УДК 621.313.333.2

ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ОБМОТОК СТАТОРА АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

С.О. Гулак, *ст. викл.,*
О.В. Губаревич, *канд. техн. наук, доц.,*
Державний університет інфраструктури та технологій, м.Київ, Україна

Процес оптимального керування залізничними перевезеннями вимагає надійної роботи об‘єктів транспортної інфраструктури. Технічний стан об'єктів інфраструктури залежить від технічного стану елементів, з яких складається той чи інший об‘єкт. Одним з таких елементів є асинхронний двигун (АД). Асинхронні двигуни використовується в якості тягового двигуна та в якості допоміжних машин деяких серій електрорухомого складу, в приводі переведення рейкових стрілок та в інших електроприводах інфраструктури залізниці. Від його надійності та працездатного стану залежить ефективна робота електрорухомого складу, безпека руху, тощо.

Одними з найбільш поширених видів асинхронних двигунів у транспортної галузі є трифазні АД з короткозамкненим ротором.

Підвищення надійності асинхронних електричних двигунів відбувається шляхом проведення досліджень процесів, які відбуваються при різних дефектах двигунів, що супроводжується вдосконаленням існуючих та розробкою нових діагностичних методів.

Найбільш поширеними причинами виходу з ладу АД є пошкодження обмоток статора, які відповідно до існуючої статистики становлять 70-78% всіх відмов двигуна [1].

Можливість діагностики та диференціювання міжвиткового замикання обмотки, що зустрічається особливо часто при пошкодженнях статора, є найбільш трудомісткою і складною.

В даний час існує великий ряд сучасних методів діагностики обмоток статора АД, які засновані в основному на контролі стану ізоляції [1]. Контроль стану ізоляції, в свою чергу, здійснюється оцінкою параметрів, які вимірюються або розраховуються за допомогою електричних або неелектричних величин.

Існує ряд перспективних методів, що розвиваються, заснованих на аналізі параметрів вібрації елементів електродвигуна, магнітного потоку розсіювання в зазорі двигуна, вторинних електромагнітних полів машини, по температурі різних ділянок обмоток, спектральному аналізі акустичних коливань працюючого електродвигуна та ін.

Серед розглянутих методів найбільш поширено використовується метод вібродіагностики. При утворенні міжвиткового замикання в одній з фаз статора, створюється несиметричне обертове магнітне поле, яке сприяє виникненню вібрації при роботі двигуна. Несиметрія зумовлена не тільки зменшенням активного і індуктивного опору однієї з пошкоджених фазних обмоток, а й значною зміною взаємної індуктивності між обмотками.

В роботі проведені дослідження прояв міжвиткового замикання обмотки статора із застосуванням імітаційного моделювання для встановлення діагностичних параметрів цього виду пошкодження. За базову модель для проведення досліджень був прийнятий асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором серії *АІР* потужністю 11,0 *кВт*, паспортні дані якого наведені в таблиці 1. Дослідження проводилися з використанням моделі асинхронного двигуна, наведеної в роботі [2] і реалізованої в програмному пакеті *MATLab* зі встановленою адекватністю реальному процесу.

Для неушкодженого статора в режимі холостого ходу, а потім в номінальному режимі із застосуванням моделювання визначено значення електромагнітних моментів двигуна, потім були визначені значення аналогічних параметрів при зменшенні активного опору фази

А на 10% і на 20%, що імітує міжвиткове замикання різних за величиною ділянок ушкодження обмотки статора. Результати моделювання наведені в таблиці 2.

Таблиця 1 – Паспортні дані асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

Параметр	Значення
Номінальна потужність $P_{ном}$, *кВт*	11,0
Номінальна фазна напруга $U_{ном}$, *В*	220
Частота мережі *f*, *Гц*	50
Частота обертання в режимі холостого ходу (близько) n_0, *об/хв*	1500
Частота обертання при номінальному навантаженні $n_{ном}$, *об/хв*	1450
Момент холостого ходу M_0, *Нм*	0,38
Момент при номінальному режимі $M_{ном}$, *Нм*	72,671

Таблиця 2 – Результати моделювання роботи асинхронного двигуна при непошкодженому статорі і при наявності міжвиткового замикання при зміні активного опору

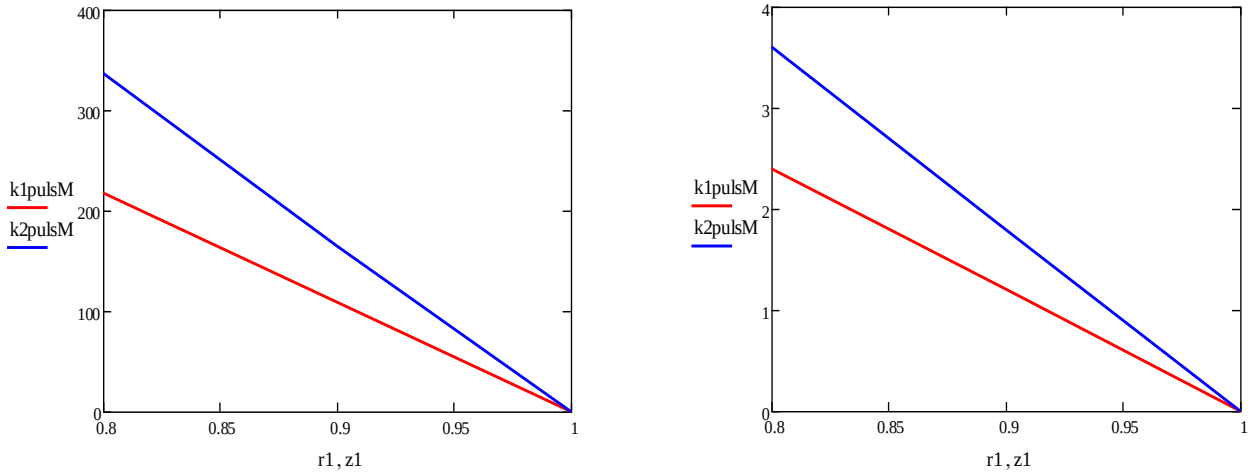
Параметр	Холостой ход			Номінальный режим		
	Неушкоджений статор	Активний опір		Неушкоджений статор	Активний опір	
		90%	80%		90%	80%
Частота обертання $n_{ном}$, *об/хв*	1500	1500	1500	1451,2	1451,2	1451,2
Середній електромагнітний момент $M_{ср}$, *Нм*	0,38	0,38	0,38	72,671	72,671	72,671
Максимальний електромагнітний момент M_{max}, *Нм*	0,38	0,793	1,209	72,671	73,524	74,386
Мінімальний електромагнітний момент M_{min}, *Нм*	0,38	-0,0329	-0,449	72,671	71,818	70,957
Коефіцієнт пульсацій електромагнітного моменту, k_{1pulsM}, %	0	108,6	218,2	0	1,2	2,4

Таблиця 3 – Результати моделювання роботи асинхронного двигуна при непошкодженому статорі і при наявності міжвиткового замикання при зміні комплексного опору

Параметр	Холостой ход			Номінальный режим		
	Неушкоджений статор	Комплексний опір		Неушкоджений статор	Комплексний опір	
		90%	80%		90%	80%
Частота обертання $n_{ном}$, *об/хв*	1500	1500	1500	1451,2	1451,2	1451,2
Середній електромагнітний момент $M_{ср}$, *Нм*	0,38	0,38	0,38	72,671	72,671	72,671
Максимальний електромагнітний момент M_{max}, *Нм*	0,38	1,008	1,658	72,671	73,967	75,307
Мінімальний електромагнітний момент M_{min}, *Нм*	0,38	-0,248	-0,899	72,671	71,376	70,036
Коефіцієнт пульсацій електромагнітного моменту, k_{2pulsM}, %	0	165,2	336,5	0	1,8	3,6

За результатами моделювання, наведеними в таблицях 2 та 3, побудовані графіки зміни коефіцієнта пульсацій електромагнітного моменту в залежності від зміни активного

(рис.1) і комплексного (рис.2) опору фази *A* статора для холостого ходу і номінального режиму.



a b

Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта пульсацій електромагнітного моменту від зміни опору фази *A* статора:
a) k_{1pulsM}, % - активного опору в режимі холостого ходу r_1, %;
k_{2pulsM}, % - комплексного опору в режимі холостого ходу z_1, %;
b) k_{1pulsM}, % - активного опору в номінальному режимі r_1, %;
k_{2pulsM}, % - комплексного опору в номінальному режимі z_1, %

Як випливає з рис. 1 і рис. 2, найбільш суттєві зміни відбуваються з пульсацією електромагнітного моменту при зміні активного і комплексного опору однієї з фаз на холостому ході. Отже, діагностування міжвиткового замикання методами вібродіагностики доцільно проводити в режимі холостого ходу коли ці прояви максимальні та досягають підвищення до 336,5 % при зниженні опору фази обмотки статору на 20%. Однак слід враховувати, що механічні несправності електродвигуна, вид механічного навантаження і відповідні гармоніки в спектрі струму, також викликають вібрацію машини, які ускладнюють достовірне і однозначне трактування виду дефекту виходячи з спектрального аналізу вібраційної частоти, що вимагає додаткових дослідних параметрів [3].

Крім того, з проведених досліджень випливає, що значення максимального моменту при збільшенні пошкодження обмотки статора на 20% зростає при однаковій частоті обертання з 72,671 *Нм* до 75,307 *Нм,* що також можливо використовувати при діагностуванні статору.

Список літератури

1. Губаревич О.В., Гулак С.О., Голубєва С.М. Комплексний підхід до діагностування асинхронних електродвигунів водного транспорту: – Новітні технології. Збірник наукових праць Приватного вищого навчального закладу "Університет новітніх технологій". – К.: ПВНЗ "Університет новітніх технологій", 2019. – Випуск 2(9).
2. Goolak, S., Gubarevych, O., Yermolenko, E, Slobodyanyuk, M, Gorobchenko, O. Development of mathematical model of induction motor for vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020, 2/2 (104), p.24-35.
3. Губаревич О.В., Козынко А.С. Природа вибрации и современные методы вибродиагностики электрических машин: - Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля, науковий журнал. – Сєвєродонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2017, №3 (233). С.53-58.