

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

В данной статье проанализировано проблему стабильности метрологических характеристик стандартных образцов в процессе хранения и при измерении параметров качества питьевой воды. Установлено, что с помощью метода определения адмитанса можно определить электрические параметры стандартных образцов в виде отдельных электрических параметров многоэлементного двухполюсника неэлектрической природы, которым можно изобразить воду. Приведены основные этапы метрологического обеспечения контроля качества питьевой воды.

Решение проблемы основывается на измерении параметров иммитанса объекта контроля, подается в виде многоэлементного двухполюсника. Перечислены основные проблемы измерения объектов неэлектрического природы электрическими методами. Проанализировано влияние емкости двойного слоя и импеданса Варбурга на информативные параметры, а также приведены схемы замещения первичного преобразователя с учетом приэлектродных эффектов.

Ключевые слова: адмитанс, метрологическое обеспечение, стандартный образец, схема замещения, питьевая вода.

УДК 621.313.33

Гречин Д.П.
к.т.н., доцент
Дробот І.М.
старший викладач
Герман А.Ф.
старший викладач

кафедра електротехнічних систем
Факультет механіки та енергетики
Львівський національний аграрний університет
Львів, Україна
E-mail: hrechynd@urk.net
E-mail: i.drobot@yandex.ua
E-mail: german_and@meta.ua

Дубік В.М.
к.т.н., доцент

кафедра енергетики та електротехнічних систем в АПК
Інженерно-технічний факультет
Подільський державний аграрно-технічний університет
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: ymdubick@gmail.com

ВПЛИВ РОЗМІРІВ ПАЗА РОТОРА НА ВЕЛИЧИНУ ПУСКОВОГО МОМЕНТУ КОРОТКОЗАМКНЕНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Стаття присвячена обґрунтуванню форми і розмірів пазу ротора короткозамкненого асинхронного двигуна, призначеного для приводу механізмів з пульсуючим навантаженням, а також механізмів, які працюють в повторно-короткочасних режимах. Суттєвий вплив на величину пускового моменту має поверхневий ефект, який посилюється за рахунок збільшення висоти пазу ротора і зменшення площі у його верхній частині. На прикладі конкретного двигуна проведений аналіз впливу розмірів трапецеїдального пазу ротора, що звужується у верхній частині, на величину пускового моменту двигуна для різних значень індукції у найвужчій частині зубця ротора. Для цих випадків обчислені кратності пускового моменту і пускового струму. Вибрана оптимальна форма і розміри пазу ротора, що забезпечують максимальну величину пускового моменту.

Ключові слова: асинхронний двигун, паз ротора, пусковий момент, підвищене ковзання, пульсуюче навантаження, пускові характеристики.

Вступ. Для роботи асинхронного двигуна у специфічних умовах виникає необхідність проектування двигунів з підвищеним пусковим моментом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Короткозамкнені асинхронні двигуни з підвищеним пусковим моментом призначені для приводу механізмів з пульсуючим навантаженням, наприклад, компресорів, пресів, а також механізмів, які працюють в повторно-короткочасних режимах. Вони уніфіковані з двигунами основного виконання за всіма конструктивними і активними елементами за виключенням білячої клітки і у ряді випадків – параметрів обмотки статора. Форма, розміри і питомий опір алюмінієвого сплаву білячої клітки суттєво впливають на величину пускового моменту двигуна.

Мета. Метою даної роботи є дослідження впливу форми і розмірів паза ротора на пускові характеристики асинхронного двигуна.

Результати. У роторах сучасних асинхронних двигунів застосовують грушовидні, прямокутні чи фігурні пази, які можуть бути лопатковими, колбоподібними і трапецеїдальними. Достатньо велике застосування отримали двокліткові ротори, зустрічаються також двигуни з почерговими пазами різної форми. Більшість фігурних пазів використовуються при литих роторних обмотках. Вибираючи ту чи іншу конструкцію клітки, форму і розмірні співвідношення стержнів необхідно виходити з вимог пускових характеристик двигуна і можливості розміщення паза на зубцевій поділці ротора, при яких забезпечується нормальний рівень індукції в зубцях і ярмі. Крім цього, необхідно враховувати вплив розмірних співвідношень пазів та індуктивних опорів обмотки ротора. При довільній конфігурації паза зменшення ширини верхньої частини стержня і збільшення його висоти приводять до збільшення пускового моменту, але одночасно збільшується коефіцієнт магнітної провідності паза і росте індуктивний опір обмотки ротора. Це в окремих моментах відіграє позитивну роль, бо обмежуються пускові струми, однак зменшується максимальний момент і погіршується коефіцієнт потужності.

Зростання пускового моменту двигуна досягається шляхом збільшення активного опору паза ротора за рахунок витіснення струму. Тут слід враховувати вплив двох протилежних факторів, що впливають на ріст активного опору при однаковій площі поперечного перерізу паза: збільшення висоти паза і зміну форми паза шляхом зменшення його площі у верхній частині і її збільшення у нижній. У першому випадку буде сильніший поверхневий ефект, а у другому – слабший, однак, площа паза у його верхній частині буде меншою.

Дослідимо вплив розмірів трапецеїдального паза ротора на величину його пускового моменту на прикладі короткозамкненого асинхронного двигуна з підвищеним пусковим моментом потужністю $P_2 = 37$ кВт, синхронною частотою обертання $n_1 = 750$ об/хв., напругою $U = 220/380$ В, частотою мережі $f = 50$ Гц, конструктивним виконанням ІМ1001 та способом захисту від дії навколишнього середовища ІР23. Для проєктованого двигуна вибираємо закритий трапецеїдальний паз ротора [1- 7], який звужується у верхній частині. Для розрахунку його розмірів використовуємо графоаналітичний метод. Найменша допустима ширина зубця b_{z2min} знаходиться за рекомендованим значенням $B_{z2max} = 1,55 - 1,75$ Тл (табл. 6-10 [1]). Для визначення висоти h_n і ширини паза ротора будемо ескіз зубцевої поділки і графічно визначимо

розміри паза за обчисленою площею перерізу стержня $q_c = 0,000180 \text{ м}^2$. При цьому висота перемички над пазом $h_{\text{ш}} = 0,5 \text{ мм}$ і діаметр заокруглення верхньої частини паза $b_1 = 4 \text{ мм}$ (див. рис. 1). Розраховуємо три варіанти паза ротора з різними значеннями індукції $B_{z2\text{max}}$ у найвужчій частині паза ротора: 1,55 Тл; 1,65 Тл і 1,75 Тл.

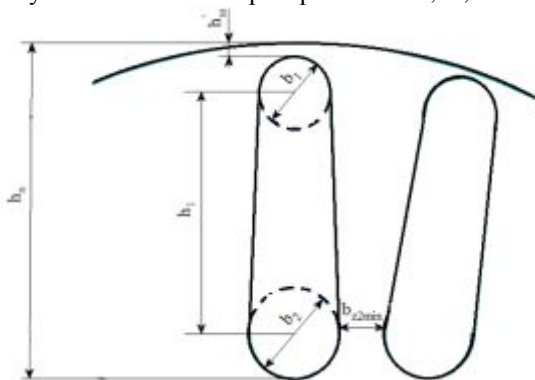


Рис. 1. Трапецієдальний паз ротора асинхронної машини

Варіант 1. $B_{z2\text{max}} = 1,55 \text{ Тл}$.

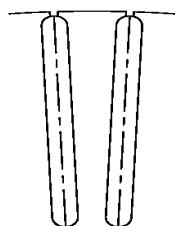
Для площі поперечного перерізу стержня $q_c = 0,000180 \text{ м}^2$ графоаналітичним методом визначаємо висоту паза ротора $h_{\text{п}} = 45,5 \text{ мм}$ і діаметр заокруглення нижньої частини паза $b_2 = 4,0 \text{ мм}$. При цьому $h_1 = 41 \text{ мм}$, а $b_{z2\text{min}} = 9,3 \text{ мм}$.

Варіант 2. $B_{z2\text{max}} = 1,65 \text{ Тл}$; Для площі $q_c = 0,000180 \text{ м}^2$ графоаналітичним методом визначаємо $h_{\text{п}} = 40,5 \text{ мм}$, $b_2 = 5,5 \text{ мм}$, $h_1 = 34,2 \text{ мм}$, а $b_{z2\text{min}} = 8,7 \text{ мм}$.

Варіант 3. $B_{z2\text{max}} = 1,75 \text{ Тл}$.

Обчислені величини $h_{\text{п}} = 37,5 \text{ мм}$, $b_2 = 6,5 \text{ мм}$, $h_1 = 30,0 \text{ мм}$, а $b_{z2\text{min}} = 8,2 \text{ мм}$. Ескізи пазів ротора для трьох варіантів розрахунку наведені на рис. 2.

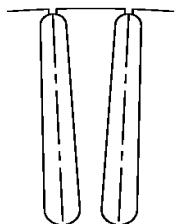
Пускові характеристики асинхронного двигуна розраховуємо за методикою, наведеною в [8], яка враховує витіснення струму у провіднику і насичення. Проводимо три варіанти розрахунку пускових характеристик двигуна при різних значеннях індукції у найвужчій частині зубця паза ротора і різних його висотах. Обчислені величини зводимо до табл. 1-3 (для простішого сприймання наведені лише кратності струмів і моментів).



$$B_{z2\max} = 1,55 \text{ ТЛ.}$$

$$b_2 = 4,0 \text{ мм. } b_{z2\min} = 9,3 \text{ мм.}$$

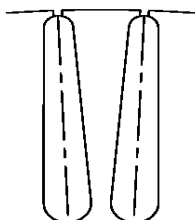
$$h_{\text{II}} = 45,5 \text{ мм. } h_1 = 41 \text{ мм.}$$



$$B_{z2\max} = 1,65 \text{ ТЛ.}$$

$$b_2 = 5,5 \text{ мм. } b_{z2\min} = 8,7 \text{ мм.}$$

$$h_{\text{II}} = 40,5 \text{ мм. } h_1 = 34,2 \text{ мм.}$$



$$B_{z2\max} = 1,75 \text{ ТЛ.}$$

$$b_2 = 6,5 \text{ мм. } b_{z2\min} = 8,2 \text{ мм.}$$

$$h_{\text{II}} = 35,7 \text{ мм. } h_1 = 30,0 \text{ мм.}$$

Рис. 2. Ескізи пазів ротора з обчисленими розмірами для трьох варіантів

Таблиця 1

Варіант 1

№	Величина	Од.вим.	Ковзання				
			1,0	0,8	0,6	0,4	0,2
1.	$I_{1*} = I_1 / I_{1\text{II}}$	–	5,84	5,67	5,41	4,99	4,07
2.	$M_* = M / M_{\text{II}}$	–	1,78	1,85	2,03	2,33	2,52

Таблиця 2

Варіант 2

№	Величина	Од.вим.	Ковзання				
			1,0	0,8	0,6	0,4	0,2
1.	$I_{1*} = I_1 / I_{1\text{II}}$	–	5,63	5,52	5,31	4,91	4,07
2.	$M_* = M / M_{\text{II}}$	–	1,61	1,68	1,86	2,22	2,53

Таблиця 3

Варіант 3

№	Величина	Од.вим.	Ковзання				
			1,0	0,8	0,6	0,4	0,2
1.	$I_{1*} = I_1 / I_{1\text{II}}$	–	5,41	5,35	5,21	4,82	4,07
2.	$M_* = M / M_{\text{II}}$	–	1,44	1,49	1,69	2,14	2,54

За даними розрахунку на рис. 3 наведені три варіанти пускових характеристик проектного двигуна.

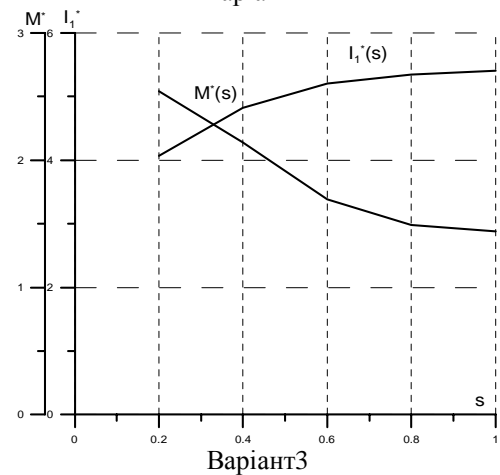
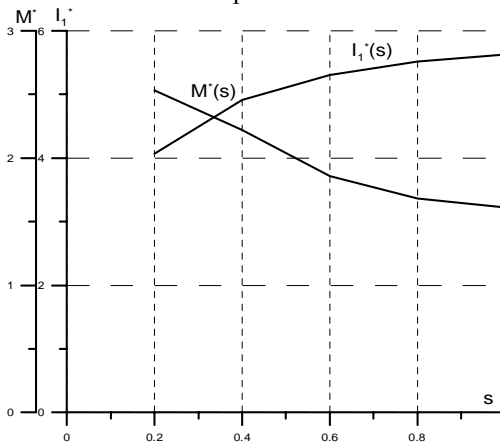
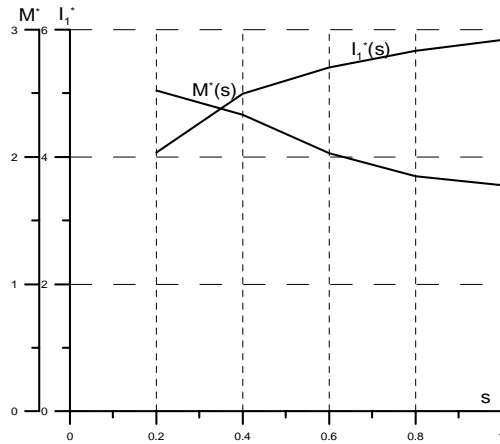


Рис. 3. Пускові характеристики асинхронного двигуна

З розрахованих пускових характеристик обираємо найкращий перший варіант, який згідно із завданням забезпечує максимальну кратність пускового моменту – 1,78. При цьому кратність пускового струму – 5,84.

Висновки. Для приводу механізмів з важкими умовами пуску – компресорів, поршневих насосів, транспортерів і т.д. необхідно застосовувати трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, що мають підвищений пусковий момент. Оскільки форма паза короткозамкненого ротора суттєво впливає на його величину, у роботі на прикладі асинхронного двигуна, який має трапецеїдальний паз ротора, що звужується у верхній частині, досліджувався вплив форми паза ротора на величину пускового моменту.

З цією метою для обчисленої площі перерізу паза ротора будувалися ескізи зубцевої поділки ротора і графоаналітичним методом визначалися розміри паза.

Розраховувалися три варіанти пазів ротора з однаковою площею поперечного перерізу стержня і різними значеннями висоти паза, що відповідає індукції у найвужчій частині паза ротора, відповідно, $B_{z2max} = 1,55$ Тл; $B_{z2max} = 1,65$ Тл та $B_{z2max} = 1,75$ Тл.

З розрахованих пускових характеристик обираємо найкращий перший варіант, який згідно із завданням забезпечує максимальну кратність пускового моменту – 1,78. При цьому кратність пускового струму – 5,84.

Список використаних джерел

1. Вольдек, А. И. Электрические машины [Текст] / А. И. Вольдек. – Изд. 2-е, перер. и доп. Л.: Энергия, 1974. – 840 с.
2. Кравчин, А. Э. Шлаф, М. М. Асинхронные двигатели серии 4А [Текст] : Справочник / А.Э. Кравчин, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. – М. : Энергоиздат, 1982. – 504 с
3. Копылов, И. П., Горяинов, Ф. А. Проектирование электрических машин [Текст] / И. П. Копылов, Ф. А. Горяинов, Б. К. Клоков и др.; Под ред. И. П. Копылова // М. : Энергия, – 496 с.
4. Сергеев, П. С., Виноградов, М. В., Горяинов, Ф. А. Проектирование электрических машин [Текст] / П. С. Сергеев, М. В. Виноградов, Ф. А. Горяинов // Изд. 3-е, перер. и доп. М., Энергия, 1970. – 632 с.
5. Попічко, В. В. Конструкції асинхронних двигунів [Текст] / Попічко В. В. // Навчальне видання національного університету «Львівська політехніка», 2001. – 160 с.
6. Яцун, М. А. Электричні машини : Навчальний посібник [Текст] / М. А. Яцун. – 2-е вид., стерео. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 428 с.
7. Гречин, Д., Дробот, І., Лапинський, В. Вплив питомого опору паза ротора на характеристики асинхронного двигуна [Текст] / Д. Гречин, І. Дробот, В. Лапинський // Вісник Львівського національного аграрного університету. – Агроінженерні дослідження. – 2015. – № 19. – С. 96-101.
8. Глухівський, Л. Й. Використання пакету програм розрахунку на персональних комп'ютерах електричних машин та їх характеристик при курсовому й дипломному проектуванні. Методичні вказівки для студентів спеціальності «Електричні машини» [Текст] / Л. Й. Глухівський, В. В. Попічко // Львів : ДУЛП, 1996. – 29 с.

References

1. Voldek, A. I. (1974). *Electrichekie mashyny* [Electric cars]. Leningrad: Energija.
2. Афонин, V. I., Sobolenskaja, E. A., Kravchyn, A. E., & Shlaf, M. (1982). *Asinhronnye mashyny seriji 4A* [Induction motors series 4A]. Moscow: Energoizdat.
3. Kopylov, I. P., Gorjainov, F. A., & Clocov, B. K. (1980). *Proektirovanie elektricheskikh mashyn* [Design of electrical machines]. Moscow: Energija.
4. Sergeev, P.S., Vinogradov, M.V., & Gorjainov, F.A. (1970). *Proektirovanie elektricheskikh mashyn* [Design of electrical machines]. Moscow : Energija.
5. Popichko, V.V. (2001). *Konstrukciji asynhronnyh dvyguniv* [Designs induction motors]. Lviv : Vydavnyctvo Nacionalnogo universytetu «Lvivska politehnika».

6. Jacun, M. A. (2004). *Elektrychni mashyny* [Electric machines]. Lviv : Vydavnyctvo Nacionalnogo universytetu «Lvisvka politehnika».

7. Hrechyn, D., Drobot, I., & Lapynskij, V. (2015). Vplyv pytomogo oporu paza rotora na harakterystryky asynhronnogo dvyguna. *Visnyk Lvivskogo nacionalnogo agrarnogo universytetu, Agrozhenerni doslidzhennja*, 19, 96-101.

8. Gluhivskij, L.J., & Popichko, V.V. (1996). Vykorystannja paketu program rozrahunku na personalnyh compjuterah elektrychnyh mashyn ta jih harakterystryk pry kursovomu i dyplofnomu proektuvanni. *Metodychni vказivky dlja studentiv specialnosti «Elektrychni mashyny»*. Lviv: DULP.

Дата надходження статті до редакції: 28.01.2016,

рецензування : 20.02.2016, прийняття в друк 09.03.2016.

Received : 28.01.2016 1st Revision: 20.02.2016 Accepted: 09.03.2016

Dmitry Grechin
Cand. Sc. (Techn.)
Associate Professor

Department of Electrical Systems
Faculty of Mechanics and Energy
Lviv National Agrarian University
Lviv, Ukraine

Ivan Drobot
Senior Instructor

E-mail: hrechynd@urk.net

Andriy German
Senior Instructor

E-mail: i.drobot@yandex.ua

E-mail: german_and@meta.ua

Viktor Dubik
Cand. Sc. (Techn.)
Associate Professor

Department of Energy and electrical systems in the AIC
Engineering Faculty
State Agrarian and Engineering University in Podilya
Kamenets-Podilsky, Ukraine
E-mail : ymdubick@gmail.com

THE INFLUENCE OF THE SIZE OF THE GROOVE OF THE ROTOR ON THE VALUE OF THE STARTING TORQUE SQUIRREL-CAGE INDUCTION MOTOR

The article is devoted to the justification of the shape and size of the rotor slot squirrel cage induction motor designed for driving mechanisms with pulsating loads, as well as the mechanisms operating in the intermittent mode. A significant impact on the amount of starting torque has a surface effect, which is enhanced by increasing the height of the rotor groove and reduce the area in the upper part. In a specific example, the analysis of the influence of the motor rotor slot size trapezoidal tapering at the top, the value of the starting torque of the engine for different induction values at the narrowest part of the rotor tooth. For these cases, calculated multiplicity of starting torque and starting current. Choose the optimum shape and size of the rotor slot, providing the maximum amount of starting torque.

Keywords: *induction motor, the groove of the rotor starting torque, high slip, pulsating load starting characteristics.*

Дмитрий Гречин
к.т.н., доцент
Иван Дробот
старший преподаватель
Андрей Герман
старший преподаватель

кафедра электротехнических систем
Факультет механики и энергетики
Львовский национальный аграрный университет
Львов, Украина
E-mail: hrechynd@urk.net
E-mail: i.drobot@yandex.ua
E-mail: german_and@meta.ua

Виктор Дубик
к.т.н., доцент

кафедра энергетики и электротехнически
систем в АПК
Инженерно-технический факультет
Подольский государственный аграрно-технический
университет
Каменец-Подольский, Украина
E-mail : ymdubick@gmail.com

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ПАЗА РОТОРА НА ВЕЛИЧИНУ ПУСКОВОГО МОМЕНТА КОРОТКОЗАМКНУТОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Статья посвящена обоснованию формы и размеров пазов ротора короткозамкнутого асинхронного двигателя, предназначенного для привода механизмов с пульсирующими нагрузками, а также механизмов, работающих в повторно-кратковременных режимах. Существенное влияние на величину пускового момента имеет поверхностный эффект, который усиливается за счет увеличения высоты паза ротора и уменьшения площади в его верхней части. На примере конкретного двигателя проведен анализ влияния размеров трапециевидного паза ротора, сужающегося в верхней части, на величину пускового момента двигателя для различных значений индукции в самой узкой части зубца ротора. Для этих случаев вычислены кратности пускового момента и пускового тока. Выбрана оптимальная форма и размеры паза ротора, обеспечивающие максимальную величину пускового момента.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, паз ротора, пусковой момент, повышенное скольжение, пульсирующая нагрузка, пусковые характеристики.