

ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Необхідність діагностики

Діагностика – визначення технічного стану механізмів та обладнання. Здійснювати діагностику необхідно для того, щоб своєчасно вжити заходів для запобігання аварійного виходу з ладу обладнання.

Необхідність діагностики є особливо гострою для вітчизняних промислових підприємств, обладнання яких значною мірою застаріло. На прошивному стані трубної компанії «Ніко-Тьюб» (м. Нікополь) установлені механізми німецького виробництва 1932 р, конфісковані у Румунії в 1945 році. Прокатні стани заводу Криворіжсталь (нині «Арселор-Міттал») і заводу ім. Петровського (нині «Євраз») обладнані клітьми та електродвигунами виробництва 1970-х років. Унаслідок великої вартості основного обладнання власники компаній не здійснюють його заміну.





Відповідно, надійність обладнання лишає бажати кращого. Після відмови частини електродвигунів, наприклад, рольганга, необхідно вживати термінових заходів, оскільки охолодження заготовки може призвести до незворотних змін у металі, неможливості подальшої обробки і необхідності її переплавки. Таким чином, збитки можуть перевищити вартість усіх двигунів, що відмовили.

Критеріями технічного стану і правильної експлуатації електродвигуна і механізму є:

- стан ізоляції електродвигуна;
- величина навантаження на валі електродвигуна;
- величина втрат і температура електродвигуна та підшипникових вузлів;
- параметри вібрацій двигуна і приводного механізму.

Усі ці параметри нормуються ГОСТами та іншими документами.

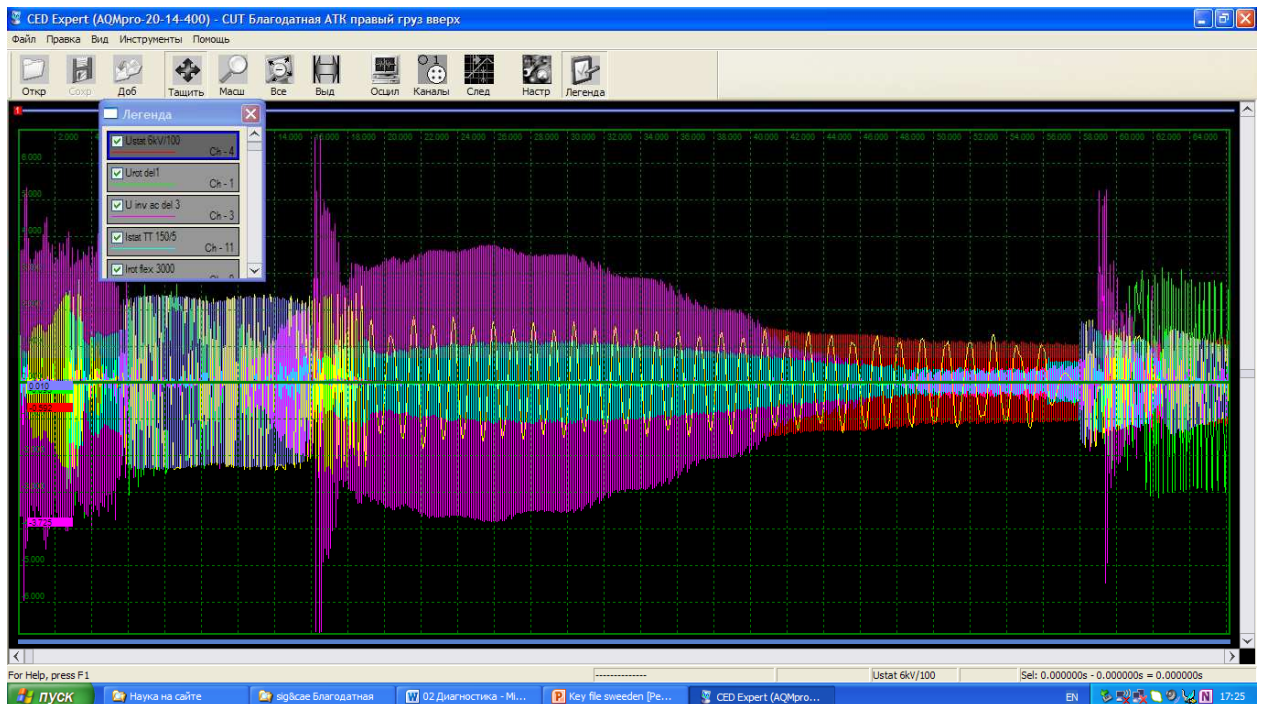
Існують також системи ранньої діагностики несправностей, що зароджуються. Наприклад, датчики водню у трансформаторному маслі дають можливість вчасно виявити зміни його фізичному стану і пов'язані з цим порушення електроізоляційних властивостей.

Також, датчики металевої стружки в мастилі редукторів дозволяють визначити початок руйнування частин, що труться, задовго до їхнього зношення до такого стану, за якого виникають підвищені вібрації та нагрівання.

На кафедрі електропривода ведуться наукові розробки методів технічної діагностики електромеханічних систем. Для діагностики використовується мобільний вимірювальний комплекс, до складу якого входить ноутбук, АЦП (400 МГц), блоки гальванічної розв'язки та датчики електричних величин зі смугою пропускання близько 10 кГц. Оптимальною

частотою дискретизації під час досліджень загальнопромислових електроприводів є 5 кГц. За такої частоти достатньо точно описуються динамічні процеси в системі, і одночасно немає потреби у застосуванні цифрової фільтрації сигналів.

Таким чином, у розпорядженні спеціаліста опиняються масиви експериментальних даних, за якими можна побудувати осцилограми та здійснити необхідні розрахунки.



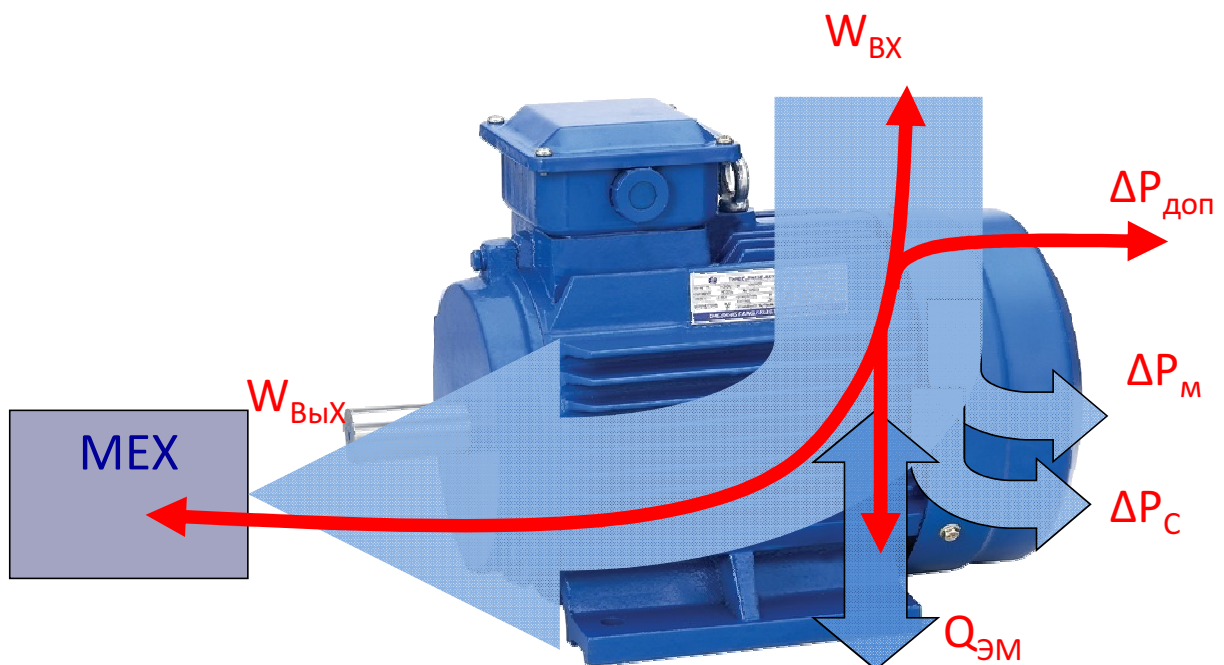
Практика свідчить про те, що причини незадовільної роботи агрегатів приблизно порівну розподіляються між електроприводом та механізмом,

тобто, некоректна робота САР електропривода може призвести до перевантаження двигуна та порушень роботи механізму, і навпаки – несправності механічної частини привода електродвигуна, призводять до теплового пробою або, наприклад, руйнування його валу. Тому ключовим етапом діагностики є визначення моменту, що його розвиває двигун, та порівняння його з номінальним для механізму значенням.

Електричний двигун є достатньо простою системою порівняно, наприклад, із людським організмом. Тим не менше, задача діагностики завжди ускладнена відсутністю даних про параметри електродвигуна та неможливістю вимірювання деяких сигналів. Промислові механізми з електроприводом постійного струму як правило, є регульованими і мають власні датчики швидкості. Момент двигуна постійного струму може бути визначений опосередковано через струм якоря за відомою формулою $k\Phi \cdot I_a$, і, таким чином, у розпорядженні дослідника опиняються, фактично, усі необхідні дані.

Ситуація ускладнюється у випадку електропривода змінного струму. Струм короткозамкненого ротора асинхронного двигуна не може бути вимірним. До того ж, у переважній більшості випадків у таких системах, на жаль, відсутнє навіть місце для встановлення датчика швидкості. Непряме визначення швидкості та моменту асинхронних або синхронних двигунів (АД, СД) потребує даних про параметри схеми заміщення, для оцінки яких потрібні спеціальні процедури.

Тому широко застосовують метод, який ґрунтується на аналізі балансу активної та реактивної потужності в електромеханічній системі.



Надійним діагностичним критерієм може бути спектр миттєвої потужності, споживаної електродвигуном, котрий може бути вимірний відносно нескладно.

Традиційний підхід передбачає, по-перше, розкладання в ряд Фур'є фазних напруг і струмів і потім отримання значень потужності для кожної гармоніки. Проте такий підхід не є адекватним у випадку нелінійних систем, наприклад, під час дослідження систем із напівпровідниковими перетворювачами. Наприклад, у випадку, коли споживання несинусоїдного струму не призводить до спотворення форми вхідної напруги, усі гармоніки напруги, окрім першої, дорівнюють нулю. Додаток будь-яких гармонік струму на нульові гармоніки напруги дорівнюватиме нулю, тобто, такий метод не відобразить реальну картину розподілу потужностей. Тому спочатку необхідно отримати сигнал миттєвої потужності

$$p = u \cdot i,$$

де u , i - миттєві значення струму та напруги, а потім розкласти отриманий масив у ряд Фур'є.

Розглянемо характерні складові спектру миттєвої потужності.

Постійна складова спектру, або середнє значення цього сигналу, відображає активну потужність, споживану з мережі. Частина цієї потужності є корисною (перетворюється на механічну), частина розсіюється у вигляді втрат. Їх розподіл – окрема задача.

Яскравою діагностичною ознакою є гармоніка потужності на обертовій частоті валу двигуна та кратні їй – у півтори, два рази тощо. Їх високий рівень свідчить про пошкодження механічної частини електродвигуна та/або механізму – ослаблення підшипників, ексцентриситет, небаланс мас, вигинання валу тощо. Вони можуть також бути обумовлені специфікою механізму.

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

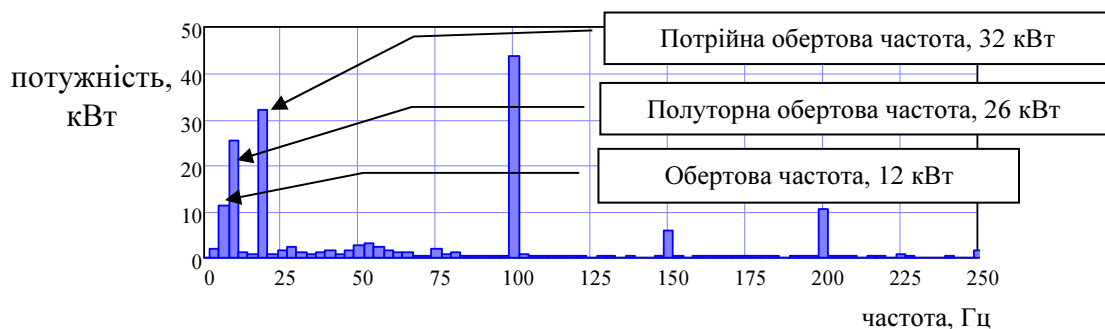


Рис. 1. Спектр миттєвої потужності синхронного двигуна плунжерного насоса потужністю 1000 кВт, напругою 6 кВ

Аналіз спектру потужності показав, що складові сигналу потужності на обертовій, полуторній і потроєній обертовій частоті сягають 70 кВт. На цьому агрегаті траплялися часті поломки валів приводних двигунів. Спектральний аналіз потужності підтвердив причину виходу двигунів із ладу, дозволив обґрунтувати заходи з модернізації механічної частини насосів.

Також характерними є гармоніки с частотами, кратними 50 Гц (частота живильної мережі). З умови симетрії та синусоїдальності живильної напруги

їхня наявність свідчить про несиметрію електромагнітної системи двигуна. Значний рівень 100-герцової гармоніки може також свідчити про послаблення пакету сталі електродвигуна. Доцільно, за можливості, вимірювати рівень вібрації пакету сталі, його температуру, а також визначати втрати в сталі. Практика свідчить про те, що у двигуна, який пройшов кілька ремонтів, рівень втрат у сталі може сягати 15% споживаної потужності.

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

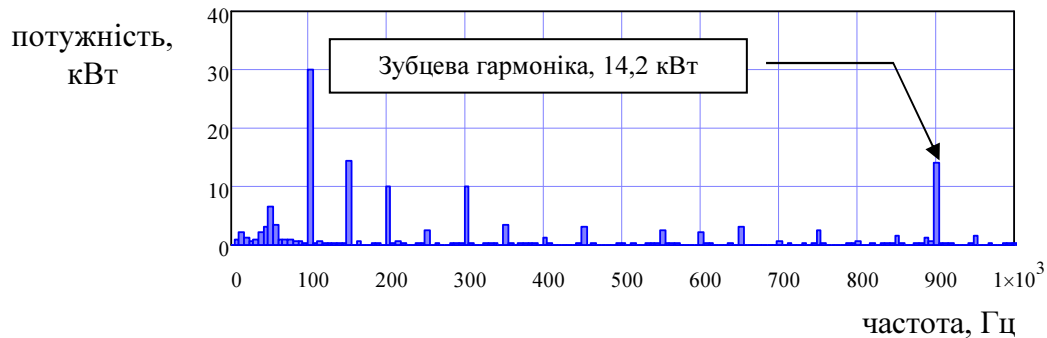


Рис. 2. Спектр миттєвої потужності асинхронного двигуна димососа потужністю 1000 кВт, напругою 6 кВ

Досліджуваний двигун був установлений на агрегат після ремонту. У ході післяремонтних випробувань він швидко нагрівався навіть у режимі холостого ходу. Для попередження аварії керівництвом цеху було прийнято рішення про додаткову діагностику.

Аналіз спектру споживаної потужності показав, що рівень 100-герцової гармоніки миттєвої потужності сягає 30 кВт, також присутні гармоніки з частотами 150, 200, 300 Гц. Звертає на себе увагу також яскраво виражена гармоніка з частотою 900 Гц. Це «зубцева» гармоніка, її частота дорівнює додатку обертової частоти (12,5 Гц) на кількість зубців двигуна (72 шт.). Усі ці ознаки свідчать про пошкодження пакету сталі, що й було підтверджено результатами демонтажу двигуна.

Таким чином, спектр миттєвої потужності є надійним діагностичним критерієм стану електромеханічних систем. Для аналізу слід мати масив миттєвих потужностей за трьома фазами. Гармоніки обертової частоти та кратні їм відображають стан механічної системи привода, гармоніки, кратні частоті живильної напруги – стан електродвигуна.