

УДК 621.313.13.014

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМУТАЦІЇ НА СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА

**Н. М. Істоміна**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: [istominaNM@qip.ru](mailto:istominaNM@qip.ru)

Досліджено вплив типу комутації на механічні та енергетичні характеристики вентильно-індукторного двигуна середньої потужності, конфігурації 6/4. Доведено, що використання несиметричної комутації дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії на 17 %. Отримано аналітичну залежність коефіцієнта корисної дії від коефіцієнта використання фази та струму навантаження. Доведено, що несиметричну комутацію доцільно використовувати при пуску та роботі з перевантаженням.

**Ключові слова:** вентильно-індукторний двигун, несиметрична комутація, коефіцієнт використання фаз, коефіцієнт корисної дії електроприводу.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОММУТАЦИИ НА СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

**Н. Н. Истомина**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: [istominaNM@qip.ru](mailto:istominaNM@qip.ru)

Исследовано влияние типа коммутации на механические и энергетические характеристики вентильно-индукторного двигателя средней мощности, конфигурации 6/4. Доказано, что использование несимметричной коммутации позволяет повысить коэффициент полезного действия на 17 %. Получена аналитическая зависимость коэффициента полезного действия от коэффициента использования фазы и тока нагрузки. Доказано, что несимметричную коммутацию целесообразно использовать при пуске и работе с перегрузкой.

**Ключевые слова:** вентильно-индукторный двигатель, несимметричная коммутация, коэффициент использования фаз, коэффициент полезного действия электропривода.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Електропривод є суттєвою складовою в єдиному енергетичному процесі виробництва, розподілу й використання електричної енергії. У розвинених країнах до 65 % усієї електроенергії споживається електроприводом [1]. Наслідком розвитку мікропроцесорної техніки є спрямований перехід від нерегульованого до регульованого електроприводу в усіх сферах промисловості. При цьому найбільшою популярністю користується частотно-регульований електропривод [2].

Останнім часом основним конкурентом частотно-регульованому є вентильно-індукторний електропривод (ВІЕП).

Вентильно-індукторний двигун (ВІД) характеризується цілою низкою переваг: простотою й технологічністю конструкції індукторної машини (ІМ), низькою собівартістю, високою надійністю, високою ремонтпридатністю, низькими втратами в роторі, мінімальними температурними ефектами, низьким моментом інерції, можливістю роботи на великих частотах обертання, можливістю роботи в агресивних середовищах, високим ступенем утилізації [3].

Сучасні ІМ можуть бути трьох типів: із самозбудженням, за рахунок постійної складової струму в обмотці якоря; з незалежним збудженням, тобто зі спеціальною обмоткою збудження, розташованою на статорі; з магнітоелектричним збудженням.

У світі найбільша увага через простоту конструкції й технологічність їх виготовлення

приділяється ІМ із самозбудженням. Приводи на їх базі більш відомі як Switched Reluctance Drive (SRD) [4, 5].

Регулювання таких типів ВІД здійснюється шляхом застосування різних типів комутації. Для двигунів, у яких на один полюс припадає одна пара зубців ротора, в основному використовують одиночну симетричну комутацію. У номінальних режимах роботи двигуна її доцільність доведена в роботах [6, 7].

Актуальним залишається питання застосування інших типів комутації під час пуску двигуна та роботи з перевантаженням.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Розрахунки проведено на прикладі ВІД 6/4, паспортні дані якого наведено у табл. 1. Виробником даного двигуна є [8]. Як навантаження виступає електрокар з наступними експлуатаційними показниками:

- базова маса – 1500 кг;
- номінальна вантажопідйомність – 2000 кг;
- швидкість руху з номінальним вантажем – 12 км/год;
- висота кабіни – 2000 мм;
- ширина – 1250 мм.

Таблиця 1 – Паспортні дані двигуна ВІД 80-3,0 УХЛ4

№	Найменування	Значення
1	Номінальна потужність, кВт	3,0
3	Номінальний споживаний струм, А	7,5
4	Коефіцієнт пускового струму	5
5	Коефіцієнт потужності	0,88
6	Номінальна частота обертів, об/хв	3000
7	Максимальна частота обертів, об/хв	5000
8	Мінімальна частота обертів, об/хв	1000
9	Номінальний/максимальний момент, Н·м	9,5/18
10	Конфігурація двигуна	6/4
11	Клас захисту	IP 54
12	Момент інерції, кг·м <sup>2</sup>	0,0019

ІМ живиться імпульсами постійної напруги. Залежно від вигляду цих імпульсів розрізняють такі типи комутації:

- одиночну (рис. 1,а,в,г) і парну (рис. 1,б);
- симетричну (рис. 1,а,б,г) і несиметричну (рис. 1,в);
- пряму (рис. 1,а–в) і з прикладенням зворотного імпульсу напруги (рис. 1,г).

Для ВІД конфігурації 6/4 неприпустимо застосовувати парну комутацію, оскільки на одну фазу припадає тільки одна пара зубців статора.

Комутація з прикладенням зворотного імпульсу дозволяє розв'язати проблему насичення сталі [9]. Зворотна напруга прикладається на неробочій ділянці комутаційного періоду фази та, відповідно, не впливає на формування робочого моменту двигуна. Тому при аналізі статичних характеристик її можна розглядати як пряму комутацію.

У даній роботі особлива увага приділяється дослідженню впливу на механічні та енергетичні характеристики ВІД симетричної та несиметричної комутації.

При симетричній комутації можна регулювати амплітуду імпульсу напруги живлення, але при цьому змінюється амплітудне та діюче значення фазного струму (рис. 2,а).

При несиметричній комутації додатково можна регулювати шпаруватість імпульсу (рис. 2,б), при цьому амплітудне значення фазного струму не змінюється, а діюче значення зростає. Застосування несиметричної комутації дозволяє знизити вібрації.

З попереднього аналізу цих двох типів комутації видно, що несиметрична є більш ефективною. Тепер необхідно кількісно оцінити вплив несиметричної комутації на механічні

та енергетичні характеристики.

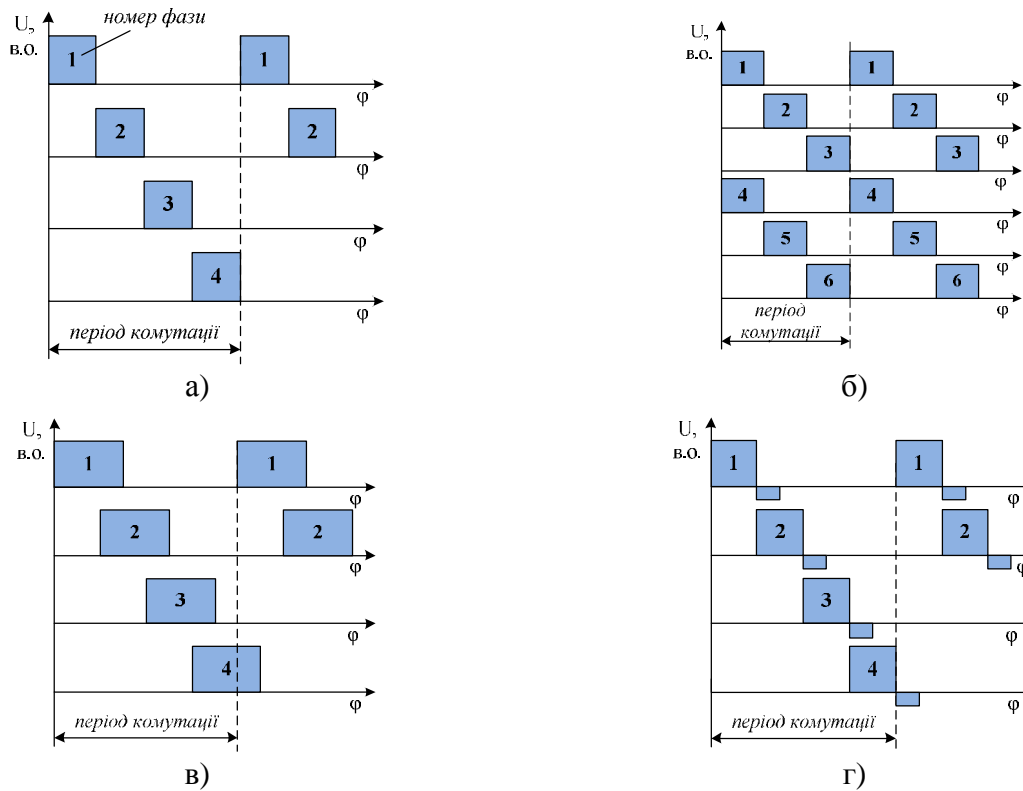


Рисунок 1 – Ілюстрація типів комутації

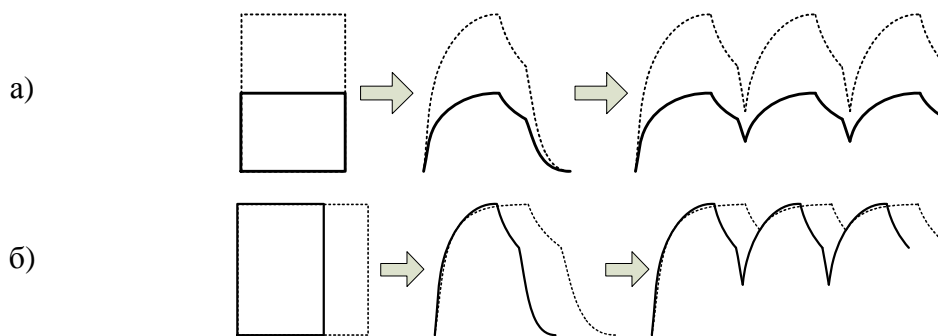


Рисунок 2 – Вплив регулювання амплітуди (а) та шпаруватості (б) імпульсу напруги живлення на фазні струми

Визначимо параметри комутації для ВІД 6/4, які залежать від геометричних розмірів двигуна (табл. 2).

Таблиця 2 – Геометричні розміри ВІД 80-3,0 УХЛ4

Позначення	Назва величини	Значення
$D_{S1}$	Зовнішній діаметр статора	180 мм
$D_{S2}$	Внутрішній діаметр статора	112 мм
$D_{R1}$	Зовнішній діаметр ротора	110 мм
$D_{R2}$	Внутрішній діаметр ротора	70 мм
$Z_S$	Число зубців статора	6
$Z_R$	Число зубців ротора	4

Алгоритм комутації фаз характеризується наступними параметрами [6]:

- кількістю тактів за повний цикл комутації;
- тактовим кутом, який визначає кут повороту ротора за один такт комутації;
- числом тактів на один оберт ротора.

Обчислимо основні показники комутації, згідно з [6].

- крок послідовної комутації

$$q_k = \frac{2p}{mZ_R} = \frac{2 \cdot 3,14}{3 \cdot 4} = 0,524 \text{ рад, або } 30^0, \quad (1)$$

де  $m$  – кількість фаз;

- абсолютна зона моменту

$$q_a = \frac{2p}{Z_R} = \frac{2 \cdot 3,14}{4} = 1,571 \text{ рад, або } 90^0; \quad (2)$$

- відносна зона перекриття

$$r_A = \frac{q_a}{q_k} = 3; \quad (3)$$

- відносна ефективна зона перекриття

$$r_E = \frac{m}{2} \cdot \frac{Z_S}{Z_R} = \frac{3}{2} \cdot \frac{6}{4} = 2,25; \quad (4)$$

- полюсна дуга статора

$$b_S = \frac{1}{2} \cdot \frac{2p}{Z_S} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 3,14}{6} = 0,524 \text{ або } 30^0. \quad (5)$$

– полюсна дуга ротора, вибирається більшою за  $b_S$  згідно з проектними таблицями [10], приймаємо  $b_R = 34^0$ .

Кількість тактів у повному циклі для випадку одиночної симетричної комутації дорівнює числу фаз, тобто  $x = m = 3$ .

Тактовий кут у загальному випадку може бути знайдений за виразом

$$e = \frac{2p}{xZ_R} = \frac{2 \cdot 3,14}{3 \cdot 4} = 0,524 \text{ рад, або } 30^0. \quad (6)$$

Використовуючи (6), легко отримуємо вираз для кількості тактів на один оберт ротора:

$$x = \frac{2p}{e} = \frac{2 \cdot 180^0}{30^0} = 12. \quad (7)$$

Частота слідкування імпульсів напруги, які надходять до однієї фази двигуна, дорівнює:

$$f = \frac{\xi}{m} \cdot \frac{n_n}{60} = \frac{3}{3} \cdot \frac{3000}{60} = 50 \text{ Гц.} \quad (8)$$

Час дії імпульсу напруги живлення вибирається відповідно до індуктивності фаз ВІД.

Індуктивність має мінімальне значення при неузгодженому положенні й максимальне при узгодженому. Згідно з [6, 10, 11–13] її залежність від кута обертання ротора можна представити лінійною апроксимацією, як показано на рис. 3.

Точка 1 відповідає неузгодженому положенню та є положенням нестійкої рівноваги. Комутація двигуна починається з неї та закінчується на ділянці 2–3. Точка 3 відповідає повному перекриттю зубців статора і ротора. Ділянка 3–4 відповідає різниці полюсних дуг статора і ротора:

$$\Delta b = b_R - b_S = 34^0 - 30^0 = 4^0, \quad (9)$$

ця ділянка вироджується у точку, якщо  $b_S = b_R$ .

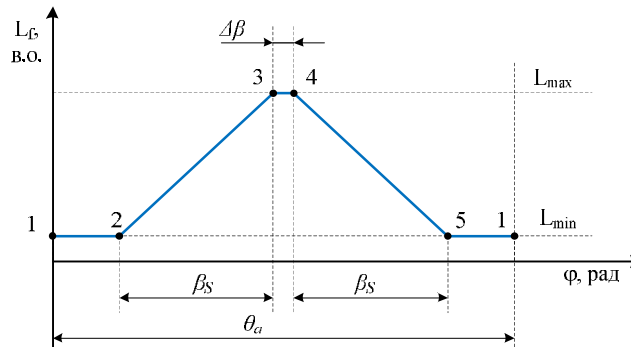


Рисунок 3 – Залежність індуктивності від кута повороту ротора

Після проходження ділянки 4–5, на якій індуктивність зменшується, статор і ротор знову займають неузгоджене положення. При цьому період комутації дорівнює абсолютній зоні моменту, для досліджуваного двигуна –  $90^\circ$ .

Період, на якому індуктивність приймає мінімальне значення, визначається як

$$T_{min} = q_a - 2b_S - \Delta b = 90^\circ - 2 \cdot 30^\circ - 4^\circ = 26^\circ. \quad (10)$$

При одиночній симетричній комутації період дії імпульсу напруги дорівнює кроку послідовної комутації  $q_k = 30^\circ$  (рис. 4,а); при несиметричній комутації максимальний період дії імпульсу напруги має вигляд, як показано на рис. 4,б, й обчислюється наступним чином:

$$q_{kmax} = q_k + \frac{T_{min}}{2} = 30^\circ + \frac{26^\circ}{2} = 43^\circ \text{ або } q_{kmax} = \frac{q_a - \Delta b}{2} = \frac{90^\circ - 4^\circ}{2} = 43^\circ.$$

Якщо прийняти діюче значення напруги живлення однієї фази на періоді симетричної комутації  $U_{dn}$  за базове, то можна визначити максимальне значення коефіцієнту використання фаз:

$$k_{mmax} = \frac{q_{kmax}}{q_k} = \frac{43^\circ}{30^\circ} = 1,43(3), \quad (11)$$

прийемо  $k_{mmax} = 1,4$ .

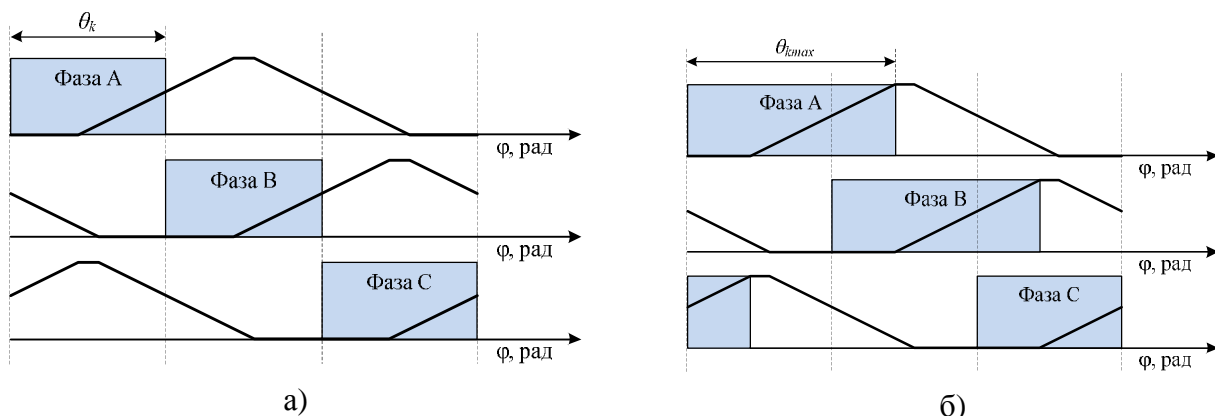


Рисунок 4 – Симетрична та несиметрична комутація для ВІД 6/4

Тож коефіцієнт використання фаз знаходиться у межах  $1 < k_m \leq 1,4$ . Відповідно діюче значення напруги живлення однієї фази знаходиться у межах  $1 < U_d \leq 1,4U_{dn}$ .

Згідно з [7] механічна характеристика ВІД подібна характеристиці двигуна постійного

струму послідовного збудження (відмінністю є струмообмеження на малих частотах обертання), при симетричній комутації її можна описати рівнянням

$$w(I,U) = \frac{U}{F(I)} - \frac{M(I)R_f}{F(I)^2}, \quad (12)$$

де  $U$  – напруга живлення двигуна;  $F(I)$  – магнітний потік, який залежить від фазного струму;  $M(I)$  – електромагнітний момент двигуна;  $R_f$  – фазний опір, еквівалентний активному опору обмотки і магнітному опору зазору (прийнято допущення, що магнітний опір не змінюється).

Відповідно, електромеханічна характеристика

$$w(I,U) = \frac{U}{F(I)} - \frac{IR_f}{F(I)}. \quad (13)$$

Залежність магнітного потоку від фазного струму опишемо стандартною кривою намагнічування

$$F(I) = 0,997 F_n \arctg \left( 1,567 \frac{I}{I_n} \right), \quad (14)$$

де  $F_n$  – номінальний магнітний потік,  $F_n = 1,273$  Вб.

Для побудови механічної характеристики ВІД (рис. 5) були обчислені необхідні параметри, які наведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Розрахункові параметри ВІД 80-3,0 УХЛ4

Позначення	Назва величини	Значення
$P_{1n}$	Номінальна споживана потужність, Вт	3409,091
$U_n$	Номінальна напруга живлення, В	454,545
$w_n$	Номінальна кутова частота обертання, рад/с	314,159
$w_{min}$	Мінімальна кутова частота обертання, рад/с	104,72
$w_{max}$	Номінальна кутова частота обертання, рад/с	523,599
$F_n$	Номінальний магнітний потік, Вб	1,273
$R_f$	Фазний опір, Ом	7,273
$M_0$	Момент, що відповідає $w_{max}$ , Н·м	2,943
$M_{b0}$	Момент рушання без вантажу, Н·м	17,349
$M_b$	Момент рушання з вантажем, Н·м	40,481
$I_0$	Струм, що відповідає $w_{max}$ , А	3,597
$I_{b0}$	Струм рушання без вантажу, А	11,59
$I_b$	Струм рушання з вантажем, А	23,307

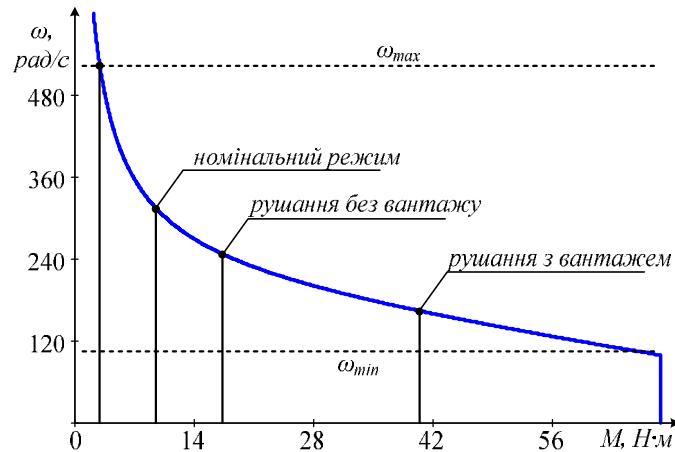


Рисунок 5 – Механічна характеристика ВІД при одиночній симетричній комутації

Для несиметричної комутації можна навести наступну аналогію: періоду роботи однієї фази відповідає робота одного двигуна на навантаження, періоду одночасної роботи двох фаз відповідає паралельна робота двох однакових двигунів на загальне навантаження (за умови, що електромагнітні параметри фаз рівні). Тому механічна характеристика при несиметричній комутації визначається як

$$w(I, U, k_m) = \frac{U}{F(I)} - \frac{M(I)R_f}{k_m F(I)^2}. \quad (15)$$

На рис. 6 показаний діапазон регулювання швидкості при несиметричній комутації.

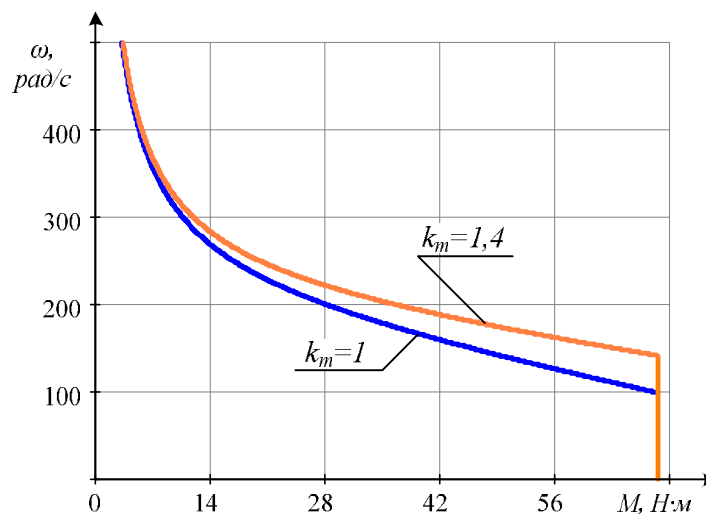


Рисунок 6 – Вплив коефіцієнту використання фаз на механічну характеристику

Оцінимо вплив несиметричної комутації на енергетичну характеристику ВІД.

Корисна потужність на валу

$$P_2(I, U, k_m) = M(I)w(I, U, k_m). \quad (16)$$

Споживана потужність

$$P_1(I, U) = IU. \quad (17)$$

ККД приводу

$$h(I, U, k_m) = \frac{P_2(I, U, k_m) - \Delta P_{\text{мех}}}{P_1(I, U)}, \quad (18)$$

де  $\Delta P_{mex}$  – механічні втрати, прийmemo  $\Delta P_{mex} = 0,02P_{2n}$ .

Як видно з виразу (18), підвищення енергоефективності відбувається за рахунок збільшення швидкості та, відповідно, корисної потужності.

На рис. 7 проілюстровано вплив несиметричної комутації на ККД приводу.

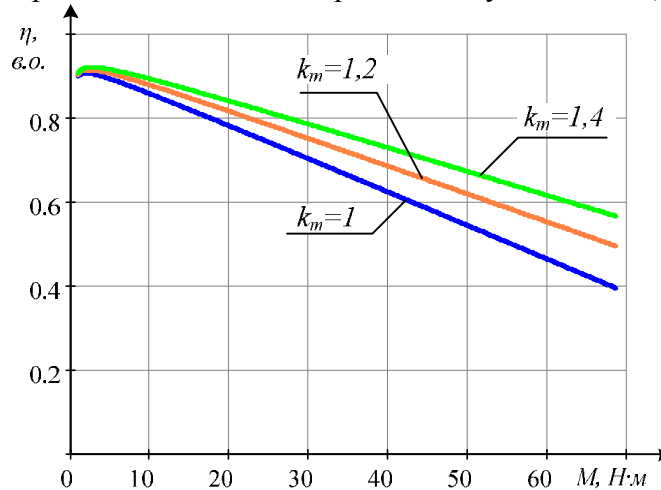


Рисунок 7 – Вплив коефіцієнту використання фаз на енергетичну характеристику

Через урахування механічних втрат розраховане номінальне значення ККД менше за паспортне і становить  $h(I_n, U_n, 1) = 0,862$  в.о. (паспортне значення – 0,88).

Для кількісної оцінки впливу коефіцієнта використання фаз на енергоефективність двигуна складемо таблицю даних ККД для різного рівня навантаження (табл. 4):

- неробочий хід –  $I_0 = 3,597$  А;
- половинне навантаження –  $I_{0,5} = 3,75$  А;
- номінальне навантаження –  $I_n = 7,5$  А;
- рушання без вантажу –  $I_{b0} = 11,59$  А;
- рушання з вантажем –  $I_b = 23,307$  А.

Таблиця 4 – Вплив коефіцієнту використання фаз на ККД двигуна

Значення $k_m$	$h$ , в.о.				
	$I_0$	$I_{0,5}$	$I_n$	$I_{b0}$	$I_b$
1	0,906	0,905	0,862	0,803	0,621
1,1	0,911	0,91	0,873	0,82	0,655
1,2	0,915	0,915	0,882	0,834	0,684
1,3	0,919	0,919	0,89	0,846	0,707
1,4	0,922	0,922	0,897	0,856	0,728

Таблиця 5 – Збільшення ККД двигуна при несиметричній комутації

Значення $k_m$	$\Delta h$ , %				
	$I_0$	$I_{0,5}$	$I_n$	$I_{b0}$	$I_b$
1	–	–	–	–	–
1,1	0,578	0,603	1,265	2,099	5,455
1,2	1,059	1,105	2,319	3,848	10,001
1,3	1,466	1,53	3,211	5,328	13,848
1,4	1,815	1,895	3,976	6,527	17,145



Тож можна сказати, що застосування несиметричної комутації дозволяє підвищити ККД електроприводу: при неробочому ході – на 1,815 %; при половинному навантаженні – на 1,895 %; при номінальному навантаженні – на 3,976 %; при рушанні без вантажу – на 6,527 %; при рушанні з вантажем – на 17,145 %.

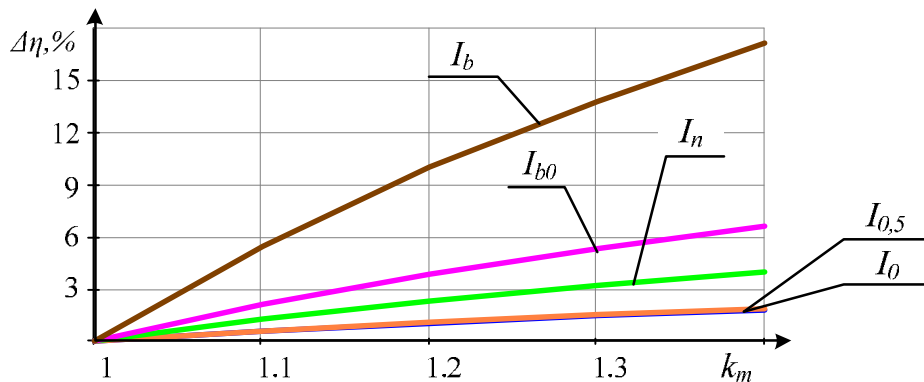


Рисунок 8 – Залежність збільшення ККД від коефіцієнту використання фази  
 Отримаємо аналітичну залежність ККД ВІЕП від коефіцієнту використання фази та струму навантаження:

$$h(I, U, k_m) = k'_{mex} \left( 1 - \frac{IR_f}{k_m U} \right), \quad (19)$$

де  $k'_{mex}$  – коефіцієнт, який враховує механічні втрати,

$$k'_{mex} = 1 - \frac{\Delta P_{mex}}{P_{2n}}.$$

**ВИСНОВКИ.** Ступінь несиметричності при комутації враховується за допомогою коефіцієнту використання фаз. Його значення залежить від абсолютної зони моменту, полюсних розподілів статора і ротора та кроку послідовної комутації. За рахунок збільшення коефіцієнта використання фази можна підвищити ККД електроприводу на 17 %. Доведено, що доцільно використовувати несиметричну комутацію, коли навантаження перевищує номінальне, особливо при рушанні.

Вплив типу комутації на перехідні енергетичні характеристики потребує подальшого дослідження з урахуванням втрат у сталі.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Ильинский Н.Ф. Электропривод в современном мире // Сборник материалов V международной (XVI Всероссийской) научной конференции, 18–21 сентября 2007 г. – СПб., 2007. – С. 17–19.
2. Бычков М. Вентильно-индукторный электропривод: современное состояние и перспективы развития [Электронный ресурс] // Журнал-справочник «Рынок Электротехники». – Режим доступа: <http://www.marketelectro.ru/magazine/readem0207/10>
3. Ильинский Н.Ф. Вентильно-индукторный электропривод – перспективы развития // Вестник Харьковского политехнического института. – Харьков, 2002. – Т. 1. – С. 42–43.
4. Switched Reluctance Motor Drives [Электронный ресурс] // Стаття з офіційного сайту компанії «Fleadh Electronics. Specialists in Green Power Electronics». – Режим доступу: [fleadh.co.uk/srm.htm](http://fleadh.co.uk/srm.htm)
5. Switched Reluctance Motor [Электронный ресурс] // Матеріали з офіційного сайту University of Technology Sydney. Electrical Energy Technology. – Режим доступу: <http://services.eng.uts.edu.au/>
6. Вентильно-индукторные двигатели [Электронный учебник] / В.А. Кузнецов,

В.А. Кузьмичев. – Режим доступу: <http://elmech.mpei.ac.ru>.

7. Проектирование вентильных индукторных двигателей: Методическое пособие / В.Г. Фисенко, А.Н. Попов. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 56 с.

8. Каталог продукции ООО «УралРегионГрупп»: Электродвигатели тяговые [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://elektrokara.ru/elektrodivigateli-tiagovie>

9. Ткачук В.І. Електромеханотроніка: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2006. – 440 с.

10. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2006. – 363 с.

11. DiRenzo, Michael T. Switched Reluctance Motor Control – Basic Operation and Examples Using the TMS320F240 // Texas Instruments Incorporated. Application Report, SPRA420A. – February, 2000. – 62 p.

12. Duijsen, P.J. van. Multilevel Modeling and Simulation of a Switched Reluctance Mashine // Simulation Research. – The Netherlands, 2007. – 8 p.

13. Miller, T.J.E. Switched Reluctance Motors and their Control // Magna Physics & Clarendon Press. – Oxford, 1993. – PP. 257–262.

## RESEARCH OF SWITCHING INFLUENCE ON STATIC CHARACTERISTICS OF SWITCHED RELUCTANCE MOTOR

### N. Istomina

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: [istominaNM@qip.ru](mailto:istominaNM@qip.ru)

The switching type influence on speed-torque and energy characteristics of the switched reluctance motor of average power with configuration 6/4 are researched. It is proved that asymmetrical switching allows to increase efficiency for 17 %. The expediency of asymmetrical switching under start-up and overload operating is proved.

**Key words:** switched reluctance motor, asymmetrical switching, phases efficiency, electric drive efficiency.

### REFERENCES

1. Ilyinckiy N.F. Electric drive in up-to-date world // *Collected of V International (XVI All-Russian) Scientific Conference*, 18–21 September. – SPb., 2007. – PP. 17–19. [in Russian]

2. Bychkov M. Switched Reluctance Electric Drive: Up-to-date State and Prospect Trends [Online resource] // *Journal-guide «Market of Electrical Engineering»*. – Access mode: <http://www.marketelectro.ru/magazine/readem0207/10>. [in Russian]

3. Ilyinckiy N.F. Switched Reluctance Electric Drive – Prospect Trends // *Bulletin of Kharkov Polytechnic Institute*. – Kharkov, 2002. – Vol. 1. – PP. 42–43. [in Russian]

4. Switched Reluctance Motor Drives [Online resource] // *Official site of «Fleadh Electronics. Specialists in Green Power Electronics»*. – Access mode: [fleadh.co.uk/srm.htm](http://fleadh.co.uk/srm.htm)

5. Switched Reluctance Motor [Online resource] // *Official site of University of Technology Sydney. Electrical Energy Technology*. – Access mode: <http://services.eng.uts.edu.au/>

6. *Switched Reluctance Motors* [Online textbook] / V.A. Kuznecov, V.A. Kuzmichev. – Access mode: <http://elmech.mpei.ac.ru>. [in Russian]

7. *Designing of Switched Reluctance Motors: Workbook* / V.G. Fisenko, A.N. Popov. – М.: Publishing house of Moscow Energetic Institute, 2005. – 56 p. [in Russian]

8. *Catalogue of production ООО «UralRegionGrupp»: Electric Traction Motors* [Online resource]. – Access mode: <http://elektrokara.ru/elektrodivigateli-tiagovie>. [in Russian]

9. Tkachuk V.I. *Electric Mechatronics: textbook*. – Lviv: Publishing house of National University «Lvivska Politechnika», 2006. – 440 p. [in Ukrainian]
10. *Controlled Alternating Current Drive* / B.I. Firago, L.B. Pavliachyk. – Minsk: Technoperspectiva, 2006. – 363 p. [in Russian]
11. DiRenzo, Michael T. *Switched Reluctance Motor Control – Basic Operation and Examples Using the TMS320F240* // Texas Instruments Incorporated. Application Report, SPRA420A. – February, 2000. – 62 p.
12. Duijsen, P.J. van. *Multilevel Modeling and Simulation of a Switched Reluctance Mashine* // *Simulation Research*. – The Netherlands, 2007. – 8 p.
13. Miller, T.J.E. *Switched Reluctance Motors and their Control* // *Magna Physics & Clarendon Press*. – Oxford, 1993. –PP. 257–262.



Істоміна Наталія Миколаївна,  
асистент каф. «Системи автоматичного управління та електропривод»  
Кременчуцького національного університету  
імені Михайла Остроградського,  
вул. Першотравнева, 20, г. Кременчук, 39600, Україна,  
тел. (05366) 3-11-47,  
E-mail: [istominaNM@qip.ru](mailto:istominaNM@qip.ru)

Стаття надійшла 17.02.2013  
Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Грабко В.В.