

4. Voevodyn V.V. Matrytsy y vychyslenyya / V.V. Voevodyn, YU.A. Kuznetsov.– М.: Nauka, 1984.– 320 s.

5. Kulyk V.V. Optymizatsiya skhem pryednannya rozoseredzhenykh dzherel elektroenerhiyi v lokalniy elektrychniy systemi / V.V. Kulyk, O.B. Burykin, O.A. Kovalchuk // Tekhnichna elektrodynamika. – 2012. – №3. – S. 27–28.

Стаття надійшла до редакції 23.05.2014 р.

УДК 62.83.52

Т. Ю. Оборонов, інженер (НТУУ «КПІ»)

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

T. Yu. Oboronov, engineer (NTUU «KPI»)

DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF SYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE

У статті розглядаються питання щодо визначення технічного стану синхронного електропривода методом спектрально-стумового аналізу, для запобігання виникнення аварій у двигуні та пов'язаного з ним механізму.

***Ключові слова:** синхронний двигун, аварійні режими, спектрально-струмовий аналіз, моделювання*

В статье рассматриваются вопросы определения технического состояния синхронного электропривода методом спектрально-токового анализа, для предотвращения возникновения аварий в двигателе и связанного с ним механизма.

***Ключевые слова:** синхронный двигатель, аварийные режимы, спектрально-токовый анализ, моделирование*

The article deals with the problem of determining the technical state of the synchronous electric drive current method of spectral analysis, to prevent the occurrence of accidents in the motor and the related mechanism.

***Keywords:** synchronous motor, emergency mode, a current spectral analysis, modeling*

Вступ. За умови правильної експлуатації, як правило, синхронні двигуни (СД) розраховані на термін служби 15 - 20 років без капітального ремонту. Під правильною експлуатацією двигуна розуміється його робота відповідно до номінальних параметрів, вказаних у паспорті. Понад 75% експлуатуемого парку СД складають машини, які хоч би один раз побували в капітальному ремонті [1]. У переважній більшості випадків (85...95%) відмови СД потужністю понад 5 кВт пов'язані з пошкодженням ізоляції обмоток двигуна і розподіляються таким чином: міжвиткові замикання – 62%, пробій міжвиткової ізоляції – 18%. Решта відмов у роботі викликана механічними пошкодженнями.

Метою роботи є визначення технічного стану та виявлення механічних несправностей електропривода з синхронними двигунами і збільшення ряду діагностичних ознак аварійних режимів СД.

Результати досліджень. Аварійні режими електропривода (ЕП) можна умовно поділити на електричні та механічні. Електричні аварії поділяються на три типи:

- мережеві аварії (аварії за напругою), пов'язані з аваріями в живильній електромережі;
- струмові аварії, пов'язані з обривом провідників у обмотках статора, ротора або кабелю, міжвитковим і міжфазним замиканнями обмоток, порушенням контактів і руйнуванням з'єднань, виконаних за допомогою паяння або зварювання; аварії, пов'язані з пробоем ізоляції в результаті нагрівання, викликаного протіканням струмів перевантаження або короткого замикання;
- аварії, пов'язані зі зниженням опору ізоляції внаслідок її старіння, руйнування або зволоження.

Найпоширенішими є струмові аварії [2]. Причиною більшості механічних аварій є радіальна вібрація через асиметрію напруги живлення, механічні перевантаження на валу синхронного двигуна (СД), виробничий брак комплектуючих елементів або неакуратне складання. Більшість аварій має прихований характер і виявляється лише після відповідних випробувань або розбирання двигуна, однак постійний контроль мережевої напруги та струму ЕП за допомогою засобів діагностування дозволяє у більшості випадків звести цю ймовірність до мінімуму.

Останнім часом отримали розвиток методи діагностування стану ЕП, засновані на моніторингу споживаного струму з виконанням спеціального спектрального аналізу отриманого сигналу [3], що дозволяє з високою достовірністю визначати технічний стан елементів ЕП. Принцип методу полягає в тому, що будь-які збурення в роботі механічної і електричної частин СД та пов'язаного з ним механізму призводять до змін магнітного потоку в зазорі електричної машини, а отже - до слабкої модуляції споживаного струму. Поява у спектрі струму СД характерних частот певної величини свідчить про наявність пошкоджень електричної або механічної частин ЕП [4].

Проведення моніторингу струму ЕП на відміну від вібродіагностики, може бути виконане безпосередньо на клемній коробці СД або в електрощиті живлення без будь-якого порушення режиму його роботи [4].

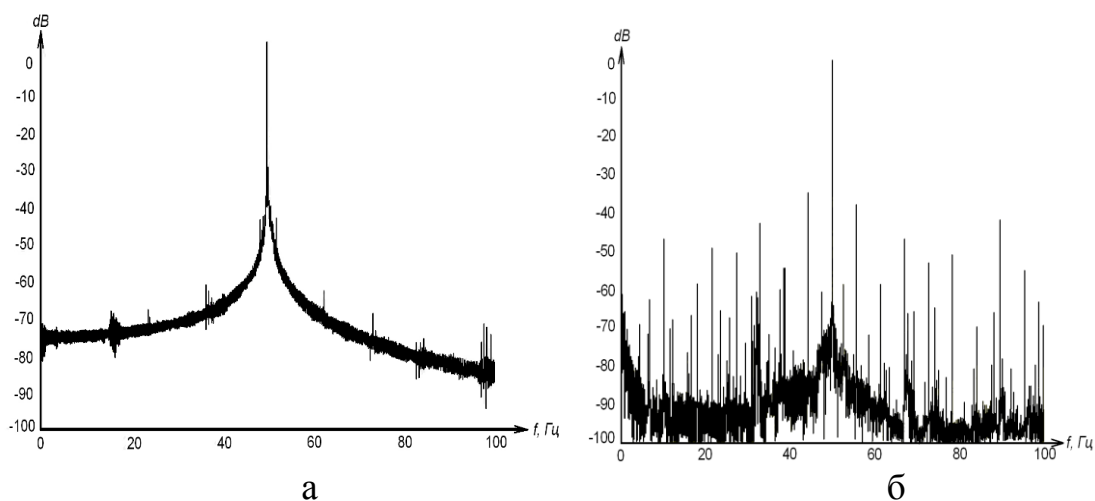


Рис. 1. Спектральна характеристика струму синхронного ЕП:
а - нового; б - спрацьованого

Оскільки форма напруги живлення СД на виробничих підприємствах відрізняється від синусоїдальної, в отриманих спектрах струму й напруги присутні їх гармоніки, але несправності двигуна і пов'язаного з ним механізму викликають відповідні гармоніки лише в спектрі струму.

Порівняння гармонік напруги й струму дає можливість розрізнити гармонічні складові струму характерні для непрацюючого устаткування. В результаті створення та регулярного поповнення бази даних вимірювань та їх аналізу в процесі експлуатації ЕП можна простежити динаміку фактичного розвитку окремих пошкоджень СД та пов'язаного з ним механізму і прогнозувати подальший розвиток несправностей [3]. Різниця в амплітуді між основною частотою і характерною для конкретної несправності є показником критичності дефекту. Дослідження показали, що різниця понад 54 дБ вказує на справний стан ротора, менш ніж 45 дБ – на погіршення його стану (з'явилися високоомні сполучення, тріщини або обрив стрижнів) [4].

Таблиця 1. Види пошкоджень ЕП з СД і характерні частоти, на яких вони визначаються

Вид пошкодження	Характерні ознаки
Пошкодження ротора СД (обривання стрижнів, ослаблення їх кріплення до контактних кілець, приховані дефекти лиття)	Цей вид пошкодження виявляється за наявністю двох симетричних відносно частоти живильної мережі піків у спектрі струму. Характерна частота пошкодження дорівнює sp
Неспівосність валів двигуна та механічного навантаження, пошкодження підшипників	Цей вид несправності визначається за частотами кратними частоті обертання ротора
Наявність міжвиткових замикань в обмотках статора	Визначається за частотою живильної мережі
Ослаблення кріплення до фундаменту, зачіплення ротора за статор двигуна	Визначається на частоті кратній $\frac{1}{2}$ частоті обертання ротора

Продовження табл. 1

Вид пошкодження	Характерні ознаки
Дефекти ремінної передачі	Визначається на частотах кратних частоті биття ременя, яка залежить від його довжини і діаметрів шківів
Ексцентриситет ротора	Численні бічні смуги на частоті непарних гармонік живильної мережі
Пошкодження пов'язаних з СД механізмів: насос, вентилятор, компресор	Визначається на лопатевій частоті

На сьогодні не існує загального критерію визначення технічного стану ЕП з СД, який був би придатний для кількісної оцінки. Пропонується визначати технічний стан ЕП з СД за допомогою показника відносної зношеності ізоляції та аналізу складових втрат, за якими діагностується ушкодження у відповідному вузлі

Зношеність ізоляції для роботи ЕП із постійним навантаженням:

$$\xi = \frac{1}{Z} = ce^{b\tau}.$$

Відносна зношеність ізоляції:

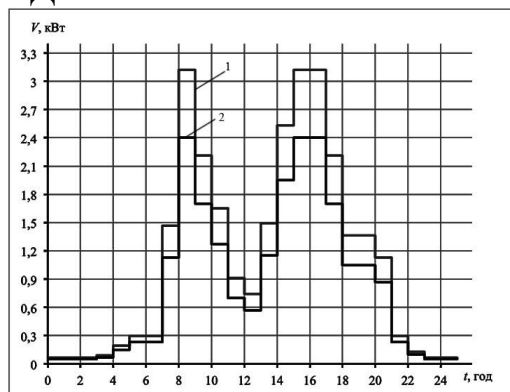
$$\chi = \frac{\xi}{\xi_H} = e^{b(\tau - \tau_H)} = e^{b\Delta\tau}.$$

Середнє значення відносної зношеності ізоляції СД за період часу T :

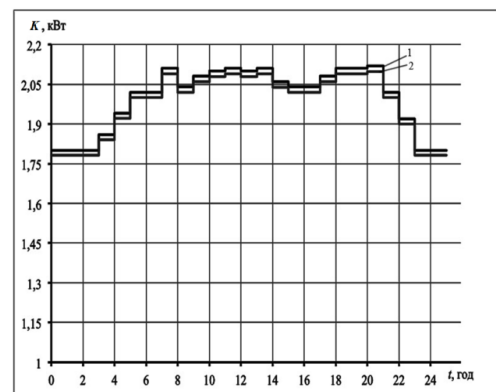
$$\bar{\chi} = \frac{1}{T} \int_0^T e^{b\Delta\tau} dt.$$

Якщо ЕП з СД працює зі зниженим навантаженням, то відносна зношеність ізоляції, як правило, нижча від номінального значення. Коли робоча температура вища припустимої, відносна зношеність перевищує одиницю. Таким чином, головна умова справного технічного стану - відносна зношеність ізоляції за певний період часу (цикл роботи, зміну тощо) не повинна перевищувати одиницю.

Як критерій технічного стану СД пропонується застосовувати величину втрат у його вузлах. Аналіз цих значень здійснюється шляхом порівняння поточних значень складових втрат ΔP_ϕ з їх еталонними значеннями ΔP_e . Якщо $\Delta P_\phi > \Delta P_e$, двигун ЕП знаходиться у незадовільному технічному стані. Таким чином, за складовими втрат діагностується несправність у відповідному вузлі ЕП з СД.



а



б

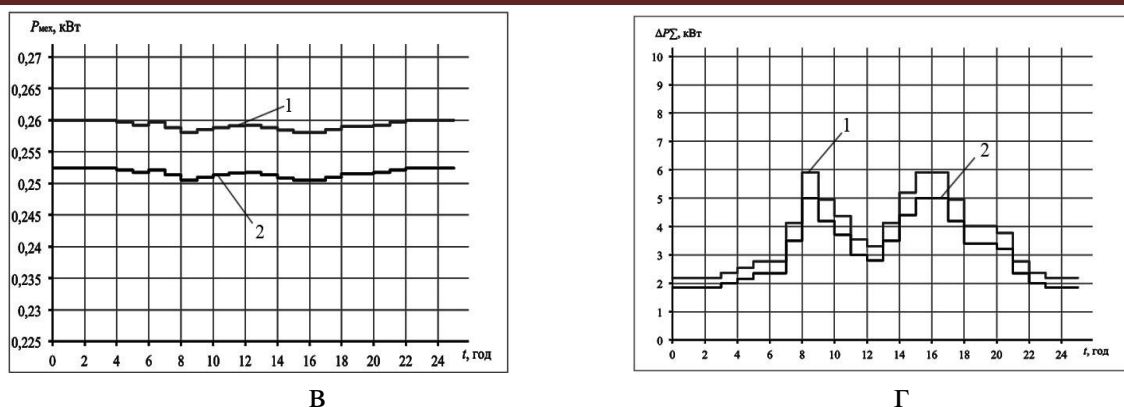


Рис. 2. Результати моделювання складових втрат СД 40 кВт насосної установки з несправностями обмотки статора (1 – несправний двигун, 2 – справний):

а - змінні втрати; б - постійні втрати; в - механічні втрати; г - повні втрати

Як видно з рис. 2, суттєво більшими порівняно з еталонними є значення змінних втрат. А саме – зросли на 50% втрати в обмотці статора внаслідок збільшення струму, що споживається. Це свідчить про несправність в обмотці статора. Змінні втрати в роторі лишилися практично сталими. Постійні втрати зменшились на 1,4% внаслідок спадання напруги в обмотці ротора через збільшення струму СД, що споживається. Механічні втрати збільшились на 3,2% через виникнення гальмівних моментів під час роботи несправного двигуна. Загальні втрати зросли на 19%. Крім того, ККД знизився на 1,5%. Таким чином, за методом складових втрат можна зробити висновок про пошкодження в обмотці статора.

Висновки

Для визначення технічного стану та виявлення механічних несправностей ЕП з СД запропоновано використовувати показник відносної зношеності ізоляції, методи складових втрат і спектрально-струмового аналізу. Розширено ряд діагностичних ознак аварійних режимів ЕП з СД, що дозволяє підвищити достовірність встановлення характерних видів ушкоджень.

Список використаних джерел

1. Kotelenets N.Ф. The tests and reliability of electrical machines / N. F. Kotelenets, N.L. Kuznetsov. – М., High school, 1988. – 232 с.
2. Himoyan H.H. Relay protection of mountain electrical installations / H.H. Himoyan. – izd. 2, М.: «Nedra», 1978, 349 с.
3. V. Thorsen and M. Dalva: «Condition Monitoring Methods, Failure Identification and Analysis for High Voltage Motors in Petrochemical Industry», Proc 8a IEE Int Conf, EMD'97, University of Cambridge, No 444, pp 109-113.
4. Petykhov V. Diagnosis of electrical motors. Spectral analysis of moduli of the vectors of the Park current and voltage. Ch.1 / V. Petykhov // «News of electrical», №1(49), 2008.

Стаття надійшла до редакції 29.05.2014 р.