

**К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ  
ПРИ РАЗНОЧАСТОТНОМ ТЕСТОВОМ НАПРЯЖЕНИИ**

**Д. В. Резник, Д. И. Родькин, А. П. Черный**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: saue@polytech.poltava.ua

Рассмотрены особенности определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей с использованием Т-образной схемы замещения при питании низкочастотным напряжением. Введено понятие функции чувствительности, и указан диапазон частот напряжения питания, на котором можно определить электромагнитные параметры асинхронного двигателя.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, электромагнитные параметры, низкочастотное напряжение, функция чувствительности.

**ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ  
ПРИ РІЗНОЧАСТОТНІЙ ТЕСТОВІЙ НАПРУЗІ**

**Д. В. Резнік, Д. Й. Родькін, О. П. Чорний**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: saue@polytech.poltava.ua

Розглянуто особливості визначення електромагнітних параметрів асинхронних двигунів за Т-подібною схемою заміщення при живленні від джерела низькочастотної напруги. Введено поняття функції чутливості, та зазначено діапазон частот напруги живлення, на яких можливо визначити електромагнітні параметри асинхронного двигуна.

**Ключові слова:** асинхронний двигун, електромагнітні параметри, низькочастотна напруга живлення, функція відгуку.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** За последние 10 лет только в Украине в трудах конференций разного уровня, затрагивающих вопросы электромеханики, в особенности в сфере исследования и применения асинхронных двигателей, опубликовано более 100 статей, посвященных анализу особенностей применения различных схем замещения в соответствии с конкретными потребностями, например [1–4].

Обсуждаемый вопрос не стал яснее, несмотря на обилие публикаций с самыми оптимистическими результатами. В этой связи возникает необходимость внести определенную ясность в обсуждение вопроса.

Известно, что схема замещения электрической машины, – по существу математическая модель процессов, протекающих в электромеханическом преобразователе в конкретном режиме его работы. Последнее замечание особенно важно, т.к. указывает на то, что нет какой-то единой схемы замещения, которая отвечала бы широкой гамме режимов, характерных в полной мере объекту исследования.

Во-первых, почему приводится Т-образная схема замещения в сравнении, например, с Г-образной. Схема замещения с контуром намагничивания за индуктивностью рассеяния прежде всего позволяет в известной мере анализировать: процессы формирования вращающегося магнитного поля с учетом изменения напряжения на контуре намагничивания после определения тока ротора, т.е. нагрузки; влияние потерь в стали как на общий энергетический режим машины, так и ее составные части – ротор и статор; позволяет определить связь нелинейности кривой намагничивания с качеством преобразования энергии, выраженной в форме нелинейных искажений развиваемого двигателем момента, ростом виб-

рации и др. Эта сторона вопроса до настоящего времени изучена лишь с качественной стороны.

Другой аспект проблемы заключается в ответе на вопрос, как и каким образом, используя Т-образную схему замещения (рис. 1), можно учесть известные явления: вытеснение тока в роторной системе обмоток при пуске и близких к нему режимах, как учитывать механическую нагрузку, и в особенности ее нелинейную зависимость, от скорости, как учитывать эффект вихревых токов и в особенности влияние этого явления на возможную конфигурацию схемы замещения в плане изменения индуктивностей рассеяния статора и ротора, и др. Подобные вопросы достаточно объективно поставлены и частично решены в публикации [5].

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Результатами исследований является вывод о том, что Т-образная схема замещения, будучи достаточно успешным инструментом для исследования, не может быть применена в одном каком-то начертании при использовании ее для самых разнообразных режимов (рис. 1). Схема должна модифицироваться в зависимости от режима, при котором анализируются параметры электрической машины:

– в режиме низкочастотного питания без насыщения стали (потери в стали можно считать несущественно малыми, эффект вытеснения отсутствующим, влияние вихревых токов пренебрежимо малым);

– при работе в режиме холостого хода в контуре намагничивания необходимо включение сопротивления ответственного за потери в стали, причем указанное сопротивление должно нелинейно зависеть от частоты перемагничивания ( $R_m = R_{m_0} v^\alpha$ );

– эффект вытеснения следует представлять вве-

дением в цепь ротора активного сопротивления, зависящего от скольжения (от частоты тока в роторе);

– влияние вихревых токов следует учитывать дополнительным сопротивлением, включаемым в цепи статора и ротора в зависимости от особенностей характеристик пакетов стали.

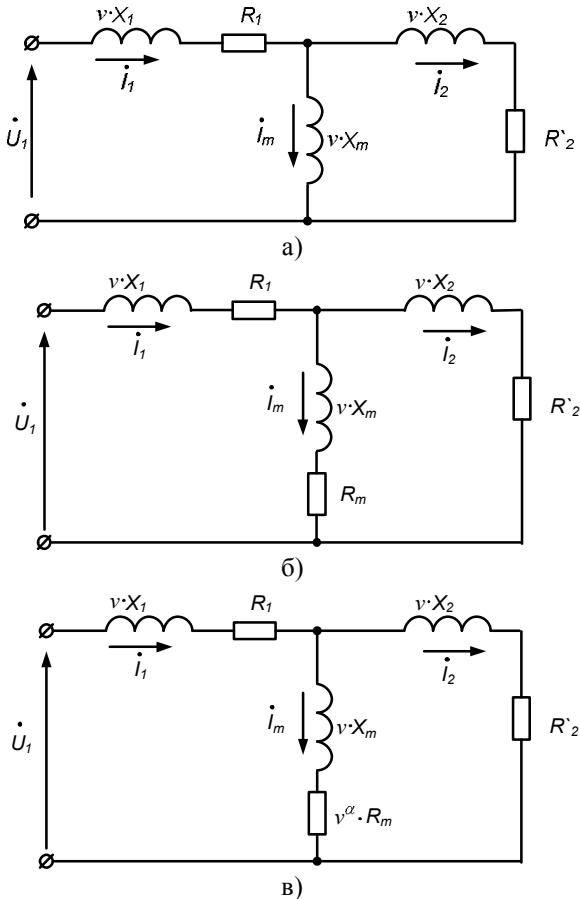


Рисунок 1 – Расчетные схемы замещения:  
 а) без учета потерь в стали; б) с учетом потерь в форме постоянного сопротивления  $R_m$ ; в) схема замещения с нелинейным сопротивлением в контуре намагничивания

Основой всех отмеченных выше и возможных схем замещения является простейшая, включающая три ветви:  $R_1, X_1$  – в статоре,  $R_2, X_2$  – в роторе,  $X_m$  – в контуре намагничивания. Другие схемы замещения будут отличаться степенью сложности той или иной ветви. Указанное обстоятельство, затрагивающее общий принцип формирования расчетной схемы замещения, не затрагивает такие аспекты, как сложность расчетных операций, пути решения идентификационных уравнений. При этом очевидным является то, что усложнение схемы замещения неизбежно приводит к росту числа неизвестных, определению которых, собственно, и посвящена решаемая задача. Это затруднение в конечном итоге связано, с одной стороны, с ростом числа неизвестных, а с другой – ограниченным числом идентификационных уравнений.

В данном случае задача идентификации параметров заключается в определении токов контура намагничивания  $I_m(v)$  и роторного контура  $I_2(v)$ , и их отличие друг от друга при изменении частоты – объективный материал для решения идентификационной задачи.

Техническая сторона вопроса при анализе Г-образной схемы замещения достаточно тривиальна – необходимо получение представительной функции чувствительности при изменении возмущения – напряжения питания соответствующей частоты.

Под функцией чувствительности (рис. 2) для параллельного контура ветвей намагничивания и ротора удобно рассматривать отношение при изменении частоты:

$$c_v(v) = \frac{I_m(v)}{I_2(v)}, \quad (1)$$

где  $I_m(v)$  – ток контура намагничивания;  $I_2(v)$  – ток ротора,  $v$  – относительная частота питающего напряжения.

Важна не только величина  $c_v$ , но, и это главное, изменение функции чувствительности при изменении частоты, т.е. производная:

$$\frac{dc_v(v)}{dv} = \frac{d}{dv} \frac{I_m(v)}{I_2(v)}. \quad (2)$$

В случае, если  $c_v$  неизменно по величине при изменении  $v$ , то операция по «разделению» ветвей параллельного контура затрудняется, т.к. изменение  $v$  не приводит к отличию отклонения токов  $I_2$  и  $I_m$ , т.е. их отношение постоянно.

Для схем замещения, представленных на рис. 1, функции чувствительности приведены на рис. 2. Здесь и далее расчеты выполнены для асинхронного двигателя 4A250S10Y3 с паспортными данными:  $P_n = 30$  кВт,  $I_n = 63,8$  А,  $n_0 = 600$  об/мин. Каждой схеме замещения соответствует своя функция чувствительности. При этом следует отметить, что в случае нелинейного сопротивления в контуре намагничивания ( $R_m = R_{m0} v^\alpha$ ) характеристика имеет две характерные точки, а именно:

- при  $v \rightarrow 0$  – точка а, соответствует схеме на рис. 1,а;
- при  $v \rightarrow 1$  – точка б, соответствует схеме на рис. 1,б.

Данное обстоятельство в конечном итоге позволит определить значение  $R_m$  характеризующей потери в стали – величины, изменяющейся в ходе эксплуатации и определяющей изменение ресурса АД.

В случае, если  $\frac{dc_v(v)}{dv}$  не равно нулю в некоторой зоне изменения  $v$  или на всей числовой оси, то это означает, что имеются достаточные предпосылки для успешного решения задачи идентификации. Так, схема рис. 1,а может быть отнесена к схемам, легко идентифицируемым при  $v \rightarrow 0$ .

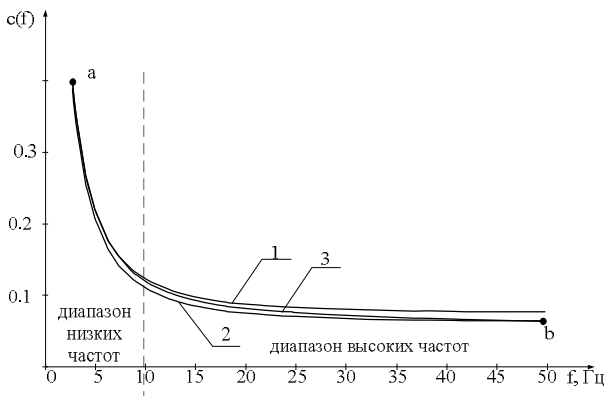


Рисунок 2 – Функция чувствительности:

1 – без учета потерь в стали; 2 – с учетом потерь в форме постоянного сопротивления  $R_m$ ; 3 – с нелинейным сопротивлением в контуре намагничивания

При  $\nu \rightarrow \infty$  отношение токов контура приобретает постоянное значение, что указывает на невозможность идентификации ветвей. Такой же, т.е. правильный вывод сделан авторами в [6]. Однако следует учесть ошибочность подхода авторов к анализу работы Т-образной схемы замещения только в области больших частот.

Схема рис. 1,б, несмотря на сложность, относится к классу легко идентифицируемых при работе в области низких частот, что, как показывает опыт, можно отнести к любой из идентифицируемых схем замещения. Усложнение схемы (рис. 1,в) позволяет получить функцию чувствительности, меняющуюся в области низких частот, поэтому ее можно отнести к классу хорошо идентифицируемых.

Следует отметить, что анализ «поведения» Т-образной схемы замещения в области низких и ультранизких частот достаточно полно освещен во многих работах авторов, и именно этот факт послужил толчком к развитию исследований энергетического метода идентификации, базирующегося на уравнениях баланса составляющих мгновенной мощности. При этом характерно, что модификации упомянутого метода исключают не только недостатки рассматриваемого метода идентификации с питанием низкочастотным напряжением, но и негативные стороны энергетического метода при питании от источника с полигармоническим напряжением [7].

В качестве примера, выполним расчет по определению электромагнитных параметров для указанного ранее АД 4A250S10Y3. Как видно из рис. 2, при анализе схемы замещения на частотах, близких к нулю, можно пренебречь потерями в стали из-за их малости. Поэтому рассмотрим Т-образную схему замещения (рис 1,а) [8–10]. При этом асинхронная машина заторможена и на ее обмотки подается пониженное напряжение  $U_{min} = s_n U_C$  с частотой от 0 до  $\nu_{min} = s_n f_n$ , шаг изменения частоты 0,01, где  $U_C$  – напряжение сети,  $s_n$  – номинальное скольжение,  $f_n$  – частота сети.

Исходя из схемы замещения (рис. 1,а), ком-

плексное сопротивление можно представить в виде:

$$Z_{\Sigma}(\nu) = Z_1(\nu) + \frac{Z_2(\nu)Z_m(\nu)}{Z_2(\nu) + Z_m(\nu)} = R_{\Sigma}(\nu) + jX_{\Sigma}(\nu) = (R_1 + j\nu X_1) + \frac{j\nu^3(X_m X_2^2 + X_m^2 X_2) + \nu^2 X_m^2 R_2 + j\nu X_m R_2^2}{R_2^2 + (\nu X_2 + \nu X_m)^2}, \quad (3)$$

откуда:

– эквивалентное реактивное сопротивление:

$$X_{\Sigma}(\nu) = j\nu X_1 + \frac{j\nu^3(X_m X_2^2 + X_m^2 X_2) + j\nu X_m R_2^2}{R_2^2 + (\nu X_2 + \nu X_m)^2}; \quad (4)$$

– эквивалентное активное сопротивление:

$$R_{\Sigma}(\nu) = R_1 + \frac{\nu^2 X_m^2 R_2}{R_2^2 + (\nu X_2 + \nu X_m)^2}. \quad (5)$$

В соответствии с выражениями (3)–(5), зависимости изменения сопротивления от частоты питающего напряжения для асинхронного двигателя 4A250S10Y3 приведены на рис. 3–5.

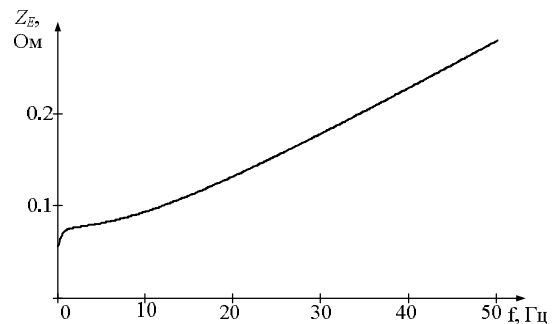


Рисунок 3 – Изменения комплексного сопротивления от частоты

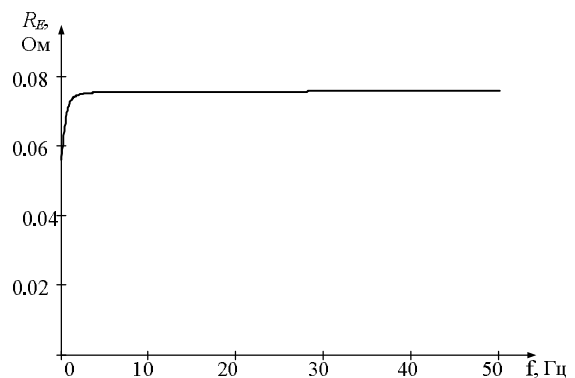


Рисунок 4 – Изменение эквивалентного активного сопротивления от частоты

Электромагнитные параметры асинхронного двигателя определяются в соответствии с алгоритмом [11]. Вначале, при частоте  $\nu = 0$ , определяется значение активного сопротивления статора  $R_1$  (рис. 6) по выражениям (3) или (5):

$$\lim_{\nu \rightarrow 0} (Z_{\Sigma}(\nu)) = R_1 \quad (6)$$

или

$$\lim_{\nu \rightarrow 0} (R_{\Sigma}(\nu)) = R_1. \quad (7)$$

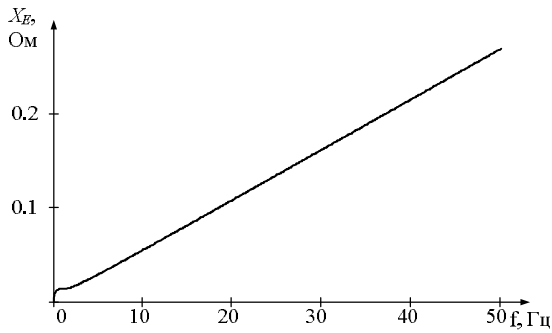


Рисунок 5 –Изменение эквивалентного реактивного сопротивления от частоты

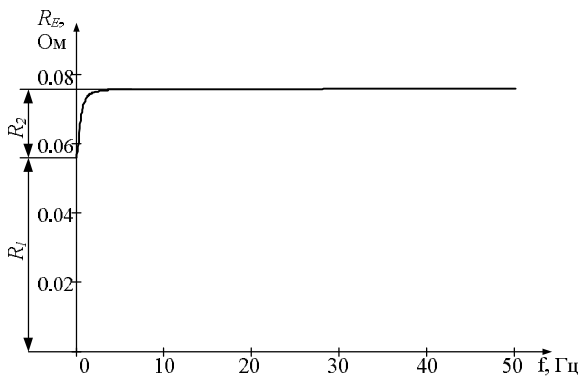


Рисунок 6 – К определению активных сопротивлений статора и ротора АД

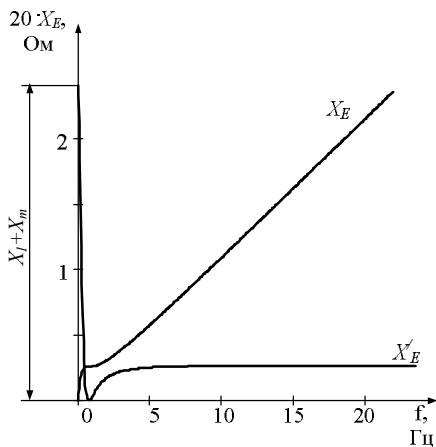


Рисунок 7 – Изменение суммы индуктивных сопротивлений контуров намагничивания и статора АД от частоты

Параметр  $R_l$  определяется точно, а для расчета остальных параметров необходимо определить начальные значения [12].

Сумма индуктивных сопротивлений контуров намагничивания и статора определяется из выражения производной от (3) или (4) при  $\lim_{v \rightarrow 0} (Z_{\Sigma}(v))'$  и

$$\lim_{v \rightarrow 0} (X_{\Sigma}(v))' \quad (\text{рис. 7}):$$

$$\lim_{v \rightarrow 0} (Z_{\Sigma}(v))' = X_1 + X_m \quad (8)$$

или

$$\lim_{v \rightarrow 0} (X_{\Sigma}(v))' = X_1 + X_m \quad (9)$$

При напряжении питания  $U_{max} = s_K U_C$  с относительной частотой  $v = I$  определяем:

– активное сопротивление ротора  $R_2$  (рис. 6)

$$R_2' = R_{\Sigma}(v_{10}) - R_1, \quad (10)$$

где  $v_{10}$  – частота, соответствующая 10 Гц;

– индуктивные сопротивления  $X_1, X_2$ :

$$X_1 \approx X_2 = \frac{\lim_{v \rightarrow 1} (Z_{\Sigma}(v)) - R_1}{2}. \quad (11)$$

Теперь электромагнитные параметры ( $R_2', X_1, X_2, X_m$ ) Т-образной схемы замещения определяются из системы уравнений (12), которая состоит из выражений для зависимостей эквивалентного активного, реактивного и полного сопротивлений и производной реактивного или полного сопротивления по частоте:

$$\begin{cases} X_{\Sigma}(v_1) = v_1 X_1 + \frac{v_1^3 (X_m X_2^2 + X_m^2 X_2) + v_1 X_m R_2^2}{R_2^2 + (v_1 X_2 + v_1 X_m)^2}; \\ R_{\Sigma}(v_1) = R_1 + \frac{v_1^2 X_m^2 R_2}{R_2^2 + (v_1 X_2 + v_1 X_m)^2}; \\ Z_{\Sigma}(v_2) = (R_1 + v_2 X_1) + \frac{v_2^3 (X_m X_2^2 + X_m^2 X_2) + v_2^2 X_m^2 R_2 + v_2 X_m R_2^2}{R_2^2 + (v_2 X_2 + v_2 X_m)^2}; \\ (X_{\Sigma}(v_0))' = X_1 + X_m, \end{cases} \quad (12)$$

где  $v_0, v_1, v_2$  – частоты, на которых определяются значения  $X_1 + X_m, X_{\Sigma}(v_1), R_{\Sigma}(v_1), Z_{\Sigma}(v_2)$  соответственно.

При этом следует отметить, что значения  $X_{\Sigma}(v_1), R_{\Sigma}(v_1), Z_{\Sigma}(v_2)$  необходимо выбирать в диапазоне низких частот в соответствии с функцией чувствительности (рис 2), где существует значительное изменение  $c(v)$  при незначительном изменении  $v$ .

Аналогичным образом произведем расчет электромагнитных параметров ряда асинхронных двигателей с номинальной частотой вращения  $314 \text{ с}^{-1}$ , параметры которых приведены в табл. 1

Таблица 1 – Отклонение расчетных значений электромагнитных параметров АД

Тип двигателя	Мощность, кВт	Номинальный ток, А	Отклонение расчетных значений электромагнитных параметров АД от справочных данных		
			$\Delta X_1 \%$	$\Delta R_2 \%$	$\Delta X_2 \%$
4A160S2	15	28,5	8,5	1,2	10
4A180M2	30	56	2	0,5	0,23
4A250S2	75	140	5	2	1,9
4A250S10	30	63,8	1,4	0,7	0,5

**ВЫВОДЫ.** При проведении исследований по определению параметров асинхронных двигателей с использованием разночастотного тестового напряжения получены следующие результаты:

– доказано, что метод с использованием разночастотного тестового напряжения является работоспособным по определению параметров асинхронных двигателей. Отклонение от паспортных данных составляет 0–8,5 %;

– следует использовать питающее напряжение низкой частоты, т.к. в этой области существует значительный отклик системы при незначительном изменении входного воздействия и отсутствуют эффекты, свойственные режимам питания напряжением большой частоты (потери в стали, вихревые токи);

– правильное решение вопроса осуществляется, если воспользоваться функцией чувствительности, работающей в отношении параллельного контура Т-образной схемы замещения;

– метод является наиболее точным из всех известных и может использоваться в системах с частотным управлением приводами любой мощности;

– метод может быть модифицирован в направлении использования для глубокопазных асинхронных двигателей, а также для машин с двойной беличьей клеткой;

– метод может быть использован для схем замещения с нелинейной кривой намагничивания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Родькин Д.И., Калинов А.П., Ромашихин Ю.В. Развитие частотных методов оценки параметров двигателей переменного тока // Вісник КДПУ. Наукові праці КДПУ. – 2005. – Кременчук: КДПУ. – Вип. 5 (34). – С. 43–46.

2. Родькин Д.И., Здор И.В. Современные методы определения параметров асинхронных двигателей после их ремонта // Вестник КГПУ. Труды КГПУ. – 2000. – Вып. 1. – С. 76–81.

3. Рогозин Г.Г. Визначення електромагнітних параметрів машин змінного струму. – К.: Техніка, 1992. – 168 с.

4. Калинов А.П., Резник Д.В., Родькин Д.И., Ромашихин Ю.В. Определение электромагнитных параметров асинхронных двигателей при питании напряжением низких частот // Вісник КДПУ. Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип. 4 (39), ч. 1. – С. 117–121.

5. Родькин Д.И., Черный А.П., Сычев С.Д., Мартыненко В.А. Характеристики асинхронного двигателя с учетом старения стали // Вісник КДПУ. 36. наук. праць КДПУ. – 2001. – Кременчук. – Вип. 3.

6. Бешта А.С., Семин А.А. Особенности применения Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя для задач идентификации параметров // настоящий сборник, С. 553–555.

7. Ромашихин Ю.В., Родькин Д.И. Идентификация параметров асинхронных двигателей с псевдополигармоническим воздействием // Электроприводы переменного тока: Труды Международной пятнадцатой НТК. – 2012. – Екатеринбург. – С. 67–71.

8. Резник Д.В., Родькин Д.И., Ромашихин Ю.В. Особенности определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей при использовании низкочастотного испытательного напряжения // Электроприводы переменного тока: Труды Международной четырнадцатой научно-технической конференции. – 2007. – Екатеринбург. – С. 279–283.

9. Резник Д.В., Родькин Д.И., Калинов А.П. Повышение точности определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей при использовании низкочастотного испытательного напряжения // Вісник КДПУ. Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 3 (44). – Т. 2. – С. 144–149.

10. Резник Д.В., Резник Е.А. Развитие метода определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей при питании от источника низкочастотного напряжения // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 6/2008 (53), ч. 2. – С. 45–48.

11. Резник Д.В., Резник Е.А. Алгоритмизация метода определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей при питании от источника низкочастотного напряжения // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 2/2009 (6). – С. 14–18.

12. Резник Д.В., Резник Е.А., Козьяр С.В. Определение начальных приближений при идентификации параметров схемы замещения асинхронных двигателей // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 3/2009 (7). – С. 36–40.

#### DEFINITION OF PARAMETERS FOR INDUCTION MOTORS DIFFERENT FREQUENCY TEST VOLTAGE

**D. Reznik, D. Rodkin, O. Chorniy**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University

ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: saue@polytech.poltava.ua

The characteristics determine the electromagnetic parameters of induction motors with the use of T-equivalent circuit for feeding low-frequency voltage. The notion of the response function and the specified frequency range of voltage which can determine the electromagnetic parameters of the induction motor.

**Key words:** asynchronous motor, electromagnetic parameters, low-frequency voltage, the response function.

REFERENCES

1. Rodkin D.I, Kalinov A.P Romashihin Y.V. The development of methods to assess the frequency parameters of AC motors // *Transaction KDPU. Scientific papers KDPU*. – Kremenchuk: KDPU, 2005. – Iss. 5 (34). – PP. 43–46. [in Russian]
2. Rodkin D.I, Zdor I.V. Modern methods of determining the parameters of induction motors after repair // *Transaction KDPU. Scientific papers KDPU*. – Kremenchuk: KDPU. – 2000. – Iss. 1. – PP. 76–81. [in Russian]
3. Rogozin, G.G. *Визначення електромагнітних параметрів машин змінного струму*. – К.: Tehnika, 1992. – 168 p. [in Russian]
4. Kalinov A.P, Reznik D.V, Rodkin D.I, Romashihin Y.V. Identification of electromagnetic parameters of induction motors with power voltage low frequency // *Transaction KDPU. Scientific papers KDPU*. – Iss. 4, part 1 (39). – Kremenchuk: KDPU, 2006. – PP. 117–121. [in Russian]
5. Rodkin, D.I, Chornyi A.P., Sychev, S.D, Martynenko, V.A. Characteristics of induction motor taking into account the aging of steel // *Transaction KDPU. Scientific papers KDPU*. – Kremenchuk, 2001. – Iss. 3. [in Russian]
6. Beshta A.S., Semin, A.A. *Features Pym-tion of T-type equivalent circuit asinhroonogo engine for parameter identification problems* // this bulletin, PP. 553-555. [in Ukrainian]
7. Reznik D.V., Rodkin D.I., Romashihin Y.V. Features of the definition of electromagnetic parameters of induction motors using low-frequency test voltage // *Electric AC: Proceedings of the fourteenth of the International Scientific and Technical Conference*. – Ekaterinburg, 2007. – PP. 279–283. [in Russian]
8. Romashihin Y.V., Rodkin D.I. Identification of the function parameters of induction motors with a pseudo-polyharmonic influence. // *AC drives: Proceedings of the fifteenth international Scientific and Technical Conference*. – Ekaterinburg, 2012. – PP. 67–71. [in Russian]
9. Reznik D.V., Rodkin D.I., Kalinov A.P. Increase the service accuracy of the electromagnetic parameters of induction motors for use vanii low-frequency test voltage // *Transaction KDPU. Scientific papers KDPU*. – Kremenchuk: KDPU, 2007. – Iss. 3 (44), part 2. – PP. 144–149. [in Russian]
10. Reznik D.V, Reznik, EA Development of the method laid down by the electromagnetic parameters of the asynchronous motors governmental when powered from a source of low-frequency voltage // *Transaction KDPU*. – Kremenchuk: KDPU, 2008. – Iss. 6/2008 (53), part 2. – PP. 45–48. [in Russian]
11. Reznik D.V, Reznik, EA An algorithmic definition of the method of electromagnetic parameters of induction motors with power from the power-frequency voltage // *Electromechanical and energy saving up systems. Quarterly scientific production journal*. – Kremenchuk: KDPU, 2009. – № 2/2009 (6). – PP. 14–18. [in Russian]
12. Reznik D.V., Reznik, E.A, Kozyar S.V. The determination of the initial approximations for parameter identification of induction motor equivalent circuit-teley // *Electromechanical and energy saving up systems. Quarterly scientific production journal*. – Kremenchuk: KDPU, 2009. – № 3/2009 (7). – PP. 36–40. [in Russian]

Стаття надійшла 25.07.2012.

Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Бештою О.С.