

УДК 621.313.333

О.М. Васілевський

ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ЗА СТРУМОМ СТАТОРА

Запропоновано метод діагностики технічного стану електромеханічних систем за струмом статора на основі якого розроблено структурну схему, яка дозволяє формувати інформативний сигнал при відхиленні параметрів від норми. Роботу схеми представлено часовими діаграмами.

Вступ. Багато методів і технічних засобів діагностики параметрів електромеханічних систем (ЕМС) використовуються для її захисту. Але методам виявлення дефектів, які розвиваються в підшипникових вузлах, все таки не приділяється необхідної уваги. Разом з тим ці дефекти часто приводять до аварій з катастрофічними наслідками, і тому існує об'єктивна необхідність в розробці та дослідженні нових методів виявлення дефектів.

Формування цілей. При пошкодженні підшипників або порушенні центрування валу ЕМС, момент опору, періодично змінюється з частотою, яка пропорційна частоті обертання валу. Періодична зміна моменту опору викликає появу в струмі статора ЕМС складових з частотою, що пропорційна частоті обертання валу. Відділення цих складових від складових струму основної частоти і контроль їх рівня дозволяє виявити дефекти ЕМС. Тому головною ціллю є розробка структурної схеми системи виявлення дефектів, відповідної математики до неї та формування діагностичних ознак при виникненні дефектів.

Аналіз стану досліджень та публікацій. Зв'язок окремих складових струму статора з характером дій на ротор при виникненні механічних дефектів можна встановити, користуючись загальноприйнятою еквівалентною схемою, яка зображена на рис. 1 [1]. Струм фази статора асинхронного двигуна (АД), у відповідності з схемою заміщення, при синусоїдальній напрузі живлення визна- чається за формулою [1]:

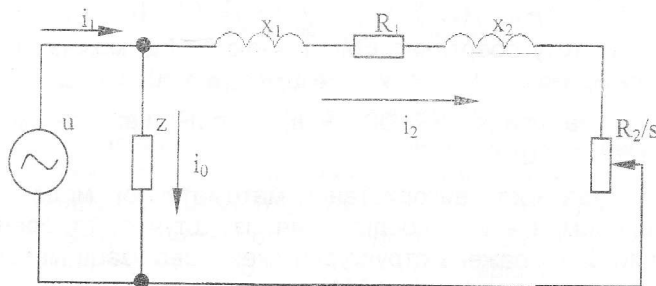


Рис. 1 Еквівалентна схема заміщення АД

$$i_1 = i_0 + i_2' = i_0 + \left(U_{1m} / \sqrt{(x_1 + x_2')^2 + (R_1 + R_2'/s)^2} \right) \cdot \sin(\omega_1 t - \varphi), \quad (1)$$

де i_0 , i_2' – струм намагнічування і струм статора АД; U_{1m} – амплітуда напруги живлення; x_1 , x_2' – індуктивний опір статора і ротора; s – ковзання; ω_1 – частота напруги живлення;

$$\varphi = \arctg \left((x_1 + x_2') (R_1 + R_2'/s)^{-1} \right).$$

Виклад основного матеріалу. Для аналізу зручно використати представлення моменту опору M_o сумою статичної M_0 і періодичної синусоїдальних складових:

$$M_o = M_0 + M_a \sin(\alpha \cdot t), \quad (2)$$

де M_a і α – амплітуда і частота періодичної складової моменту опору.

Розв'язок рівняння руху ротора $J d\alpha/dt + M_o = M$ при таких умовах має наступний вигляд:

$$M = M_0 + \sin(\alpha \cdot t - \theta) M_a / \sqrt{1 + (\alpha T_n)^2} + \sin(\theta) e^{-t/T_n} M_a / \sqrt{1 + (\alpha T_n)^2}, \quad (3)$$

синусоїдального вхідного сигналу формуються прямокутні імпульси тривалістю набагато меншою періоду вхідного сигналу. Причому частота слідування цих імпульсів дорівнює частоті обертання валу ЕМС. Вихідні імпульси з виходу ФІ подаються на керуючий вхід електронного ключа. Ключ знаходиться в розімкненому стані і періодично короткочасно замикається під дією керуючих імпульсів, з'єднуючи інформаційний вхід комутатора з виходом. Таким чином, з аналогового виходу частотного регулятора за струмом, через перетворювач „струм-напруга”, на вхід запам'ятовуючого елемента (ЗЕ) подаються вибірки значень струму статора. В нормальних умовах, при справних підшипниках, струм статора АД має синусоїдальну (або близьку до неї) форму. Тому вибірки значень струму, які відповідають конкретній фазі сигналу, в усталеному режимі (коли амплітуда струму не змінюється) мають однакові значення (рис. 3). В результаті на виході аналогового ЗЕ устанавлюється сигнал постійного рівня. Цей вихідний сигнал подається на вхід фільтру верхніх частот (ФВЧ). Оскільки вхідний сигнал ФВЧ має постійне значення, то сигнал на його виході дорівнює нулю.

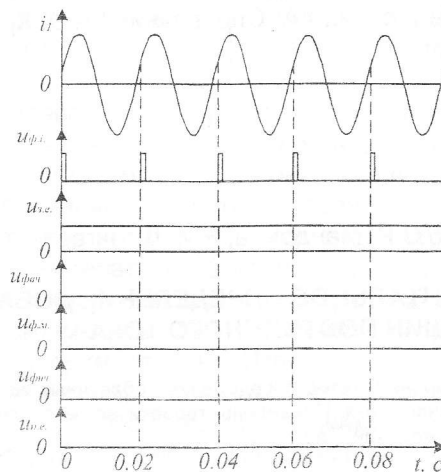


Рис. 3. Часові діаграми, що відповідають нормальному стану ЕМС

Дальше вихідний сигнал фільтру послідовно обробляється формувачем модуля сигналу (ФМС), фільтром нижніх частот (ФНЧ) і пороговим елементом (ПЕ). Оскільки рівень сигналу дорівнює нулю (підшипник справний), він не змінює стан виходу порогового елемента і, не викликає появу сигналу виникнення дефекту. При виникненні механічного дефекту в підшипнику або порушенні центрування валу ЕМС момент опору стає залежним від кута повороту валу. В таких умовах при обертанні валу момент опору періодично змінюється. Відповідно, ковзання, пов'язане обертовим моментом лінійною залежністю (5), періодично змінюється з частотою, яка дорівнює частоті обертання валу. Періодична зміна ковзання викликає періодичну зміну еквівалентного вхідного електричного опору АД. Зміна цього опору, в свою чергу, викликає зміну струму статора з частотою обертання валу. В таких умовах вибірки струму статора, який подається на вхід ЗЕ, відрізняються одна від іншої, і рівень сигналу на виході ЗЕ змінюється (рис. 4). Змінний сигнал проходить через ФВЧ, випрямляється ФМС,

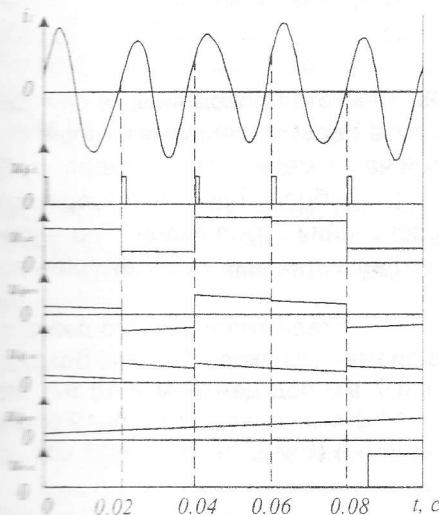


Рис. 4. Часові діаграми при появі дефекту в ЕМС

усереднюється ФНЧ і надходить на вхід ПЕ. Якщо рівень сигналу вищий порогу спрацювання, то ПЕ діє на виконавчий орган, який формує сигнал, що інформує про появу дефекту. Описаний алгоритм реалізований в ІВС для автоматичного контролю несинхронності обертання та вібродіагностики ЕМС. Проведені різнобічні випробування, результати яких підтвердили високу ефективність дії методу діагностики технічного стану ЕМС. Завдяки використанню описаної діагностичної ознаки відкривається можливість значно скоротити виробничі збитки від неочікуваного відмовлення АД і значно знизити витрати на ремонт, який не потребує виконання великих об'ємів ремонтних робіт.

Висновки. 1. Обґрунтована можливість виявлення дефектів в механічній частині ЕМС за струму статора. В основу алгоритму роботи покладений спеціальний метод фільтрації складових струму статора з частотами, які відрізняються від частоти обертання валу, і контроль рівня цих складових. Проведені випробування підтвердили справедливість прийнятих при розробці технічних рішень і високу ефективність дії методу діагностики технічного стану механічної частини за струму статора.

2. Розроблено структурну схему пристрою для визначення дефектів механічної частини, яка може бути реалізована у інформаційно-вимірювальну систему для автоматичного контролю несинхронності обертання та вібродіагностики ЕМС.

3. Подальше вдосконалення розробленого методу діагностики полягає в поєднанні з іншими методами, для перевірки адекватності, і розробці схеми електричної принципової з використанням сучасної елементної бази.

Література:

1. Гейлер Л.Б. Основы электропривода. - Минск: Высшая школа, 1972. - 387 с.
2. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф и др. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 324 с.

УДК 621.313

А.С. Захарчук, О.Р. Мандрыка, Е.И. Штангеев

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Изложен оригинальный метод определения добавочных потерь холостого хода в обмотке якоря машины постоянного тока. Приведены теоретическое обоснование метода и результаты экспериментальных измерений. Табл. 2. Ист. 5.

Современные высокоиспользуемые тяговые электрические машины имеют высокий уровень добавочных потерь. Поэтому при тепловом расчете тяговых машин учитывают основные виды добавочных потерь: коммутационные и потери в меди от поля возбуждения, проникающего в пазы якоря. Последние трудно поддаются расчету и их оценивают по приближенным формулам / 1,2,3 / :

$$P_{Д} = N_{я} \frac{b_M}{b_{П}} \cdot h_M^2 \cdot l_{я} \cdot f^{1,5} \cdot F_Z, \quad (1)$$

$$P_{Д} = 378 \cdot N_{я} b_M h_M^3 l_{я} f^2 g_M (B_Z - 1,6)^2, \quad (2)$$

$$P_{Д} = 1,08 \cdot \frac{N_{я} b_M h_M^3}{b_{П}^2 \rho} l_{я} f^2 \mu_0^2 F_Z^2 \cdot \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{\cos^2 k \cdot \frac{2\pi t_1}{\tau}}{k^2}, \quad (3)$$

где $N_{я}$ – число активных проводников в якоре; b_M, h_M – ширина и высота проводника, м; $b_{П}$ – ширина паза якоря, м; $l_{я}$ – длина железа якоря, м; $f = p \cdot n$ – частота перемагничивания якоря; p – число пар полюсов; n – частота вращения, s^{-1} ; g_M – вес пазовой части меди обмотки якоря, кг; F_Z – падение намагничивающей силы на зубцовом слое якоря, А; t_1 – зубцовое деление якоря, м; τ – полюсное деление машины, м; B_Z – магнитная индукция в основании зуба якоря, Т; ρ – удельное электрическое сопротивление меди, Ом·м; μ_0 – абсолютная магнитная проводимость воздуха, Гн/м.

В табл. 1 приведены рассчитанные по выражениям (1,2,3) потери тепловозного двигателя ЭД-121А (450 кВт, $16 s^{-1}$). Двигатель четырехполюсный с диаметром якоря 493 мм. Воздушный зазор под главными полюсами эксцентричный, величиной 7 мм под центром и 18 мм под краем полюса. Параметры якоря: $l_{я}=38$ см; $t_1=28,7$ мм; $b_{П}=11,2$ мм; $b_M=4,5$ мм; $h_M=9,5$ мм; $N_{я}=464$. Основные потери в меди якоря при номинальном токе 865 А ($B_Z=2,7$ Т) равны 11 кВт.