

УДК 621.313.2

Л. І. МАЗУРЕНКО, О. В. БІБІК, О. А. БІЛИК, М. О. ШИХНЕНКО

## МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА З ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ІЗ С-СКИДАННЯМ І КОЛИВАЛЬНИМ ПОВЕРНЕННЯМ ЕНЕРГІЇ ПРИ ЗМІНІ КУТІВ КОМУТАЦІЇ

Виконано математичне моделювання та проведено експериментальні дослідження статичних режимів при варіюванні напругою живлення та кутами комутації вентильно-індукторного двигуна з перетворювачем із С-скиданням і коливальним поверненням енергії. Визначено коефіцієнт корисної дії, механічні характеристики та діапазон стабілізації частоти обертання вентильно-індукторного двигуна. Проведено порівняльний аналіз результатів математичного моделювання з експериментальними даними.

**Ключові слова:** вентильно-індукторний двигун, імітаційне моделювання, комутатор, експериментальні дослідження.

Выполнено математическое моделирование и проведены экспериментальные исследования статических режимов при варьировании напряжением и углами коммутации вентильно-индукторного двигателя с преобразователем с С-сбросом и колебательным возвратом энергии. Определены коэффициент полезного действия, механические характеристики и диапазон стабилизации частоты вращения вентильно-индукторного двигателя. Проведен сравнительный анализ результатов математического моделирования с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** вентильно-индукторный двигатель, имитационное моделирование, коммутатор, экспериментальные исследования.

The aim of the article is development of mathematical model of switched reluctance motor (SRM), researching of working characteristics, comparison of results of numeral calculations of the modes with experimental results and determination of range of stabilizing of rotor speed. Experimental facility of research of modes at varying of rotor speed of experimental model of switched reluctance motor configuration 6/4 on the basis of the induction motor 4AA56A4 (output power 120 W) using a converter with the C-dump and the oscillation return of energy was developed. The mechanical and energetic characteristics of the SRM at different supply voltages of DC link and switch-on angles at the constant zone of commutation ( $\theta_c=30^\circ$ ) were defined. A mathematical model of switched reluctance motor was developed. It consist of compositions: inductor machine, converter with the C-dump and the oscillation return of energy, control system by position of rotor, load. Matlab and Simulink are used for simulation. The major losses in the motor and efficiency were evaluated. Adequacy of mathematical model at comparison of numeral and experimental researches is appraised. The differences of the expected values of currents of phase and efficiency of motor in the range of switch-on angles  $39^\circ - 48^\circ$  from experimental data does not exceed according to 6...14 % and 2...8 %. The range of stabilizing of rotor speed of experimental model SRM is determined. So it is possible to provide stabilizing of motor speed at the level of 1500 rpm for voltage 110 V by varying switch-on angles in the range  $39^\circ - 48^\circ$  at the constant zone of commutation.

**Keywords:** switched reluctance motor, simulation modeling, converter, experimental research.

**Вступ.** Дослідженню статичних та динамічних режимів вентильно-індукторних двигунів (ВІД) присвячена значна кількість наукових робіт [1,2,3,4,5]. Поліпшення техніко-економічних показників ВІД здійснюється завдяки раціональному обмеженню рівня струму та напруги живлення та вибору кутів комутації. Останні суттєво впливають на енергетичні показники ВІД та його робочі характеристики. Підходи до керування кутами комутації та аналіз результатів моделювання режимів ВІД при їх зміні розглянуто в [3,5]. При цьому питання стабілізації частоти обертання розглядається тільки у контексті зменшення рівня пульсацій електромагнітного моменту завдяки формуванню форми фазного струму [5,6,7]. Порівняння результатів моделювання та експериментальних досліджень ВІД представлено в статтях [2,5], в яких це порівняння недостатньо висвітлено.

Тому метою статті є дослідження за допомогою розробленої математичної моделі робочих характеристик, порівняння результатів чисельних розрахунків режимів з експериментальними даними та визначення діапазону стабілізації частоти обертання ВІД з комутатором зі С-скиданням і коливальним поверненням енергії зміною кутів комутації двигуна.

**Експериментальний стенд з ВІД.** В якості об'єкта дослідження обрано ВІД, який розроблено на базі асинхронного двигуна 4AA56A4У3 (потужність 120 Вт), з числом полюсів і фаз відповідно 6/4 та  $m=3$  з удосконаленим комутатором із С-скиданням і коливальним поверненням енергії. Електрична схема експериментального стенда з ВІД показана на рис. 1.

Вона відрізняється від схеми, яка представлена в [8], можливістю змінювати кути комутації фаз та стабілізувати частоту обертання вала двигуна [9]. Для дослідження впливу на характеристики ВІД зміни кутів комутації фаз та для забезпечення стабілізації обертів вала двигуна трифазний датчик положення ротора PS розташований на валу ВІД таким чином, щоб він формував максимально можливе випередження обох фронтів сигналу комутації. У схему введено формувач затримки фронтів FR сигналу датчика PS, який складається з трьох однакових сегментів, що забезпечують необхідне зміщення сигналу у кожній фазі [9].

**Математична модель ВІД.** При розробці математичної моделі (ММ) ВІД прийняті наступні допущення: комутація фаз одиночна симетрична; фази двигуна магнітоізовані; силові транзисторні ключі безінерційні; джерело живлення нескінченної потужності (конденсатор на виході випрямляча забезпечує стабільність напруги). При цих допущеннях система диференціальних рівнянь ВІД має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_\phi}{dt} &= U_\phi - i_\phi \cdot R_\phi \\ \frac{d\omega_r}{dt} &= \frac{1}{J} (M - M_c) \\ \frac{d\theta}{dt} &= \omega_r \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де  $U_\phi$ ,  $i_\phi$ ,  $\psi_\phi$ ,  $R_\phi$  – відповідно напруга на виході комутатора, струм, потокозчеплення і активний опір

© Мазуренко Л. І., Бібік О. В., Білик О. А., Шихненко М. О., 2016

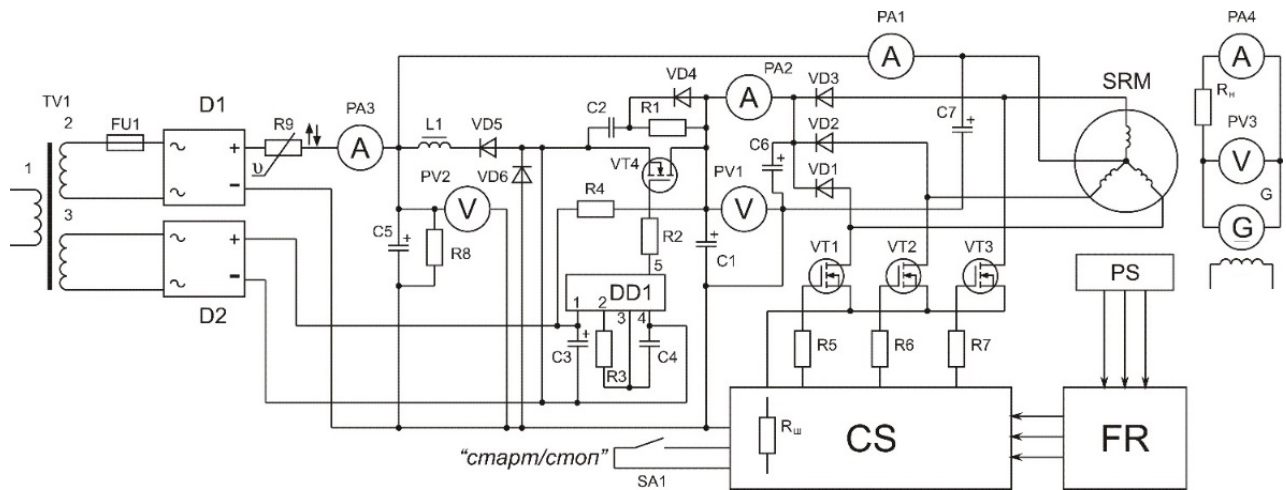


Рис. 1 – Схема експериментального стенда

фази статора;  $\omega_r$  – частота обертання ротора;  $J$  – сумарний момент інерції двигуна і рухомих мас, приведених до ротора двигуна;  $M$  – сумарний електромагнітний момент фаз статора;  $M_C$  – момент опору навантаження;  $\theta$  – кут повороту вала ротора. Електромагнітний момент, який діє на ротор ВІД, розраховується через коенергію  $W'$  [10]:

$$M = \left. \frac{dW'}{d\theta} \right|_{i=\text{const}} = \sum_{i=1}^m i_{\phi} \frac{d\psi_{\phi}}{d\theta} \quad (2)$$

Математичне моделювання ВІД виконано у середовищі MATLAB – Simulink з використанням бібліотеки SymPowerSystems. Імітаційна модель представлена блоками індукторної машини (SRM), перетворювача (Comutator), системи керування кутами (CS), навантаження (TL) і наведена на рис. 2. Імітаційна модель індукторної машини (IM) показана на рис. 3.

В якості вхідних параметрів моделі ВІД використано залежності індуктивності фази від кута

повороту ротора і фазного струму  $L_{\phi} = f(\theta, i_{\phi})$ , які розраховано методом скінчених елементів (рис. 4), кути ввімкнення і виключення, напруга живлення фази.

З рис. 4 видно, що в моделі ІМ початковим положенням є співпадіння вісі зубців статора і ротора, що відповідає максимальному значенню індуктивності.

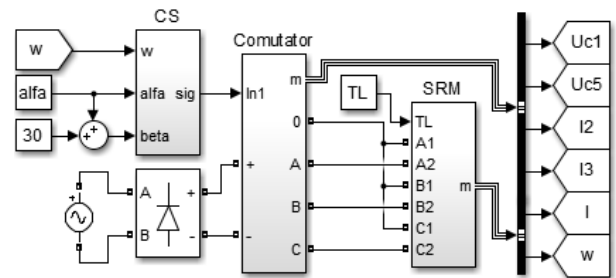


Рис. 2 – Імітаційна модель ВІД

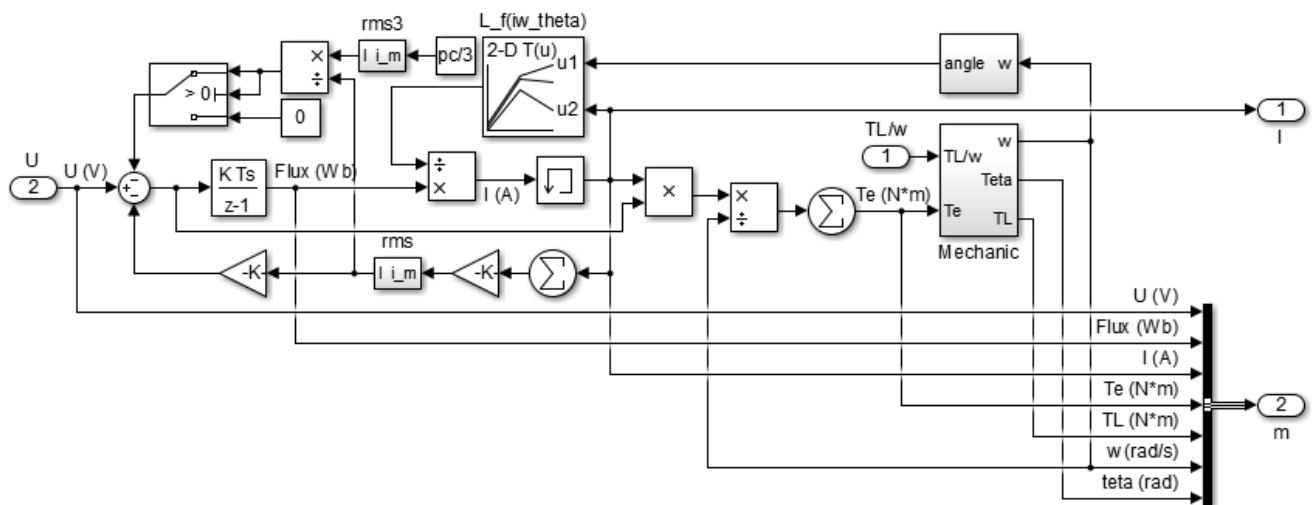


Рис. 3 – Імітаційна модель індукторної машини

Блок комутатора наведено на рис. 5.

Механічні втрати визначено з урахуванням впливу зміни частоти обертання ротора і моменту навантаження за тертям у підшипниках [11]. Втрати в

сталі визначено за експериментом, а втрати у вентиляційному вузлі зовнішнього обдуву та аеродинамічні втрати всередині машини не враховано.

Загальний коефіцієнт корисної дії ВІД (з

перетворювачем) визначено як відношення корисної потужності двигуна  $P_2$  до потужності  $P_d$ , яка споживається системою:

$$\eta_{3AG} = \frac{P_2}{P_d} = \frac{\omega_r \cdot M_c}{U_d \cdot I_d}, \quad (3)$$

де  $U_d$ ,  $I_d$  – відповідно напруга і струм ланки постійного струму.

Коефіцієнт корисної дії безпосередньо електричної машини  $\eta_{ВД}$  (без перетворювача) розраховується як відношення потужності на валу  $P_2$  до потужності, яка споживається двигуном  $P_1$ . Остання розраховується як сума корисної потужності та сумарних втрат двигуна (в обмотці статора  $p_a$ , сталі  $p_{ст}$  та механічних  $p_{мех}$ ).

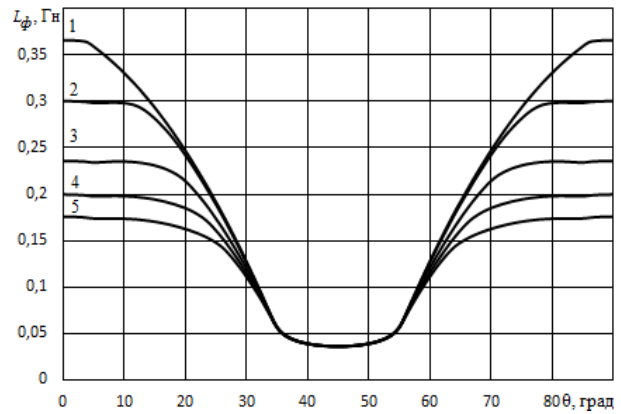


Рис. 4 – Залежності індуктивності  $L_{\phi}=f(\theta, i_{\phi})$ :  
1 –  $i_{\phi}=0,7$  А; 2 –  $i_{\phi}=1,4$  А; 3 –  $i_{\phi}=2,1$  А;  
4 –  $i_{\phi}=2,8$  А; 5 –  $i_{\phi}=3,5$  А

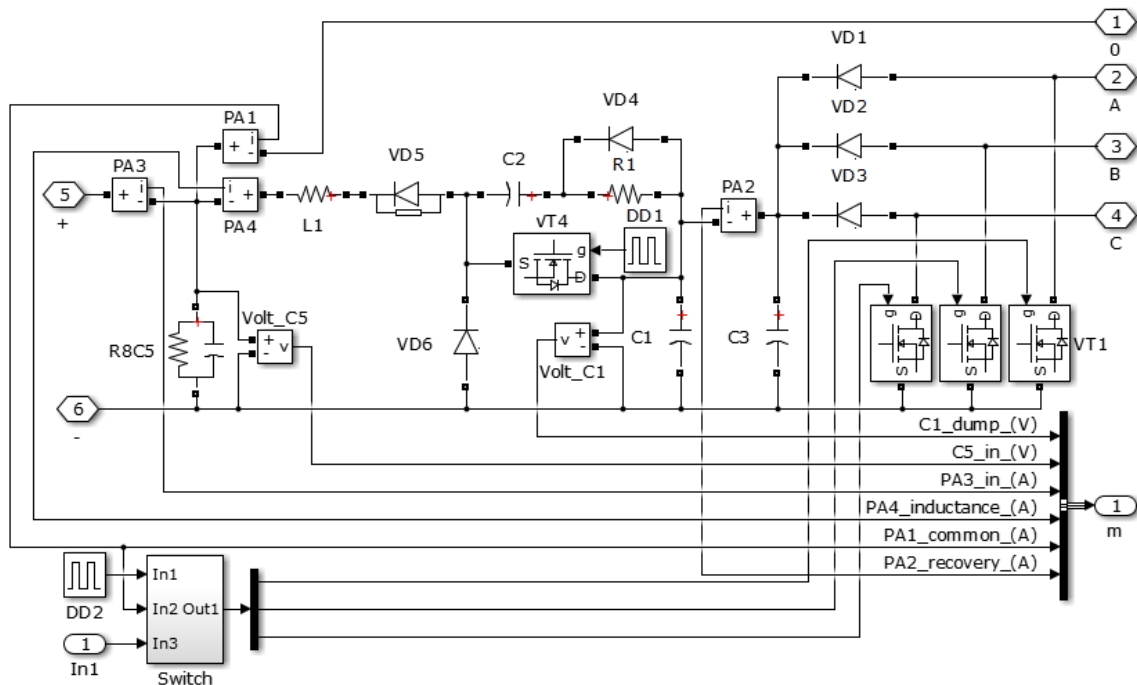


Рис.5 – Комутатор із С-скиданням і коливальним поверненням енергії

### Результати чисельних та експериментальних досліджень.

Досліджено спосіб керуванням ВІД кутом вимикання  $\theta_{вм}$  (switch-off angle control method) [11], який визначається як  $\theta_{вм}=\theta_{вм}+\theta_{\kappa}$  і реалізується за допомогою зміни кута вмикання ( $\theta_{вм}=var$ ) в діапазоні  $\pm 6^\circ$  відносно базового кута  $\theta_{вм0}=45^\circ$  при постійному куті комутації ( $\theta_{\kappa}=30^\circ$ ). Вмикання фази на напругу живлення здійснюється у момент часу, який відповідає куту  $\theta_{вм}$ , вимикання – при куті  $\theta_{вм}$ .

Для підтвердження адекватності ММ реальним фізичним процесам розраховано залежності миттєвих значень фазних струмів від кутів повороту ротора при напругах ланки постійного струму 80 В, 110 В і 140 В і кутах вмикання  $\theta_{вм}=39^\circ$ ,  $42^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $48^\circ$ ,  $51^\circ$  та постійній зоні комутації  $\theta_{\kappa}=const$ , яка для співвідношення полюсів 6/4 дорівнює  $30^\circ$  геометричних градусів. Розрахункові (суцільні лінії)

та експериментальні (пунктирні лінії) залежності струмів фази  $i_{\phi}=f(\theta)$  при  $\theta_{вм}=var$  наведено на рис. 6.

Наведені розрахункові і експериментальні криві для однакових  $\theta_{вм}$  співпадають за формою. Відносні похибки за середніми значеннями наступні: не більш 6 % – для  $\theta_{вм}=39^\circ$ ; 7 % – для  $\theta_{вм}=42^\circ$ ; 8 % – для  $\theta_{вм}=45^\circ$ ; 14 % – для  $\theta_{вм}=48^\circ$ .

Це дає підставу використовувати ММ для досліджень режимів ВІД, в тому числі для оцінювання їх енергетичних показників.

Результати експериментальних та чисельних досліджень при вихідних потужностях ВІД, що не перевищують 50 % номінального значення і напрузі живлення близькій до 110 В і кутах вмикання  $\theta_{вм}=39^\circ$  та вимикання  $\theta_{вм}=69^\circ$ , наведено відповідно у табл. 1 і табл. 2, де  $U_c$  – значення напруги конденсатора фільтра С1;  $n$  – частота обертання двигуна;  $P_{3\phi}$ ,  $I_{3\phi}$  – втрати та струм в системі повернення енергії відповідно.

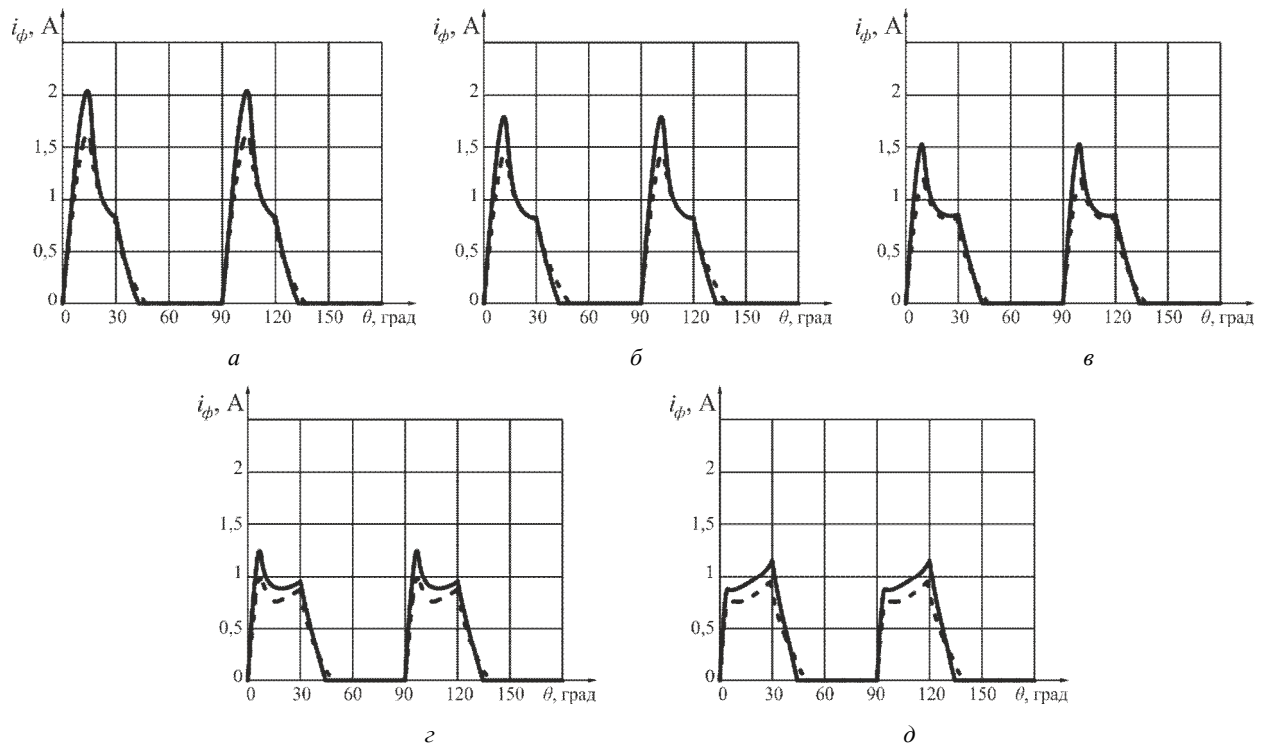


Рис. 6 – Залежності миттєвих значень струмів фази  $i_\phi=f(\theta)$  при  $\theta_{вм}=\text{var}$ :  
 а –  $\theta_{вм}=39^\circ$ ; б –  $\theta_{вм}=42^\circ$ ; в –  $\theta_{вм}=45^\circ$ ; г –  $\theta_{вм}=48^\circ$ ; д –  $\theta_{вм}=51^\circ$ .

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

$U_d$ , В	$U_c$ , В	$I_d$ , А	$I_{зв}$ , А	$I_\phi$ , А	$P_{зв}$ , Вт	$p_{мех}$ , Вт	$p_{см}$ , Вт	$n$ , об/хв	$M_c$ , Н·м	$\eta_{вд}$ , %	$\eta_{зв}$ , %
108	235	1,01	0,21	0,48	5,32	10,03	35,29	2055	0,23	47,8	45,4
108	235	1,04	0,22	0,49	5,7	9,92	33,87	2027	0,25	50	47,4
108	235,4	1,08	0,23	0,51	5,61	9,42	35,39	1899	0,282	50,6	48,1
107,5	235,4	1,1	0,23	0,52	5,79	9	33,98	1786	0,315	52,4	49,0
107	235	1,23	0,24	0,56	5,88	8,65	43,01	1685	0,349	48,9	46,8
107	234,6	1,27	0,24	0,58	6,04	8,35	44,34	1596	0,382	49,2	47
106,5	234	1,32	0,24	0,6	5,71	8,09	46,52	1515	0,417	49	47
106	234	1,39	0,25	0,62	6,46	7,91	48,43	1456	0,451	49	46,8

Таблиця 2 – Результати чисельних досліджень

$U_d$ , В	$U_c$ , В	$I_d$ , А	$I_{зв}$ , А	$I_\phi$ , А	$P_{зв}$ , Вт	$p_{мех}$ , Вт	$p_{см}$ , Вт	$n$ , об/хв	$M_c$ , Н·м	$\eta_{вд}$ , %	$\eta_{зв}$ , %
39	108,12	231,2	0,97	0,16	4,1	8,76	35,29	2043	0,23	48,6	46,7
39	107,63	230,35	1	0,17	4,46	8,86	33,87	2001	0,25	50,4	48,4
39	107,6	230,4	1,06	0,18	4,3	8,88	35,39	1891	0,282	50,9	49
39	107,34	230,28	1,11	0,19	4,58	9,02	33,98	1835	0,315	53	51
39	106,86	227,9	1,18	0,18	3,86	8,52	43,01	1624	0,349	48,5	47
39	106,52	227,04	1,23	0,19	3,86	8,49	44,34	1550	0,382	48,7	47
39	106,22	225,82	1,29	0,2	3,6	8,43	46,52	1476	0,417	48,4	47
39	105,9	224,96	1,34	0,2	3,68	8,36	48,43	1407	0,451	48,2	46,9

Експериментальна (пунктирна лінія) та розрахункова (суцільна лінія) залежності ККД двигуна від моменту навантаження  $\eta_{вд}=f(M_c)$ , побудовані з використанням даних (табл. 1 і табл. 2), представлені на рис. 7.

У даному режимі залежності експериментальні та розрахункові  $\eta_{вд}=f(M_c)$  практично співпадають, різниця між розрахунковими та експериментальними даними складає 1...2 %. За результатами аналізу цих залежностей для інших кутів визначено похибки, які не перевищують наступних значень: 3 % для  $\theta_{вм}=42^\circ$ ;

4 % для  $\theta_{вм}=45^\circ$ ; 8 % для  $\theta_{вм}=48^\circ$ .

На рис. 8 та рис. 9 представлено відповідно експериментальні та розрахункові характеристики  $n=f(M_c)$  для напрузі живлення  $U_d=110$  В, які дозволяють визначити діапазони стабілізації частоти обертання двигуна.

Порівняння чисельних та експериментальних даних (рис. 8 і рис. 9) виявило похибки визначення частоти обертання двигуна, які не перевищують 4 % – для  $\theta_{вм}=39^\circ$ , 5 % для  $\theta_{вм}=42^\circ$ , 8 % для  $\theta_{вм}=45^\circ$ , і 16 % для  $\theta_{вм}=48^\circ$ . Для напруги 110 В стабілізацію частоти

обертання 1500 об/хв можна забезпечити зміною кутів в діапазоні  $\theta_{\text{вм}}=39^\circ \dots 51^\circ$ .

Встановлено, що зміною кутів вмикання у діапазоні  $\theta_{\text{вм}}=39^\circ \dots 51^\circ$ , і постійній зоні комутації можна підтримувати частоту обертання двигуна при напрузі живлення:  $U_d=80$  В – на рівні 1000 об/хв (при  $M_c$ : 0,156...0,394 Н·м), при  $U_d=110$  В – 1500 об/хв (при  $M_c$ : 0,181...0,451 Н·м); а при  $U_d=140$  В – 2000 об/хв (при  $M_c$ : 0,23...0,443 Н·м), у діапазоні  $\theta_{\text{вм}}=42^\circ \dots 48^\circ$ .

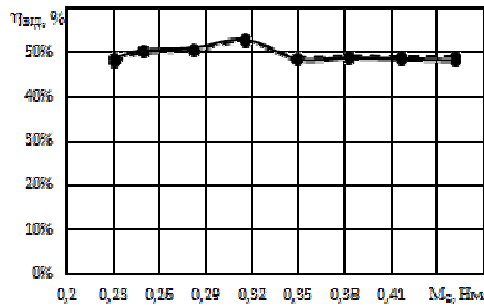


Рис. 7 – Залежності  $\eta_{\text{ВІД}}=f(M_c)$  зразка ВІД (кут вмикання  $\theta_{\text{вм}}=39^\circ$ )

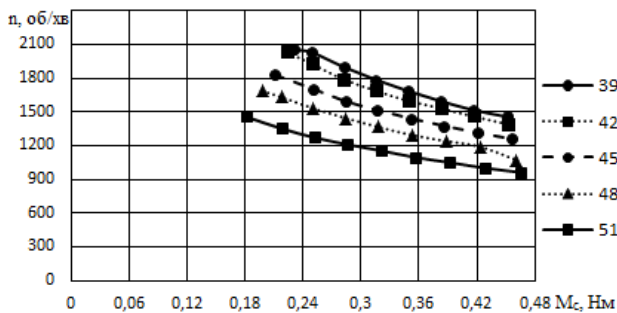


Рис. 8 – Експериментальні залежності  $n=f(M_c)$  зразка ВІД при  $\theta_{\text{вм}}=var$  і напрузі живлення  $U_d=110$  В

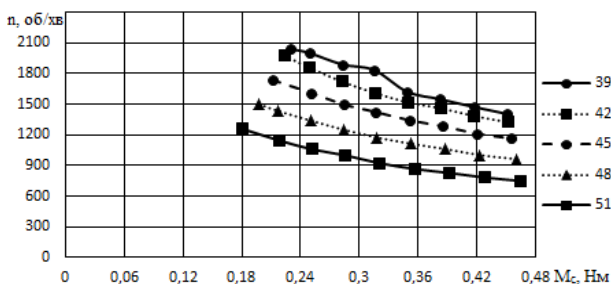


Рис. 9 – Розрахункові залежності  $n=f(M_c)$  зразка ВІД при  $\theta_{\text{вм}}=var$  і напрузі живлення  $U_d=110$  В

**Висновки.** Розроблено математичну модель ВІД, яка описує її складові: індукторну машину, комутатор з С-скіданням і коливальним поверненням енергії, систему керування положенням ротора, навантаження. Математична модель ВІД враховує втрати в обмотках та сталі, втрати механічні і в комутаторі та дозволяє оцінити його ККД.

Адекватність ММ оцінена при порівнянні результатів чисельних та експериментальних досліджень. Відмінності розрахованих значень струмів фази та ККД двигуна в діапазоні кутів вмикання  $\theta_{\text{вм}}=39^\circ \dots 48^\circ$  від експериментальних даних не перевищують відповідно 6...14 % та 2...8 %.

Показано можливості стабілізації частоти обер-

тання експериментального зразка ВІД конфігурацією 6/4. Так стабілізацію частоти обертання двигуна на рівні 1500 об/хв для напруги  $U_d=110$  В можна забезпечити кутами вмикання в діапазоні  $\theta_{\text{вм}}=39^\circ \dots 51^\circ$  при постійній зоні комутації ( $\theta_c=30^\circ$ ).

#### Список літератури

1. Ткачук В.І. Електромеханотроніка: Навч. посібн. / В.І. Ткачук. – Львів: Львівська політехніка, 2001. – 404 с.
2. Карпович О.Я. Верификация математической модели вентильно-индукторного электродвигателя микрокомпрессора / О.Я. Карпович, О.А. Онищенко // Энергетика, энергосберегающие технологии и оборудование. – 2011, № 24. – С. 77–82.
3. Карпович О.Я. Исследование электромеханических свойств вентильно-индукторного электропривода / О.Я. Карпович // Электромашинобудовання та електрообладнання. – 2006. – №66. – С. 59-61.
4. Jin-Woo Switched reluctance motor. Режим доступу: www.intechopen.com. – Дата звертання: 18 липня 2016.
5. Красовский А.Б. Исследование пульсаций момента в вентильно-индукторном электроприводе / А.Б. Красовский, М.Г. Бычков // Электричество. – 2001. – № 10. – С. 33-43.
6. Малафеев С.И. Анализ электромагнитного момента вентильно-индукторного двигателя в мехатронной системе с нелинейным токовым управлением / С.И. Малафеев, В.А. Шаббаев, А.В. Захаров // Электротехника. – 2006. – № 3. – С. 37-42.
7. Пахомин С.А. Пульсации момента тягового реактивного индукторного двигателя в режиме ограничения тока / С.А. Пахомин, А.В. Киреев // Изв. Вузов. Электромеханика. – 2004. – № 1. – С. 25-28.
8. Мазуренко Л.І. Технічна реалізація та експериментальні дослідження вентильно-індукторного двигуна / Л.І. Мазуренко, О.В. Бібік, О.А. Білик, Л.О. Жуков // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – 2013. – Вип. 2/2013 (22). Частина 2. – С. 158-161.
9. Мазуренко Л.І., Бібік О.В., Білик О.А., Шихненко М.О., Клименко В.Г. Пат. 107247, Україна. Спосіб стабілізації частоти обертання валу вентильно-індукторного двигуна / Л.І. Мазуренко, О.В. Бібік, О.А. Білик, М.О. Шихненко. – 2016.
10. Кузнецов В.А. Вентильно-индукторные двигатели / В.В. Кузнецов, В.А. Кузьмичев. – М.: МЭИ, 2003. – 70 с.
11. Радин В.И. Унифицированная серия асинхронных двигателей Интерэлектро / В.И. Радин, Й. Лондин, В.Д. Розенкнопн др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.

#### References (transliterated)

1. Tkachuk V.I. *Elektromekhanotronika: Navch. posibn.* [Electromechanotronic. Tutorial]. L'viv: L'viv'ska politekhnika Publ., 2001. 404 p.
2. Karpovich O. Ya. Onischenko O.A. Verifikatsiya matematicheskoy modeli ventil'no-induktornogo elektrodvigatelya mikrokompressora [Verification of a mathematical model of switched reluctance motor of microcompressor]. *Energetika, energosberegayushchie tekhnologii i oborudovanie*. 2012, no. 24, pp. 77–82.
3. Karpovich O.Ya. Issledovanie elektromekhanicheskikh svoystv ventil'no-induktornogo elektroprivoda [Research of electromechanical properties of switched reluctance motor]. *Elektromashinobudovannya ta elektroobladnannya*. 2006, no. 66, pp. 59-61.
4. Jin-Woo Switched reluctance motor. Available at: www.intechopen.com. (accessed 18.07.2016).
5. Krasovskiy A.B., Bychkov M.G. *Issledovanie pul'satsiy momenta v ventil'no-induktornom elektroprivode* [An investigation of the ripples of the torque of a rectifier type inductor electric drive]. *Elektrichestvo*. 2001, no. 10, pp. 33-43.
6. Malafeyev S.I. Analiz elektromagnitnogo momenta ventil'no-induktornogo dvigatelya v mekhatronnoy sisteme s nelineynym tokovym upravleniem [Analysis of electromagnetic torque of switched reluctance motor in a mechatronic system with a non-linear current control]. *Elektrotekhnika*. 2006, no. 3, pp. 37-42.
7. Pakhomin S.A. *Pul'satsii momenta tyagovogo reaktivnogo induktornogo dvigatelya v rezhime ogranicheniya toka* [The ripples of torque of traction switched reluctance motor in current limiting mode]. *Izvestiya Vuzov. Elektromekhanika*. 2004, no. 1, pp. 25-28.
8. Mazurenko L.I., Bibik O.V., Bilyk O.A., Zhukov L.O. *Tekhnichna*

- realizatsiya ta eksperymental'ni doslidzhennya ventyl'no-induktornoho dvyhuna [Technical implementation and experimental research of switched reluctance motor]. *Elektromekhanichni i enerhozberiyayuchi systemy. Shchokvartal'nyu naukovy-vyrobnychy zhurnal*. Kremenchuk, KrNU Publ., 2013, issue 2/2013 (22). Chastyna 2, pp. 158-161.
9. Mazurenko L.I., Bibik O.V., Bilyk O.A., Shykhnenko M.O. Klymenko V.H. *Sposib stabilizatsiyi chastoty obertannya valu ventyl'no-induktornoho dvyhuna* [The method of frequency stabilization of shaft of switched reluctance motor]. Patent Ukraine, no. 107247, 2016.
10. Kuznetsov V.A. *Ventil'no-induktornye dvigateli* [Switched reluctance motors]. Moscow, MEI Publ., 2003. 70 p.
11. Radin V.I., Londin Y., Rozenkop V.D. *Unifitsirovannaya seriya asinkhronnykh dvigateley Interelektro* [Unified series of Interelectro asynchronous motors]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 416p.

Надійшла (received) 22.07.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Модельовання режимів та регулювання частоти обертання вентильно-індукторного двигуна з перетворювачем із С-скиданням коливальним поверненням енергії при зміні кутів комутації / Л. І. Мазуренко, О. В. Бібік, О. А. Білик, М. О. Шихненко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 11 (11834). – С. 64–69. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2409-9295.**

**Моделирование режимов и регулирования частоты вращения вентильно-индукторного двигателя с преобразователем с С-сбросом колебательным возвращением энергии при изменении углов коммутации / Л. И. Мазуренко, Е. В. Бибики, А. А. Билик, М. О. Шихненко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 11 (1183). – С. 64–69. – Библиогр.: 11 назв. - ISSN 2409-9295.**

**Simulation mode and speed control of switched reluctance motor using a converter with the C-dump and the oscillation return of energy at changing switching angles / L. I. Mazurenko, O. V. Bibik, O. A. Bilyk, M. O. Shihnenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Electrical machines and electromechanical energy conversion. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No. 11 (1183). – P. 64-69. – Bibliogr.: 11. - ISSN 2409-9295.**

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Мазуренко Леонід Іванович** – доктор технічних наук, професор, завідувач відділом електромеханічних систем Інституту електродинаміки Національної академії наук України; тел.: (044) 366-24-91; e-mail: mlins@ied.org.ua.

**Мазуренко Леонид Иванович** – доктор технических наук, профессор, заведующий отделом электромеханических систем Института электродинамики Национальной академии наук Украины; тел.: (044) 366-24-91; e-mail: mlins@ied.org.ua.

**Mazurenko Leonid Ivanovych** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of Department of Electromechanical Systems of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine; tel.: (044) 366-24-91; e-mail: mlins@ied.org.ua.

**Бібік Олена Василівна** – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник відділу електромеханічних систем Інституту електродинаміки Національної академії наук України; тел.: (044) 366-24-14; e-mail: bibik@ied.org.ua.

**Бибики Елена Васильевна** - кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела электромеханических систем Института электродинамики Национальной академии наук Украины; тел.: (044) 366-24-14; e-mail: bibik@ied.org.ua.

**Bibik Elena Vasylivna** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Senior Research Officer of Department of Electromechanical Systems of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine; tel.: (044) 366-24-14; e-mail: bibik@ied.org.ua.

**Білик Олександр Анатолійович** – провідний інженер відділу електромеханічних систем Інституту електродинаміки Національної академії наук України; тел.: (044) 366-25-72; e-mail: mlins@ied.org.ua.

**Билик Александр Анатольевич** – ведущий инженер отдела электромеханических систем Института электродинамики Национальной академии наук Украины; тел.: (044) 366-25-72; e-mail: mlins@ied.org.ua.

**Bilyk Alexander Anatolievich** – leading engineer of Department of Electromechanical Systems of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine; tel.: (044) 366-25-72; e-mail: mlins@ied.org.ua.

**Шихненко Максим Олегович** - інженер відділу електромеханічних систем Інституту електродинаміки Національної академії наук України; тел.: (044) 366-25-72; e-mail: mlins@ied.org.ua.

**Шихненко Максим Олегович** – инженер отдела электромеханических систем Института электродинамики Национальной академии наук Украины; тел.: (044) 366-25-72; e-mail: mlins@ied.org.ua.

**Shihnenko Maksim Olegovich** – engineer of Department of Electromechanical Systems of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine; tel.: (044) 366-25-72; e-mail: mlins@ied.org.ua.