

ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Калінов А.П., к.т.н., доц., Мамчур Д.Г., асист.

Кременчуцький державний університет імені Михайла Остроградського

39600, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20

E-mail: scenter@kdu.edu.ua

Проаналізовано можливість застосування результатів аналізу процесу перетворення енергії асинхронним двигуном для його діагностики й моніторингу поточного стану. Обґрунтовано показники якості енергопроцесів, за якими можливо виконувати діагностику та моніторинг.

Ключові слова: показники якості перетворення енергії, асинхронний двигун, діагностика, моніторинг.

Вступ. Як зазначалося у роботах [1–4], діагностику поточного стану, прогноз залишкового ресурсу роботи, визначення необхідності проведення ремонту можливо здійснювати за аналізом процесу перетворення енергії електричною машиною. З цією метою [1, 3] було введено поняття «Показники якості перетворення енергії» та сформульовано деякі з них. Оцінка стану АД за аналізом процесу перетворення енергії є перспективною, оскільки не вимагає великих апаратних ресурсів для реалізації. Достатньо використовувати датчики струмів та напруги, решта параметрів розраховується непрямими методами. Такий підхід не потребує виводу устаткування з виробничого процесу, тобто може використовуватись у якості системи моніторингу поточного стану. Попередній аналіз сформульованих показників якості перетворення енергії показав їх недостатність для можливості діагностики всіх найбільш типових дефектів АД, а також для врахування всіх факторів, які впливають на зниження ресурсу АД, що не надає можливості на даний момент повною мірою застосовувати показники в процесі моніторингу.

Мета роботи. Обґрунтування показників якості перетворення енергії для проведення процедур моніторингу та діагностики асинхронних двигунів.

Матеріал і результати дослідження. При визначенні показників якості перетворення енергії (ПЯПЕ) варто дотримуватися наступних вимог:

- прозорий і чіткий зміст коефіцієнтів;
- однозначний зв'язок з певними видами дефектів;
- чіткі граничні значення й обґрунтовані характерні значення;
- спостережуваність вихідних даних для коефіцієнтів.

Як зазначалося в роботах [1, 2], миттєва потужність відображає процеси генерації та рекуперації енергії між джерелом і споживачем за період. Характеристики, що відображають особливості режимів роботи та технічного стану обладнання в системі «асинхронний двигун – мережа живлення», мають бути виявлені за допомогою аналізу особливостей кривої миттєвої потужності: середнього значення, змінних складових і т.п. При цьому в основі формування показників, заснованих на аналізі особливостей кривої миттєвої потужності, має бути чітка фізична інтерпретація як процесу, так і його характеристик.

Аналіз запропонованих раніше коефіцієнтів показав, що в разі, коли вираз містить постійну

складову сигналу миттєвої потужності, його значення істотно залежить від величини прикладеного навантаження. Дана особливість не надає можливості адекватно оцінювати режими роботи, оскільки при однаковому значенні змінної складової значення коефіцієнту може істотно коливатися під час роботи в режимі неробочого ходу та при збільшенні навантаження, тобто збільшенні значення постійної складової. Тому доцільно проводити обчислення відносно не середнього значення миттєвої потужності, а певного фіксованого значення, наприклад, номінальної потужності.

Подальші дослідження привели до висновку, що оскільки при синусоїдних сигналах струму і напруги гармонійний склад миттєвої потужності містить лише постійну складову та другу гармоніку, то коефіцієнт потужності можна обчислити на основі складових миттєвої потужності:

$$K_{cos} = \sqrt{\sum P_{kb}^2} / \sqrt{\sum P_{ka}^2 + \sum P_{kb}^2}, \quad (1)$$

де P_{ka} , P_{kb} – відповідно косинусні та синусні канонічні складові гармонік миттєвої потужності, тобто $k = m + n$ при $m = n$, де m та n – номери гармонік струму й напруги. Перевірка при синусоїдних сигналах напруги та струму при різних значеннях кута зсуву дає повний збіг з класичним коефіцієнтом потужності. За наявності несинусоїдності сигналів струмів та напруг, внаслідок неякісності мережі живлення або наявності дефектів чи пошкоджень двигуна, коефіцієнт K_{cos} буде змінюватися через появу додаткових складових.

З літературних джерел [5] відомо, що корисний момент створюється постійною складовою миттєвої потужності, причому лише гармоніками струму та напруги основної частоти. Таким чином, решта складових постійної складової миттєвої потужності, по суті, є баластними, й оцінити їх внесок в погіршення якості споживання енергії можна за коефіцієнтом постійної складової потужності:

$$K_0 = P_{01} / P_0, \quad (2)$$

де $P_{01} = I_{a1}U_{a1} + I_{b1}U_{b1}$ – частина постійної складової миттєвої потужності, що формує корисний момент під дією перших гармонік струму та напруги; $P_0 = \sum I_{am}U_{an} + I_{bm}U_{bn}$ – повна постійна складова миттєвої потужності, обчислюється для гармонік струму та напруги при

$m = n$. При живленні ідеального двигуна від симетричної синусоїдної мережі присутні лише гармоніки основної частоти і, відповідно, коефіцієнт K_0 дорівнює одиниці. В інших випадках, за наявності вищих гармонік, коефіцієнт менший за одиницю. Таким чином, сформульований коефіцієнт можна використовувати при моніторингу АД для оцінки ефективності використання споживаної потужності.

Для оцінки інтегральної несиметрії АД, яка може бути спричинена як неякісністю живлення, так і дефектами самої машини, запропоновано використовувати середньозважені показники за амплітудою та фазою другої гармоніки миттєвої потужності за фазами:

$$P_{cpi_n} = \frac{P_{in}}{Pa_v + Pb_v + Pc_v};$$

$$j_{cpi_n} = \frac{j_{in}}{j_{a_v} + (j_{b_v} + 2p/3) + (j_{c_v} + 4p/3)}, \quad (3)$$

– відношення амплітуди n -ї гармоніки або фази потужності однієї з фаз до сумарного значення амплітуд гармонік або фаз того ж порядку трьох фаз – в ідеальному випадку за всіма фазами дорівнює 1/3 [5]. Найбільш зручно проводити аналіз при $n = 2$, оскільки сигнали потужностей фаз двигуна коливаються з подвійною частотою мережі живлення, тобто дана гармоніка завжди присутня у сигналі, і на її значення впливає наявність вищих гармонік, спричинених різного роду неякісностями.

Додатковий аналіз доцільно виконувати за аналізом спектрального складу сигналу сумарної миттєвої потужності. Для оцінки внеску гармонік певних частот в інтегральне значення вищих гармонік потужності запропоновано використовувати відношення квадрату ефективного значення гармонік певного діапазону до квадрату ефективного значення усіх вищих гармонік:

$$K_{carm(N_1+N_2)} = \frac{\sum_{k_1=N_1}^{N_2} P_{k_1}^2}{\sum_{k=1}^{N-1} P_k^2}, \quad (4)$$

де N – загальна кількість гармонік спектру, N_1, N_2 – відповідно початкове й кінцеве значення частот гармонік аналізованого проміжку. Даний коефіцієнт відображає відсотковий внесок вищих гармонік певного частотного діапазону до загальної величини вищих гармонік, що дозволяє співвіднести даний діапазон з певним пошкодженням АД.

Якість перетворення енергії також впливає на миттєві значення сигналу моменту на валу, які обчислюються на основі миттєвої електромагнітної потужності та миттєвої швидкості АД. Тому аналіз даного сигналу може дозволити виявити певні особливості протікання енергопроцесів у системі «асинхронний двигун – мережа живлення», що можуть не досить явно проявлятися у сигналі потужності.

З урахуванням того, що корисний момент формується лише гармоніками струму і напруги основної частоти, пропонується обчислювати миттєві значення ККД АД згідно виразу :

$$h = \frac{\frac{1}{T} \int M_3(t) w(t) dt}{P_0}, \quad (5)$$

де

$$M_3(t) = \frac{P_{0I}(t) - \Delta P_{MI}(t) - \Delta P_{cm}(t)}{w_0} - M_{mex}(t),$$

$P_{0I}(t) = Ia_1(t)Ua_1(t) + Ib_1(t)Ub_1(t)$ – складова миттєвої потужності, що формує корисний момент; $\Delta P_{MI}(t)$ – миттєві втрати в міді; $\Delta P_{cm}(t)$ – миттєві втрати в сталі; $M_{mex}(t)$ – момент неробочого ходу; P_0 – постійна складова миттєвої потужності.

Недоліком даного коефіцієнту є необхідність визначення додатково втрат двигуна та миттєвого значення навантаження, проте дане питання вирішується при застосуванні методу миттєвої потужності [6].

За результатами попереднього аналізу інформативності сигналу електромагнітного моменту додатково до існуючих також було сформульовано коефіцієнт ефективності використання моменту:

$$e_M = \frac{M_0(t)}{M_e(t)},$$

де $M_0(t) = \frac{1}{T} \int_0^T M(t) dt$ – значення постійної

складової моменту, $M_e(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (M(t))^2 dt}$ –

ефективне значення моменту, та коефіцієнт вищих гармонік моменту:

$$K_{Mez} = \sqrt{\frac{\sum_{v=1}^{N-1} M_v^2}{M_n}}. \quad (6)$$

Якщо даний коефіцієнт більший за граничний, поточний режим є шкідливим для машини. В ідеальному випадку вищих гармонік у сигналі електромагнітного моменту не існує, коефіцієнт дорівнює нулю. Коефіцієнт урахує величину змінної складової моменту і може використовуватись для оцінювання доцільності подальшої роботи устаткування з огляду на ефективність перетворення споживаної енергії.

Аналіз значень сформульованих показників, а також частотний аналіз спектру сигналу споживаної потужності можуть бути використані для процедур діагностики та моніторингу технічного стану АД. Проте, зміна технічного стану АД при розвитку різних видів дефектів по-різному відображається на значеннях різних показників, тобто різні показники можуть бути більшою або меншою мірою інформативними для виявлення певних видів дефектів АД або для визначення можливості подальшої роботи (моніторингу). Інформативність показника для виявлення певного виду пошкодження або дефекту полягає у інтенсивності зміни його значення при розвитку дефекту.

Для проведення аналізу інформативності сформульованих показників, за допомогою раніше розроблених математичних моделей [7], отримано

миттєві значення вихідних сигналів, на основі яких виконується подальший аналіз, а саме миттєві значення струмів, напруг та потужностей для різного ступеня пошкодження або розвитку неякісностей АД. Дослідження виконувались для моделі двополосного АД 4АХВ2Г100L4 (4 кВт; 8,7 А, 1420 об/хв), для випадків роботи в режимі неробочого ходу та значень відносного моменту навантаження рівних $0,5M_n$, M_n , $1,5M_n$.

Так, проведений аналіз показав, що середньозважені показники за амплітудою другої гармоніки потужності є інформативними для діагностики несиметричних режимів роботи АД, таких, як несиметричність мережі живлення, несиметричність обмоток статора внаслідок наявності обривів чи конструктивної несиметрії обмоток, а також наявності дисбалансу ротора, що викликає порушення електромагнітної симетрії параметрів АД за фазами.

Дослідження коефіцієнту постійної складової миттєвої потужності показали його інформативність для визначення наявності неякісного живлення та неякісностей обмотки статора АД, а також наявності динамічного дисбалансу. Істотна відмінність значення коефіцієнту від одиниці може використовуватись як інформативна ознака для моніторингу АД.

Коефіцієнт вищих гармонік моменту $K_{M_{вг}}$ може використовуватись у режимі моніторингу при прийнятті рішення про допустимість подальшої роботи обладнання (якщо $K_{M_{вг}} > 0,1$ – даний режим є небезпечним, необхідно вивести обладнання з виробничого процесу для більш детальної діагностики).

Коефіцієнт потужності полігармонійних сигналів можна використовувати при моніторингу АД для діагностики пошкоджень обмоток ротора та статора АД: у випадку наявності даних типів пошкоджень істотно зменшується значення коефіцієнта при роботі за номінальним навантаженням. Подальші випробування в режимі неробочого ходу дають можливість визначити причину погіршення стану – неякісність ротора (коефіцієнт у режимі неробочого ходу мало відрізняється від коефіцієнту для двигуна без пошкоджень) чи статора (коефіцієнт має значно більше значення в режимі неробочого ходу).

Висновки. Обґрунтовано показники якості енергопроцесів АД для проведення діагностики й моніторингу технічного стану, які дозволяють більш ефективно оцінювати енергетичні режими роботи двигуна, а також визначати й розрізняти дефекти у поточному режимі роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Родькин Д. И. Новая система показателей качества использования электрической энергии / Родькин Д. И // Научный вестник НГУ, 2004. – №3. С. 20-26.

2. Родькин Д. И. Энергопроцессы в трёхфазной двигательной нагрузке с несинусоидальным напряжением питания / Родькин Д. И // Проблемы создания новых машин и

технологий. Сб. научных трудов КГПУ. – Вып. 1. – Кременчуг, 1998. – С. 23-34.

3. Чёрный А. П. Определение снижения ресурса асинхронных двигателей по показателям качества преобразования энергии / Чёрный А. П. // Збірник праць Кіровоградського НТУ, 2004. – Вып. 15. – С. 160-168.

4. Родькин Д. И. Обоснование критериев качества преобразования энергии в электромеханических системах / Родькин Д. И., Чёрный А. П., Мартыненко В. А. // Проблемы создания новых машин и технологий. Сб. научных трудов КГПУ: Вып. 1. – Кременчуг, 2002. – С. 81-85.

5. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Бессонов Л. А. – М.: Гардарики, 2001. – 638 с.

6. Огарь В. А. Обоснование аналитической оценки потерь в насыщаемой стали асинхронного двигателя / Огарь В. А., Родькин Д. И., Калинов А. П. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Зб. наук. праць КДПУ. – Кременчук: КДПУ. – 2007. – Вып. 4 (45). – Ч. 1 – С. 98-103.

7. Калінов А. П. Математичні моделі для дослідження впливу конструктивних несиметрій електричних машин на їх електромагнітні параметри / Калінов А. П., Мамчур Д. Г. // Вісник КДПУ. Наукові праці КДПУ. – Вып. 3(44). – Ч. 2. – Кременчук: КДПУ, 2007. – С. 150–154

ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Калінов А.П., к.т.н., доц., Мамчур Д.Г., асист.

Кременчуцький державний університет імені Михайла Остроградського

39600, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20

E-mail: scenter@kdu.edu.ua

Проанализирована возможность применения результатов анализа процесса преобразования энергии асинхронным двигателем для его диагностики и мониторинга текущего состояния. Обоснованы показатели качества энергопроцессов, по которым возможно проведение диагностики и мониторинга.

Ключевые слова: показатели качества преобразования энергии, асинхронный двигатель, диагностика, мониторинг.

THE GROUNDING OF ENERGY CONVERSION QUALITY INDICATORS FOR MONITORING AND DIAGNOSTICS OF INDUCTION MOTORS

Kalinov A.P., Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof., Mamchur D.G., assistant

Kremenchuk Mykhaylo Ostrogradskiy State University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine

E-mail: scenter@kdu.edu.ua

The possibility of use analysis results of energy conversion process by induction motor for diagnostics and monitoring its current conditions was analyzed. Energy process quality indicators for diagnostics and monitoring were grounded.

Key words: energy conversion quality indicators, induction motor, diagnostics, monitoring.