

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ СЕРІЇ АТД2 ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Гайденко Ю.А., к.т.н., доцент, Скуратовський І.П., магістрант
КПІ імені Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. Як відомо, функціонування традиційних електричних станцій неможливе без так званих *електричних машин власних потреб*. Це допоміжні електричні машини які виконують широкий спектр функцій і забезпечують надійне та безперебійне виробництво електричної енергії електростанціями.

Серед таких машин є асинхронні двигуни потужністю 5000 кВт серії АТД2, які призначені для застосування у якості електроприводу стаціонарних насосів [1]. Двигуни серії АТД почали виготовляти ще з далекого 1959 року. В 1970-х роках світ побачила нова серія цих двигунів – АТД2. Зазначена серія двигунів мала покращені характеристики в порівнянні з серією АТД. В 1980-х роках розпочався і продовжується до сьогоднішнього дня випуск серії двигунів АТД4 (рис. 1) яка охоплює діапазон потужностей від 500 до 8000 кВт. На теперішній час на більшості потужних електростанцій України, в тому числі атомних, використовуються асинхронні двигуни серії АТД2.



Рисунок 1 – Загальний вигляд двигуна серії АТД4

Двигуни серії АТД2 мають короткозамкнений ротор з мідною «білячою кліткою», є швидкохідними (швидкість обертання ротора – біля 3000 об/хв) та високовольтними (лінійна напруга обмотки статора становить 6 кВ). Двигуни АТД2 потужністю 3200-5000 кВт мають стоякові підшипники ковзання і поставляються зібраними на фундаментній плиті. Двигуни охолоджуються по

замкненому циклу вентиляції, при цьому охолоджувачі повітря можуть бути розташовані під двигуном або над двигуном. Система вентиляції двигунів проточна, аксіальна.

Багаторічний досвід експлуатації асинхронних двигунів серії АТД2 показав з одного боку – високу їх надійність, а з іншого – необхідність деякої реконструкції окремих вузлів оскільки теплові та віброакустичні характеристики цих двигунів не були оптимальними. Зокрема, саме це стало підставою для розробки нових серій подібних машин, а саме серії АТД4 і 4А3М термін експлуатації яких складає 25 років, що на 5 років більше ніж в АТД2. Таких показників вдалося досягти в основному за рахунок удосконалень конструкції системи охолодження, проте віброакустичні показники залишилися на низькому рівні.

Мета роботи – виявлення причин підвищеної вібрації двигунів серії АТД2, та розробка практичних рекомендацій для покращення віброакустичних показників цього типу двигунів.

Об'єкт та методи дослідження. В якості досліджуваного зразка був обраний асинхронний двигун серії АТД2, що використовується для приводу насосів на вітчизняних атомних електростанціях.

Дані двигуна: потужність на валу $P_2 = 5000 \text{ кВт}$; номінальна напруга $U = 6000 \text{ В}$; номінальний струм $I_1 = 545 \text{ А}$; номінальна швидкість обертання ротора $n_2 = 2987 \text{ об/хв}$; коефіцієнт корисної дії $\eta = 0,965$; коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0,915$; зовнішній діаметр магнітопроводу статора $D_{a1} = 1440 \text{ мм}$.

Дослідження проводилось методами теорії електромагнітного поля. Для цього була розроблена коло-польова математична модель об'єкту дослідження в програмному середовищі COMSOL Multiphysics. Модель реалізована в двовимірному (2D) наближенні, базується на методі скінченних елементів та, на відміну від існуючих ланцюгових і чисто польових моделей, має значно менше допущень, враховує реальні фізичні властивості матеріалів, електричні кола обмоток статора і ротора. Саме тому модель має значно вищий рівень точності і достовірності [2].

Відносно причин підвищеної вібрації в електричних машинах. З багатьох праць вчених відомо, що якщо відкинути причини пов'язані з неякісним виготовленням електричних машин (наявність статичного і динамічного ексцентриситету, недостатнє зусилля стяжних кріплень, тощо) та якістю підшипників, то головною причиною погіршення віброакустичних показників найвірогідніше є магнітна вібрація. Це явище викликане наявністю значних пульсацій магнітної індукції, зокрема в повітряному зазорі між статором і ротором.

Результати та обговорення. Проведене моделювання дозволило, окрім іншого, визначити картину розподілу магнітної індукції в кожній точці поперечного перерізу машини, що досліджується (рис. 2). Також, було обчислено величину нормальної складової магнітної індукції B_n всередині

повітряного зазору. На рис. 3 представлено розподіл B_n вздовж середньої лінії повітряного проміжку.

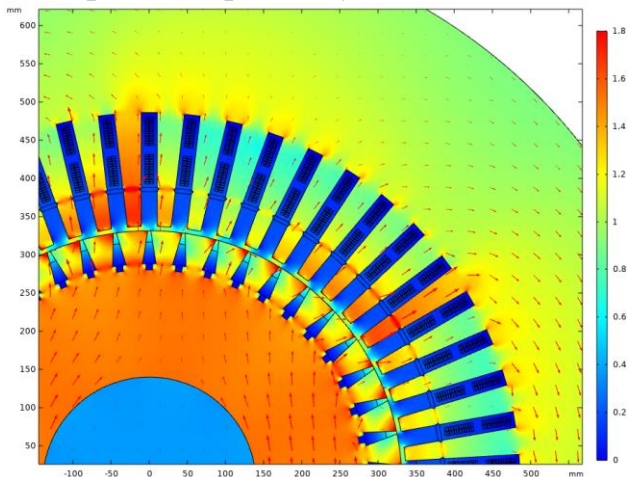


Рисунок 2 – Розподіл магнітної індукції в поперечному перерізі

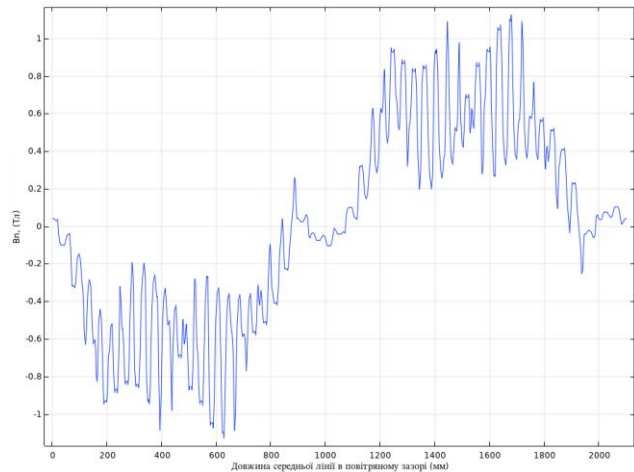


Рисунок 3 – Розподіл магнітної індукції в повітряному проміжку

Як можна побачити на рис. 3 крива нормальної складової індукції має окрім першої (основної) гармоніки ще й ряд вищих гармонік. Спектр (розкладання в ряд Фур'є) кривої індукції наведено на рис. 4. Сам факт наявності вищих гармонік в спектрі розподілу індукції є природним і викликаний особливістю геометрії зубцево-пазової частини асинхронної машини. Проте дуже важливим є їх рівень. При правильному проектуванні інженери намагаються якщо не повністю позбавитись окремих вищих гармонік, то хоча б звести їх значення до мінімально можливих. Аналізуючи спектр можна побачити по-перше – досить низьке значення амплітуди першої гармоніки, що призводить до погіршення ефективності використання активних матеріалів машини; по-друге – завищені значення п'ятої і сьомої гармонік відносно першої. Саме це і викликає підвищений рівень вібрацій в двигунах серії АТД2.

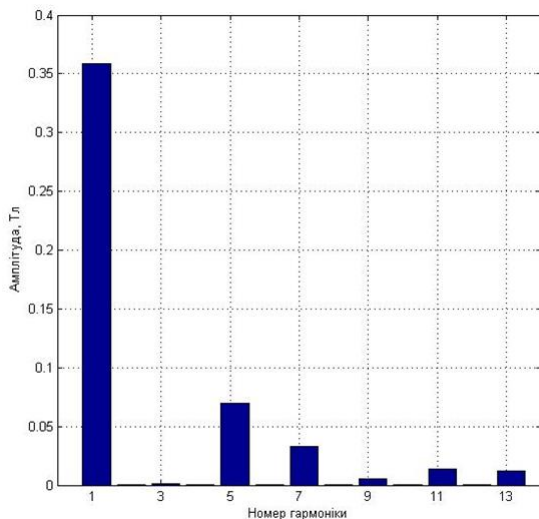


Рисунок 4 – Спектр індукції в повітряному зазорі при $y_1 = 17$

Головним методом боротьби з вищими гармоніками індукції в повітряному проміжку, як відомо, є вибір правильного значення укорочення кроку обмотки статора. Якщо крок обмотки обрано правильно, то це дозволяє значно зменшити ЕРС відповідної гармоніки шляхом зменшення коефіцієнта укорочення k_{yV}

$$E_v = \pi \sqrt{2} \cdot f_1 \cdot \Phi \cdot w_1 \cdot k_{pV} \cdot k_{yV},$$

де k_{pV} – коефіцієнт розподілу обмотки статора; f_1 – частота струму; w_1 – число витків фази обмотки статора; Φ – діюче значення магнітного потоку.

В приведенному об'єкті дослідження крок обмотки $y_1 = 17$ при загальній кількості пазів статора $Z_1 = 54$. Розрахунки показали, що більш доцільним є збільшення кроку обмотки до значення $y_1 = 22$. В таблиці 1 наведені значення коефіцієнтів укорочення для різних гармонік і для обох значень кроку обмотки.

Таблиця 1 – Коефіцієнт укорочення обмотки статора k_{yv}

Номер гармоніки	Крок обмотки статора		Відхилення
	$y_1 = 17$	$y_1 = 22$	
1	0,693	0,794	+ 15 %
5	0,170	0,02	- 88 %
7	0,079	0,059	- 25 %

Як видно з таблиці, при збільшенні кроку обмотки статора вдалось збільшити на 15% коефіцієнт укорочення і, як наслідок, величину корисної першої гармоніки індукції, що, безумовно, позитивно вплине на ефективність використання матеріалів асинхронної машини, що розглядається. Також вдалось практично повністю ліквідувати 5-ту гармоніку та значно зменшити 7-му. На рис. 5 представлено спектр гармонік розподілу індукції при величині $y_1 = 22$ в порівнянні з аналогічним спектром при $y_1 = 17$.

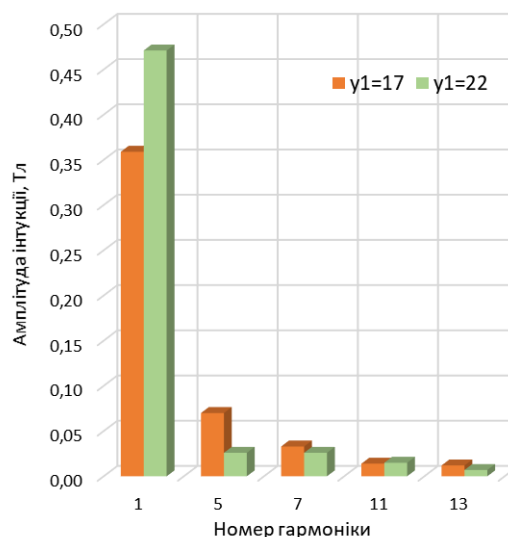


Рисунок 5 – Спектр індукції в повітряному зазорі

Висновок. Проведене дослідження виявило недолік при проектуванні асинхронного двигуна серії АТД2 потужністю 5000 кВт. Зокрема проектантами вибране невірне значення укорочення кроку обмотки статора, що призвело до підвищення вищих гармонік індукції в повітряному проміжку машини та до погіршення віброакустичних показників двигуна. Можливо це було зроблено з метою уніфікації всіх двигунів, що входять в серію АТД2, але для таких потужних і важливих для електростанцій двигунів такий підхід не видається вірним.

Перелік посилань

1. Справочник по ремонту крупных электродвигателей / под ред. Р.И. Соколова – М.: Энергоатомиздат, 1985 – 272 с.
2. Васьковський Ю.М. Польовий аналіз електричних машин: Навч. Посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 192 с.