

*С. С. ДЕНИЩИК*, канд. техн. наук, доц. ДонГТУ, Алчевск;  
*Р. Ю. ТКАЧЕВ*, канд. техн. наук, доц. ДонГТУ, Алчевск;  
*О. В. ГЛУШКО*, аспирант ДонГТУ, Алчевск

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ВЫХОДОМ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ**

Решается задача параметрической идентификации индуктивно-емкостного преобразователя с выходом на постоянном токе. Предложен метод параметрической идентификации, использующий математический аппарат цепных дробей.

**Ключевые слова:** индуктивно-емкостной преобразователь, источник постоянного тока, схема Штейнметца, идентификация, цепные дроби.

### **Актуальность работы**

Как известно, индуктивно-емкостные преобразователи (ИЕП) довольно часто применяются для питания якорных цепей машин постоянного тока, инверторов тока, зарядных устройств, установок электролиза и др.

Среди множества схемных решений таких ИЕП наибольшее применение получила трехфазная схема (схема Штейнметца) с подключенным трехфазным двухполупериодным диодным выпрямителем, в цепь постоянного тока которого включается соответствующая нагрузка. В частности, при построении системы электропривода «источник тока – двигатель», от ИЕП может быть запитан якорь двигателя постоянного тока, который представляет собой нагрузку в виде последовательно соединенных активного сопротивления  $r_d$ , индуктивности  $L_d$  и противо-э.д.с.  $e_d$  (см. рис. 1) [1].

Ввиду того, что для определения закона управления необходимо знать математическую модель объекта управления, задача идентификации ИЕП с выходом на постоянном токе, которая решается в данной работе, является актуальной.

### **Цель работы**

ИЕП с выходом на постоянном токе является сложным динамическим объектом, обладающим нелинейными и импульсными свойствами, вызванными наличием диодного выпрямителя. В то же время, классические методы синтеза систем управления, как правило, используют математические модели в виде непрерывных передаточных функций (НПФ). Исходя из чего, целью данной работы является определение на основе экспериментальных данных математической модели ИЕП с выходом на постоянном токе в виде НПФ.

### **Результаты исследований**

ИЕП как объект управления испытывает управляющее воздействие в виде напряжения питания переменного тока ( $U_1$ ) и возмущающие воздействия в виде сигнала противо-ЭДС в нагрузке и переключения вида нагрузки. Выходным параметром ИЕП является выпрямленный ток диодного преобразователя  $I_d$ .

Поскольку для измерения выходного тока используется АЦП, экспериментальные данные представляют собой последовательность измеренных величин выходного тока  $I_d$  в дискретные моменты времени.

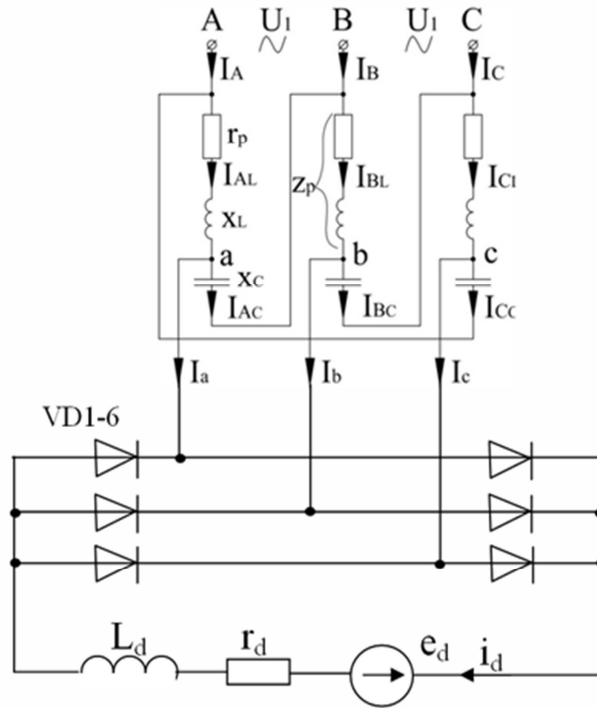


Рис. 1 – Принципиальная схема источника постоянного тока

Таким образом, задача идентификации в рамках математического аппарата дискретных систем может быть сформулирована как задача аппроксимации степенных рядов вида

$$f(z) = c_0 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + c_3 z^{-3} \dots, \quad (1)$$

где  $z = e^{Ts}$  - дискретный оператор Лапласа;

$s = \sigma + j\omega$  - оператор Лапласа.

Ряды (1) представляют собой формальные ряды Лорана, что позволяет использовать математический аппарат непрерывных дробей для их аппроксимации [2].

В качестве метода формирования цепной дроби выбран метод Рутисхаузера [3]:

$$\begin{aligned}
 f(z) &\approx \frac{c_0}{1 - \frac{q_1^{(0)} z^{-1}}{1 - \frac{e_1^{(0)} z^{-1}}{1 - \frac{q_2^{(0)} z^{-1}}{1 - \frac{e_2^{(0)} z^{-1}}{\dots}}}}} = \\
 &= \frac{c_0}{1 - \frac{q_1^{(0)} z^{-1}}{1 - \frac{e_1^{(0)} z^{-1}}{1 - \frac{q_2^{(0)} z^{-1}}{\dots}}}} = \frac{P(c_0, \{e^{(0)}\}, \{q^{(0)}\})}{Q(\{e^{(0)}\}, \{q^{(0)}\})} \\
 &\quad \vdots \\
 &= \frac{c_0}{1 - \frac{q_{n-1}^{(0)} z^{-1}}{1 - e_{n-1}^{(0)} z^{-1}}}
 \end{aligned} \quad (2)$$

где  $e_m^{(n)} \in \mathbb{R}$ ,  $q_m^{(n)} \in \mathbb{R}$ ,  $f(z) \in \hat{\mathbb{R}}$ ,  $\hat{\mathbb{R}} = \mathbb{R} \cup \{\infty\}$ ;

$\{e_m^{(n)}\}, \{q_m^{(n)}\}$  - последовательности, определяемые по формулам:  $e_m^{(n)} = q_m^{(n+1)} - q_m^{(n)} + q_{m-1}^{(n+1)}$

;  $q_{m+1}^{(n)} = \frac{e_m^{(n+1)}}{e_m^{(n)}} q_m^{(n+1)}$ ;  $m = 1, 2, 3, \dots$ ;  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ;  $e_0^{(n)} = 0$ ,  $q_1^{(n)} = c_{n+1}/c_n$ .

Определение коэффициентов непрерывной дроби может быть реализовано посредством расчета матрицы идентификации [4]:

$$\begin{matrix}
0 & a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,n-2} & a_{1,n-1} \\
0 & a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,n-2} & \\
\dots & \dots & \dots & \dots & & \\
0 & a_{n-1,1} & & & & \\
0 & & & & & 
\end{matrix}, \tag{3}$$

где  $n$  – количество элементов последовательности  $\{c_n\}$ , используемых для формирования дроби;

$$a_{i,1} = c_{i+1}/c_i;$$

$$a_{i,2} = a_{i+1,2j-2}a_{i+1,2j-1}/a_{i,2j-1};$$

$$a_{i,2j-1} = a_{i+1,2j-2} - a_{i+1,2j-2} + a_{i+1,2j-3};$$

$$j=1,2,3\dots(n-1)/2; i=1,2,3\dots(n-1).$$

Фактически, выбор  $n$  представляет собой выбор структуры модели. При этом в случае структурно-параметрической идентификации определение  $n$  осуществляется на основе оценки значений первой строки матрицы (3): расчет матрицы ведется до значения первой строки матрицы, близкого к нулю, что соответствует малой ошибке аппроксимации.

В результате свертки дроби можно получить дискретную передаточную функцию(ДПФ) объекта в дробно-рациональном виде. Затем, на основе отображения полученной ДПФ в  $s$ -плоскость можно получить искомую НПФ объекта управления.

Экспериментальный переходной процесс представляет собой процесс подключения ИЕП к сети: скачкообразное увеличение значения амплитуды (или действующего значения) питающего напряжения. При этом действующее напряжение  $U_1 = 220$  В,  $x = 10$  Ом – ИЕП настроен на выпрямленный ток  $I_d = 51,44$  А – дросель резонансного контура принят идеальным. Нагрузка ИЕП – активно-индуктивная без противо-ЭДС:  $r_d = 1$  Ом;  $L_d = 0,1$  мГн;  $E_d = 0$ .

Дискретная последовательность измеренных значений выпрямленного тока(период дискретизации АЦП  $1 \times 10^{-5}$  с): 0; 38,7245; 64,4388; 57,4577; 38,9365; 42,2703; 58,1641; 54,1195; 42,4703; 45,4896; 54,0348; 58,3336; 44,6750; 48,0924; 51,4083; 59,0849; 45,9318; 49,9768; 49,7641; 58,6558 ...

Выходной ток имеет пульсации с частотой  $bf = 300$  Гц, кроме того, на переходной процесс влияют неконтролируемые возмущающие воздействия, что приводит к тому, что порядок аппроксимирующей дроби существенно возрастает. В случае задачи синтеза более предпочтительны модели низкого порядка т.к. чем выше порядок модели, тем сложнее алгоритм управления, однако, аппроксимации более низкого порядка на основе исходных экспериментальных данных не позволяют обеспечить устойчивость передаточной функции модели. В связи с этим возникает необходимость в корректировке дискретной последовательности, используемой для формирования непрерывной дроби с целью обеспечения устойчивости и минимизации порядка модели.

Задавшись третьим порядком модели, с помощью программного итеративно-го перебора(в пределах допустимой зоны отклонений) была определена дискретная последовательность, обеспечивающая устойчивость: 0; 25,7295; 33,2462; 71,1575; 65,1149; 31,5642; 36,3737; 66,0572 ...

Матрица идентификации:

0	1,2921	0,8482	-3,0918	2,1880	-0,2209	0
0	2,1403	-1,2252	0,3214	-1,5038	1,2829	
0	0,9151	-0,4303	-0,7520	2,5652		
0	0,4847	0,6676	1,1456			
0	1,1541	0,6637				
0	1,8161					
0						

Изображение процесса:

$$F_p(z) = \frac{25,7295}{1} - \frac{1,2921z^{-1}}{1} - \frac{0,8482z^{-1}}{1} + \frac{3,0918z^{-1}}{1} - \frac{2,1880z^{-1}}{1} + \frac{0,2209z^{-1}}{1} =$$

$$= \frac{25,7295(z^2 + 0,2766z + 2,351)z^3}{z^2(z-1)(z^2 - 0,01559z + 0,8825)}$$

С использованием обратного преобразования методом экстраполятора нулевого порядка получим:

$$W_m(s) = \frac{25,7295(s^2 - 177,4s + 1,901 \cdot 10^5)}{(s^2 + 25s + 9,781 \cdot 10^4)} \quad (4)$$

Экспериментальный переходной процесс и переходной процесс модели (4) представлены на рис. 2.

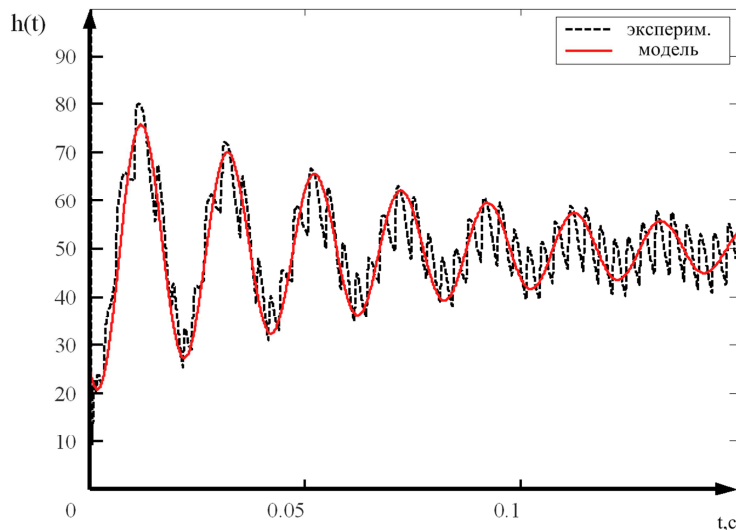


Рис. 2 – Результаты идентификации

### Выводы

Переходной процесс модели аппроксимирует переходной процесс ИЕП при подключении к сети с высокой степенью точности: ошибка модели во временной области составляет  $1,471 \times 10^{-3}$ , в результате чего можно сделать выводы о том, что модель достаточно хорошо отражает динамические свойства исследуемого объекта. Таким образом, полученные результаты подтверждают эффективность предложенного метода параметрической идентификации.

**Список литературы:** 1. Волков И. В. – Электроприводы со стабилизированным током в силовых цепях. / И. В. Волков, В. Н. Исаков. – М. : Радио и связь, 1991. – 216 с. 2. Карташов В. Я.

Эквивалентность дискретных моделей – реальность? / В. Я. Карташов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2006. – № 8. – С. 40–44. 3. Бейкер Г. А. Аппроксимации Паде / Г. А. Бейкер, П. Грейвс-Моррис. – М. : Мир, 1987. – 502 с. 4. Ткачев Р. Ю. Структурно-параметрическая идентификация объектов с рециклом на основе дискретной последовательности выходной координаты / Р. Ю. Ткачев, О. В. Глушко // Збірник наукових праць ДонДТУ, Алчевськ: ДонДТУ. – 2012. – № 36. – С. 415–425.

Надійшла до редколегії 01.03.2013

УДК 681.5.015.4

**Идентификации индуктивно-емкостного преобразователя с выходом на постоянном токе / С. С. Денищик, Р. Ю. Ткачев, О. В. Глушко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 18 (991). – С. 168-172. – Бібліогр.: 4 назв.**

Вирішується задача параметричної ідентифікації ідуктивно-ємнісного перетворювача з виходом на постійному струмі. Запропонован метод параметричної ідентифікації, що базується на використанні математичного апарату ланцюгових дробів.

**Ключові слова:** індуктивно-ємнісний перетворювач, джерело постійного струму, схема Штейнметца, ідентифікація, ланцюгові дроби.

The problem of parametrical identification of inductive-capacitive convertor was solved. Method of parametrical identification utilizing mathematical apparatus of continued fractions was proposed.

**Keywords:** inductive-capacitive convertor, direct current supply system, Steinmetz scheme, identification, continued fractions.

УДК 621.314

**В. С. БОЙКО**, д-р техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Київ

**М. І. СОТНИК**, канд. техн. наук, доц., СумДУ, Суми

## **ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ПРОЦЕС У ЕЛЕКТРИЧНІЙ МОДЕЛІ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА, ПРАЦЮЮЧОГО В РЕЖИМІ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ**

Наводяться результати дослідження електромагнітних процесів у електричній моделі шестиполевого відцентрового насоса з однозавитковим спіральним відводом, робочий процес якого характеризується підвищеним обсягом витрати рідини. Звернута увага на особливості електромагнітного процесу, які пов'язані з такими значеннями кута комутації струму вентилями, при яких має місце накладання комутацій. Відмічено, що опубліковані наукові дослідження є частиною теоретичного підґрунтя для створення нового напрямку електричного аналізу процесів у гідравлічних системах.

**Ключові слова:** енергоефективність, модель, комутація, електромагнітний процес

**Вступ.** Актуальність проблеми підвищення енергоефективності технологічних споживачів у різних галузях промисловості та сільського господарства не потребує доведення. Досить важливою вона є і у системах водопостачання, оскільки насосними агрегатами на підприємствах України споживається близько 20% електроенергії