

УДК 621.313.333.2

БЕЗИТЕРАЦИОННАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Островский А.В., аспирант.*

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-32-63

Аннотация – предложена безитерационная методика определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя по каталожным данным.

Ключевые слова – схема замещения, паспортные данные, итерационный метод, параметры.

Постановка проблемы. Известны различные методики определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя – итерационный; на основе опытов холостого хода и короткого замыкания; используя уравнения асинхронной машины и ее характеристики. Для использования этих методик часто требуется дорогостоящая специальная аппаратура, они сложны в исполнении и не всегда точны. Поэтому предложена альтернативная комбинированная безитерационная методика расчета параметров схемы замещения, отличающаяся простотой исполнения и позволяющая определить параметры схемы замещения асинхронного электродвигателя на основе каталожных данных.

Анализ последних исследований. Вопросам расчета параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя посвящено ряд работ [1 – 3], в которых используются различные методы определения параметров схемы замещения. Однако, они не всегда точны и сложны в исполнении.

Формулирование цели статьи. Следовательно, целью статьи является безитерационное определение параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя по паспортным данным.

Основная часть. Для определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя исходными данными являются: номинальная мощность D_{2i} ; номинальный КПД η_i ; номинальный коэффициент

* Научный руководитель – д.т.н. Овчаров В.В.

© аспирант Островский А.В.

мощности $\cos \varphi_i$; номинальное скольжение s_i ; номинальное линейное напряжение $U_{i\bar{e}}$; КПД двигателя при нагрузке 50% $\eta_{50\%}$; коэффициент мощности двигателя при нагрузке 50% $\cos \varphi_{50\%}$; кратность максимального момента (при прямом пуске) m_ϵ ; кратность пускового тока (при прямом пуске) \hat{E}_s .

T-образная схема замещения электродвигателя показана на рис. 1.

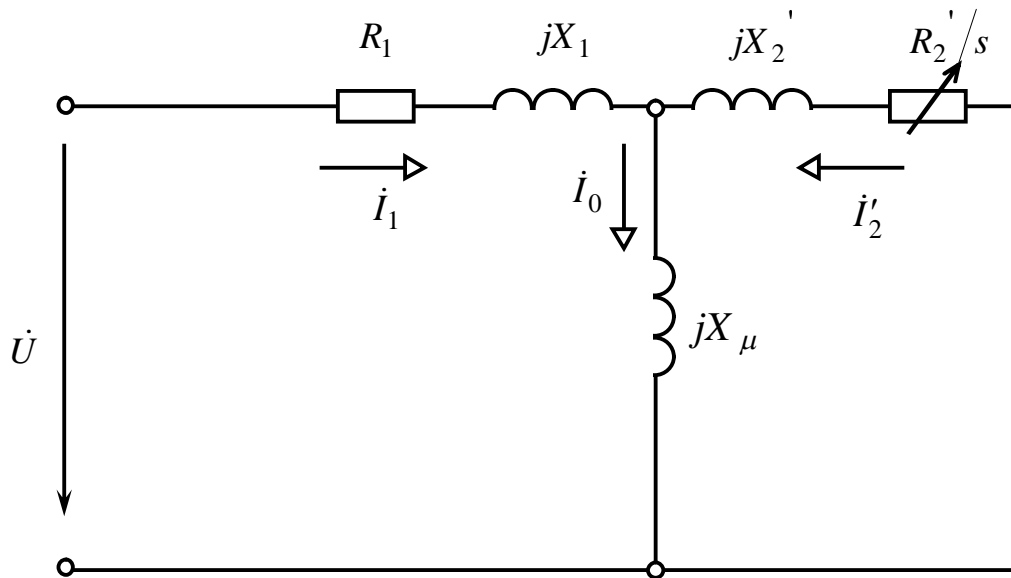


Рис. 1. T-образная схема замещения асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (для одной фазы):

R_1, R_2' – активные сопротивления фаз статора и ротора; X_1, X_2', X_μ – индуктивные сопротивления рассеяния фаз статора, ротора и ветви намагничивания.

Ток холостого хода с меньшей погрешностью найдём из выражения

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1p^*}^2 - \left(\frac{p^* (1 - S_H) \cdot I_{1H}}{(1 - p^* S_H)} \right)^2}{1 - \left(\frac{p^* (1 - S_H)}{(1 - p^* S_H)} \right)^2}}, \quad (1)$$

где I_{1H} – номинальный ток, А;

I_{1p^*} – ток при частичной нагрузке, равной $p^* = 0,5$.

Из формулы Клосса получаем соотношение для расчета критического скольжения

$$S_k = S_H \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 + 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1) - 1}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)}, \quad (2)$$

где $\beta = \frac{R_1}{C_1 R_2}$ – предварительный коэффициент жесткости;

$C_1 = 1 + \frac{\tilde{O}_1}{\tilde{O}_\mu}$ – конструктивный коэффициент.

Принимаем $\beta = 1,2$ – при этом наблюдаются наименьшие погрешности расчета.

Конструктивный коэффициент определяется по формуле

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2K_i I_{1H}}, \quad (3)$$

где \hat{E}_s – кратность пускового тока.

Запишем основные уравнения асинхронного двигателя для режима номинальной нагрузки:

$$\begin{cases} \dot{U} = -\dot{A}_1 + jX_1 \dot{I}_{1f} + R_1 \dot{I}_{1f}; \\ 0 = \dot{A}_1 + jX_2' \dot{I}_2' + R_2' \frac{\dot{I}_2'}{S_f}; \\ \dot{I}_{1f} = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2'). \end{cases} \quad (4)$$

Спроектируем

токи на ось, проходящую через вектор U :

$$I_{1f} \cos \varphi_{1f} = I_0 \cos \varphi_0 + I_2' \cos \varphi_2. \quad (5)$$

Найдём проекцию тока ротора $I_2' \cos \varphi_2$, для чего определим ток I_2' из системы (4):

$$I_2' = \frac{U}{Z_1 + C_1 Z_2'}, \quad (6)$$

где $Z_1 = R_1 + jX_1$;

$$Z_2' = R_2' + jX_2',$$

тогда:

$$I_2' \cos \varphi_2 = \frac{U \left(R_1 + C_1 \frac{R_2'}{S_f} \right)}{\left(R_1 + C_1 \frac{R_2'}{S_f} \right) + (X_1 + C_1 X_2')}. \quad (7)$$

Это соотношение представим в виде:

$$I_2' \cos \varphi_2 = \frac{U \left(\beta + \frac{1}{S_i} \right)}{C_1 R_2' \left(\left(\beta + \frac{1}{S_i} \right)^2 + \gamma^2 \right)}, \quad (8)$$

где $\gamma = \frac{X_i}{\tilde{N}_1 R_2'}$;

$$X_i = \tilde{O}_1 + \tilde{N}_1 \tilde{O}_2'.$$

Подставим (8) в (5) и получаем выражение:

$$U \left(\beta + \frac{1}{S_i} \right) = \tilde{N}_1 R_2' (I_{1i}' \cos \varphi_{1i} - I_2' \cos \varphi_2) \cdot \left(\left(\beta + \frac{1}{S_i} \right)^2 + \gamma^2 \right). \quad (9)$$

Из выражений для максимального момента

$$\dot{I}_e = \frac{mU^2}{2\omega_1 C_1 (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_i^2})} \quad (10)$$

и критического скольжения

$$S_k = \frac{C_1 R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (\tilde{O}_1 + \tilde{N}_1 \tilde{O}_2')^2}} = \frac{1}{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \quad (11)$$

получаем следующее уравнение

$$\frac{\dot{I}_e 2\omega_1 C_1}{mU^2} = \frac{1}{C_1 R_2' (\beta + 1/S_k)}, \quad (12)$$

где $\omega_1 = 2\pi f$; f – частота сети.

Уравнение (8) и (12) с учетом (11) объединим в систему, которая при подстановке в (12) $M_e = \frac{P_{2i} m_e}{(1 - S_i)}$ принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{mU^2(1 - S_i)}{2\omega_1 C_1 m_e D_{2i}} = \tilde{N}_1 R_2' \left(\beta + \frac{1}{S_k} \right); \\ \left(\beta + \frac{1}{S_i} \right) = \tilde{N}_1 R_2' \left(\frac{I_{1i}' \cos \varphi_{1i} - I_2' \cos \varphi_2}{U} \right) \times \left(\frac{2\beta}{S_i} + \frac{1}{S_i^2} + \frac{1}{S_k^2} \right). \end{cases} \quad (13)$$

В результате преобразований системы (13) получим квадратное уравнение относительно β и, решив его относительно β , получим истинное значение жесткости механической характеристики.

$$\beta^2 + B\beta + C = 0, \quad (14)$$

где $B = \frac{1}{S_H} + \frac{1}{S_k} - \frac{2A_0 A_1}{S_H}$; $C = \dots$ (15)

$$C = \frac{1}{S_n S_k} - A_0 A_1 \cdot \left(\frac{1}{S_n^2} + \frac{1}{S_k^2} \right); \quad (16)$$

$$A_0 = \frac{(I_{1n} \cos \varphi_{1n} - I_0 \cos \varphi_0)}{U}; \quad (17)$$

$$A_1 = \frac{mU^2(1 - S_n)}{2C_1 m_\kappa P_{2n}}. \quad (18)$$

Угол между током и напряжением φ_0 при работе на холостом ходу предварительно принимаем равным 87° .

Решив (11), находим:

$$\beta = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4C}}{2}. \quad (19)$$

Для двигателей серии 4А большой мощности (свыше 45 кВт) истинное значение коэффициента жесткости является величиной постоянной и равной $\beta = 1,2$. Для асинхронных двигателей других мощностей рассчитывается по формуле (19).

Определяем активное сопротивление ротора

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_k} \right) C_1}. \quad (20)$$

Тогда активное сопротивление статора

$$R_1 = C_1 R_2' \beta. \quad (21)$$

Из (11) находим значение γ , которое позволяет определить индуктивное сопротивление X_i

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{S_k^2} \right) - \beta^2}; \quad (22)$$

$$X_n = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2'. \quad (23)$$

Для того чтобы выделить из индуктивного сопротивления X_i сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных АД, тогда:

$$X_1 = 0,42 \tilde{O}_i; \quad (24)$$

$$\tilde{O}_2' = 0,58 \frac{\tilde{O}_i}{\tilde{N}_1}. \quad (25)$$

Согласно векторной диаграмме (рис. 2) ЭДС ветви намагничивания \dot{A}_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\dot{A}_1 = \sqrt{(U \cdot \cos \varphi_{1f} - R_1 I_{1f})^2 + (U \sin \varphi_{1f} + \tilde{O}'_{1f})^2}, \quad (26)$$

тогда
$$\tilde{O}'_{\mu} = \frac{\dot{A}_1}{2}. \quad (27)$$

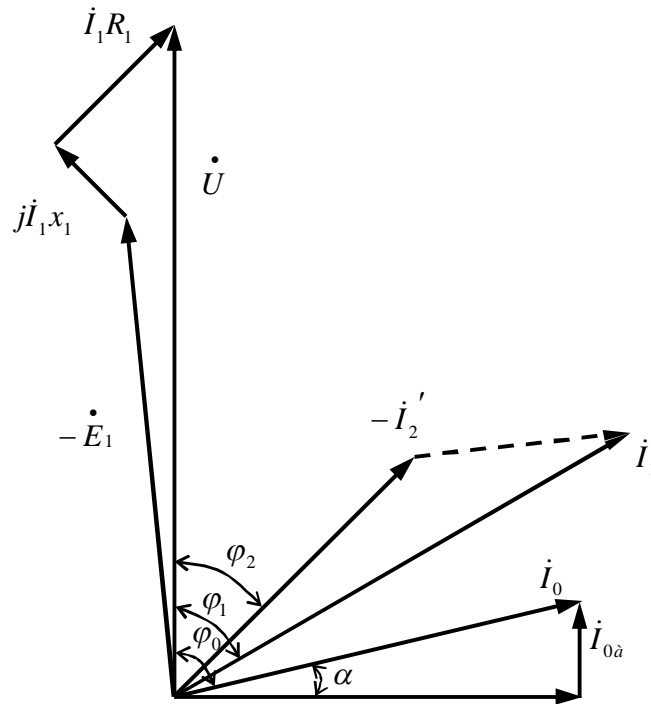


Рис. 2. Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений АД при номинальной нагрузке.

По предложенной методике был проведен расчет некоторых серий асинхронных электродвигателей. В таблице 1 представлены результаты расчета и их сравнение с проектными данными этих двигателей.

Таблица 1 – Результаты расчета

Тип	P, кВт	Параметры схемы замещения, отн. ед.				
		R_1	X_1	\tilde{O}'_{μ}	R'_2	\tilde{O}'_2
4A100S4, $U_H = 380$ В	3	0,081	0,101	2,51	0,0518	0,156
		0,078	0,089	2,2	0,053	0,13
А4-400У-4, $U_H = 6$ кВ	630	0,014	0,107	3,55	0,0114	0,0106
		0,013	0,127	3,88	0,0132	0,0119

Числитель – параметры рассчитанные по каталожным данным. Знаменатель – параметры, заложенные в проектные расчеты этих двигателей.

Выводы: таким образом, предложена альтернативная, комбинированная, бизитерационная методика определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя по каталожным данным.

Литература

1. *Мощинский Ю.А.* Определение параметров схемы замещения асинхронных машин по каталожным данным / *Ю.А. Мощинский, В.Я. Беспалов, А.А. Кирякин.* – Электричество. – 1998. – № 4. – С.38–42.

2. *Фираго Б.И.* Учебно-методическое пособие к курсовому проектированию по теории электропривода для студентов специальности 1-53 01 05 / *Б.И. Фираго.* – Мн.: БНТУ, 2004. – 88 с.

3. *Усольцев А.А., Лукичев Д. В.* Определение параметров модели асинхронного двигателя по справочным данным / *Усольцев А.А., Лукичев Д. В.* – Известие высших учебных заведений. Приборостроение. – 2005. – № 12. – С.35–41.

БЕЗИТЕРАЦИОННАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Островский А.В.

Аннотация

Предложена безитерационная методика определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя по каталожным данным.

THE UNITERATIVE METHOD IDENTIFICATION PARAMETERS OF EQUIVALENT CIRCUIT OF INDUCTION MOTOR

A. Ostrovsky

Summary

The uniterative method identification parameters of equivalent circuit of induction motor is offered on catalogue data.