

ДІАГНОСТИКА КУТОВОГО ЕКСЦЕНТРИСИТЕТУ РОТОРА АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ РІЗНИЦЕВИХ СИГНАЛІВ ВІБРОЗБУДЖУЮЧИХ СИЛ

Гераскін О.А., к.т.н., доц., Дубчак Є.М., ст. викл., Кречик О.О., магістрант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. На теплових і атомних електростанціях у переважній більшості використовуються електроприводи на базі потужних асинхронних двигунів (АД) з короткозамкненим ротором для забезпечення виконання відповідальних технологічних функцій. Одним з характерних ушкоджень потужних АД, що часто зустрічається, є кутовий ексцентриситет ротора (КуЕР). Кутовим ексцентриситетом називається перекис вісей ротора в АД, при якому вісь ротора не співпадає з віссю статора, а розташована під певним кутом. КуЕР є більш небезпечним для АД видом ексцентриситету, ніж радіальний ексцентриситет і може виникнути в наступних випадках: АД є приводом механізму зі значною незрівноваженістю обертових мас, неспіввісне встановлення підшипникових щитів в процесі ремонту АД, неоднакове зношування підшипників. Наявність навіть невеликого значення кута нахилу вісі ротора відносно вісі статора АД може суттєво впливати на роботу АД і призводити до ряду негативних явищ: розподіл магнітного поля в повітряному проміжку АД стає несиметричним, сила одностороннього магнітного тяжіння збільшує перекис ротора, що призводить до прискореного руйнування ротора через вплив на нього надлишкових електромагнітних сил, а також збільшуються електричні втрати і зменшується ККД АД. Для запобігання цим негативним процесам актуальним є застосування більш чутливих методів діагностування КуЕР. В порівнянні з іншими методами, наприклад, метод діагностики на основі аналізу спектрального складу споживаного струму, метод діагностики на основі аналізу зміни миттєвої потужності. Метод вібраційної діагностики [1, 2] має перевагу в тому, що є більш чутливим, оскільки віброзбуджуюча сила пропорційна квадрату збурення магнітної індукції.

Оскільки аналітичні підходи в питанні визначення вібрацій АД при зміні досліджуваних параметрів відрізняються значною складністю, то були вибрані сучасні польові підходи, в основу яких покладено розрахунок складних диференціальних рівнянь за допомогою метода скінченних елементів.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження кількісних діагностичних ознак кутового ексцентриситету ротора АД на основі спектрального аналізу різницевих сигналів віброзбуджуючих сил.

Матеріал і результати дослідження. Для визначення кількісних діагностичних ознак КуЕР АД був вибраний потужний трифазний АД типу АТД потужністю 5000 кВт, що має наступні параметри: номінальна напруга – 6 кВ, струм статора 545 А, коефіцієнт корисної дії 94,8%, коефіцієнт потужності 0,89, номінальна частота обертання 2985 об/хв, число пар полюсів – 1; повітряний проміжок – 6 мм; діаметр розточки статора – 675 мм.

На рис. 1 показано розподіл струмів і магнітного поля в досліджуваному АД. Для задач діагностики необхідно розглядати різницевий сигнал (тензор), який отримують відніманням характеристик тензора ушкодженого АД і неушкодженого АД. Для неушкодженого АД різницевий тензор завжди дорівнює нулю, що робить зручним його використання при аналізі змін вібрацій.

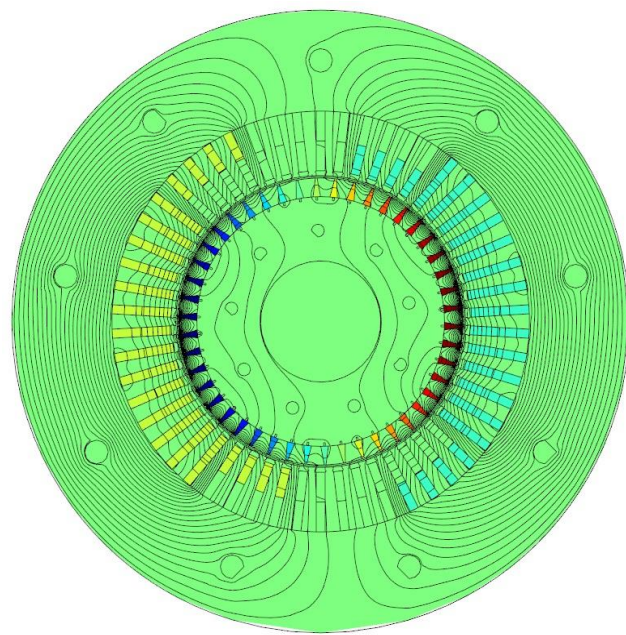


Рисунок 1 – Розподіл струмів і магнітного поля в досліджуваному АД

КуЕР АД є ушкодженням, яке має досліджуватися в тривимірній постановці, оскільки величина КуЕР є різною по довжині АД, що потребує значних розрахункових потужностей комп'ютерів. Однак з метою спрощення розрахунків КуЕР АД можна представити в двовимірній постановці як сукупність площин, в яких ротор зміщується відносно статора. Крім того, датчик вібрації, розташований на поверхні статора, знімає діагностичну інформацію тільки в одній з таких площин. У відповідності до мети статті інтерес представляють сигнали, що знімаються з торцевих площин. Тому достатньо дослідити зміщення ротора відносно статора в двовимірній постановці в цих двох площинах.

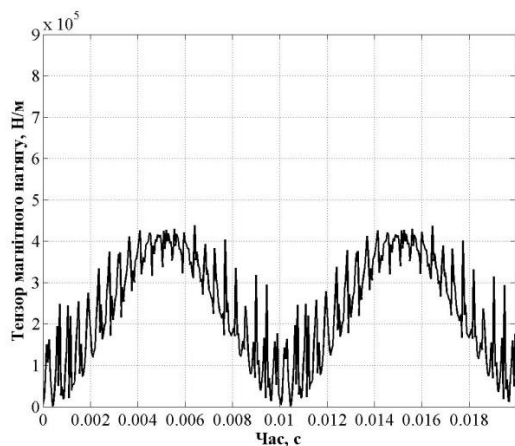
Величину ексцентриситету можна охарактеризувати коефіцієнтом відносного ексцентриситету:

$$\varepsilon = (\delta_{\max} - \delta_{\min}) / (\delta_{\max} + \delta_{\min}),$$

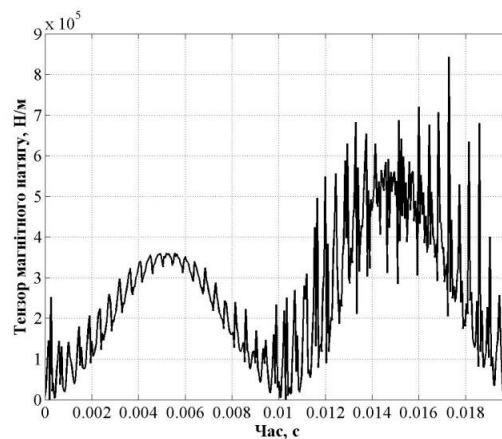
де δ_{\max} , δ_{\min} – максимальна і мінімальна величини повітряного проміжку АД.

Коефіцієнт відносного ексцентриситету змінюється в межах від 0 (відсутність ексцентриситету) до 1 (ротор торкається статора). На практиці зручно вимірювати величини δ_{\max} і δ_{\min} .

В процесі чисельних досліджень було побудовано математичну модель досліджуваного АД і проведено ряд чисельних розрахунків з метою визначення кількісних діагностичних ознак КуЕР АД. Вібробуджуючі сили в АД розраховуються за допомогою нормальної складової тензора магнітного натягу і пропорційні сигналам датчиків віброприскорення, що встановлюються на поверхні АД. На рисунках 2 і 3 показано розподіли вібробуджуючих сил в неушкодженому АД, $\varepsilon = 0$ (рис. 2, а), в ушкодженому АД, $\varepsilon = 0,58$ (рис. 2, б), розподіл різницевого сигналу (рис. 3, а), і його спектр (рис. 3, б).

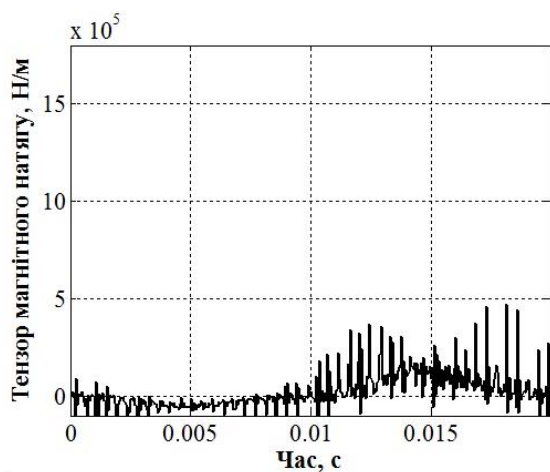


а)

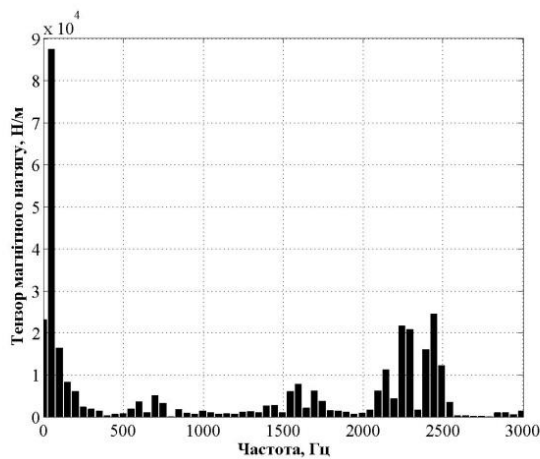


б)

Рисунок 2 – Розподіли віброзбуджуючих сил при величинах кутового ексцентриситету: а) нешкоджений АД, $\varepsilon = 0$, б) ушкоджений АД, $\varepsilon = 0,58$.



а)



б)

Рисунок 3 – Розподіл різницевого сигналу віброзбуджуючих сил (а) і його спектр (б) при величині кутового ексцентриситету $\varepsilon = 0,58$.

З аналізу розподілів віброзбуджуючих сил (рисунки 2, 3), видно що в момент проходження найменшого повітряного проміжку повз точку умовного розташування датчика вібрації (на поверхні зубця статора) в розподілі сигналу буде спостерігатись збільшення прояву зубцевих гармонік, що буде відображатися в спектральному складі тензора магнітного натягу. На рис. 4 представлено отримані результати досліджень у вигляді графіків, що характеризують зміну кількісних діагностичних ознак K_{yEP} .

З рис. 4 видно, що постійна складова спектру і амплітуда гармоніки подвійної частоти сигналів датчиків віброприскорення зростають зі збільшенням величини кутового ексцентриситету ротора. При величині кутового ексцентриситету $\varepsilon = 0,58$ ці значення становлять відповідно 16% і 15%.

Зі збільшенням величини кутового ексцентриситету ротора зростає середньоквадратичне значення віброприскорення в першу чергу завдяки зростанню постійної складової спектру і амплітуди гармоніки подвійної

частоти віброприскорення. При величині кутового ексцентриситету $\varepsilon = 0,58$ це значення становить 67%.

Зі збільшенням величини кутового ексцентриситету ротора зростає середньоквадратичне значення шумових гармонік в спектрі віброприскорення. При величині кутового ексцентриситету $\varepsilon = 0,58$ це значення становить 125%.

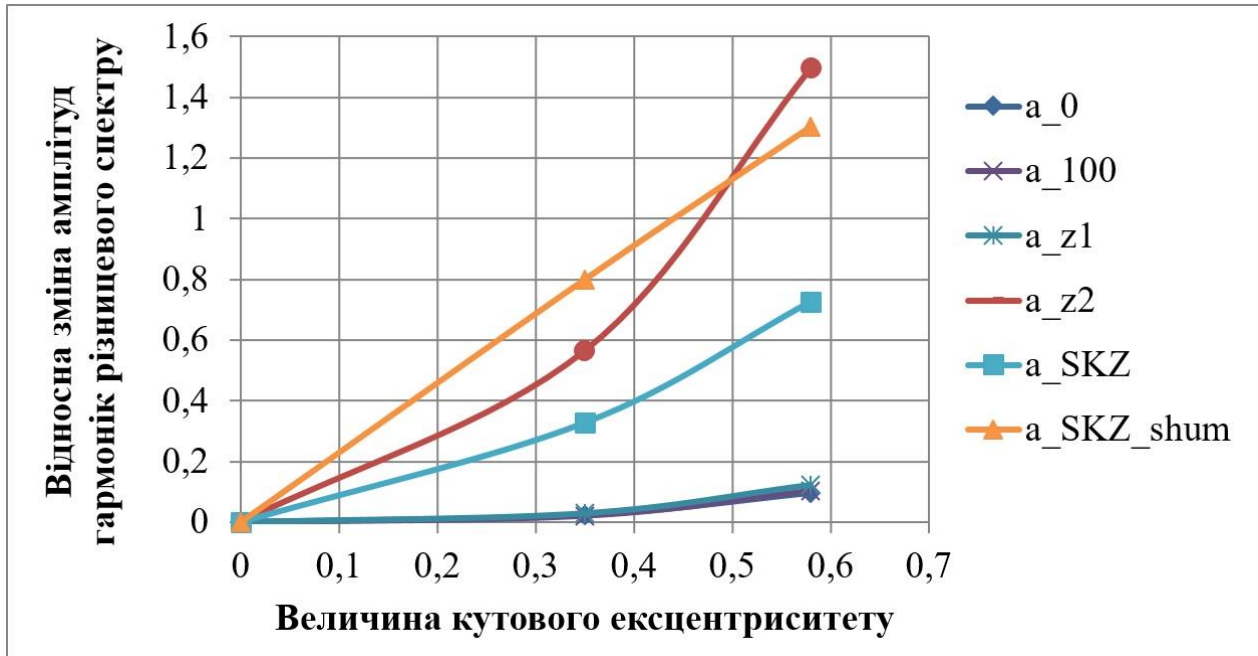


Рисунок 4 – Відносна зміна амплітуд гармонік різницевого сигналу віброзбуджуючих сил в залежності від величини КуЕР АД

Висновки. Методами математичного моделювання досліджено зміну кількісних діагностичних ознак, що виникають в спектрах віброзбуджуючих сил АД при появі КуЕР.

Кутовий ексцентриситет є значущим, шкідливим і небезпечним ушкодженням ротора оскільки руйнує АД і призводить до прискореного зношування підшипників.

Отримані результати у вигляді змін кількісних діагностичних ознак можуть бути використані в системах вібраційного контролю та діагностики технічного стану потужних АД для виявлення КуЕР.

Перелік посилань

1. Васьковський Ю.Н., Гераскин А.А. Математическое моделирование электромагнитных полей в короткозамкнутом асинхронном двигателе с поврежденной обмоткой ротора // Технічна електродинаміка. – 2010. – Вип. 2. – С. 56-61.

2. Nandi, S., Shehad A., and H.A. Toliyat. "Detection of rotor slot and other eccentricity related harmonics in a three phase induction motor with different rotor cages." Energy Conversion, IEEE Transactions on 16.3 (2001): 253-260. Print.