

УДК 621.313

Г.В.КАПУСТІН, канд. техн. наук, В.Б.ФІНКЕЛЬШТЕЙН, д-р техн. наук,  
Я.Б.ФОРКУН, канд. техн. наук

*Харківська національна академія міського господарства*

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ У РЕЖИМІ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ**

Експериментально досліджуються фізичні процеси, що протікають у режимі короткого замикання в асинхронних двигунах різних типорозмірів з різною технологією виготовлення котокзамкнених роторів.

Огляд математичних моделей асинхронних двигунів (АД) свідчить, що всі уточнення існуючої математичної моделі АД зі скосом пазів якимось чином поліпшують збіжність за певними параметрами і характеристиками, але достатньої точності розрахунку АД у цілому, що задовольнила б проєктантів і розрахівників, не досягнуто [1, 2].

Аналіз енергетичного балансу потужності (АД) [3] у режимі короткого замикання (КЗ) показав, що на ряді АД потужність, визначена за пусковим моментом, суттєво (до 2,1 разів) перевищує потужність, зосереджену в білячій клітці ротора (табл.1).

Таблиця 1 – Енергетичний баланс потужності в АД 200L2 ( $P_n=30$  кВт) у режимі КЗ

Потужність, що забирається, $P_1$ , кВт	Потужність, що передається через повітряний зазор, $P_{12}$ , кВт	Потужність у клітці ротора, $P_2$ , кВт	Потужність, визначена за пусковим моментом, $P_M$ , кВт	Відношення потужності, визначеної за пусковим моментом, до потужності у клітці ротора
111	76,32	28,18	61,54	2,18

У результаті виникло припущення, що ще в якомусь контурі ротора виділяється значна потужність [4]. Оскільки в роторі, крім магнітопроводу та короткозамкненої алюмінієвої клітки нічого немає, впливає, що в магнітопроводі крім поперечних струмів протікають поздовжні, які суттєво діють на пусковий момент АД [5].

Для перевірки цього припущення відповідним чином був препарований ротор досліджуваного АД (рис.1). Були просвердлені отвори, що дозволили за допомогою повітряних струмових трансформаторів (поясів Роговського) безпосередньо виміряти струми у короткозами-

каючому кільці (датчик 1) і у стержні білячої клітки (датчик 3), а також поздовжній струм у магнітопроводі ротора (датчик 4).

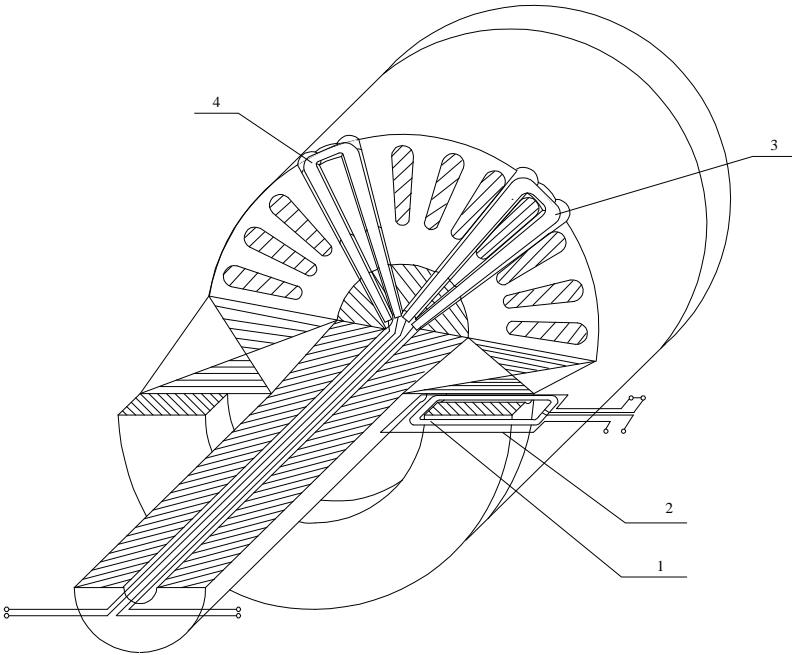


Рис.1 – Вимірювання струмів у різних елементах конструкції ротора за допомогою гнучких трансформаторів:  
1, 3, 4 – гнучкі повітряні трансформатори; 2 – компенсаційний виток.

Для більш детальної перевірки цього факту для досліджуваного АД були зняті характеристики КЗ (рис.2) і механічна характеристика (рис.3) АД з ротором, на якому були повністю видалені обидва короткозамикаючих кільця. Для порівняння на рис.2, 3 наведено характеристики АД з ротором у вихідному становищі та з ротором без короткозамикаючих кілець (позначення зі штрихами).

З механічної характеристики встановлено, що пусковий момент АД з ротором, на якому були видалені короткозамикаючі кільця, склав близько 60% пускового моменту з ротором у вихідному становищі. Для доказу того, що така значна величина пускового моменту зумовлена поздовжнім струмом у магнітопроводі ротора, а не струмами по

стержнях алюмінієвої клітки і замикаються через крайні листи пакета ротора, було проведено наступний експеримент.

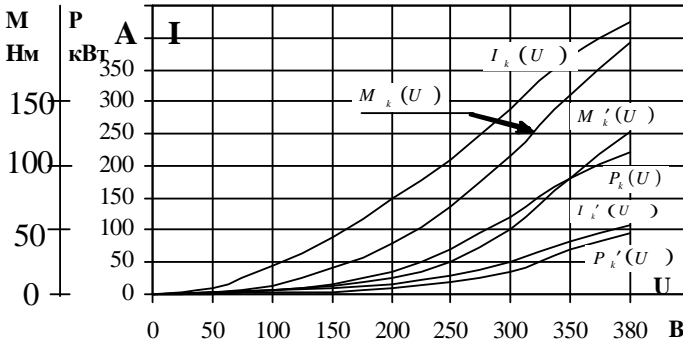


Рис.2 – Характеристики короткого замикання

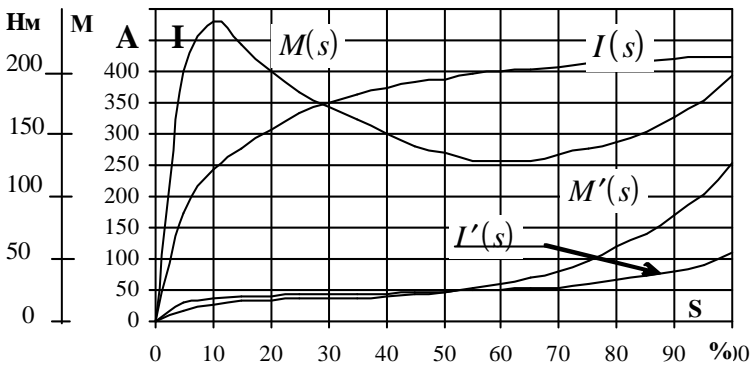


Рис.3 – Механічні характеристики і залежності струму від ковзання

На підставі вимірювань встановлено [6], що в магнітопроводі ротора протікає поздовжній струм, величина якого становить від 6 до 30% сумарного струму в короткозамкненій клітці та в магнітопроводі.

Для АД загальнопромислового призначення АИР71А4 були зняті точки характеристики КЗ при номінальній напрузі при 3-х видозмінах того самого ротора (табл.2):

1) ротор у вихідному становищі (у стані постачання листи електротехнічної сталі магнітопроводу ротора мають двосторонню лакову

ізоляцію, що зберігає свої електроізоляційні властивості і після заливки алюмінієм, оскільки ротори таких габаритів заливаються алюмінієм під тиском без попереднього прогрівання осердя);

2) той самий ротор, на якому видалені обидва короткозамикаючих кільця (пусковий момент АД з таким ротором склав усього 2,5% вихідного пускового моменту);

3) той самий ротор без короткозамикаючих кілець після відпалу (прогрівання до температури 500-600 °С, при цьому міжлистова ізоляція вигоряє, що сприяє протіканню поздовжнього струму в магнітопроводі ротора, що суттєво впливає на пусковий момент, який склав у цьому випадку 97% пускового моменту АД з ротором у вихідному становищі).

Таблиця 2 – Експериментальні дані режиму короткого замикання за різних значень міжлистового опору пакета ротора

Тип АД	Ротор у вихідному становищі (у стані постачання)			Ротор зі зрізаними коротко замикаючими кільцями (до відпалу)			Ротор зі зрізаними короткозамикаючими кільцями (після відпалу)		
	I <sub>к</sub> , А	P <sub>к</sub> , кВт	M <sub>п</sub> , Н·м	I <sub>к</sub> , А	P <sub>к</sub> , кВт	M <sub>п</sub> , Н·м	I <sub>к</sub> , А/(%)	P <sub>к</sub> , кВт/(%)	M <sub>п</sub> , Н·м/(%)
АИР71А4	6,8	3,34	7,791	1,2	0,12	0,196	4,5(66)	2,16(65)	7,55(97)
200L2	425	111	196	-	-	-	109(26)	48(43)	127(65)
200L2 у гарячому стані							200	80	184

Для АД 200L2 2 також були зняті характеристики КЗ при номінальній напрузі в гарячому стані з ротором, на якому були видалені короткозамикаючі кільця (табл.2). Під час нагрівання пусковий струм, момент і потужність значно зросли у порівнянні з холодним станом ротора [7]. Основна частина опору ротора без короткозамикаючих кілець припадає на міжлистові та перехідні опори, які являють собою оксидну плівку на листах магнітопровода і продукти теплового розпаду міжлистової ізоляції при відпалі й заливанні осердя ротора алюмінієм, і оксидну плівку на алюмінієвих стержнях. Як відомо з експериментальних досліджень, проведених у СКБ “Укрелектромаш”, опори оксидної плівки, продуктів теплового розпаду та окисної плівки при нагріванні зменшуються, що в даному випадку зумовлює зниження опору двигуна в цілому, незважаючи на зростання опору обмотки статора і самих розімкнених стержнів ротора.

Таким чином, у результаті експериментального дослідження зафіксовано поздовжній струм у магнітопроводі короткозамкненого ротора, який суттєво впливає на параметри і характеристики АД у режимі КЗ. Відчувається необхідність у подальшому вдосконаленні та уточ-

ненні математичної моделі АД зі скосом пазів, перегляді деяких припущень, що приймаються в класичній теорії електричних машин, у розширенні положень теорії машин у частині повнішого врахування ряду фізичних явищ. Слід розробити уточнену методика розрахунку короткозамкнених АД, що враховувала б поперечні й поздовжні струми в магнітопроводі ротора.

1. Демс М., Рутковский З., Герасимчук В.П. Электромагнитный расчет АД при использовании различных методов расчета намагничивающего тока, учета насыщения и вытеснения тока в обмотке ротора // Техническая электродинамика. – 1992. – №5. – С.54-57.

2. Математическая модель асинхронного короткозамкнутого двигателя, учитывающая поперечные токи в роторе. Model matematyczny indukcyjnego silnika klatkowego uwzględniający prądy poprzeczne w wirniku / Kluszczynski Krzysztof, Malicki Piotr // Zesz. nauk Elek./ PSI. – 1992. – №126. – С.7-23.

3. Загирняк М.В. Электромагнитные расчеты. – К.: Ин-т системных исследований образования, 1995. – 236 с.

4. Антонов М.В. Технология производства электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 592 с.

5. Сивокобыленко В.Ф., Павлюков В.А., Хенниун Халид. Метод расчета схем замещения и пусковых характеристик глубокопазных асинхронных двигателей // Электротехника. – 1996. – №1. – С.38-42.

6. Капустин Г.В., Финкельштейн В.Б., Чебанюк В.К. Продольный ток в магнитопроводе ротора асинхронного двигателя // Технічна електродинаміка. – 1999. – №4. – С.60-66.

7. Цветков В.А., Пикульский В.А. Исследование распределения магнитного поля в зоне замыкания листов активной стали электрических машин // Электричество. – 1995. – №12. – С.25-30.

*Отримано 09.02.2009*

УДК 621.316.1.024

С.А.ПРИВЕДЕННИЙ, В.Ф.РОЙ, д-р фіз.-матем. наук  
*Харківська національна академія міського господарства*

## **ВПЛИВ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

Розглядаються причини виникнення похибок та методи усунення недообліку електроспоживання в системах АСКОЕ.

Зменшення споживання електричної енергії у зв'язку зі спадом виробництва в останні роки призвело до зменшення навантажень у вузлах енергосистеми, внаслідок чого в автоматизованих системах контролю і обліку електроенергії (АСКОЕ) виникає від'ємна похибка, що призводить до суттєвих фінансових втрат енергопостачальних компаній. Причиною появи від'ємної похибки є похибки, що виникають на первинних датчиках струму та напруги. В якості первинних датчиків у