

*Пропонується метод діагностики стану електричних машин і пов'язаних з ними механічних пристроїв на основі спектрального аналізу сигналів споживаного електродвигуном струму*

### **Діагностика стану електродвигунів на основі спектрального аналізу споживаного струму**

В даний час двигуни змінного струму є найбільшими споживачами електричної енергії. Згідно останнім дослідженням, вони споживають понад 80% електроенергії, що виробляється. Проте в процесі експлуатації можуть виникати пошкодження елементів двигуна, що у свою чергу приводить до передчасного виходу його з ладу. Численні дослідження характеру пошкоджень двигунів змінного струму дозволили отримати наступні статистичні дані [1-2]:

- Пошкодження елементів статора - 38%
- Пошкодження елементів ротора - 10%
- Пошкодження елементів підшипників - 40%
- Інші пошкодження - 12%

В багатьох виробництвах раптовий вихід з ладу двигуна може привести до фатальних наслідків. Крім того, експлуатація електродвигунів, що знаходяться в незадовільному технічному стані, приводить як до прямих фінансових втрат, пов'язаних з непрогнозованим виходом з ладу устаткування і викликаним цим порушенням технологічного процесу, так і до значних (до 5-7%) непрямих непродуктивних витрат електроенергії, обумовлених підвищеним електроспоживанням (при тій же корисній потужності). Тому виникає необхідність діагностики стану двигуна в процесі його роботи. Сьогодні в Україні широко використовується метод вібродіагностики стану елементів електродвигунів. Даний метод є достатньо дорогим і трудомістким, вимагаючим застосування спеціальної вимірювальної техніки і програмного забезпечення. Крім того, повинен бути забезпечений доступ до обстежуваного об'єкту, що в деяких випадках зв'язано з певними організаційними і технічними труднощами.

Останнім часом отримали розвиток методи діагностики стану електричних машин, засновані на виконанні моніторингу споживаного струму з подальшим виконанням спеціального спектрального аналізу отриманого сигналу [3-8], що дозволяє з високим ступенем достовірності визначати стан різних елементів двигуна.

Крім того, проведення моніторингу струму електродвигуна може бути виконано як безпосередньо на ньому, так і в електрощиті живлення (управління).

В даний час пропонується апаратно-програмний комплекс для виконання робіт по аудиту стану і умов роботи електричної і механічної частини електродвигунів і пов'язаних з ними механічних пристроїв на основі спектрального аналізу сигналів споживаного електродвигуном струму. Блок - схема комплексу представлена на мал. 1.

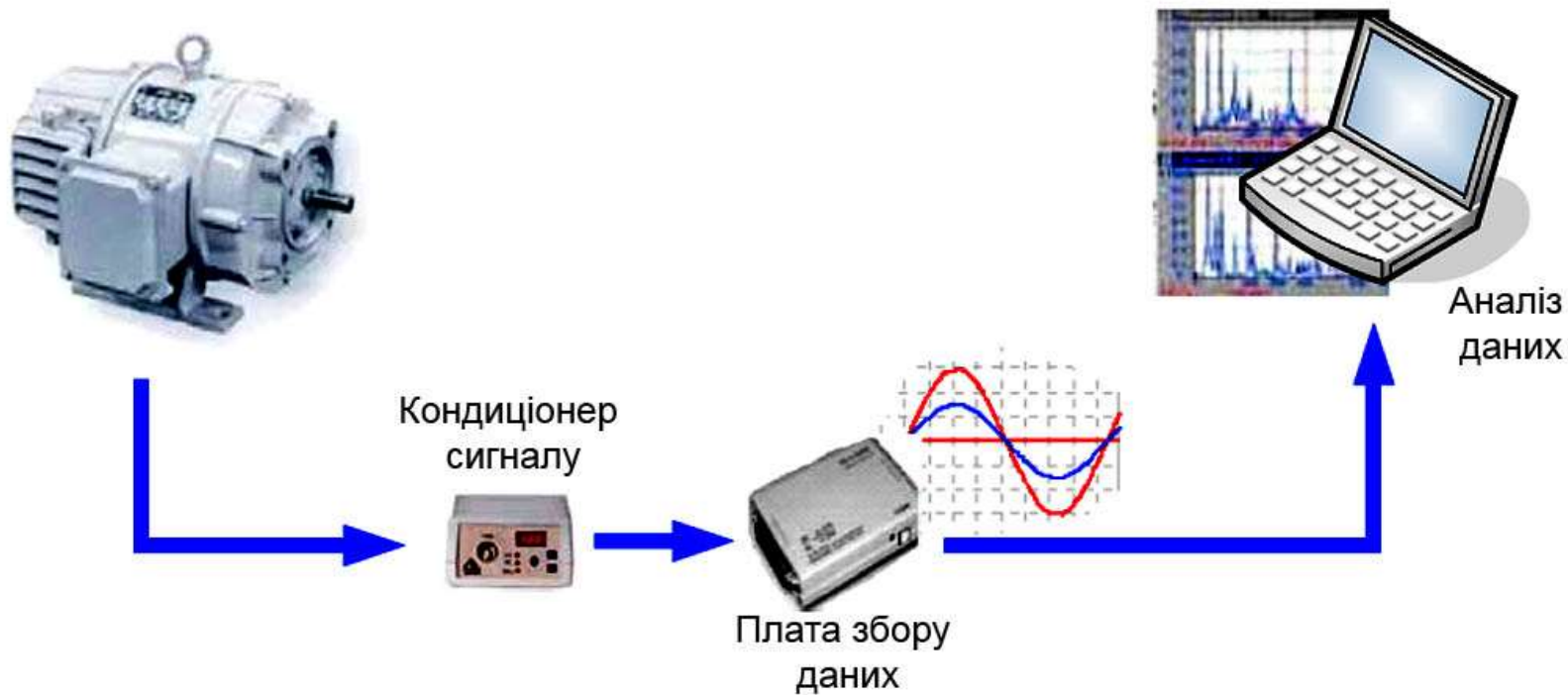


Рис.1 Блок-схема діагностичного комплексу

До складу комплексу входять роз'ємний струмовий датчик з лінійною частотною характеристикою, кондиціонер сигналу (фільтр низьких частот, перешкоджаючий появі помилкових частот сигналів (aliasing) при їх дискретизації [9], аналого-цифровий перетворювач (АЦП), персональний комп'ютер (ПК) з необхідним програмним забезпеченням для збору і обробки інформації. Запис сигналів струму здійснюється протягом часу, необхідного для виконання спектрального аналізу з розрішенням по частоті не менше 0.01-0.02 Гц.

Оцифровані АЦП дані передаються в ПК, де виконується обробка отриманих даних: визначається частота обертання двигуна і число стрижнів його ротора, потім виконується спеціальний спектральний аналіз сигналу струму.

Фізичний принцип, встановлений в основу роботи діагностичного комплексу, полягає в тому, що будь-які відшкодування в роботі електричної та/або механічної частини електродвигуна і пов'язаного з ним пристрою приводять до змін магнітного потоку в зазорі електричної машини і, отже, до слабкої модуляції споживаного електродвигуном струму. Таким чином, наявність в спектрі струму двигуна характерних (і не співпадаючих) частот певної величини свідчить про наявність пошкоджень електричної та/або механічної частини електродвигуна і пов'язаного з ним механічного пристрою [1].

Нижче наведені як приклад результати спектрального аналізу струмів двох однотипних установок вентиляторів: що знаходиться в експлуатації 1 тиждень (рис.2) і що пропрацювала 5 років (рис 3).

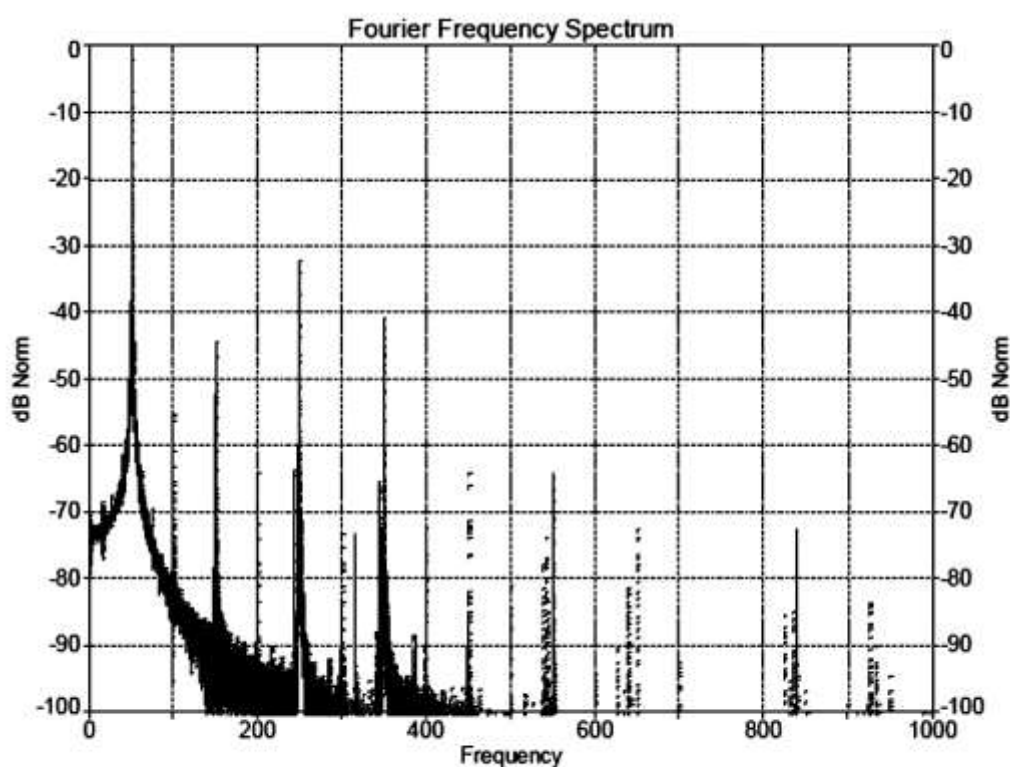


Рис.2 Спектральний склад струму нового електродвигуна

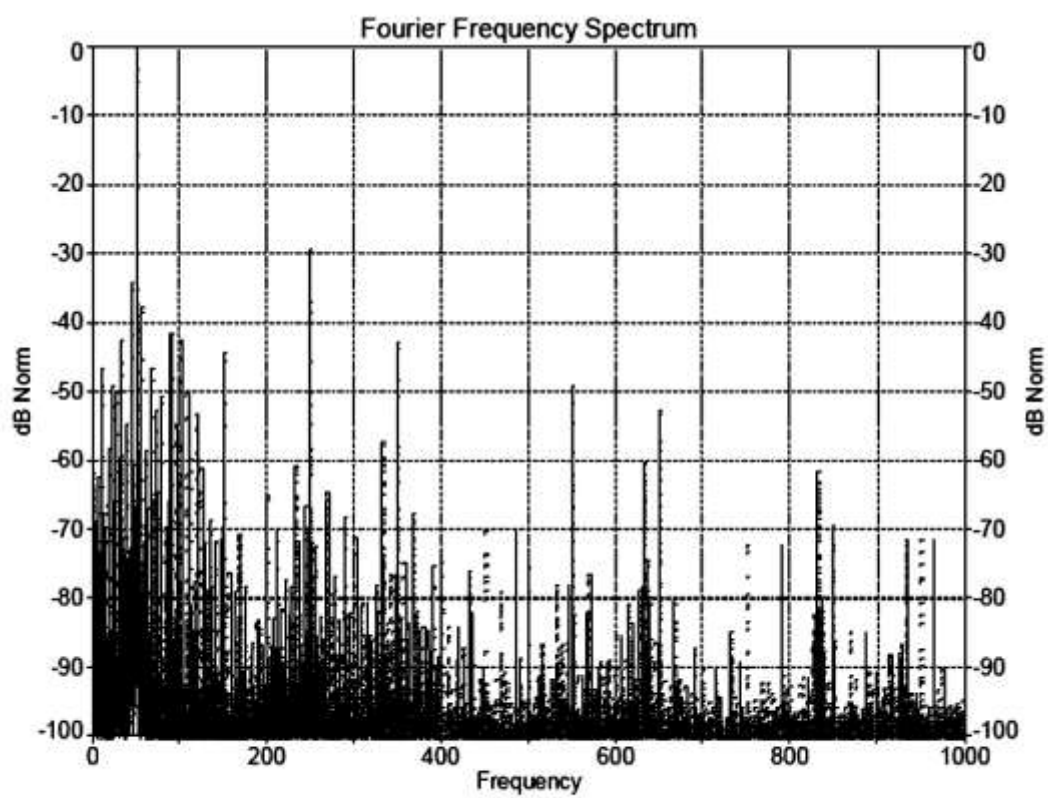


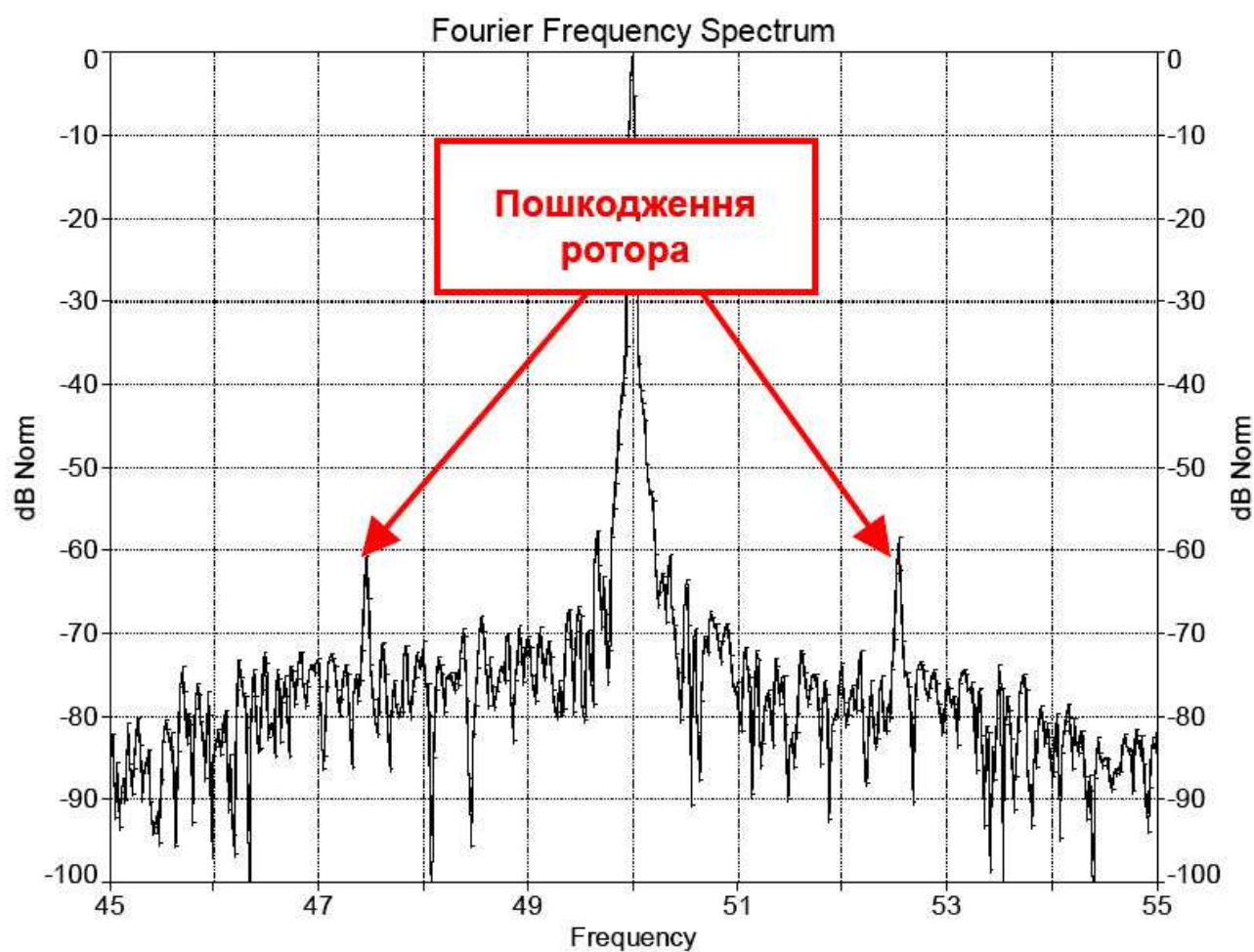
Рис 3. Спектральний склад струму електродвигуна, що був в експлуатації 5 років.

На вищенаведених малюнках ясно видно як збільшення кількості частотних смуг, відповідних різним видам пошкоджень, так і зростання їх величини (при значному рівні сигналів в частотній області від -80 дБ) для електродвигуна, що тривало знаходиться в роботі.

Зупинимось більш детально на можливостях даного методу діагностики з точки зору виявлення різних видів пошкоджень і характерних для них частот.

Пошкодження ротора двигуна (обрив стрижнів, ослаблення кріплення стрижнів до контактних кілець, приховані дефекти литва).

Цей вид несправності виявляється по наявності 2-х симетричних щодо частоти живлячої мережі піків в спектрі струму (див. рис. 4).



**Рис. 4** Частоти, характерні для пошкоджень ротора

Неспівісність валів двигуна і механічного навантаження. Цей вид несправності визначається по частотах, кратних частоті обертання ротора (див. рис. 5)

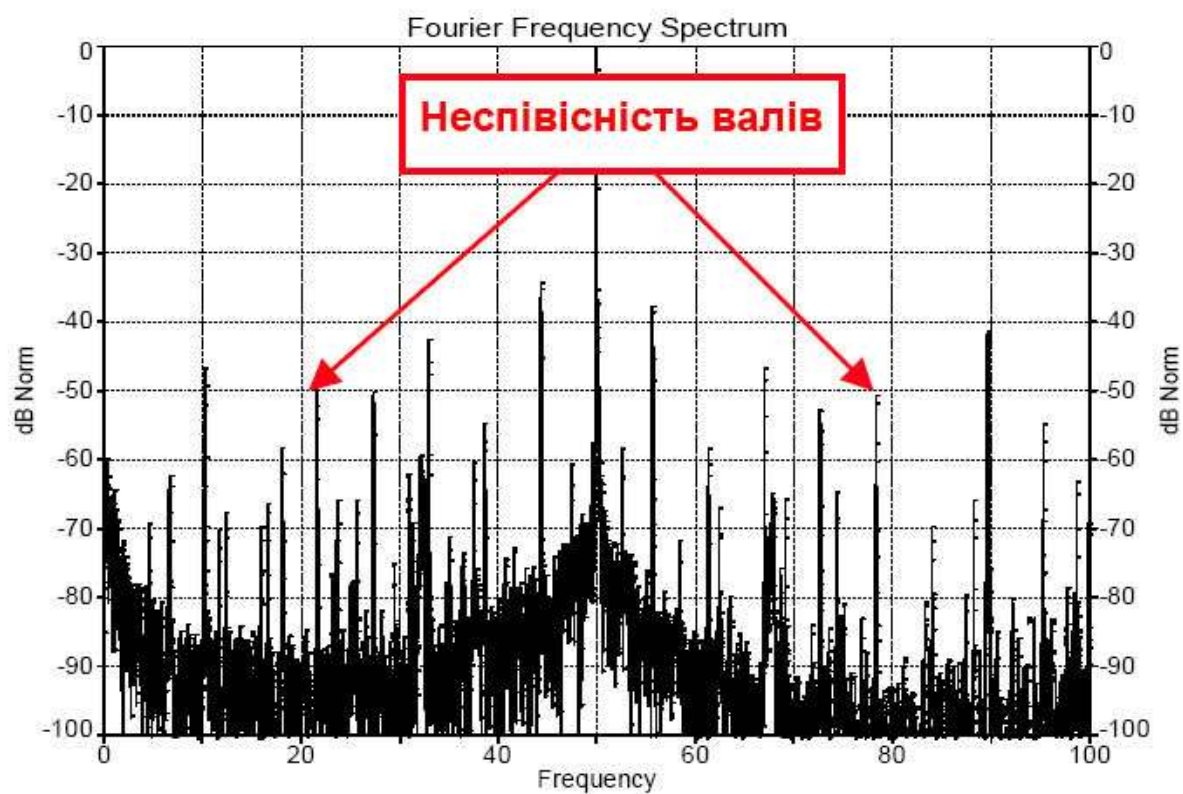


Рис. 5 Характерні частоти за наявності неспівісності валів двигуна і робочої машини

Дефекти ремінної передачі вентилятора. Цей вид несправності визначається по частотах, кратних частоті биття ременя, визначуваною довжиною останнього і діаметрами шківів (див. рис.6)

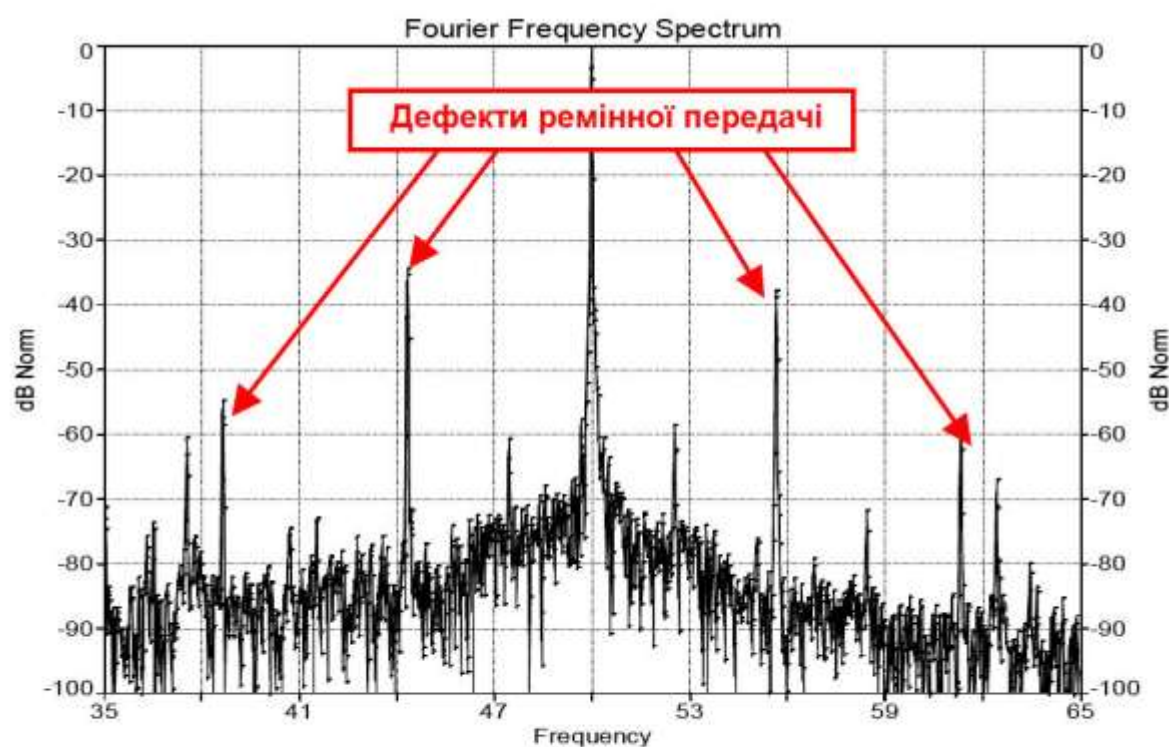


Рис. 6 Характерні частоти за наявності дефектів ремінної передачі

Аналогічним чином визначається і наявність таких дефектів, як:

- міжвиткові замикання обмоток статора;
- пошкодження підшипників (необхідні дані про підшипники електродвигуна і механічного пристрою);
- підвищений ексцентриситет ротора (статичний и/или динамічний);
- ослаблення елементів кріплення електродвигуна;
- дефекти механічної частини пов'язаних з електродвигуном пристроїв.

Визначення ступеня серйозності пошкоджень проводиться по градації «Пошкодження відсутні» - «Пошкодження знайдені» - «Знайдені критичні пошкодження» шляхом порівняння величини сигналу на характерній частоті пошкодження з величиною сигналу на частоті живлячої мережі.

При проведенні повторних вимірювань на даному устаткуванні формується база даних, що дозволяє відстежувати динаміку розвитку пошкоджень в часі, що дає можливість завчасно планувати виведення обладнання в ремонт.

Крім вищеописаних вимірювань, настійно рекомендується проведення моніторингу прикладеної до електродвигуна напруги, що дозволяє визначити його несиметрію, наявність вищих гармонійних складових і імпульсів перенапружень (що можливе при роботі з частотними регуляторами швидкості обертання) - тобто

тих чинників, які напряму впливають на термін служби і економічність роботи двигуна. Добре відомо, що перші два з вищезазначених чинників приводять як до перегріву обмоток статора, так і до пошкодження підшипників за рахунок виникнення високочастотних обертаючих моментів зворотної послідовності. Вимірювання можуть бути виконані як безпосередньо на клемній коробці електродвигуна (без якого-небудь порушення режиму його роботи), так і в щиті живлення чи управління.

Виконання цієї роботи дозволить провести повномасштабну натурну діагностику і аналіз умов роботи парку електродвигунів і пов'язаних з ними механічних пристроїв, істотно скоротити як витрати, пов'язані з «несподіваними відмовами» устаткування, так і понизити непродуктивні витрати електроенергії.

### Література

1. W. T. Thomson : "A Review On-Line Condition Monitoring Techniques for Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors -Past Present and Future Keynote address at IEEE Symposium on Diagnostics for Electrical Machines", Power Electronics and Drives, Gijon, Spain, Sept. 1999 pp 3-18.
2. EPRI: "Improved Motors for Utility Applications and Improved Motors for Utility Applications, Industry Assessment Study", Vol 2Д 763-1 final report October 1982
3. V Thorsen and M Dalva: "Condition Monitoring Methods, Failure Identification and Analysis for High Voltage Motors in Petrochemical Industry", Proc 8a 1EE Int Conf, EMD'97, University Cambridge, No 444, pp 109-113
4. W T Thomson and D Rankin: "Case Histories Rotor Winding Fault Diagnosis in Induction Motors", 21 "1 Int Conf Proc on Condition Monitoring, University College Swansea, March 1987
5. G B Kliman and J Stein: "Induction Motor Fault Detection Via Passive Current Monitoring", Proc Int Conf (ICEM90), MIT, Boston, USA, 1990, pp 13-17
6. W T Thomson, S J Chalmers and D Rankin: "On-line Current Monitoring and Fault Diagnosis in High Voltage Induction Motors - Case Histories and Cost Savings in Offshore Installations" Offshore Europe '87, Conf Proc SPE September 1987, Aberdeen, SPE 16577/1 - SPE 16577/10
7. Randy R. Schoen, Thomas G. Habetler, Farrukh Kamran, Robert G. Barthel "Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS", VOL.31, NO. 6, November/December 1995
8. William T.Thomson, Mark Fenger "Current Signature Analysis to Detect Induction Motor Faults"IEEE Industry Application Magazine July/August 2001.
9. Сергієнко А.Б. Цифрова обробка сигналів. - СПб., Пітер, 2002.- 608с.



**Аннотация**

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА  
ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОТРЕБЛЯЕМОГО  
ТОКА

**Савченко П.И., Уваров А.В.**

Предлагается метод диагностики состояния электрических машин и связанных с ними механических устройств на основе спектрального анализа сигналов потребляемого электродвигателем тока.

**Abstract**

DIAGNOSTICS OF ELECTRIC MOTORS CONDITION ON THE  
BASIS OF THE SPECTRAL ANALYSIS OF A CONSUMED  
CURRENT

**P. Savchenko, A. Uvarov**

The method of diagnostics of electric motors condition and the mechanical devices connected with them on the basis of the spectral analysis of signals of a current consumed by the electric motor is offered.