

УДК 622.625.28-83

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВЗОВ

И. О. Синчук, В. Ю. Захаров, Л. В. Сменова, А. В. Омельченко

Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»
ул. XXII Партсъезда, 11, г. Кривой Рог, 50027, Украина. E-mail: speet@ukr.net

И. А. Луценко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина.

Приведены результаты исследований по разработке алгоритмов идентификации и оценке электрических параметров тяговых асинхронных двигателей. Предложена математическая модель электрического двигателя и метод расчета его постоянных времени. Обоснован способ определения реальных параметров асинхронных тяговых двигателей на базе новых информационных признаков, позволяющий реализовать простые и чувствительные по условию расчетов, устройства для идентификации и диагностики параметров двигателей, определения минимума дополнительных аппаратных устройств, требуемых для их реализации, отличающийся от известных способов относительной простотой вычислений и отсутствием сложных функций. Результаты проведенных исследований при микропроцессорном варианте системы управления тяговым комплексом шахтных электровозов свидетельствует о достаточно высокой универсальности и точности данного метода: максимальная ошибка составляет 6,2 %, минимальная – 0,13 %.

Ключевые слова: тяговые электротехнические системы, асинхронные тяговые электрические двигатели, идентификация, параметры, математические модели.

ИДЕНТИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОВЗІВ

І. О. Сінчук, В. Ю. Захаров, Л. В. Сменова, О. В. Омельченко

Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»
вул. XXII Партз'їзду, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна. E-mail: speet@ukr.net

І. А. Луценко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна.

Приведено результати досліджень з розробки алгоритмів ідентифікації та оцінки електричних параметрів тягових асинхронних двигунів. Запропоновано математичну модель електричного двигуна і метод розрахунку його постійних часу. Обґрунтовано спосіб визначення реальних параметрів асинхронних тягових двигунів на базі нових інформаційних ознак, що дозволяє реалізувати прості і чутливі, за умовою розрахунків, пристрої для ідентифікації та діагностики параметрів двигунів, визначення мінімуму додаткових апаратних пристроїв, необхідних для їх реалізації, що відрізняється від відомих способів відносною простотою обчислень та відсутністю складних функцій. Результати проведених досліджень при мікропроцесорному варіанті системи управління тяговим комплексом шахтних електровозів свідчить про достатньо високий рівень універсальності та точності даного методу: максимальна похибка складає 6,2 %, мінімальна – 0,13 %.

Ключові слова: тягові електротехнічні системи, асинхронні тягові електричні двигуни, ідентифікація, параметри, математичні моделі.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Энергоэффективность функционирования электрифицированных видов транспорта вообще и энергоэффективность, в частности, определяется, прежде всего, видом используемых тяговых электромеханических комплексов (ТЭМК). В силу ряда основополагающих достоинств к числу энергоэффективных тяговых ТЭМК относятся комплексы: IGBT-преобразователи – асинхронные двигатели. Такие структуры ТЭМК находят свое достойное применение в тяговых системах отечественных магистральных и в различных видах промышленных электровозов [1].

Как свидетельствует опыт зарубежных фирм, создавших образцы соответствующих структур энергоэффективных ТЭМК, одной из ключевых слагаемых таких комплексов, должно быть наличие подсистем мониторинга состояния электрических параметров тягового электрооборудования, в том числе электрических двигателей.

К вышесказанному добавим, что новые совре-

менные отечественные образцы промышленных, в том числе шахтных, электровозов с тяговыми асинхронными электромеханическими комплексами пока еще только начинают “пробивать себе дорогу” в общегосударственный электровозный парк. Поэтому исследование и разработка подсистем мониторинга состояния электрооборудования шахтных электровозов вообще и их слагаемых систем ТЭМК, в частности, является задачей не только актуальной, но и своевременной [2].

Анализ исследований и публикаций. Предложения по оценке и контролю параметров различных видов асинхронных электрических двигателей (АД) в процессе эксплуатации многочисленны. В одних из них предлагается диагностировать АД в специальных режимах, например, при пуске, пониженном напряжении и заторможенном роторе [3]. В других – измерять пульсации тока статора, активную мощность и скольжения ротора двигателя [4, 5]. Однако эти методы сложны, дороги, а главное – не достаточно

ефективны, особливо для умов шахтних електровозов с их основоопределяющими условиями эксплуатации [1].

Цель работы – разработка методов идентификации электрических параметров тяговых асинхронных двигателей шахтных электровозов.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В ряде исследований [3–10] для идентификации параметров ТАД предлагаются алгоритмы проведения процедуры этого процесса. В частности, при допустимых отклонениях реальных параметров ТАД от их паспортных данных, используя массивы данных о переходных процессах, проводится поиск характерных точек, необходимых для определения слагаемых комплекса электрических параметров двигателей.

“Рамочно” алгоритм определения характерных точек заключается в следующем. Машинограмма переходного процесса по постоянному току двигателя аппроксимируется двумя линейными графиками L_{n1} и L_{n2} (рис. 1), характеризующих начальный и конечный временные периоды переходного процесса. Точка пересечения графиков определяет характерную точку с временной координатой T_{per} , относительно которой выбираются значения токов для определения взаимоиндукции статора и ротора L_{μ} .

Точка пересечения T_{per} определяется по следующему алгоритму.

По значениям тока определяются коэффициенты уравнений линейных зависимостей изменения тока на линейных участках в начале и конце переходного процесса.

В общем случае уравнение для данного участка графика L_{n1} имеет вид:

$$I(t) = a + bt. \quad (1)$$

Ток I_0 и I_1 в моменты времени соответственно t_0 и t_1 .

$$I_0 = a + b_1 t_0; \quad I_1 = a + b_1 t_1. \quad (2)$$

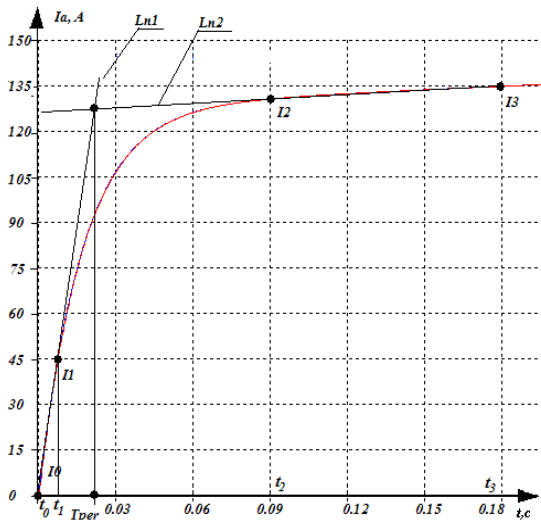


Рисунок 1 – График переходного процесса в тяговом асинхронном двигателе по току и его аппроксимация

Решая полученную систему уравнений относительно постоянных коэффициентов a_1 и b_1 , получим:

$$a_1 = \frac{I_0 t_1 - I_1 t_0}{t_0 - t_1}; \quad b_1 = \frac{I_1 - I_0}{t_1 - t_0}. \quad (3)$$

Уравнение линий L_{n1} и L_{n2} :

$$L_{n1}(t) = \frac{I_0 t_1 - I_1 t_0}{t_0 - t_1} + \frac{I_1 - I_0}{t_1 - t_0} t; \quad (4)$$

$$L_{n2}(t) = \frac{I_2 t_3 - I_1 t_2}{t_2 - t_3} + \frac{I_3 - I_2}{t_3 - t_2} t. \quad (5)$$

Точка пересечения T_{per} определяется из условия $L_{n1} = L_{n2}$:

$$T_{per} = \frac{\frac{I_2 t_3 - I_1 t_2}{t_2 - t_3} - \frac{I_0 t_1 - I_1 t_0}{t_0 - t_1}}{\frac{I_1 - I_0}{t_1 - t_0} - \frac{I_3 - I_2}{t_3 - t_2}}. \quad (6)$$

С учетом шага дискретности определяются порядковые номера координат тока K_{t1} и K_{t2} , по которым будут производиться расчеты определения параметров:

$$K_{t1} = \frac{T_{per}}{\Delta t} - N; \quad K_{t2} = \frac{T_{per}}{\Delta t} + N, \quad (7)$$

где N – целое число, которое подбирается при отладке программного обеспечения.

Постоянные времени P_{i1} и P_{i2} контура возбуждения определяются относительно координатной точки $K_{t_{per}} = T_{per}/\Delta t$ (рис. 2).

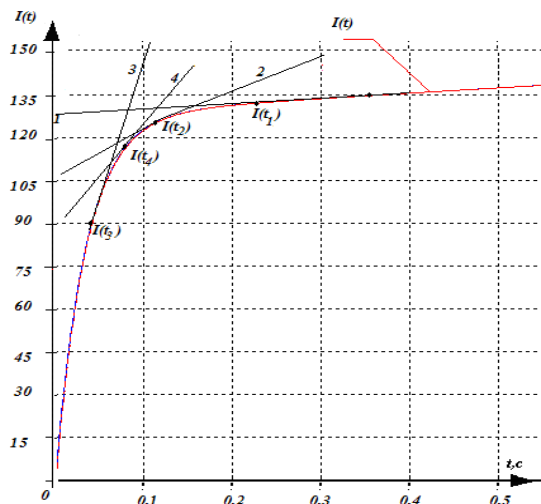


Рисунок 2 – График протекания переходного процесса по току статора тягового асинхронного двигателя

По значениям токов относительно координаты K_{t2} выбираются N_k значений токов I_{p2} и I_{p2-1} , по которым определяются значения постоянных времени P_{i2} и P_{i1} с использованием следующих математических выражений:

$$d I_{21} = \frac{I_{p2} - I_{p2-1}}{\Delta t}; \quad (8)$$

$$d I_{22} = \frac{I_{p2+10} - I_{p2-1+10}}{\Delta t}; \quad (9)$$

$$P_{i2} = \frac{d I_{21} - d I_{22}}{I_{p2+10} - I_{p2-1+10}}; \quad (10)$$

$$P_{i1} = \frac{1}{I_{p1}} \text{Log} \frac{I_{ust}(1 - e^{P_{i2} K_{i2} \Delta t}) + I_{p2} e^{P_{i2} K_{i2} \Delta t}}{I_{p2} - I_{p2-1} P_{i2}}; \quad (11)$$

$$D_a = \frac{I_{ust}(1 - e^{P_{i2} K_{i2} \Delta t}) + I_{p2} e^{P_{i2} K_{i2} \Delta t}}{I_{ust} e^{P_{i2} K_{i2} \Delta t} - I_{p2} e^{P_{i2} K_{i2} \Delta t}}. \quad (12)$$

Применяя формулы первых членов разложения по степенному ряду для уравнений:

$$P_{i2} = \frac{d I_{21} - d I_{22}}{I_{p2+10} - I_{p2-1+10}}; \quad (13)$$

$$P_{i1} = \frac{1}{I_{p1}} \text{Log} \frac{I_{ust}(1 - e^{P_{i2} K_{i2} \Delta t}) + I_{p2} e^{P_{i2} K_{i2} \Delta t}}{I_{p2} - I_{p2-1} P_{i2}}; \quad (14)$$

$$D_a = \frac{I_{ust}(1 - e^{P_{i2} K_{i2} \Delta t}) + I_{p2} e^{P_{i2} K_{i2} \Delta t}}{I_{ust} e^{P_{i2} K_{i2} \Delta t} - I_{p2} e^{P_{i2} K_{i2} \Delta t}}. \quad (15)$$

Получаем приближенные формулы определения значений постоянных времени P_{i1} и P_{i2} ТАД:

$$P_{i2}^1 = \frac{d I_{21} - d I_{22}}{I_{p2+10} - I_{p2-1+10}}; \quad (16)$$

$$P_{i1} = \frac{1}{I_{p1}} \text{Log} \left[\frac{(I_{ust} + I_{p2}) P_{i2}^1 K_{i2} \Delta t}{I_{p2} - I_{p2} P_{i2}^1} \right]; \quad (17)$$

$$D_a^1 = \frac{I_{ust} P_{i2}^1 K_{i2} \Delta t + I_{p2} (1 - P_{i2}^1 K_{i2} \Delta t)}{(I_{ust} - I_{p2})(1 - P_{i2}^1 K_{i2} \Delta t)}. \quad (18)$$

Используем разложение логарифмической функции в степенной ряд и ограничимся первыми двумя членами, т.к. аргумент логарифмической функции имеет порядок $10^{-3} - 10^{-4}$.

Таким образом, значение P_{i1} можно определить, используя следующее выражение:

$$P_{i1} = \frac{1}{I_{p1}} \left\{ \left[\frac{(I_{ust} + I_{p2}) P_{i2}^1 K_{i2} \Delta t}{I_{p2} - I_{p2} P_{i2}^1} - 1 \right] - \frac{1}{2} \left[\frac{(I_{ust} + I_{p2}) P_{i2}^1 K_{i2} \Delta t}{I_{p2} - I_{p2} P_{i2}^1} - 1 \right]^2 \right\}. \quad (19)$$

Усреднение значений постоянных времени P_{i1} и P_{i2} достаточно производить по пяти соседним значениям тока в окрестностях точек с координатами I_{p1} и I_{p2} (рис. 2).

Используя аналитическое выражение разности

ΔP постоянных времени P_{i1} и P_{i2} контура возбуждения асинхронного двигателя:

$$\Delta P = P_{i2} - P_{i1} = \frac{1}{L_S L_r - L_\mu^2} \cdot \sqrt{(R_S L_r + R_r L_S)^2 + 4 R_S L_r L_\mu^2} \quad (20)$$

Получим равенство:

$$\Delta P (L_S L_r - L_\mu^2) = \sqrt{(R_S L_r + R_r L_S)^2 + 4 R_S L_r L_\mu^2}. \quad (21)$$

Используя конструктивные коэффициенты асинхронного двигателя K_{ls} и K_{lr} , связывающие индуктивные сопротивления статора и ротора соотношениями $L_S = K_{ls} \cdot L_\mu$ и $L_r = K_{lr} \cdot L_\mu$, получим квадратное уравнение относительно L_μ , записанное в виде:

$$L_\mu^2 + L_\mu \frac{\Delta P}{K_{LS} P_{i1} P_{i2}} + \frac{K_{Lr} R_S^2}{K_{LS} P_{i1} P_{i2} (K_{LS} K_{Lr} - 1)} = 0 \quad (22)$$

Решение полученного уравнения определяет взаимную индуктивность статора и ротора асинхронного двигателя:

$$L_{\mu 1,2} = -\frac{\Delta P}{2 K_{LS} P_{i1} P_{i2}} \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{2 K_{LS} P_{i1} P_{i2}} \right)^2 - \frac{K_{Lr} R_S^2}{K_{LS} P_{i1} P_{i2} (K_{LS} K_{Lr} - 1)}}. \quad (23)$$

Более простой путь определения главной индуктивности, заключается в следующем.

Определим сумму постоянных времени P_{i1} и P_{i2} :

$$P_{i1} + P_{i2} = -(R_S L_r + R_r L_S). \quad (24)$$

С учетом $K_{lr} = L_r / L_\mu$; $K_{ls} = L_S / L_\mu$; $K_{sr} = R_r / R_S$; $K_{sr} = P_{i1} P_{i2} L_\mu^2 (K_{ls} K_{lr} - 1) / R_S^2$ окончательно получим формулу для расчета главной индуктивности:

$$L_\mu = \left(-\frac{R_{SR} (P_{i1} + P_{i2})}{K_{LS} P_{i1} P_{i2}} + \frac{R_{SR} (D_a P_{i1} + P_{i2})}{(1 + D_a) K_{LS} P_{i1} P_{i2}} \right). \quad (25)$$

При известных индуктивностях рассеяния статора и ротора, определяющих полные индуктивности с учетом взаимной индуктивности статора и ротора:

$$L_S = L_\mu + L_{SK}; L_r = L_\mu + L_{RK}. \quad (26)$$

Получим второй вариант расчета взаимной индуктивности статора и ротора статора и ротора.

Введем обозначения:

$$B = R_S + R_S K_{RS}, C = R_S (L_{RK} + K_{RS} L_{SK}).$$

Используя значение разности ΔP электромагнитных постоянных времени, получим уравнение:

$$\Delta P (L_S L_r - L_\mu^2) = \sqrt{(R_S L_r + R_r L_S)^2 + 4 R_S L_r L_\mu^2}. \quad (27)$$

Его решение – это взаимная индуктивность статора и ротора:

$$L_{\mu 1,2} = -\frac{2BC - \Delta P(L_{SK} - L_{RK})}{2(B^2 + C^2 + 4R_S^2 L_{SK} K_{RS})} \pm \sqrt{\frac{(2BC - \Delta P(L_{SK} - L_{RK}))^2}{4(B^2 + C^2 + 4R_S^2 L_{SK} K_{RS})} + \frac{4\Delta P L_{SK} L_{RK}}{(B^2 + C^2 + 4R_S^2 L_{SK} K_{RS})^2}} \quad (28)$$

Процедура вычислений, представленная структурной схемой на рис. 3, заключается в следующем.

Оператор 2 обеспечивает ввод массива данных тока $I_{a1} \dots I_{a_{kms}}$, полученных экспериментальным путем, и предварительно рассчитанных значений $R_s, R_r, K_{ls}, K_{lr}, P_{i1}, P_{i2}$. Оператор 3 вычисляет значение ΔI_0 путем численного интегрирования массива экспериментального тока.

Оператор 4 изменяет конструктивный коэффициент K_{ls} .

Оператор 5 производит вычисление индуктивностей обмоток статора и ротора, которые используются при решении системы дифференциальных уравнений.

Оператором 6 решение системы – массив рассчитанного тока численно интегрируется и его величина ΔI_1 сравнивается с ΔI_0 . Логический оператор 7 проверяет условие $\Delta I_0 < \Delta I_1$.

Для решения дифференциальных уравнений предлагается использовать метод Башарина [4–6], который обладает достаточной точностью вычислений при минимальном количестве операций.

Расчеты проводились для реального, хотя и экспериментального образца тягового асинхронного электрического двигателя АД–55Р мощностью 55 кВт изготовленного для шахтных электровозов типа К14.

Машинограмма расчета системы дифференциальных уравнений возбуждением асинхронного двигателя переходного процесса по току статора асинхронного двигателя при включении на постоянное напряжение, при изменении K_{ls} на величину, равную $-\Delta K_{ls}$, приведена на рис. 4.

Начальный шаг приближения $\Delta K_{ls} = 0,016$, начальное приближение $K_{ls} = 1,17$. Время графики: $T_{fn} = 0,0000000E+00$; $T_{fk} = 8,000000$ с.

После седьмого приближения машинограммы переходных процессов при заданных параметрах и построенных по результатам экспериментальных значений тока совпадают.

Параметры исследуемого асинхронного двигателя, рассчитанные по измеренным токам в переходных процессах при пуске и установившихся режимах работы: $R_s = 0,067088157$ Ом; $R_r = 0,030110942$ Ом; $L_s = 0,029435014$ Гн; $L_r = 0,027862389$ Гн; $L_m = 0,027821375$ Гн; $J_m = 11,59000$ кгм²; $M_{ng} = 48,40000$ Нм; $K_{lr} = 1,001474$; $K_{ls} = 1,058000$; $K_{sr} = 0,4488265$; $T_{i1} = 0,016940571$ с; $T_{i2} = 1,347136$ с.

Ошибки между реальными и рассчитанными значениями электромагнитных постоянных времени и электрическими параметрами составляют:

$\Delta R_s = 0,13$ %; $\Delta R_r = 0,36$ %; $\Delta T_{i1} = 0,9357$ %;

$\Delta T_{i2} = 0,51$ %; $\Delta L_\mu = 3,06$ %; $\Delta L_s = 1,20$ %; $\Delta L_r = 6,20$ %.

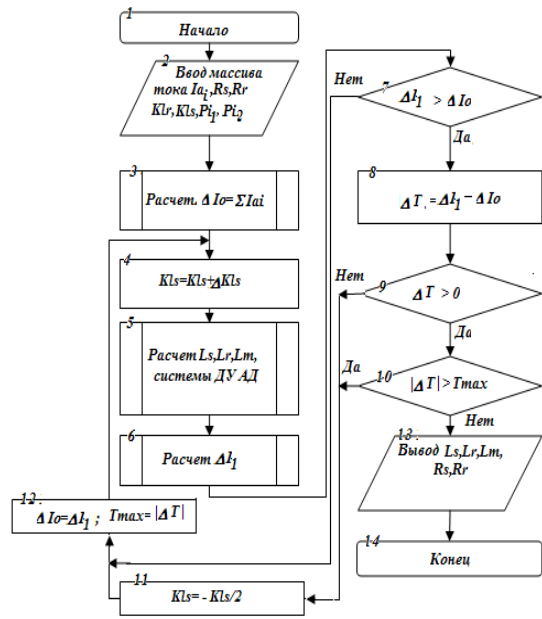


Рисунок 3 – Алгоритм вычислений индуктивных сопротивлений тягового асинхронного двигателя

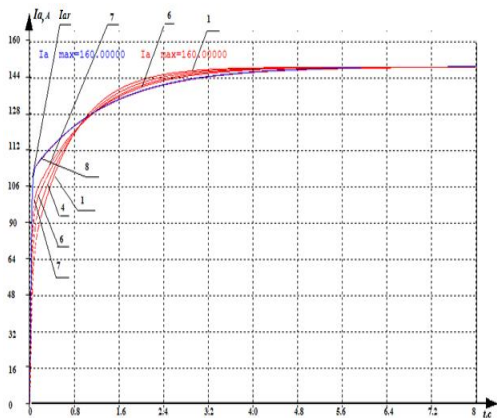


Рисунок 4 – Машинограммы тока статора двухфазного включения на постоянное напряжение при определении оптимального K_{ls}

ВЫВОДЫ.

1. Разработанный и предлагаемый для практической реализации в структурах тяговых электротехнических комплексов метод идентификации параметров электрических асинхронных двигателей основан на обработке алгоритма приближений с прямым решением дифференциальных уравнений и сравнении получаемых вычислительных результатов с паспортными (экспериментальными) значениями, отличается от известных относительной простотой вычислений и отсутствием сложных функций.

2. Результаты проведенных исследований при микропроцессорном варианте системы управления тяговым комплексов шахтных электровозов свидетельствует о достаточно высокой универсальности и точности данного метода: максимальная ошибка составляет 6,2 %, минимальная – 0,13 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синчук О.Н., Гузов Е.С., Омельченко А.В. и др. К вопросу стратегии создания энергоэффективного и безопасного в эксплуатации двухосного электровоза для рудных шахт // *Гірничий вісник: наук.-техн. збірник*. – Кривий Ріг, 2012. – Вип. 95 (1). – С. 139–143.

2. Оат Г.П. Исследование нагрузок тяговых двигателей электровозов рудных шахт: автореф. дисс. ... к.т.н. – Кривой Рог, 1962. – 18 с.

3. Синчук О.Н., Гузов Э.С., Омельченко А.В. и др. Вероятностно-статистический метод расчёта электрических нагрузок тяговых двигателей рудничных электровозов // *Электротехнические и компьютерные системы: науч.-техн. журнал*. – К.: Техника, 2012. – Вып. № 7 (83). – С. 34–41.

4. Проектирование электрических машин: учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов, Ф.А. Горянов, Б.К. Клоков и др.; под общ. ред. И.П. Копылова. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.

5. Определение скорости и постоянной времени ротора асинхронного двигателя с помощью адаптивного наблюдателя / Е.М. Потапенко, Е.Е. Потапенко, А.В. Соломаха // *Матеріали 12-ої*

Міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика-2005». – Харків: НТУ«ХПІ», 2005. – Т. 2. – С. 123–124.

6. Башарин А.И., Постников Ю.В. Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ: учеб. пособие для вузов. – 3-е изд. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд., 1990. – 512 с.

7. Столяров И.М., Слепцова З.Н. Определение параметров асинхронной машины // *Изв. вузов. Горн. журн.* – 1984. – № 10. – С. 96–98.

8. Определение параметров условно-нелинейной модели асинхронной машины / Ю.А. Берюляев, П.В. Ермутский, Г.П. Лычкин и др. // *Электрическое моделирование*. – 1985. – Т. 7, № 5. – С. 89–92.

9. Deleroi W. Определение параметров асинхронных машин по результатам измерений под нагрузкой // *Etz. Arch.* – 1985. – Vol. 7, № 10. – С. 329–336.

10. А.с. СССР 1372259 Способ определения активных и индуктивных сопротивлений рассеяния обмотки ротора асинхронного двигателя / Рогозин Г.Г., Печуркин Ю.И., Пятлина Н.Г., Алексеев В.И.; заявл. 24.07.86.

IDENTIFICATION OF ELECTRICAL PARAMETERS OF TRACTION INDUCTION MOTORS OF ELECTRICAL LOCOMOTIVES

I. Sinchuk, V. Zakharov, L. Smenova, A. Omelchenko

Kryvyi Rih National University

vul. XXII Parts'ezda 11, Kryvyi Rih, 50027, Ukraine. E-mail: speet@ukr.net

I. Lutsenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine.

In this article the authors have presented the research results on the algorithms development for identification and evaluation of electrical parameters of traction induction motors. As a research result the mathematical model of the electric motor and the calculation technique for its time constants were proposed. Also, the authors have validated the way to determine the real parameters of traction induction motors based on new information signs. This method allows, depending on calculation conditions, fulfilling simple and sensitive motor parameters identification and diagnostic devices, and determining the minimum of the additional equipment required for their implementation. The suggested method differs from the known ones by comparative simplicity of calculations and the absence of complex functions. The research results, while using the microprocessor type of the control system of the mining electric locomotives' traction complex, indicate high-levelled universality and precision of this method: the maximum inaccuracy is 6,2 % and the minimum – 0,13 %.

Key words: traction electrical technical systems, induction traction motor, identification, parameters, mathematical model.

REFERENCES

1. Sinchuk, O.N., Guzov, E.S., Omelchenko, A.V., Shokarev, D.A., Skapa, E.I. (2012). "On the strategy of creating energy-efficient and safe to use for a two-axle electric ore mines", *Mining Journal*, vol. 95, no. 1, pp. 39–143.

2. Oat, G.P. (1962), "Research the loads of electric traction engines of ore mines" Thesis abstract for Cand. Sc. (Engineering), Krivyyi Rih Mining Institute, Krivyyi Rih, Ukraine.

3. Sinchuk, O.N., Guzov, E.S., Omelchenko, A.V., Skapa, E.I., Chernava, V.O. (2012). "Probabilistic and statistical method for calculating electric loads of traction engines for ore-mine electric locomotives". *Electrical and Computer Systems*, vol. 7, no. 83, pp. 34–41.

4. Kopylov, I.P., Goryanov, F.A. and Klocov, B.K. (1980), *Proektirovanie elektricheskikh mashin* [Design of electrical machines], Energiya, Moscow, Russia.

5. Potapenko, E.M., Potapenko, E.E. and Solomaha, A.V. (2005), "Determination of speed and rotor time constant induction engine with using adaptive observer", *Materials of the 12th international conference for automatic control "Automation-2005"*, Kharkiv, 2005, pp. 123–124.

6. Basharin, A.I. and Postnikov, Yu.V. (1990), *Primeryi rascheta avtomatizirovannogo elektroprivoda na EVM* [Examples of computer calculation of automated electric drive], Energoatomizdat, St.-Petersburg, Russia.

7. Stolyarov, I.M., Sleptsova Z.N. (1984), "Determination of parameters in induction machine", *Mining Journal*, vol. 10, pp. 102–105.

8. Beryulyaev, Yu.A., Ermutskiy, P.V., and Lyichkin, G.P. (1985), *Opređenje parametrov uslovno-nelineinoy modeli asinhronnoy mashiny* [Determination of parameters of conditional nonlinear model of asynchronous machines], Russia, pp. 89–92.

9. Deleroi, W. (1985), Defining the parameters of induction machines as measured under load, *Etz. Arch.*, vol. 7, no. 10, pp. 329–336, Germany.

10. Rogozin, G.G., Pechurkin, Yu.I., Pyatlina, N.G. and Alekseev, V.I. (1986), Method of determining the active and inductive resistances scattering winding rotor induction motor, Author's certificate 1372259, of June 24, 1986, USSR.

Стаття надійшла 15.10. 2013.