фазы электродвигателя находим, пользуясь схемой замещения одной фазы электродвигателя (рис.2):

$$z_{\bar{a}} = \frac{z_0 z'}{z_0 + z'}; \quad (24)$$

$$z_0 = r_1 + jx_1 + \frac{r_\mu jx_\mu}{r_\mu + jx_\mu}; \quad (25)$$

$$z' = \left(r_1' + \frac{r_2''}{s} \right) + j(x_1' + x_2''), \quad (26)$$

где $r_1, x_1, r_1', x_1', r_2'', x_2'', r_\mu, x_\mu$ – параметры схемы замещения одной фазы электродвигателя, Ом;
 s – скольжение электродвигателя.

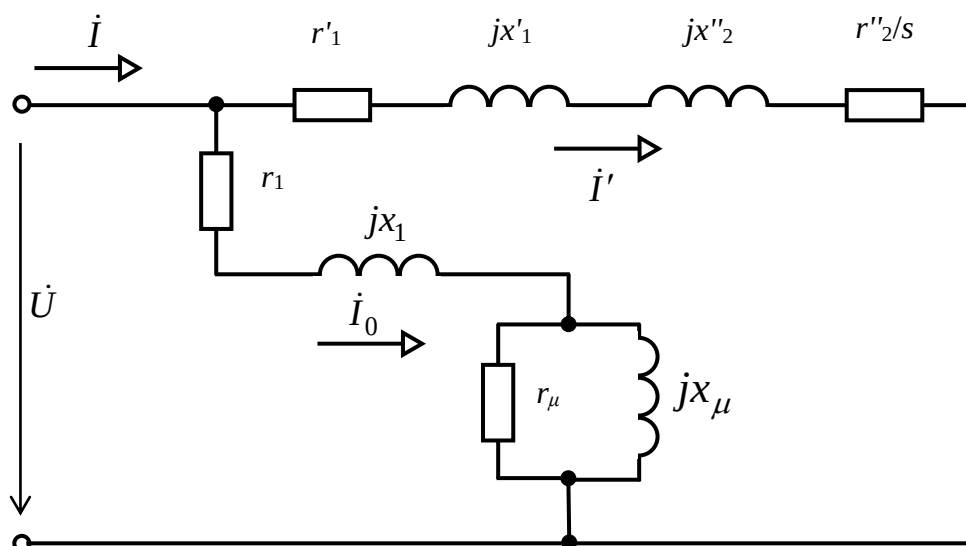


Рис. 2 Схема замещения одной фазы электродвигателя

Для нахождения скольжения электродвигателя при схлестывании проводов применим метод последовательных приближений в такой последовательности:

- 1) задаёмся значением скольжения электродвигателя и рассчитываем комплекс полного сопротивления фазы двигателя по выражениям (24), (25), (26);
- 2) рассчитываем комплексы напряжений прямой и обратной симметричных составляющих по выражениям (23), (16), (12);
- 3) рассчитываем кратности напряжений прямой и обратной последовательностей по выражению (5);
- 4) определяем скольжение электродвигателя по выражениям (1), (2), (3), (4) и сравниваем значение скольжения с заданным;
- 5) в случае расхождения значений скольжений заданного и полученного задаёмся новым, более близким к расчётному значению скольжения и повторяем расчёт до полного совпадения;

Например, для погружного электродвигателя ПЭДВ 2,8-140, параметры схемы замещения одной фазы и другие каталожные данные:

$r_1 = 3,61 \text{ Ом};$	$r_2'' = 7,29 \text{ Ом};$	$m_i = 2,0;$
$\tilde{\delta}_1 = 1,79 \text{ Ом};$	$\tilde{\delta}_2'' = 12,1 \text{ Ом};$	$s_i = 0,05;$
$r_1' = 3,83 \text{ Ом};$	$r_\mu = 223,56 \text{ Ом};$	$U_i = 220 \text{ В};$
$\tilde{\delta}_1' = 1,89 \text{ Ом};$	$\tilde{\delta}_\mu = 29,64 \text{ Ом};$	$I_i = 7 \text{ А}.$

Принимаем условные параметры рабочей машины: $m_0 = 0,2; k_c = 1$.

Принимаем условные параметры фазы силового трансформатора: $r_m = 0,2 \text{ Ом}, x_m = 0,3 \text{ Ом}$ и условные параметры фазы линии электропередачи: $r_l = 0,2 \text{ Ом}, x_l = 0,3 \text{ Ом}$.

Проводим расчёт методом последовательных приближений и находим скольжение электродвигателя:

$$s = 0,55.$$

Находим комплекс действующего значения силы электрического тока в фазе A :

$$\dot{I}_A = 18,9e^{-j44^\circ} \text{ А.}$$

Выводы:

- 1) При схлестывании проводов электродвигатель привода рабочей машины переходит в однофазный режим.
- 2) Так как скольжение электродвигателя ниже критического, то он «опрокидывается».
- 3) При периодическом исчезновении схлестывания проводов электродвигатель повторно запускается.
- 4) В зависимости от периода схлестывания проводов пуски электродвигателя могут быть частыми, что приводит к недопустимому перегреву.

Литература.

1. Овчаров В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. – К.: УСХА, 1990. – 168 с.
2. Основы теории цепей / [Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Нетушил А. В., Страхов С. В.]. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.

**АНАЛІЗ РЕЖИМУ РОБОТИ АСИНХРОННОГО
ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПІД ЧАС СХЛЬОСТУВАННЯ ПРОВІДІВ
ЖИВЛЕННЯ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ**

Овчаров С.В., Островский А.В., Курашкин С.Ф.

Анотація – у роботі проведено аналіз режиму роботи асинхронного електродвигуна приводу робочої машини під час схльостування проводів повітряної лінії електропередачі.

Ключові слова – силовий трансформатор, асинхронний електродвигун, повітряна лінія електропередачі, схльостування проводів.

**THE ANALYSIS OF ASYNCHRONOUS ELECTROMOTOR MODE
UPON WIRES INTERCONNECTION OF OPEN-WIRE ELECTRICAL
TRANSMISSION LINE**

Ovcharov S.V., Ostrovskiy A.V., Kurashkin S.F.

Summary – the analysis of asynchronous electromotor mode driving a working machine upon wires interconnection of open-wire electrical transmission line is considered in the article.

Key words – power-supply transformer, asynchronous electromotor, open-wire electrical transmission line, wires interconnection.