

УДК 621.313.13.014

**Н. М. Істоміна**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук

### **ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ФАЗНУ ІНДУКТИВНІСТЬ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА**

В результаті аналізу виявлено, що принципи організації робочого режиму вентильно-індукторного двигуна ґрунтуються на залежності індуктивності фази від кута повороту ротора. Сформульовані ключові правила комутації фаз вентильно-індукторного двигуна в залежності від індуктивності. Проаналізовані форми математичного опису фазної індуктивності. Відповідно до математичного опису визначені дві групи параметрів, які впливають на форму цієї залежності: рівневі і кутові. Визначений зв'язок між максимальним і мінімальним рівнями фазної індуктивності та електромагнітними параметрами двигуна. Також, при використанні чорної скриньки, складено перелік факторів впливу на форму фазної індуктивності. Серед отриманого переліку параметрів та факторів визначені варіативні, за умови забезпечення необхідного тягового зусилля. Доведено, що зовнішнім варіативним фактором є амплітуда напруги живлення, внутрішнім (конструктивним) варіативним фактором – полюсна дуга ротора.

**Ключові слова:** вентильно-індукторний двигун, фазна індуктивність, варіативні фактори впливу.

**Н. Н. Истомина**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, Кременчуг

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИНДУКТИВНОСТЬ ВЕНТИЛЬНО- ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

В результате анализа определено, что принципы организации рабочего режима вентильно-индукторного двигателя основаны на зависимости индуктивности фазы от угла поворота ротора. Сформулированы основные правила коммутации фаз вентильно-индукторного двигателя в зависимости от индуктивности. Проанализированы формы математического описания фазной индуктивности. Согласно с математическим описанием определены две группы параметров, которые влияют на форму этой зависимости: уровневые и угловые. Определена связь между максимальным и минимальным уровнями фазной индуктивности и электромагнитными параметрами двигателя. Также, при использовании черного ящика, составлен перечень факторов, влияющих на форму фазной индуктивности. Среди полученного перечня параметров и факторов определены вариативные, при условии обеспечения необходимого тягового усилия. Доказано, что внешним вариативным фактором является амплитуда напряжения питания, внутренним (конструктивным) вариативным фактором – полюсная дуга ротора.

**Ключевые слова:** вентильно-индукторный двигатель, фазная индуктивность, вариативные влияющие факторы.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Останнім часом основним конкурентом частотно-регульованому є вентильно-індукторний електропривод (ВІЕП) [1, 2].

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, більш відомим як Switched Reluctance Motor (SRM) [4].

Робочий режим фази такого двигуна формується як наведено на рис. 1. Його аналіз дозволяє виділити наступні ключові правила:

- напруга подається на фазу, коли індуктивність має мінімальне значення (ділянка  $\varphi_0 - \varphi_1$ );
- фаза відключається від живлення до моменту досягнення індуктивністю максимального значення (ділянка  $\varphi_1 - \varphi_4$ ).

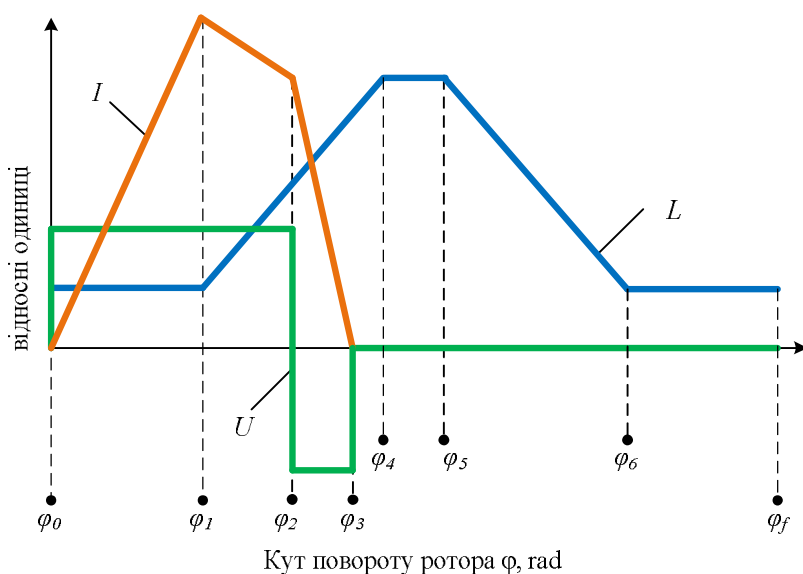


Рисунок 1 – Робочий режим однієї фази ВІД

Тож базовим параметром при описі перетворення енергії у ВІД являється індуктивність фази. Тому актуальною задачею є дослідження факторів, що впливають на індуктивність фази ВІД.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Згідно [5, 6] при ненасиченій магнітній системі індуктивність фази ВІД являється функцією кута повороту ротора і має нелінійну форму, як наведено на рис. 2.

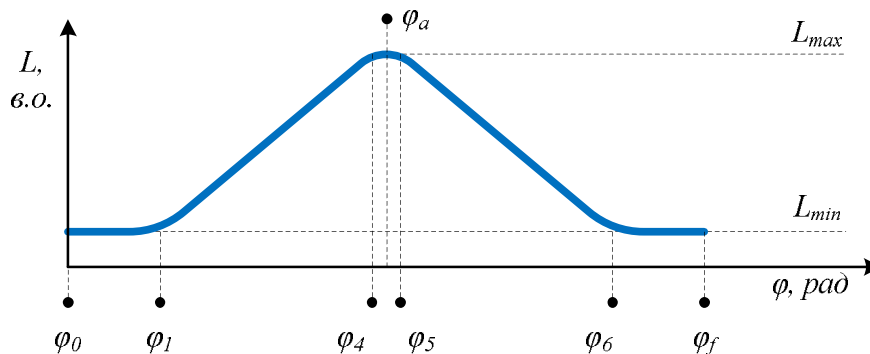


Рисунок 2 – Нелінійна залежність індуктивності від кута повороту ротора

Розглянемо зв'язок між індуктивністю і положенням ротора на прикладі ВІД 6/4.

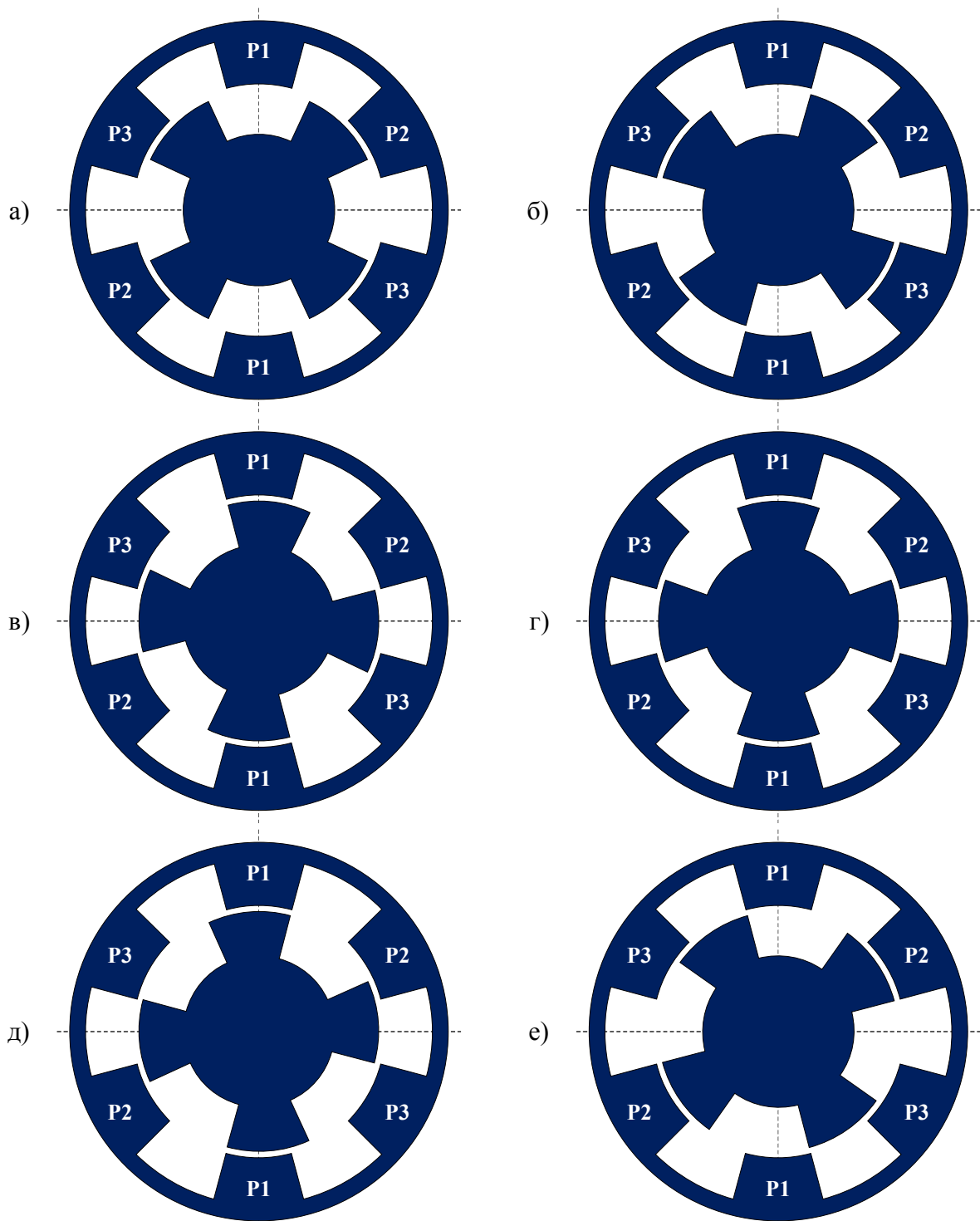


Рисунок 3 – Ілюстрація обертання ротора: а –  $\varphi_0$ , неузгоджене положення; б –  $\varphi_1$ ; в –  $\varphi_4$ ;  
г –  $\varphi_a$ , узгоджене положення; д –  $\varphi_5$ ; е –  $\varphi_6$

Індуктивність має мінімальне значення при неузгодженому положенні (рис. 3, а) і максимальне при узгодженому (рис. 3, г). Точка  $\varphi_1$  відповідає положенню нестійкої рівноваги (рис. 3, б), коли зубці статора і ротора починають перекриватися. На ділянці  $\varphi_1 - \varphi_4$

індуктивність наростає від мінімального значення до максимального. Ділянка  $\varphi_4 - \varphi_5$  відповідає перекриттю зубців статора і ротора (рис. 3, в-д). Точка  $\varphi_5$  відповідає початку зменшення перекриття зубців статора і ротора (рис. 3, д). Відповідно на ділянці  $\varphi_5 - \varphi_6$  індуктивність зменшується до мінімальної (рис. 3, е). У точці  $\varphi_f$  зубці статора і ротора знову займають неузгоджене положення (рис. 3, а).

За результатами огляду літературних джерел можна виділити наступні методи математичного описання цієї нелінійної залежності.

У [7] індуктивність фази для лінійної магнітної системи залежить тільки від взаємного положення сердечників, а точніше, тільки від провідності зазору, який змінюється у широких межах на інтервалі від неузгодженого до узгодженого положення. Формули, що описують характер зміни індуктивності для активної фази:

$$\begin{aligned} L(\varphi) &= w^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{S_e(\varphi)}{\delta_e}, \\ L_{max} &= w^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{S_s(\varphi)}{\delta}, \\ L_{min} &= w^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{S_0(\varphi)}{\delta}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $L(\varphi)$  – індуктивність фази;  $L_{max}$  – максимальне значення індуктивності ВІД;  $L_{min}$  – мінімальне значення індуктивності ВІД;  $w$  – число витків фази;  $\mu_0$  – магнітна проникливість повітря;  $S_e$  – еквівалентна площа повітряного простору, через який проходить магнітний потік;  $S_s$  – площа поперечного перерізу зубця статора;  $S_0$  – мінімальна площа повітряного простору, через який проходить магнітний потік;  $\delta_e$  – еквівалентний зазор.

Загальну формулу можна записати наступним чином [7]:

$$L(\varphi) = w^2 \lambda_s(\varphi), \quad (2)$$

де  $\lambda_s(\varphi)$  – залежність магнітної провідності від кута повороту ротора.

У [8] індуктивність описується як:

$$L(\varphi) = k \ln \left( \frac{r_1}{r_2} \right), \quad (3)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційний квадрату витків обмотки;  $r_1, r_2$  – відповідно максимальний і мінімальний радіуси секторів окружностей, проведених до крайок зубця статора (мають центри мас в одній точці ротора з мінімальним значенням радіуса).

У [9] використовується наступна залежність індуктивності:

$$L(\varphi) = L_{min} + (L_{max} - L_{min})(1 - \cos(2\varphi)). \quad (4)$$

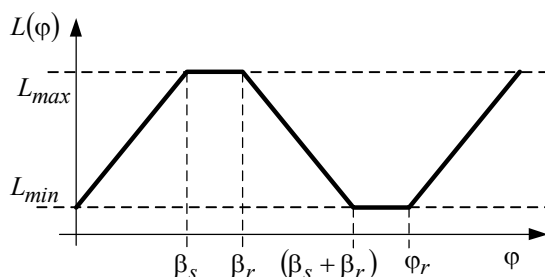


Рисунок 4 – Лінійна апроксимація індуктивності

Самим поширеним є спосіб лінійної апроксимації індуктивності. У [10, 11] залежність індуктивності від кута повороту представляється як показано на рис. 4.

На рис. 4 використовуються наступні позначення:  $\beta_s, \beta_r$  – полюсні дуги статора і ротора відповідно,  $\varphi_r$  – кут полюсного розподілу ротора;  $L_{max}, L_{min}$  – максимальне та мінімальне значення фазної індуктивності. У [10] наведену на рис. 4 залежність описують

наступною умовною функцією:

$$L(\varphi) = \begin{cases} L_{min}, & \varphi < 0 \\ L_{min} + K \cdot \varphi, & 0 < \varphi < \beta_s \\ L_{max}, & \beta_s < \varphi < \beta_r \\ L_{min} - K \cdot (\varphi - (\beta_s + \beta_r)), & \beta_s < \varphi < (\beta_s + \beta_r) \end{cases}, \quad (5)$$

де  $K$  – коефіцієнт нахилу, який визначається за формулою,

$$K = \frac{L_{max} + L_{min}}{\beta_s}. \quad (6)$$

У подальшому в роботі використовується саме лінійна апроксимація, оскільки вона наочно ілюструє залежність індуктивності від конструктивних параметрів (рис. 5), а її адекватність доведена у роботах [6, 10–13].

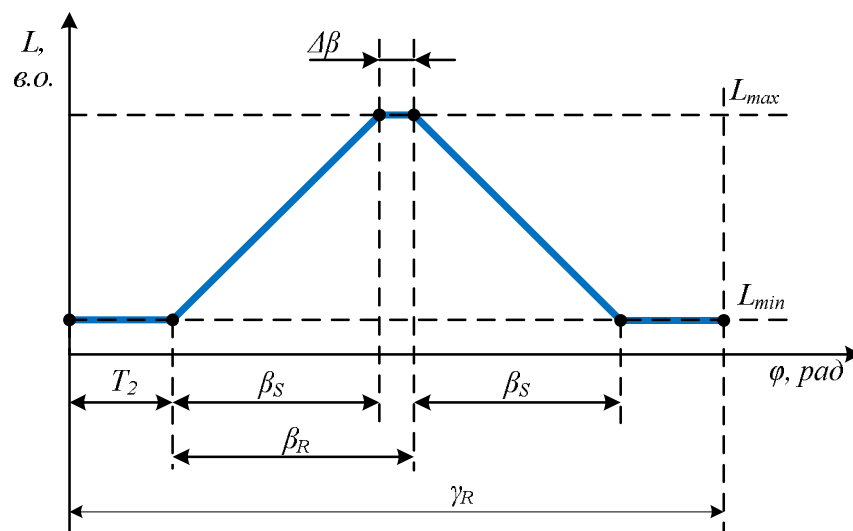


Рисунок 5 – Зв'язок між лінійною апроксимацією індуктивності та конструктивними параметрами ВІД

З огляду на математичний опис, параметри, які визначають форму індуктивності можна поділити на дві групи (згідно з координатними осями):

1. *Рівневі показники*: максимальне значення –  $L_{max}$ , мінімальне значення –  $L_{min}$ .
2. *Кутові показники*: полюсні дуги статора  $\beta_s$ , ротора  $\beta_r$ , кут повороту ротора  $\gamma_R$ .

Детальніше розглянемо параметри першої групи.

Згідно з [14] максимальне потокозчеплення ВІД при ненасиченій магнітній системі, В-с,

$$\Psi_{max} = \frac{\pi U_n}{Z_R \omega_n}, \quad (7)$$

де  $U_n$  – номінальна напруга живлення;  $Z_R$  – кількість зубців ротора;  $\omega_n$  – номінальна швидкість обертання,

$$\omega_n = \frac{2\pi n_n}{60}.$$

Відповідно до [7] індуктивність узгодженого положення:

$$L_{max} = \frac{\Psi_{max}}{i}, \quad (8)$$

де  $i$  – миттєве значення струму,

$$i = I_m \sin(\varphi_{el}) = \sqrt{2} I_n \sin(\varphi_{el});$$

$\varphi_{el}$  – електричний кут повороту ротора,

$$\varphi_{el} = \frac{\pi \omega t}{\varphi_k};$$

$\varphi_k$  – кут комутації,

$$\varphi_k = \frac{2\pi}{m Z_R};$$

$m$  – кількість фаз.

При незмінному значенні струму можна записати:

$$L_{max} = \frac{\Psi_{max}}{\sqrt{2} I_n}. \quad (9)$$

З іншого боку, як наведено у [15], енергія магнітного кола,

$$W = \frac{\Delta L I_m^2}{2} = \Delta L I_n^2. \quad (10)$$

Енергія магнітного кола витрачається на роботу, необхідну для повороту двигуна на деякий кут  $\Delta\varphi$  [16]. Відповідно

$$M_n \Delta\varphi = \Delta L I_n^2. \quad (11)$$

При роботі однієї фази ротор двигуна повертається на кут  $\Delta\varphi = \varphi_k$ , звідси різниця між рівнями індуктивності:

$$\Delta L = \frac{M_n \varphi_k}{I_n^2}. \quad (12)$$

Індуктивність при неузгодженому положенні:

$$L_{min} = L_{max} - \Delta L. \quad (13)$$

Отримаємо формули для обчислення рівнів індуктивності при незмінному значенні струму [17]:

$$\begin{aligned} L_{max} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{M_n}{I_n^2} \frac{2\pi}{Z_R}; \\ \Delta L &= \frac{2}{m} \frac{M_n}{I_n^2} \frac{2\pi}{Z_R}; \\ L_{min} &= \left( \frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{2}{m} \right) \frac{M_n}{I_n^2} \frac{2\pi}{Z_R}. \end{aligned} \quad (14)$$

Запишемо загальну формулу для обчислення рівнів індуктивності:

$$L(k) = k L_b \gamma, \quad (15)$$

де  $L_b$  – базова індуктивність,

$$L_b = \frac{M_n}{I_n^2};$$

$\gamma$  – абсолютна моментна зона,

$$\gamma = \frac{2\pi}{Z_R};$$

$k$  – коефіцієнт, який залежить від рівня індуктивності,

$$k_{max} = \frac{1}{\sqrt{2}}, k_{min} = \left( k_{max} - \frac{2}{m} \right).$$

Розглянемо параметри другої групи.

Кут повороту ротора:

$$\gamma_R = \frac{2\pi}{Z_R}. \quad (16)$$

Згідно з [18] полюсна дуга статора залежить від значення полюсного розподілу статора:

$$\tau_{zS} = \frac{2\pi}{Z_S}; \quad (17)$$

$$\beta_S = 0,45 \div 0,5\tau_{zS}.$$

Згідно з [18] полюсну дугу ротора приймають на 5 % більшою за полюсну дугу статора.

Відповідно до перетину двигуна (рис. 6) полюсна дуга ротора повинна знаходитись у межах:

$$\beta_S \leq \beta_R < 2\beta_S. \quad (18)$$

Різниця між полюсними дугами статора та ротора знаходиться за формулою:

$$\Delta\beta = |\beta_S - \beta_R|.$$

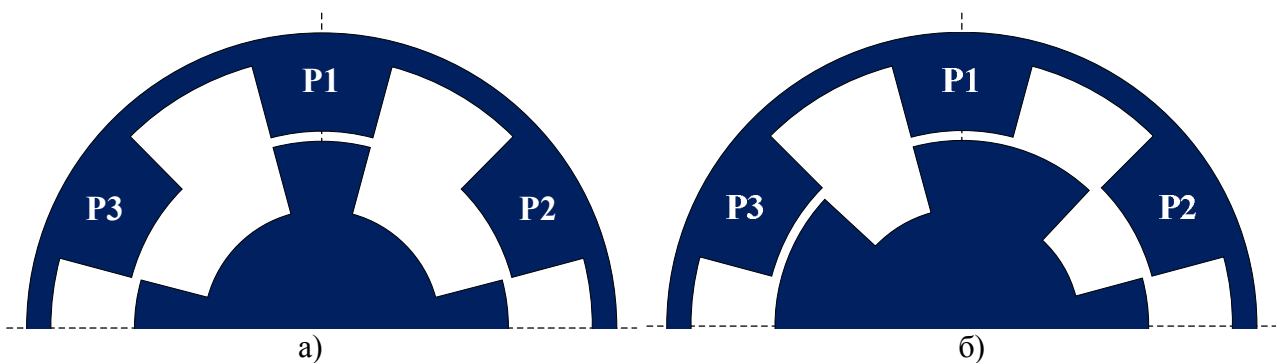


Рисунок 6 – Варіації полюсної дуги ротора: а – якщо  $\beta_R = \beta_S$ ; б – якщо  $\beta_R \approx 2\beta_S$

Період, на якому індуктивність приймає мінімальне значення (рис. 5), визначається як:

$$T = \gamma_R - 2\beta_S - \Delta\beta, \text{ або} \quad (19)$$

$$T = \gamma_R - \beta_S - \beta_R.$$

Половинний період відповідно:

$$T_2 = \frac{1}{2}(\gamma_R - \beta_S - \beta_R). \quad (20)$$

Тоді індуктивність можна представити у вигляді умовної функції:

$$L(\varphi) = \begin{cases} L_{min} & \text{при } 0 \leq \varphi < T_2 \\ a_1(\varphi - T_2) + b_1 & \text{при } T_2 \leq \varphi < (T_2 + \beta_S) \\ L_{max} & \text{при } (T_2 + \beta_S) \leq \varphi < (T_2 + \beta_R) \\ a_2(\varphi - T_2) + b_2 & \text{при } (T_2 + \beta_R) \leq \varphi < (T_2 + \beta_R + \beta_S) \\ L_{min} & \text{при } (T_2 + \beta_R + \beta_S) \leq \varphi < \gamma_R \end{cases}. \quad (21)$$

де  $a_1, a_2, b_1, b_2$  – коефіцієнти відповідних функцій апроксимацій,

$$a_1 = \frac{L_{max} - L_{min}}{\beta_S},$$

$$b_1 = L_{min},$$

$$a_2 = \frac{L_{min} - L_{max}}{\beta_S},$$

$$b_2 = a_1\beta_R + L_{max}.$$

Приймаємо відхилення від правої межі існування полюсної дуги ротора  $\Delta_\beta = 1^0$ , для того, щоб перейти від нечіткої умови до визначеної.

Тож відповідну фізичному змісту мінімальне та максимальне значення полюсної дуги ротора:

$$\beta_{Rmin} = \beta_S,$$

$$\beta_{Rmax} = \gamma_R - \beta_S - \Delta_\beta.$$

При цьому форма індуктивності може видозмінюватись, як показано на рис. 7.

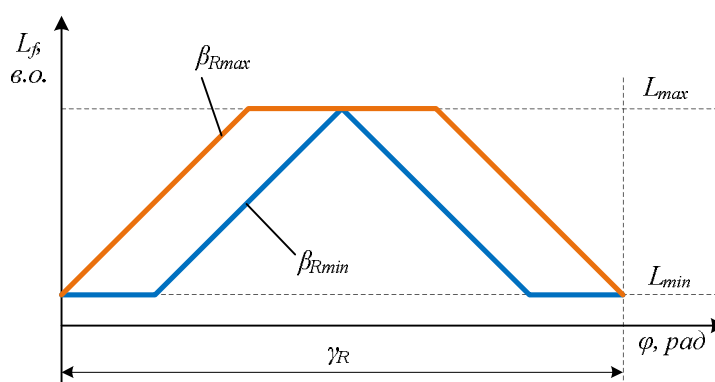


Рисунок 7 – Вплив полюсної дуги ротора на характер індуктивності

З огляду на вищевикладене представимо індуктивність у вигляді чорної скриньки Вінера та детально розглянемо фактори, що на неї впливають (рис. 8).

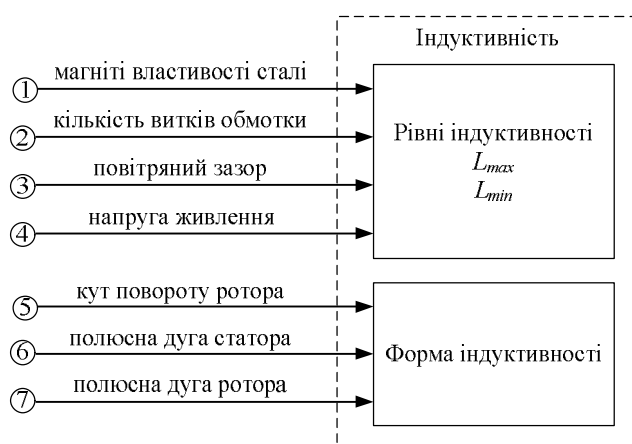


Рисунок 8 – Фактори впливу на індуктивність

Фактори 1–3 тісно пов'язані з вимогами до електромагнітного моменту двигуна та необхідністю забезпечення амплітудного значення індукції в зубці статора у межах 1,6-1,7 Тл. Відповідно до цих вимог двигун може мати лише чітко визначені значення максимальної та мінімальної індуктивності.



Фактори 5–6 визначаються кількістю зубців статора і ротора. Тобто єдиними факторами, які можуть змінюватись є амплітуда напруги живлення та полюсна дуга ротора.

ВИСНОВКИ. За результатами аналізу факторів, що впливають на фазну індуктивність вентильно-індукторного двигуна, визначено, що:

1. Магнітні властивості сталі, кількість витків обмотки, значення повітряного зазору не можуть змінюватись через необхідність забезпечення визначеного тягового зусилля двигуна.
2. Кут повороту ротора (кут послідовної комутації) залежить лише від кількості зубців статора і ротора, тому теж не може змінюватись.
3. Варіативним конструктивним фактором є полюсна дуга ротора.
4. Варіативним зовнішнім фактором є амплітуда напруги живлення.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ильинский Н. Ф. Электропривод в современном мире / Н. Ф. Ильинский // Сборник материалов V международной (XVI Всероссийской) научной конференции. – 18–21 сентября 2007. – СПб, 2007. – С. 17–19.
2. Бычков М. Вентильно-индукторный электропривод: современное состояние и перспективы развития [Электронный ресурс] / М. Бычков // Журнал-справочник «Рынок Электротехники». – Режим доступа: <http://www.marketelectro.ru/magazine/readem0207/10>
3. Ильинский Н. Ф. Вентильно-индукторный электропривод – перспективы развития / Н. Ф. Ильинский // 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. Ткачук В. І. Електромеханотроніка : підручник / В. І. Ткачук. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2006. – 440 с.
6. Vijayraghavan P. Design of Switched Reluctance Motors and Development of a Universal Controller for Switched Reluctance and Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives : dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Electrical Engineering / Praveen Vijayraghavan. – Blacksburg, Virginia : 15 November 2001. – 202 p.
7. Кузнецов В. А. Вентильно-индукторные двигатели : учебное пособие / В. А. Кузнецов, В. А. Кузьмичев. – М. : Издательство МЭИ, 2003. – 70 с.
8. Пат. Российская Федерация. Двухфазный нереверсивный вентильно-индукторный двигатель / С. И. Малафеев, А. В. Захаров. – № 2004114520/11, опубл. 12.05.2004.
9. Пат. Российская Федерация. Реверсивные вентильно-индукторные двигатели с числом фаз, большим или равным трем, и двухполюсным ротором / В. А. Шабаев, О. В. Кругликов, Я. Б. Тубис (RU). – № 2009112014/09, опубл. 02.04.2009.
10. Duijsen P. J. van. Multilevel Modeling and Simulation of a Switched Reluctance Mashine / Peter J. van Duijsen // Simulation Research. – The Netherlands, 2007. – 8 p.
11. Miller T. J. E. Switched Reluctance Motors and their Control / T. J. E. Miller // Magna Physics & Clarendon Press. – Oxford, 1993. – PP. 257–262.
12. Ahn, Jin-Woo. Switched Reluctance Motor / Jin-Woo Ahn. – Korea, Kyungshung University, 2011. – 53 p.
13. Krishnan R. Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications / R. Krishnan. – Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 2001. – 416 p.
14. Фираго Б. И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск : Техноперспектива, 2006. – 363 с.

15. Лабораторный практикум по физике. Часть 1. Механика ; под ред. И. А. Авенариус и Б. Л. Афанасьева. – М. : МАДИ, 2010. – 107 с.
16. Турышев М. В. Новые открытия в механике динамике / М. В. Турышев, В. В. Шелихов, В. А. Кучин и др. – М. : ООО «Велма», 2008. – 17 с.
17. Istomina N. Determination of inductance levels of switched reluctance motor / Nataliia Istomina, Martin Vačko // SCYR 2013 : collected articles of 13<sup>th</sup> Scientific Conference of Young Researchers, 14<sup>th</sup> May, 2013, Košice. – PP. 307–309.
18. Фисенко В. Г. Проектирование вентиляльных индукторных двигателей : методическое пособие / В. Г. Фисенко, А. Н. Попов. – М. : Издательство МЭИ, 2005. – 56 с.

#### **N. Istomina**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk

### **DETERMINATION OF INFLUENCING FACTORS OF INDUCTANCE OF SWITCHED RELUCTANCE MOTOR**

Analysis results show organization principles of operating mode of switched reluctance motor are based on phase inductance dependence on rotor rotation angle. Basic rules of phase commutation of switched reluctance motor depending on phase inductance are preconceived. The forms of mathematical formulation of phase inductance were analyzed. From mathematical formulations of this dependence two groups of influencing parameters were determined: level and angular. The coupling between maximum, minimum levels of phase inductance and electromagnetic parameters was determined. The list of factors influencing of phase inductance form were received by using blackbox. Among received list of factors and parameters the varying influencing factors were determined under support of required traction power. The varying influencing external factor is amplitude of supply voltage, the varying influencing design factor is rotor pole arc.

**Key words:** switched reluctance motor, phases inductance, varying influencing factors.

#### REFERENCES

1. Ilinckiy, N.F. (2007), "Electric drive in up-to-date world", *Sbornik materialov V mezhdunarodnoy (XVI Vserossiyskoy) nauchnoy konferentsii* [Proceedings of V International (XVI All-Russian) Scientific Conference], St. Petersburg, September 18-21, 2007, pp. 17-19. [in Russian]
2. Bychkov, M. (2007), "Switched Reluctance Electric Drive: Up-to-date State and Prospect Trends", *Zhurnal-spravochnik «Rynok Elektrotehniki»* [Journal-guide «Market of Electrical Engineering»], available at: <http://www.marketelectro.ru/magazine/readem0207/10> (accessed March 5, 2013). [in Russian]
3. Ilinckiy, N.F. (2002), "Switched Reluctance Electric Drive – Prospect Trends", *Vestnik Khar'kovskogo politekhnicheskogo instituta*, Vol. 1, pp. 42-43. [in Russian]
4. Switched Reluctance Motor Drives, Official site of «Fleadh Electronics. Specialists in Green Power Electronics», available at: [fleadh.co.uk/srm.htm](http://fleadh.co.uk/srm.htm) (accessed March 5, 2013)
5. Tkachuk, V.I. (2006), *Elektromekhanotronika* [Electric Mechatronics], Publishing house of National University «Lvivska Politehnika», Lviv. [in Ukrainian]
6. Vijayraghavan, P. (2001), "Design of Switched Reluctance Motors and Development of a Universal Controller for Switched Reluctance and Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives", Dissertation for degree of Doctor of Philosophy in Electrical Engineering, 15.10.2011, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA.
7. Kuznecov, V.A. and Kuzmichev, V.A. (2003), *Ventil'no-induktornye dvigateli* [Switched Reluctance Motors], Izdatel'stvo MEI, Moscow. [in Russian]
8. Malafeev, S.I. and Zakharov, A.V. (2004), *Dvukhfaznyi nereversyynyi ventilno-induktorny dvihatel*, Patent RU 2004114520/11, published 12.05.2004. [in Russian]

9. Shabaev, V.A., Kruglikov, O.V. and Tubis, Ya.B. (2009), *Reversivnye ventilno-induktornye dvihateli s chyslom faz, bolshim ili ravnym trem, i dvukhpoliusnym rotorom*, Patent RU 2009112014/09, published 02.04.2009. [in Russian]
10. Duijsen, P.J. van (2007), *Multilevel Modeling and Simulation of a Switched Reluctance Mashine*, Simulation Research, The Netherlands, 8 p.
11. Miller, T.J.E. (1993), *Switched Reluctance Motors and their Control*, Magna Physics & Clarendon Press, Oxford, pp. 257-262.
12. Ahn, Jin-Woo (2011), *Switched Reluctance Motor*, Kyungsoong University, Korea.
13. Krishnan, R. (2001), *Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications*, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.
14. Firago, B.I. and Pavliachyk, L.B. (2006), *Reguliruemye elektroprivody peremennogo toka* [Controlled Alternating Current Drive], Technoperspektiva, Minsk. [in Russian]
15. (2010) *Laboratornyy praktikum po fizike. Chast' 1. Mekhanika* [Laboratory training session on physics. Part 1. Mechanics] / Edited by Avenarius, I. and Afanasev, B., State Technical University MADI, Moscow. [in Russian]
16. Turyishev, M., Shelihov, V., Kuchin, V., et al. (2008), *Novye otkrytiya v mekhanike dinamike* [New in Mechanics], OOO"VELMA", Moscow. [in Russian]
17. Istomina, N. and Bačko, M. (2013), *Determination of inductance levels of switched reluctance motor*, 13<sup>th</sup> Scientific Conference of Young Researchers, Košice, FEI TU of Košice, May 14, 2013, pp. 307–309.
18. Fisenko, V.G. and Popov, A.N. (2006), *Proektirovanie ventil'nykh induktornykh dvigateley* [Designing of Switched Reluctance Motors Izdatel'stvo MEI, Moscow. [in Russian]

**Істоміна Наталія Миколаївна**,  
асистент кафедри «Системи автоматичного управління та електропривод»,  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук  
Полтавської обл., Україна, 39600.  
Тел. +38(05366) 3-11-47.  
E-mail: nmistomina@gmail.com



**Istomina Nataliia Mykolaivna**,  
Assistant of Automatic Control Systems and  
Electric Drive Department,  
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy  
National University,  
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk,  
Poltava Region, Ukraine, 39600.  
Tel. +38(05366) 3-11-47.  
E-mail: nmistomina@gmail.com

Стаття надійшла 04.06.2014