

КОНТРОЛЬ, ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЗАХИСТ ТРИФАЗНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

© Вацшиак С.П., Чеховський С.А., Костишин В.С., 1998

Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу

Проаналізовано методи та технічні засоби контролю стану електричних двигунів. Показано, що одним із найнадійніших та універсальніших є метод, який ґрунтується на створенні штучної (службової) нейтралі мережі. Розроблено і створено уніфіковану систему контролю, діагностування та захисту трифазних електродвигунів з використанням такого методу.

Кожного року на частку електродвигунів (ЕД) припадає до 25...30% від загальної кількості пошкоджень електрообладнання середньої та високої потужностей, тобто стільки, скільки на кабельні мережі і розподільчі пристрої разом узяті. Крім того, останнім часом внаслідок погіршення якості електроенергії та збільшення комутаційних операцій у системі електропостачання кількість аварій ЕД значно зросла. Це призводить до значних економічних витрат на ремонт двигунів, що вийшли з ладу, або на придбання нових, створює тривалі перебої в роботі виробничих цехів, насосних станцій та котельень.

Більшість пошкоджень ЕД так чи інакше пов'язані з пошкодженням захисних функцій ізоляції їх обмоток внаслідок теплового чи механічного впливу і, зокрема, електричних перенапруг. Так у 80...90 % випадків несправною виявляється обмотка статора, де до 70 % пошкоджень припадає на пазову та лобові частини обмотки, а решта 25...30 % - на пробой ізоляції в коробках виводів двигунів [1].

Як поступове (внаслідок фізичного старіння), так і раптове погіршення стану ізоляції обмоток ЕД супроводжується підвищенням споживання струму з електромережі, яке, зазвичай, переростає в коротке замикання між фазами чи фазою і корпусом ЕД. Це значною мірою знижує термін експлуатації машини, а також підвищує безпеку ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу.

Типові системи захисту, якими обладнані ЕД, мають недоліки, серед яких треба відмітити низьку надійність комутаційних контактів та велику інерційність (теплові реле), незначні межі регулювання чутливості (повітряні автомати), однократність захисної дії (плавкі запобіжники) тощо.

Крім того, вказані системи захисту не є універсальними, уніфікованими для різних типів ЕД, не дають змоги ідентифікувати вид і місця

пошкодження і, переважно, практично вчасно не реагують на появу небезпечних для ЕД несиметричних режимів роботи.

Отже, все більшої актуальності набуває розробка нових систем захисту ЕД, які б, завдяки сучасній електронній базі, були позбавлені вищезгаданих недоліків. Зокрема таких, принцип дії яких будується на створенні службової нейтралі мережі [2]. Проведені авторами дослідження підтверджують сказане.

Службову нейтраль можна реалізувати за допомогою трьох з'єднаних зіркою резисторів чи конденсаторів, які вмикають паралельно з обмотками ЕД. Внаслідок порушення симетрії фаз у службовій нейтралі генерується напруга U_{0-0} , значення якої пропорційне асиметрії режиму. Відповідно до методу вузлових потенціалів [2]

$$U_{0-0} = \frac{\dot{U}_A / \underline{Z}_A + \dot{U}_B / \underline{Z}_B + \dot{U}_C / \underline{Z}_C}{1 / \underline{Z}_A + 1 / \underline{Z}_B + 1 / \underline{Z}_C} = 0, \quad (1)$$

де $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ - фазні напруги; $\underline{Z}_A, \underline{Z}_B, \underline{Z}_C$ - комплексні опори фаз.

У нормальному режимі роботи ЕД при симетричності фазних напруг теоретичне значення напруги U_{0-0} дорівнює нулю, оскільки зміщення нейтралі відсутнє ($\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$)

$$\dot{U}_{0-0} = \frac{1 / \underline{Z}_A (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C)}{3 \cdot 1 / \underline{Z}_A + 1 / \underline{Z}_0}, \quad (2)$$

де \underline{Z}_0 - комплексний опір нульового проводу.

Оскільки вхідний опір системи захисту, що під'єднується між службовою нейтраллю і нейтраллю мережі, виконуючи значення нульового проводу, становить десятки МОм, то значенням \underline{Z}_0 у формулі (2) можна знехтувати.

При обриві однієї з фаз, наприклад В, в системі з ізольованою нейтраллю $1 / \underline{Z}_B = 0$, напруга \dot{U}_{0-0} зросте і матиме значення половини від фазної

$$\dot{U}_{0-0} = \frac{1/Z_A \cdot (\dot{U}_A + \dot{U}_C)}{3 \cdot 1/Z_A} = -\frac{\dot{U}_B}{2}. \quad (3)$$

Зокрема, в мережі 0,4 кВ абсолютне значення цієї напруги зміщення повинне становити 110 В. Але результати проведених авторами експери-

ментальних досліджень свідчать, що завдяки наявності електромагнітного зв'язку між фазами в ЕД великої потужності напруга небалансу U_{0-0} буде значно меншою.

U_{0-0} , В

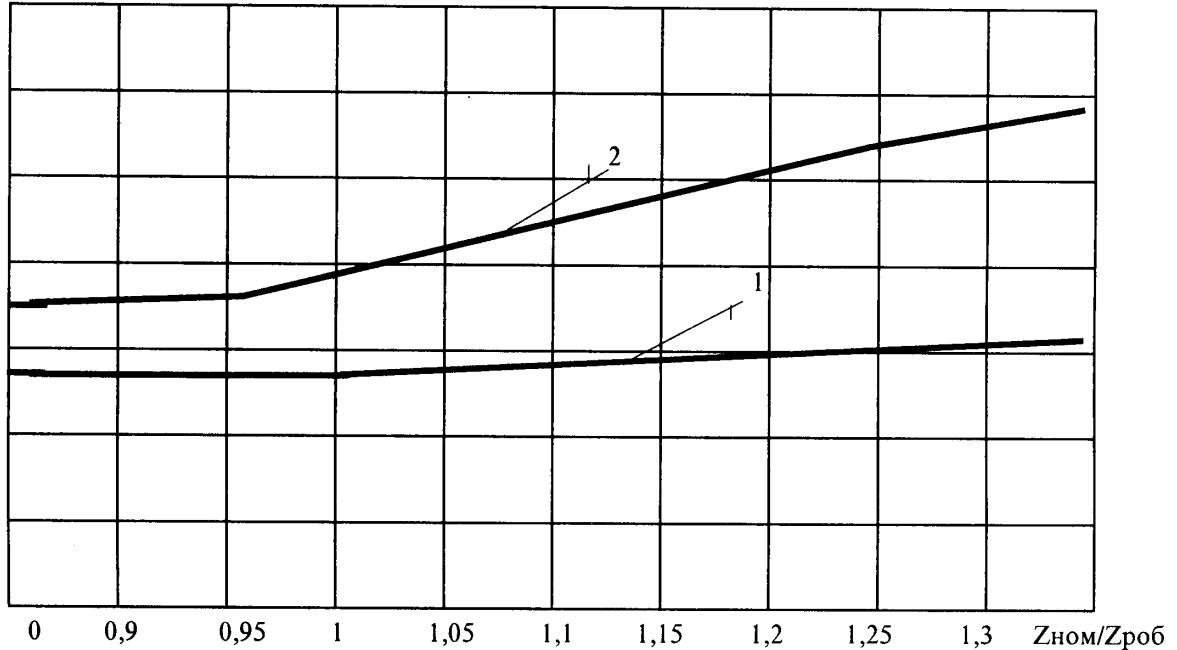


Рис. 1. Залежність напруги в службовій нейтралі від опору ізоляції обмоток статора ЕД:
1 - ЕД з ротором заводського виготовлення; 2 - ЕД з перемотаним ротором.

З асинхронними ЕД потужністю понад 45 кВт було проведено дослідження з метою виявлення зв'язку напруги U_{0-0} з параметрами режиму роботи електромережі та двигуна (рис. 1, 2). Для цього було використано чотири робочих однотипних ЕД, два з яких не були ремонтвані, а в двох інших після виходу з ладу здійснювалось перемотування обмоток статора. Службова нейтраль з метою зменшення габаритів та підвищення точності вимірювань була утворена за допомогою з'єднаних зіркою резисторів. Вимірювання напруги в нейтралі проводили за допомогою високоомного вольтметра. Так, при роботі справного асинхронного ЕД у номінальному режимі та за умови, що амплітуди напруг живлення кожної з фаз відрізняються не більше ніж на 4 %, напруга U_{0-0} не перевищує 2,5 В. При обриві однієї з фаз ця напруга стрибкоподібно зростає тільки до 20...22 В, а при обриві двох фаз — до 40 В. Аналогічно контролюється асиметрія живлення фаз ЕД. Наприклад, при різниці амплітуд напруг живлення в

фазах ЕД у межах 10...20 % напруга U_{0-0} зростає до 5...7 В. Завдяки цьому існує можливість встановлення граничних меж асиметричного режиму роботи трифазних асинхронних двигунів різної потужності. У разі використання двигуна з перемотаними обмотками статора напруга U_{0-0} підвищується і знаходиться в межах 3,5...4,5 В. Потрібно відмітити, що аналіз цієї напруги дає змогу також здійснювати безперервний діагностичний контроль якості ізоляції обмоток ЕД. Показані на рис. 2 графічні залежності зміни опору ізоляції обмоток статора з плином часу ілюструють поступове погіршення її стану. Цьому сприяють короточасні або довгострокові перенавантаження ЕД, запилення внутрішніх поверхонь обмоток, нерівномірне живлення фаз двигунів, різкі перепади температури та вологості в місцях їх експлуатації, що призводить до їх додаткового перегрівання. Зауважимо, що у зв'язку з недотриманням певних технологічних режимів процесу намотки, ізоляція обмоток перемотаного ЕД є гіршою за ізоляцію двигуна заводського виготовлення.

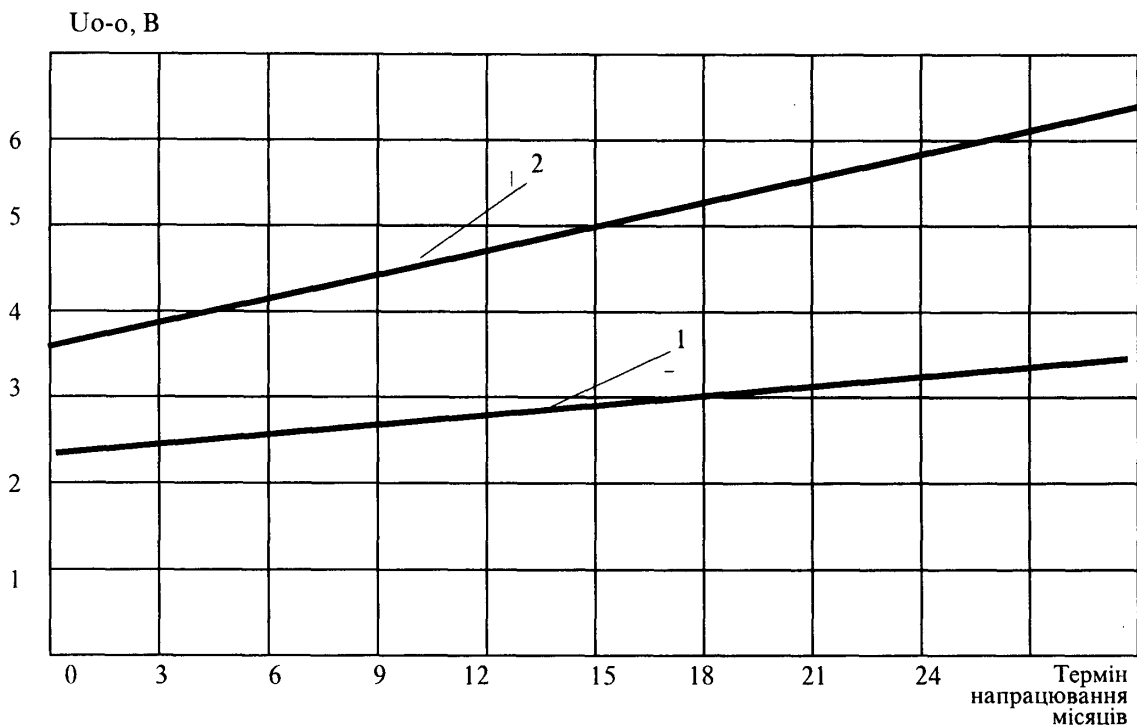


Рис.2. Залежність напруги в службовій нейтралі від терміну служби ЕД:
 1 - ЕД з ротором заводського виготовлення; 2 - ЕД з перемотаним ротором.

Однак не зважаючи на значні діагностичні можливості, схеми із службовою нейтраллю мають суттєві недоліки. Перший з них полягає в тому, що такі схеми не дають змоги реєструвати одночасні синхронні зміни напруги мережі та опору ізоляції у всіх фазах. У цьому разі ЕД може перегріватись підвищеним струмом мережі, у той час як значення напруги небалансу U_{0-0} залишаться практично постійним. Ще одним недоліком вищенаведених схем є неможливість реагування на зміну обертів вала або на підвищену вібрацію ЕД.

З метою усунення вищенаведених недоліків, а також для підвищення надійності та довговічності ЕД, запропонована швидкодіюча комбінована система захисту, яка дає змогу не тільки вимикати ЕД при виникненні аварійних режимів, але також вказувати фазу, в якій виникло пошкодження, та здійснювати діагностику ЕД у стаціонарних режимах роботи. Система захисту ЕД, функціональна схема якої зображена на рис.3, складається з таких основних блоків:

- 1 - штучно створена службова нейтраль;
- 2 - блок порівняння;
- 3 - силовий комутуючий блок;
- 4 - блок часової затримки;
- 5 - блок фільтрів;
- 6 - блок індикації;
- 7 - блок живлення.

Працює система захисту ЕД так. При під'єднанні ЕД до мережі вмикається блок живлення 7. Це спричиняє спрацювання реле Р блока 3, яке замикає контакти живлення котушки теплового реле двигуна та здійснює запуск ЕД. З метою запобігання передчасного спрацювання системи захисту ЕД та для усунення впливу перехідного процесу на його роботу в системі використовується блок часової затримки 4. Цей блок затримує під'єднання блока порівняння 2 до службової нейтралі 1 та блока електронних фільтрів 5 до давача М на період розгону ЕД. По закінченні перехідного процесу блоки 2 та 5 під'єднуються до джерела сигналу, в блоці 6 загоряється світлодіод, що інформує про усталений режим роботи двигуна і, після цього, система захисту вважається введеною в робочий режим.

Службова нейтраль блока 1 складається з декількох послідовно з'єднаних постійних резисторів R1-R6 в кожній з фаз. Така схема має деякі переваги порівняно із штучною нейтраллю на конденсаторах, які полягають, насамперед, в її малих розмірах і масі, а також простоті підбору резисторів з необхідним опором і стабільними прогнозованими характеристиками. Використання послідовно ввімкнутих резисторів дає змогу застосовувати R2, R4, R5 як давачі сигналу про пошкодження в кожній з фаз живлення ЕД.

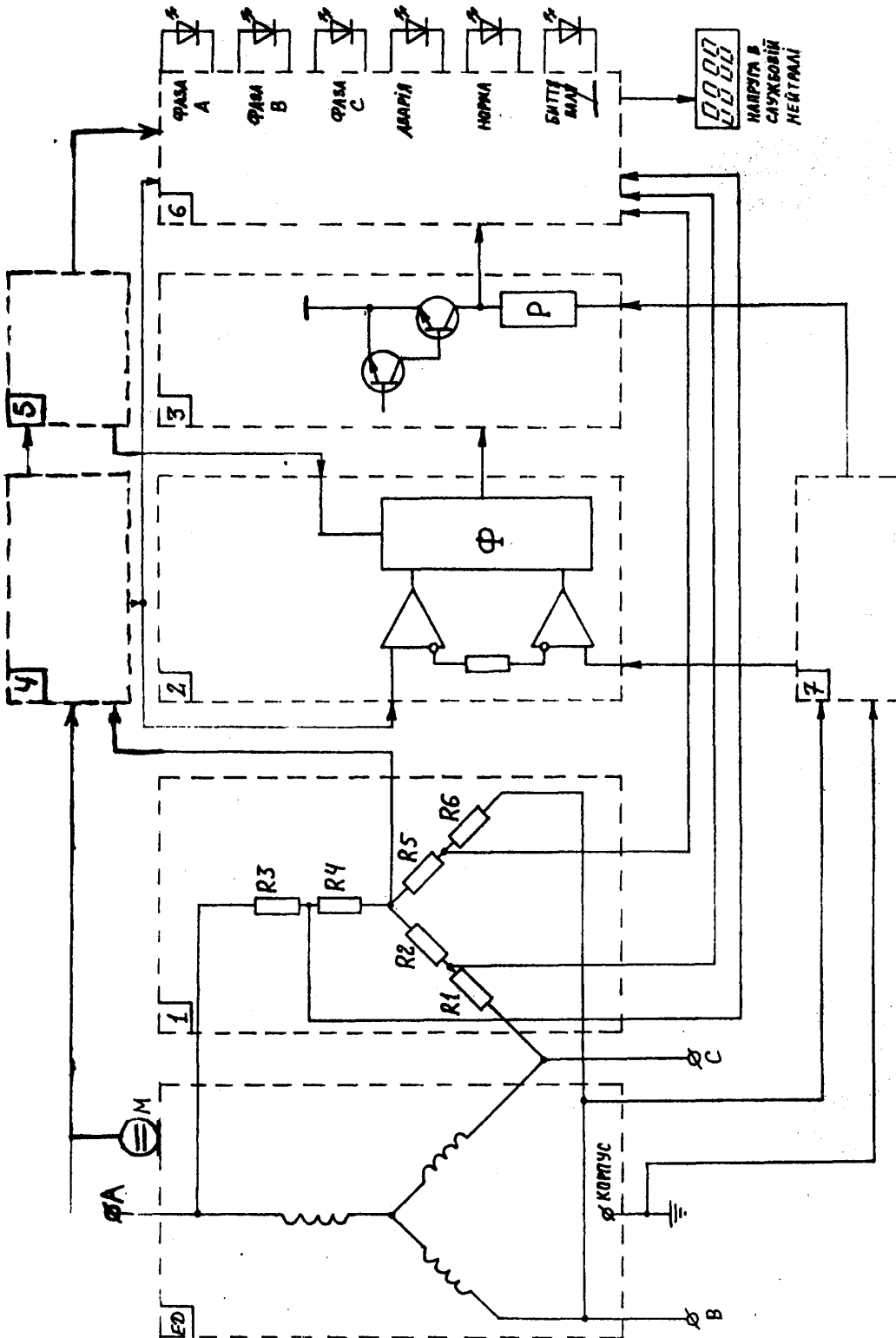


Рис. 3. Функціональна схема системи захисту ЕД.

У блоці 2 відбувається порівняння сигналу розузгодження штучної нейтралі з опорним сигналом, який формується блоком 7, і на основі цього формувачем Ф створюється вихідний імпульс, який у разі виникнення аварійного режиму роботи двигуна зумовить спрацювання потужних ключів і реле захисту Р блока 3, яке, своєю чергою, відімкне ЕД від мережі. У цей момент у блоці 6 відбувається індикація спрацювання системи захисту та індикація місця виникнення аварії. Так, при обриві однієї або двох фаз живлення відбувається індикація фази, в якій сталось пошкодження. Якщо ж з'явилась вібрація вала ротора, то відбувається індикація зміни частоти обертання вала, а при погіршенні ізоляції обмоток здійснюється індикація значення напруги в службовій нейтралі ЕД.

Блок електронних фільтрів 5 з давачем вібрації М (конденсаторним чи п'єзокерамічним) слідкують за частотою обертання вала ротора двигуна. Смугові фільтри блока 5 налаштовуються на частоту другої гармоніки, яка сигналізує про биття вала, зумовлене його викривленням або виходом з ладу підшипників, що може призвести до аварії ЕД. Блок 5 з'єднаний з формувачем блока 2 і має можливість незалежно від блоків 1 і 2 здійснювати спрацювання системи захисту.

Якщо, наприклад, зникне напруга мережі в фазі, яка живить систему захисту, то це призведе до обезструмлення всіх блоків системи. Реле Р блока 3, у цьому випадку розімкне контакти живлення котушки теплового реле ЕД і він буде відімкнутий від мережі. Індикатори блока 6 вкажуть на аварію і покажуть фазу, в якій вона відбулась. Індикація відбуватиметься і при вимкненому джерелі живлення 7 внаслідок використання в системі захисту малогабаритних акумуляторів.

Систему захисту в процесі роботи ЕД можна застосовувати і для його діагностики. Діагностику можна проводити за показами індикатора напруги в службовій нейтралі, яка характеризує якість ізоляції та симетричність режимів роботи двигуна за напругами на резисторах R2, R4, R5, які свідчать про якість живлення ЕД.

Система апробована в умовах вузла навантаження централізованої теплової мережі впродовж 1996-1998 рр.

1. Когородский В.И. Релейная защита электродвигателей. М., 1987. 2. Справочное пособие по электротехнике и основам электроники / П.В.Ермуратский, А.А.Косякин, В.С.Листвин и др.; Под ред. А.В.Нетушина. М., 1986.

УДК 548.732

ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ У КРИСТАЛІЧНИХ ПЛАСТИНАХ

© Криштійб Т.Г., Литвин О.С., Литвин П.М., Прокопенко І.В., 1998

Інститут фізики напівпровідників НАН України, м. Київ

Запропонований метод контролю пружних деформацій в монокристалічних пластинах, який базується на рентгенодифрактометричних вимірюваннях радіуса кривизни атомних площин поверхні. Метод дає змогу підвищити експресність та локальність діагностики.

При виробництві напівпровідникових електронних приладів визначальний вплив на їх електрофізичні та експлуатаційні характеристики має рівень структурної досконалості вихідних монокристалічних пластин. Присутні в монокристалі одно-, дво- та тривимірні дефекти кристалічної матриці складно відображаються в загальному розподілі полів пружних деформацій, які своєю чергою впливають на процеси зародження, міграції та анігіляції структурних дефектів. Тому контролю рівня пружних деформацій у монокристалічних пластинах на всіх ділянках технологічного циклу повинна приділятися особлива увага. Серед існуючих методів, які дають змогу прямо чи

опосередковано вимірювати пружні деформації в монокристалічних об'єктах, найширшого застосування набули неруйнівні рентгенодифрактометричні методи. Своєю чергою серед останніх найуніверсальнішим, щодо застосовуваності до різних матеріалів є метод вимірювання кривизни атомних площин. Цей метод існує в різних модифікаціях, однак, жодна з них не позбавлена недоліків. Так, метод трансляції зразка [1] вимагає виготовлення спеціальних прецизійно-трансляючих гоніометричних головок, а також обмежений мінімальним розміром зразків; застосування методів трикристалічної дифрактометрії [2, 3] обмежується складною рентгенооптичною геометрією, неоднозначністю