

СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОТУЖНОСТІ В ЗАДАЧАХ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Вступ. Близько 10 років на кафедрі електропривода ведуться дослідження та експериментальні роботи з діагностики стану електромеханічних систем, опосередкованого визначення параметрів та координат електроприводів, визначення енергоефективності.

Нам би хотілося поділитися практичним досвідом діагностики електродвигунів та механізмів в промислових умовах, надати рекомендації щодо застосування наукових підходів та математичних інструментів для діагностики стану електромеханічних систем.

Матеріали дослідження. По-перше, практика свідчить, що причини незадовільної роботи агрегатів приблизно рівно розподіляються між електроприводом та механізмом. Тобто, некоректна робота системи автоматичного регулювання (якщо така є) може призвести до перевантаження двигуна та порушень роботи механізму, і навпаки – несправності механічної частини привода відображаються у струмах та напругах електродвигуна, призводять до теплового пробою або, наприклад, руйнування його валу. Тому ключовим етапом діагностики є визначення моменту, який розвиває двигун і порівняння його з номінальним для механізму значенням.

Електричний двигун є досить простою системою у порівнянні, наприклад, з людським організмом. Але задача діагностики завжди ускладнена відсутністю даних про параметри електродвигуна і неможливістю вимірювання деяких сигналів. Промислові механізми із електроприводом постійного струму є, зазвичай, регульованими і містять власні датчики швидкості. Момент двигуна постійного струму може бути визначений опосередковано через струм якоря за відомою формулою $k\Phi \cdot I_a$, отже, в розпорядженні дослідника є, фактично, всі необхідні дані.

Ситуація ускладнюється у випадку електропривода змінного струму. Струм короткозамкненого ротора асинхронного двигуна не може бути виміряний. До того ж, в переважній більшості випадків в таких системах, на жаль, відсутнє навіть місце для встановлення датчику швидкості. Опосередковане визначення швидкості та моменту асинхронних або синхронних двигунів (АД, СД) вимагає даних про параметри схеми заміщення, для встановлення яких потрібні спеціальні процедури [1,2].

Тому надійним діагностичним критерієм може бути спектр миттєвої потужності, що споживається електродвигуном, який може бути виміряний відносно нескладно. Нами використовується мобільний вимірювально-діагностичний комплекс, до складу якого входять: ноутбук, АЦП (400 кГц), блоки гальванічної розв'язки та датчики електричних величин із полосою пропускання порядку 10 кГц. Оптимальною частотою дискретизації при дослідженні загальнопромислових електроприводів є 5 кГц [3]. За такою частотою досить точно описуються динамічні процеси в системі, і не потрібна цифрова фільтрація сигналів.

Традиційний підхід передбачає, по-перше, розкладання у ряд Фур'є фазних напруг та струмів і потім отримання значень потужностей для кожної гармоніки. Але такий підхід не є адекватним у випадку нелінійних систем, наприклад, при дослідженні систем із напівпровідниковими перетворювачами. Уявіть ситуацію, представлену, коли споживання несинусоїдального струму не призводить до спотворення форми вхідної напруги, отже усі її (напруги) гармоніки, крім першої, дорівнюють нулю. Добуток будь-яких гармонік струму на нульові гармоніки напруги дорівнюватиме нулю, отже такий метод не відобразить реальну картину розподілу потужностей. Тому необхідно, по-перше, отримати сигнал миттєвої потужності

$$P(t) = u(t) \cdot i(t),$$

де $u(t)$, $i(t)$ – миттєві значення струму,

і потім розкласти отриманий масив у ряд Фур'є.

Надамо пояснення характерним складовим спектру миттєвою потужності.

Постійна складова спектру, нульова гармоніка, або середнє значення цього сигналу відображає активну потужність, споживану з мережі. Ця потужність перетворюється у механічну і розсіюється у вигляді втрат. Їх розподіл – окрема задача.

Яркою діагностичною ознакою є гармоніка потужності на обертовій частоті та ті, що їй кратні – полуторна, подвійна і т.д. Їх високий рівень свідчить про проблеми в механічній частині електродвигуна та механізму – послаблення підшипників, ексцентриситет, небаланс мас, викривлення валу та ін [4]. Вони можуть також бути обумовленими специфікою механізму.

На рис. 1 показаний спектр сигналу миттєвої потужності, споживаної приводним двигуном плунжерного насосу високого тиску (синхронний двигун СДН 16-41-16, 1000 кВт, 6 кВ, 375 об/хв).

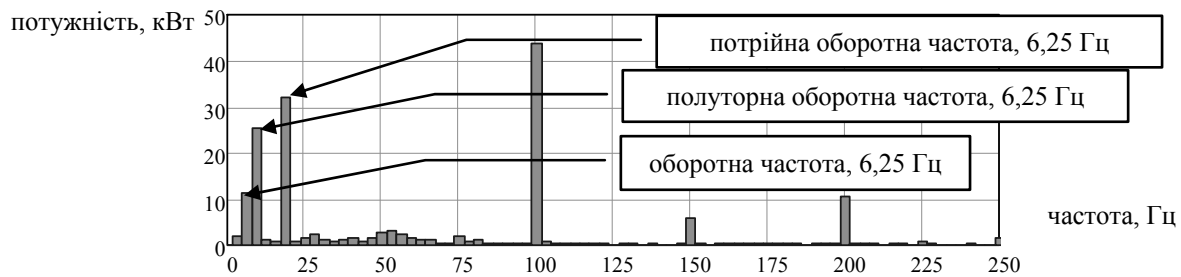


Рис. 1. Спектр миттєвої потужності синхронного двигуна плунжерного насосу (1000 кВт, 6 кВ).

Аналіз спектру потужності показав, що на оборотній, полоторній та потрійній оборотній частоті циркулює приблизно 70 кВт. На цьому агрегаті траплялись часті поломки валів приводних двигунів. Спектральний аналіз потужності підтвердив причину виходу двигунів з ладу, дозволив обґрунтувати заходи з модернізації механічної часті насосів.

Характерними також є гармоніки з частотами, кратними 50 Гц (частота живильної мережі). За умовою симетричності та синусоїдальності живильної напруги, їх наявність свідчить про несиметрію електромагнітної системи двигуна. Значний рівень 100-герцової гармоніки може також свідчити про послаблення пакету сталі електродвигуна. Слід, по можливості, виміряти рівень вібрації пакету сталі, його температуру, а також визначити втрати в сталі. Практика свідчить, що у двигуна, який пройшов декілька ремонтів рівень втрат в сталі може сягати 15% споживаної потужності.

На рис. 2 показаний спектр миттєвої потужності, споживаної приводним двигуном димососу (асинхронний двигун АОД-1000-8У1, 1000 кВт, 6 кВ, 750 об/хв).

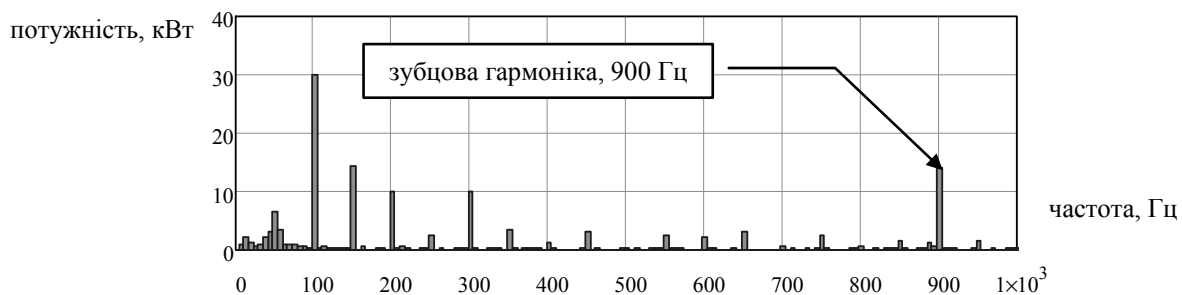


Рис. 2. Спектр миттєвої потужності асинхронного двигуна димососу (1000 кВт, 6 кВ).

Двигун, що досліджувався, був встановлений на агрегат після ремонту. На післяремонтних випробуваннях він швидко нагрівався навіть у режимі неробочого ходу, для попередження аварії керівництвом цеху було прийняте рішення про додаткову діагностику.

Аналіз спектру показав, що рівень 100-герцової гармоніки миттєвої потужності досягає 30 кВт, також присутні гармоніки з частотами 150, 200, 300 Гц. Звертає на себе увагу також ярко виражена гармоніка з частотою 900 Гц. То є «зубцова» гармоніка, її частота дорівнює добутку оборотної частоти (12,5 Гц) та кількості зубців (72 шт). Всі ці ознаки свідчать про пошкодження пакету сталі, що і було підтверджено результатами «вскриття» двигуна.

Висновки. Спектр миттєвої потужності є надійним діагностичним критерієм стану електромеханічних систем. Для аналізу слід отримати масив суми миттєвих потужностей за трьома фазами. Гармоніки обертової частоти та кратні їх відбивають стан механічної системи привода, гармоніки, кратні частоті живильної напруги – стан електродвигуна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бешта О.С. Ідентифікація параметрів електропривода в задачах енерго- і ресурсозбереження (розвиток теорії, розробка і впровадження). Дис... д-ра техн. наук: 05.09.03 / НГА Укр. – Дніпропетровськ, 2001. – 38 с.
2. Родькин Д.И., Калинов А.П., Ромашихин Ю.В. Эффективность метода энергодиагностики параметров двигателей переменного тока // Электроприводы переменного тока: Труды международной 14 научнотехнической конференции. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2007.- С. 273-278.
3. Бешта О.С., Балахонцев О.В., Худолій С.С., Федоренко В.В., Худий Є.Г. Експериментальна перевірка методів ідентифікації параметрів електропривода, що оснований на його дискретних моделях / Науковий вісник НГУ №3. – 2004. – С. 42-46.
4. Методические указания по проведению экспертных обследований вентиляторных установок главного проветривания. Москва: Изд-во НТЦ «Промышленная безопасность», № 2002.