

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ
УДК 636.5(075)

ПОГОДЖЕНО

Директор Інституту енергетики,
автоматики і енергозбереження

Каплун В.В.

(підпис)

«___» _____ 2021 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

Жильцов А.В.

(підпис)

«___» _____ 2021 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
на тему: «Удосконалення засобів діагностування асинхронних двигунів на
основі аналізу сигналу споживаної потужності»

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма «Енергетика сільськогосподарського виробництва»

Магістерська програма «Енергоінжиниринг в АПК»

Програма підготовки _____
освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Керівник магістерської роботи
К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

Виконав

(підпис)

Галяс В.О.

(ПІБ)

Нормоконтроль
К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

Консультант

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Книжка Т.С.

(ПІБ)

Чуенко Р.М.

(ПІБ)

КМІВ – 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

д.т.н., проф. _____ Жильцов А.В.

(підпис)

2021 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Галясу Василю Олександровичу

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма – Енергетика сільськогосподарського виробництва

Магістерська програма «Енергоінжиніринг в АПК»

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: **„Удосконалення засобів діагностування асинхронних двигунів на основі аналізу сигналу споживаної потужності”**

затверджена наказом ректора НУБіП України від _____

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____

Вихідні дані до магістерської роботи

«Правила улаштування електроустановок»; «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів»; «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Провести аналіз виробничо-господарської діяльності та стану електрифікації ТОВ «Галицьке кар'єроуправління»
2. Виконати/проектувати електрифікації технологічних процесів у майстерні з ремонту автотракторної техніки
3. Провести вибір технологічного обладнання ділянки ремонту електрообладнання
4. Виконати розрахунок системи електропостачання ремонтної майстерні.
5. Обґрунтувати заходи з монтажу та налагодження електрообладнання у майстерні з ремонту автотракторної техніки.
6. Розробити заходи з охорони праці у ремонтній майстерні.
7. Провести техніко-економічне обґрунтування електрифікації технологічних процесів у ремонтній майстерні.

Дата видачі завдання _____ 2021 р.

Керівник магістерської роботи _____

(підпис)

Чуєнко Р.М.

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Галяс В.О.

(ПІБ)

ВСТУП

НУБІП України

У сучасній економічній ситуації одним із найефективніших шляхів зниження операційних витрат виробничих підприємств є вдосконалення організації експлуатації та обслуговування приладів. Найбільш поширеними підприємствами є електромеханічні системи, оснащені асинхронними

двигунами (АД), які споживають близько 60% електроенергії [54, 57, 61, 62, 65, 73, 127]. Більшість АД в Україні було запроваджено 30-40 років тому [54, 57, 82]. За цей період вони зазнали кількох планових і незаконних ремонтів, внаслідок чого їх характеристики значно змінилися порівняно з проектними [47, 54, 56, 63, 68, 82, 86, 111]. При цьому якість виготовлення, встановлення та обслуговування нових ВП не завжди висока. пройти,

До найбільш поширених методів оцінки поточного технічного стану та діагностики відноситься система планово-профілактичного обслуговування (ППР), яка вимагає вилучення обладнання з виробничого процесу та часткового розбирання обладнання [54, 57, 65, 82, 100]; вібраційний аналіз, що вимагає використання відносно дорогого обладнання [47, 53, 142, 143]; аналіз спектру струму [1, 4, 30, 34, 39, 106]. Останні два підходи є більш перспективними, оскільки дозволяють проводити діагностику безпосередньо під час виробничого процесу. Однак більшість розроблених методів використовуються для машин великої потужності або спеціального призначення і вимагають використання дорогого діагностичного обладнання. При цьому проблема діагностики та визначення поточного технічного стану малих і середніх підприємств,

Цю проблему можна вирішити шляхом проведення аналізу шляхом аналізу енергетичних процесів, що відбуваються під час роботи двигуна.

Характерною особливістю цих процесів є електричний сигнал, який розраховується на основі миттєвих значень струмів і напруг.

Слід зазначити, що поширення керованого електричного струму різними перетворювачами призводить до певної зміни форми напруги живлення [42, 123]. Тому для правильної оцінки режимів роботи та діагностики АД необхідно враховувати вплив якості силових параметрів на зміну режимів роботи двигуна. Це дозволяє виявляти дефекти, не вилучаючи машину з виробничого процесу.

Тому стоїть завдання розробки нових методів діагностики БП на основі аналізу енергетичних процесів у двигуні, які не потребують вилучення пристроїв з виробничого процесу, не потребують мінімальних матеріальних витрат на впровадження та можуть бути використані для низьких і низьких . середня сила АД.

НУБІП України

ГЛАВА 1 АНАЛІЗ СИСТЕМ ТА МЕТОДИКА АСИНХРОНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДВИГУНІВ

1.1 Статистичний аналіз відмов асинхронних двигунів

В умовах зростаючої проблеми використання ресурсів електромеханічних пристроїв велика увага приділяється питанню економії витрат виробництва. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є підвищення ефективності та якості обслуговування та ремонту існуючого виробничого обладнання, що дозволить зменшити втрати через вимушені простоя технологічного процесу. Найбільшу частку у споживанні та перетворенні енергії на підприємствах мають електричні машини, особливо асинхронні двигуни (АД) [53, 60–62, 79]. Тому зараз все більше уваги приділяється надійності та довговічності електричних машин та діагностиці наявних несправностей. У цій галузі проведено багато досліджень, за результатами яких опубліковано значну кількість наукових статей та інших матеріалів як зарубіжні статті [1–18, 20, 21, 24–40], [43, 48, 49, 55–58, 59, 69, 84, 85, 106–108, 112, 113, 117, 118, 130, 132–134, 136–138, 144]. Надійність електричних машин обговорюється на різноманітних семінарах і конференціях. Проте в даний час немає доказів того, що результати досліджень надійності електричних машин потрібні багатьом спеціалістам науково-дослідних організацій та промислових підприємств для проектування, виготовлення та експлуатації електричних машин як загального, так і спеціального призначення. У навчальні плани багатьох спеціальностей технічних вузів також входить випробування надійності електричних машин. Особливо гостро постає необхідність аналізу поточного стану обладнання з метою визначення залишкових запасів. Про це йдеться і в урядових документах.

Незважаючи на вдосконалення технології виробництва конструкційних матеріалів і технології ремонту, рівень відмов електромобілів у всьому світі приблизно такий [3, 139]: із загальної кількості пошкоджених двигунів близько 80% ремонтуються і 20% замінюються. За даними різних статистичних джерел [22], відмови ВП часто виникають внаслідок пошкодження обмоток статора та пошкодження підшипникового вузла. Інші поширені несправності включають пошкодження обмоток ротора, несумісність між ротором і приводом, дефекти з'єднання ВР з базою, а також приводу з ротором ВР (рисунк 1.1).

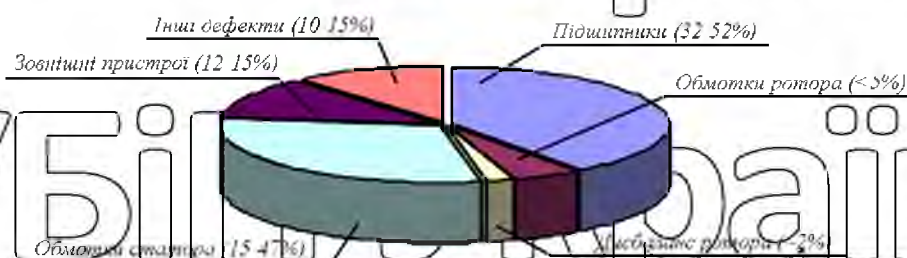


Рисунок 1.1 – Статистика несправностей вузла ВР

Така статистика пов'язана з тим, що з кожним роком парк електромобілів та електромеханічного обладнання фізично застаріває, оскільки виробництво нових електромобілів в країні значно скоротилося.

Переважає більшість підприємств намагається створити власні ремонтні майстерні, що призводить до зниження надійності електроприладів, у тому

числі через брак кваліфікованого персоналу, відсутність необхідного контрольно-діагностичного обладнання, порушення технології реставрації та ремонту. Така ситуація знижує загальну надійність всіх вузлів і елементів електромеханічного обладнання – магнітних систем, статорних і роторних печей, підшипників, колекторів або контактних кілець, щіткового пристрою.

Якщо будь-яка з цих частин відсутня, машина вийде з ладу. Слід зазначити, що поломки зазвичай супроводжуються внутрішніми змінами в машині, наприклад: збільшення втрат потужності, перегрів печі тощо.

1.2 Аналіз досі пара жаль асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором

Загалом пошкодження та дефекти АТ поділяються на механічні та електричні. Механічні пошкодження включають підшипниковий вузол, дефекти з'єднання приводу або редуктора з валом ВП, а також погане з'єднання ВР з підставою. Електричні пошкодження поділяються на поломку статора і поломку ротора.

1.2.1 Пошкодження механічної частини

Згідно з результатами аналізу (рисунок 1.1), приблизно 40-50% відмов ВП виникають через механічні дефекти, у тому числі найбільш пошкоджені обертові частини підшипників, статичний і динамічний ексцентриситет ротора, що спричиняє падіння підшипника. ».

Взагалі є механічні дефекти ВП, такі як несумісність валу ВП і приводу, дефекти підшипників тощо. викликає збільшення змінної складової моменту в стовбурі свердловини. Слід зазначити, що через наявність гармонік магнітного поля в повітряному просторі ВП під час роботи машини виникає змінна частина крутного моменту. Однак компоненти зі змінними моментами, які виникають у результаті механічної несправності, мають чітко визначені частоти, які зазвичай пов'язані зі швидкістю валу ВР.

Підшипники. У більшості електромобілів використовуються колісні підшипники, які складаються з двох кілець – внутрішнього і зовнішнього, між якими знаходиться кулька або обертовий елемент. Таким чином, поломка підшипникового вузла може бути викликана дефектами внутрішнього, зовнішнього кільця, кульок або частин, що обертаються. Під час навіть повністю збалансованої роботи ВР з якісним централізованим підключенням приводу до валу ВР можуть виникнути поломки через втому підшипників. На розвиток таких дефектів впливають вібрації, концентрація механічних зусиль при запуску, внутрішнє навантаження, внутрішній ексцентриситет підшипників, а також процес підшипника.

Нерівність ротора. В останні роки опубліковано багато досліджень, присвячених вивченню дисбалансу ротора. З цієї роботи зрозуміло, що статор може бути статичним, динамічним і змішаним. При статичному ексцентриситеті центральна вісь ротора певною мірою зміщена відносно центральної осі статора, а ротор обертається навколо своєї центральної осі (рисунок 1.2, б). При динамічному ексцентриситеті центральна вісь ротора обертається навколо центральної осі статора і стійка відносно його центральної осі (рисунок 1.2, в). У разі змішаного ексцентриситету центральна вісь ротора компенсується відносно центральної осі статора і обертається навколо неї, а ротор також обертається навколо своєї центральної осі (рис. 1.2, г).

Баланс ротора є одним з найпоширеніших видів механічної травми, пов'язаної з АТ. Найпоширенішими причинами дисбалансу є неправильне кріплення підшипників при установці ВР; пошкоджені або пошкоджені корпуси

підшипників; тонка кривизна; вони працюють на дуже критичній швидкості, що викликає вібрацію ротора тощо.



Рис. 1.2 - Види дисбалансу ротора: а) не існує; б) статичні; в) динамічний; г) змішана

Ексцентриситет призводить до сил, які відштовхують ротор від центральної осі статора. Це також збільшує навантаження на машину і значно прискорює знос підшипників. Крім того, радіальна магнітна сила, створена ексцентриком, може впливати на магніт статора і діяти на пачі статора, викликаючи небажані та потенційно небезпечні вібрації.

Безкоштовне кріплення до основи. Коли жорсткість з'єднання АД зменшується, виникає низькочастотна вібрація і змінюється швидкість ротора двигуна. У свою чергу, зміна швидкості обертання ротора викликає зміну магнітного потоку в повітряному зазорі. Всі ці фактори призводять до низькочастотної модуляції електричних сигналів АД, а частота модуляції змінюється з навантаженням на машини, що дозволяє діагностувати цей дефект.

1.2.2 Пошкодження електричної частини

Несправність статора. Основними причинами виходу з ладу статорних печей є надмірне тепло, електричні, механічні та негативні фактори зовнішнього середовища, які в кінцевому підсумку впливають на ізоляцію статорних печей. Пошкодження ізоляції призведе до її розриву. Струми проходять через замикання: від фази статора до землі (короткі ланцюги фаза-земля), від обертання однієї фази до фази землі, від обертання однієї фази до іншої (коротке міжфазне обертання) (рис. 1.3).

Для забезпечення низької напруги (0,4 кВ) БП часто неможливо пошкодити статорні печі. На машинах середньої і великої потужності при виході з ладу декількох ділянок обмотки статора ВР, в цілях економії, шод ці секції

видаляють з ланцюга обмотки, а не з колодязя. Точки непошкоджених деталей з'єднують шляхом проходження через пошкоджені деталі. В результаті обмотка статора стає асиметричною і тоді двигун працює з цією обмоткою. Асиметрія фазових струмів викликає відхилення природи магнітного поля в повітряному проміжку від кола. Ця обставина призводить до утворення гармонік електромагнітного поля різного порядку, що призводить до викривлень крутного моменту, а при високому відсотку вихідних ділянок може перешкодити роботі АД з коротким ротором [103].

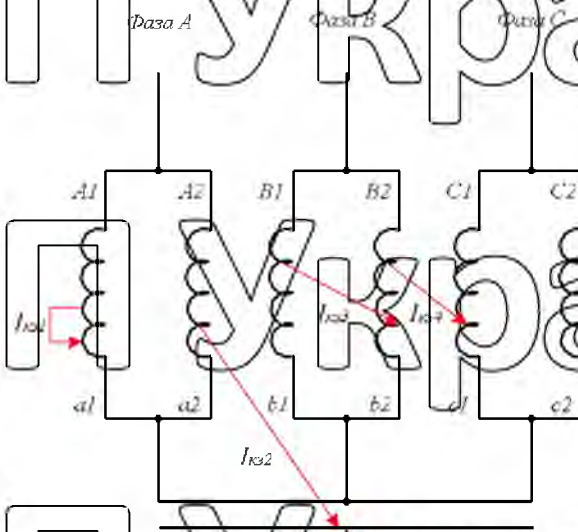


Рис. 1.3 - Типи коротких кабелів статорної печі.

I_{kz1}, I_{kz3} - між сусідніми фазовими витками; I_{kz2} - між поворотом фаз і землею; I_{C4} - між сусідніми ланцюгами обох різних фаз

У разі ремонту відправте машину в ремонтну майстерню або спеціалізовану компанію для утилізації старих і нових печей. Недоліки статорної печі визначають шляхом аналізу фазової асиметрії статорних печей або струмів виток. Асиметрію визначають шляхом аналізу зворотного порядку струмів або імпедансів.

Розглянемо причини пошкодження обмоток статора докладніше.

Теплове навантаження. Як відомо, при проектуванні ВН термін служби ізоляції печі розраховується залежно від температури її нагріву в номінальному режимі роботи. Однак, коли температура нагріву утеплювача перевищує номінальне значення, термін його служби різко падає. Термін служби електричної ізоляції (EM) при постійній температурі описується рівнянням Вант-Гоффа-Арреніуса [82]:

$$\tau = T b e^{-p\theta}$$

де T_b – основний час роботи при θ , °C – температура перевищує номінальну норму; b – коефіцієнт, що залежить від ізоляційних властивостей, що відповідає дворазовому скороченню терміну служби при кожному (8–12)°C підвищення температури (для ізоляції класу В коефіцієнт $b = 0,069$ °C⁻¹).

Підвищена температура через:

- вібрація або дисбаланс напруги живлення. У роботі [5] помічено, що при асиметричній фазній напрузі на рівні 3,5 % температура печі з великим значенням струму зростає на 25 %;
- рецидивуючий початок АД з короткими перервами;
- гіпертонія;
- пошкодження системи охолодження;
- високі температури навколишнього середовища.

Електричні заряди. Напруга живлення перевищує номінальне або високе значення генерованої напруги (раптова зміна напруги при включенні/вимкненні, зміна режиму роботи АД, передача живлення від перетворювача частоти) прискорює знос діелектричного матеріалу. Крім того, струми витoku можуть виникати в землі, якщо в ізоляцію печей потрапляє сторонній матеріал або волога. Наявність сильного електромагнітного поля викликає часткові внутрішні розряди в ізоляційних зазорах. Це призводить до утворення вигорілих ділянок, що в свою чергу призводить до збільшення вартості електричного поля і збільшення кількості часткових розрядів навколо цих ділянок.

Механічні навантаження. Як зазначалося, часта повторна активація ВЧ призведе до перегріву ізоляції печей. Більш того, такі періодичні впливи призводять до частого подовження і стиснення ізоляції, в результаті чого в матеріалі з'являються тріщини. З іншого боку, на сталь статора діє сила, що виникає внаслідок взаємодії струму статора та магнітного потоку і має вдвічі більшу частоту живлення. Вібрація, викликана цією силою, призводить до того, що ізоляційний матеріал тріскається і стає шовковистим. Згодом зовнішні предмети потрапляють на статор, пошкоджуючи ізоляцію.

Вплив факторів навколишнього середовища. Висока вологість або висока концентрація шкідливих хімічних речовин у навколишньому середовищі також можуть призвести до швидкого пошкодження обмоток статора VP.

При дефектах ізоляції в статорних печях часткові розряди в ізоляційному проміжку впливають на напруги в точці присєднання VP. В результаті на високих частотах виникають надмірні напруги і перепади напруги. Іншим наслідком ефекту часткового розряду є утворення озону та оксидів азоту, які взаємодіють із вологим середовищем з утворенням азотної кислоти, що прискорює старіння утеплювача.

Пошкодження ротора через термічні та механічні перевантаження та виробничі дефекти.

Опалювальне навантаження. Надмірне нагрівання валів ротора (валів і коротких тросів) може призвести до розплавлення деревини і навіть каркаса ротора.

Джерело перегріву може бути зосереджено у валах ротора (особливо при перезапуску, розгоні та гальмуванні двигуном) або в сердечнику ротора з

подальшим поширенням перегріву на валу. Ці явища призводять до розшарування елементів роторної печі. Під час розбалансування напруги живлення в роторі виникають великі струми за рахунок гармонік напруги зворотного порядку. Внаслідок поверхневого ефекту, характерного для цих

струмів на вищих гармоніках, вони нерівномірно розподілені в секціях роторних брусків. Нарешті, при роботі на низьких швидкостях з високим ковзанням через поверхневий ефект тепловий градієнт збільшується вздовж нитки ротора.

Надмірне механічне навантаження. На відміну від обмоток статора, магнітні сили в повітряному зазорі викликають вібрацію стержня ротора. Однак відцентрові сили, створені обертанням, залишають бруски в поглибленнях. На низьких швидкостях відцентрові сили незначні, що призводить до вібрації валів ротора, що призводить до механічного зносу.

У разі розриву або часткового розриву стержня ротора струм, що протікає через цей стержень, перерозподіляється на сусідні стержні. Вони мають відповідно більший струм, ніж номінальний, збільшуючи втрати тепла. Додатково змінюється розподіл магнітного поля навколо зламаного стержня - струм зростає з одного боку стержня і зменшується з іншого. Це явище збільшує втрати сталі навколо зламаного прутка.

Обидва типи порожнин підвищують температуру прилеглої до зламаної деревини, що в кінцевому підсумку може призвести до розтріскування.

На практиці ситуація дещо менш небезпечна. Потік у зламаному бруску дуже низький до нуля - зазвичай деревина просто ламається або в неї вливаються внутрішні струми. Внутрішні струми виникають, коли ланка ротора не відокремлена від серцевини ротора. У цьому випадку нормальне значення струму надходить у розірвану нитку, але довжина струму тече через магнітний ланцюг ротора до сусідніх стержнів (рис. 1.4). Струм через сталь ротора викликає перегрів сердечника ротора.

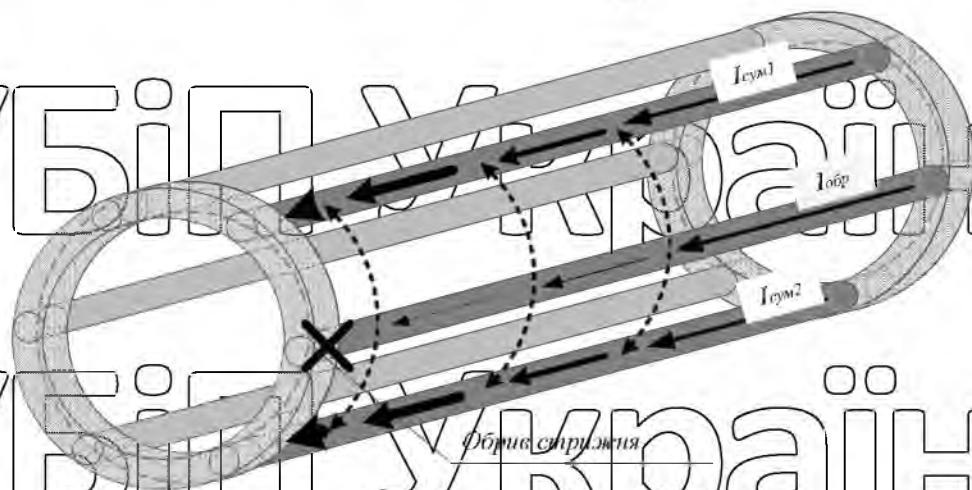


Рис. 1.4 - Розподіл струму під час руйнування сердечника ротора

1.3 Аналіз методів діагностики та контролю технічного стану асинхронних двигунів

З появою електромобілів (ЕМ) постало питання контролю надійності їх роботи. Першою спробою такого контролю стало впровадження системи PPR, яка забезпечувала періодичні перевірки надійності вузлів ЕМ.

Планова та профілактичне обслуговування [44, 57, 82]. Суть цієї методики полягає в тому, щоб через задані проміжки часу розбирати пристрій, частково розбирати його та випробовувати шляхом експериментальної модифікації деталей машини. Найпоширенішими методами вимірювання напруги випрямлення промислової частоти є випробування випрямленої напруги, тобто вимірювання опору ізоляції мегаомметром. Ці методи вимагають вилучення машини з виробничого процесу. Тести проводять з постійними значеннями тестової збудливості. Вузли, які вийшли з ладу під час тестування, вважаються справними. Очевидно, що розглянуті способи уникнення дефектів не дають належного ефекту, оскільки в першу чергу вимагають вилучення машини з виробничого процесу, що призводить до додаткових матеріальних витрат; по-друге, метод випробування, як правило, руйнівний, оскільки дефектні вузли виявляються під час огляду за їх несправністю; по-третє, такі випробування не гарантують безпомилкової роботи ЕМ під час ремонтних інтервалів.

Тому наступним кроком у діагностиці ЕМ стала розробка недоторканих методів. Серед них, наприклад, такі *статистичні методи* [57, 82]. Логічним ефектом впровадження системи PPR став збір статистичних даних про відмови двигунів у період PPR та періоди ремонту. Звичайно, наступним кроком у запобіганні виходу з ладу електричних машин була побудова математичних моделей надійності окремих деталей і машин в цілому на основі загальної статистики про відмову окремих видів ЕМ. Статистичні методи базуються на аналізі статистичних даних про роботу окремих груп двигунів, на основі яких розраховуються певні емпіричні коефіцієнти і розраховується ймовірність безвідмовної роботи одного типу машин. Такі методи не враховували поточні робочі параметри окремих машин і вимагали великого обсягу статистичної інформації для кожного типу машин.

Так само статистичні методи не гарантують коректну роботу пристрою в розрахованому інтервалі часу, оскільки не враховують реальних умов роботи розглянутої машини і не дозволяють врахувати раптові зовнішні впливи, порушення.

Метод часткового розряду (CR). [83]. Зазвичай поломки ізоляції відбуваються в Чехії протягом багатьох місяців або навіть років. Таким чином, реєстрація Чеської Республіки, оцінка їх спроможності та повторюваності, а також місця їх виникнення, дозволяє своєчасно виявити збитки та вжити необхідних заходів для їх усунення. Для запису значень доступності та CR були розроблені відповідні пристрої [83]. Недоліком існуючих установчих пристроїв і пристроїв CR є те, що більшість з них вимагає часткового розбирання пристрою або

встановлення великої кількості датчиків. Крім того, не завжди можна розрізнити СР і шумові сигнали. Цей метод часто використовується в розширених тестах ЕМ.

Імпульсні методи. Методи та засоби діагностики, моніторингу технічного стану та прогнозування залишкового ресурсу статорних печей представлені в роботах [136, 142]. Метод оцінки базується на імпульсних методах, у тому числі на аналізі величини та форми комутаційних напруг, що базується на розробці обладнання для контролю та діагностики обмоток статора. Стартовий сигнал формується в генераторі прямокутних імпульсів. Коли цей блок спрацьовує, він активує схему, посылаючи імпульси потрібної форми. У вимикачі живлення, підключеному до печі ЕМ, від генераторної установки встановлюється крутий відсік від фронту струму, що призводить до високоевольтного процесу комутації на випробувальному майданчику.

Вібродіагностика. Вихідною умовою усунення пошкоджень машини за вібраційними параметрами є те, що вібраційний сигнал робочої машини повинен містити велику кількість інформації про її стан [58, 145, 146]. Щоб ефективно використовувати контроль вібрації в програмі пам'яті, необхідно правильно отримати цю інформацію з аналізу вібраційного сигналу.

Найважливішим елементом системи збору вібраційних даних є вібраційний датчик, який перетворює механічні коливання в електричний сигнал. Протягом багатьох років з різним успіхом використовувалися різні типи датчиків. На даний момент найнадійнішим датчиком, який також забезпечує найвищу точність перетворення, є акселерометр. Найпоширенішим типом акселерометра є акселерометр з вбудованим підсилювачем потужності.

Математичний апарат для діагностики пошкоджень ВП на основі аналізу вібраційних сигналів на даний момент є достатньо надійним теоретично та експериментально апробованим.

Наприклад, частоти вібрації свердловин пов'язані з різними типами несправностей підшипників, визначаються відповідно до [38] такими виразами:

$$F_c = \frac{1}{2} F_R \left(1 - \frac{D_b \cos(\beta)}{D_c} \right), \quad (1.1)$$

$$F_o = \frac{N_B}{2} F_R \left(1 - \frac{D_b \cos(\beta)}{D_c} \right); \quad (1.2)$$

$$F_i = \frac{D_b}{2} F_R \left(1 + \frac{D_b \cos(\beta)}{D_c} \right); \quad (1.3)$$

$$F_B = \frac{D_b}{D_c} F_R \left(1 + \frac{D_b \cos(\beta)}{D_c} \right); \quad (1.4)$$

де F_C - частота відмови підшипникового сепаратора; F_O - частота пошкодження зовнішнього кільця підшипника; F_I - частота пошкодження внутрішнього кільця підшипника; F_B - частота пошкодження кульок підшипників; $F_R = VP$ швидкість свердловини; D_b - діаметр кульок підшипника; D_c - зовнішній діаметр підшипника; N_B - кількість обертових елементів; β - кут нахилу кулі.

Однак, незважаючи на відносно високу надійність діагностики та високе теоретичне та математичне забезпечення цього методу, він потребує дуже великих матеріальних витрат на діагностичне обладнання. Крім того, не завжди можливо встановити додаткове обладнання у виробничому середовищі. Тому цей метод можна використовувати для діагностики високопотужних машин або для людей, які працюють на відповідальних механізмах, коли додаткова вартість діагностичного обладнання економічно виправдана.

Останнім часом аналіз електричних сигналів, наприклад сигналів струму, став набагато простішим і легшим і його можна використовувати для вирішення багатьох проблем. Зв'язок між компонентами вібрації та потоком для виявлення дефектів підшипників можна виразити наступним чином.

Елементи коливальних, які в результаті механічного пошкодження мають частоту f_{car} , викликають коливання свого моменту $\Delta T_i(t)$, викликаючи зміну швидкості $\Delta \omega_i(t)$. Механічні ковзання кута призводять до коливань магнітного потоку.

Таким чином, вібрації можна розглядати як компоненти моменту, які мають дві складові в поточному сигналі на частотах:

$$f_{be} = |f \pm k f_{car}| \quad (15)$$

де f - частота подачі; $k = 0, 1, 2 \dots$

Однак амплітуди частоти в сигналі струму, пов'язані з механічними дефектами, незначні і можуть бути створені. Тому існує нагальна потреба в розробці надійних методів визначення цих частот в електричних сигналах.

Аналіз напруги живлення. Метод заснований на аналізі напруги зворотної послідовності, що виникає при наявності дефектів артеріального тиску, а також високочастотного тестового сигналу провідника. Так, в [25] пропонується діагностувати обірвані різьблення ротора за аналізом сигналу модульованої напруги живлення, а в [20] — за аналізом напруги в нульовому проводі. У [7]

аналіз прямої складової напруги, або навпаки, тестового сигналу несучої виявляє короткі замикання в обмотках статора.

Користуватися цією групою методів надзвичайно просто - досить встановити датчики напруги в місцях підключення. Однак при несинусоїдальному джерелі живлення, що працює в мережах низької напруги, достовірність діагностики викликає багато питань. Тому аналіз напруги не може бути ефективно використаний для діагностики помірного та низького артеріального тиску.

Аналіз поточних сигналів. У Західній Європі та Північній Америці поширений метод визначення технічного стану електродвигунів за допомогою спектрального аналізу споживання струму [1, 4, 30, 34, 39, 106].

Фізичний принцип цього методу полягає в тому, що будь-яке збудження в роботі електричної та/або механічної частини двигуна або пов'язаного з ним пристрою змушує магнітний потік в повітряному зазорі електричної машини відповідно змінюватися і модулювати, який споживається струмом електродвигуна. Отже, наявність певних (і несумієних) частот у спектрі струму свідчить про наявність пошкодження електричної та/або механічної частини двигуна та пов'язаного з ним механічного пристрою.

Принцип дії діагностичних систем, заснованих на цьому методі, полягає у вимірюванні струму в одній із фаз статора, розподілі отриманого сигналу в ряд Фур'є та порівнянні частот гармоній спектра з частотами, викликаними конкретними дефектами. Зазвичай такі системи базуються на поточному аналізі лише однієї фази статора, що дозволяє проводити або періодичні вимірювання за допомогою мобільної діагностичної системи, або на основі безперервного моніторингу за допомогою портативних мікропроцесорних вимірювальних систем та аналізу технічного стану (рис. 2). 1.5).

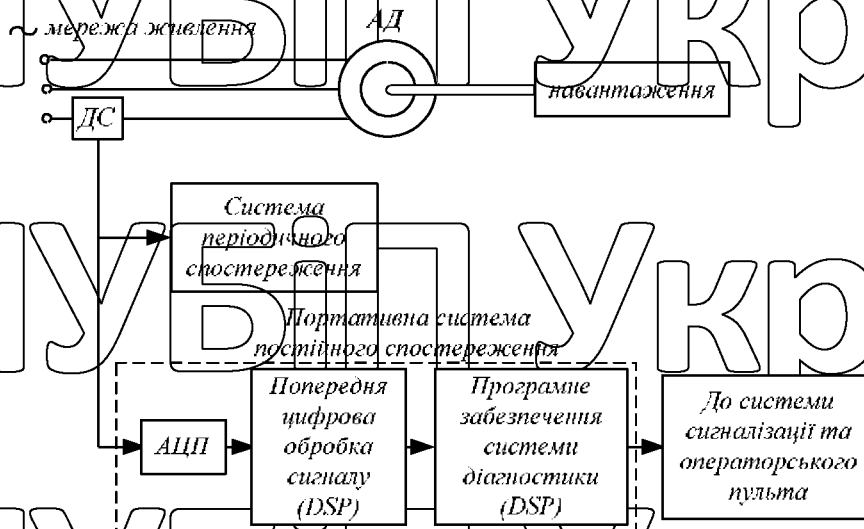


Рис. 1.5 - Функціональна схема системи діагностики на основі аналізу сигналу фазного струму статора

Математичний апарат цього методу добре розроблений і дозволяє ідентифікувати різні види дисбалансу ротора, обірвану різьбу ротора, повороти обмотки статора [4, 16, 18, 34-36, 39, 40, 106].

У [106], як приклад, результат аналізу спектрального потоку двох ідентичних комплектів вентиляторів: набір, що працює ще тиждень і п'ять років. Таким чином, пошкодження ротора двигуна (обрив іolini, погане з'єднання етрижнів з контактними кільцями, приховані дефекти лиття) визначається наявністю двох симетрій щодо частоти піків потужності в спектрі струму. на певних частотах.

[18] запропонував метод аналізу короткого замикання в статорних печах на основі логічних виразів невизначеної логічної системи. Цей метод заснований на поетапному аналізі поточних значень процесу. Рішення про технічний стан котушки, виникнення коротких замикань і можливість подальшої експлуатації базується на певних логічних правилах, заснованих на аналізі числового значення фазового процесу: «малий»,

Оскільки метод заснований на аналізі певної кількості інтегралів, цей підхід втрачає діагностичну інформацію, доступну у вигляді сигналу. Крім того, коли АД неактивний, амплітуди цих гармонік дуже малі і можуть бути компенсовані збуреннями в сусідніх приладах або в системі вимірювання. Тому цей метод дає найкращі результати при аналізі стабільної активності артеріального тиску під

навантаженням, що не завжди може бути виконано під час діагностичних заходів.

Для підвищення надійності діагностики рекомендується враховувати якість напруги, що подається на двигун, з метою визначення його асиметрії, наявності гармонік і високої напруги, тобто факторів, що безпосередньо впливають на термін служби роботи. Відомо, що перераховані вище два фактори пов'язані як з перегрівом статорних печей, так і з виходом з ладу підшипників через високочастотні послідовні моменти.

Тому використання описаних методів дозволяє діагностувати найпоширеніші несправності електродвигунів та пов'язаних з ними механічних пристроїв, однак існують певні обмеження, які за певних умов можуть призвести до неправильної діагностики.

Аналіз електричного сигналу. Аналіз спектру електричного сигналу дозволяє уникнути недоліків вищевказаних методів, оскільки враховує властивості як струму, так і сигналів напруги. Можна встановити відповідність між спектрами потужності та вібрації. Це дозволяє розробити дешевий і надійний метод діагностики АТ, який можна застосувати до машин, що працюють у поганих умовах [51-54]. Цей метод дозволяє як діагностувати наявність конкретної несправності, так і визначити ступінь пошкодження шляхом аналізу значення відповідної гармонічної складової. Аналіз спектру сигналу споживаної потужності дозволяє визначити енергію пошкодження та її зв'язок з додатковою деформацією елементів ВП під впливом додаткових вібрацій, викликаних питомими гармоніками електромагнітного моменту. Детальніше, Аналіз спектру енергоспоживання дозволяє досліджувати методи роботи ВП з істотною незначністю у разі неправильного застосування принципу суперпозиції гармонійних процесів [61]. Цей тип аналізу є більш надійним, менш залежним від збурень і забезпечує додаткові гармонічні компоненти для аналізу.

Таким чином, аналіз існуючих методів аналізу ВП показав, що існує необхідність розробки надійного та простого методу діагностики машин середньої та малої потужності в мережах низької напруги з низьким потенціалом живлення. Цей метод повинен не тільки демонструвати чіткий зв'язок між діагностичною інформацією та конкретним типом ураження АТ, але й бути захищеним від потенційних перешкод для запобігання помилковому діагнозу. У результаті аналізу можна зробити висновок, що такий метод може бути заснований на аналізі сили трифазного сигналу споживання електроенергії. Результати аналізу показані на малюнку 1.6 у вигляді схеми.

1.4 Огляд сучасний математичний методи обробка

діагностичних даних

При аналізі всіх цих сигналів, як правило, вивчаються або інтегральні параметри, або їх абсолютні значення, або їх розкладання на гармонічний ряд

за допомогою перетворення Фур'є, а потім аналізуються отримані спектри. У той же час виникають труднощі при аналізі нестационарних режимів роботи - під час пуску або гальмування, зміни навантаження, виникнення перенапруг або зовнішніх збурень тощо. Більше того, не завжди можна знайти точну математичну залежність, яка пов'язує виникнення спотворень і зміни форми і складу спектру сигналу. Для вирішення цієї проблеми використовуються сучасні методи обробки інформації.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



Рис. 1.6 - Аналіз методів діагностики дефектів

Частотний аналіз часу [10, 27, 29, 31, 32, 40] можна використовувати у випадках, коли спостерігаються незначні зміни вимірюваних значень з часом. Цей стан типовий для неонатальних вад розвитку або коли виміряні значення пов'язані з легким дефектом. Перетворення частота-час зазвичай виконується за допомогою миттєвого перетворення Фур'є або перетворення сигналу.

Виявлення недоліків у частотно-часовому аналізі можна автоматизувати, наприклад, за допомогою багатошарової нейронної перцептронної мережі (BPNN) або методів розпізнавання статистичних вибірок, таких як дискримінантний аналіз або відображення вхідних даних у вихідні дані з самоорганізацією. При використанні BPNN нейронну мережу необхідно тренувати на наявність і відсутність травм. Виміряні та оброблені дані надходять на мережевий вхід, на вихід надходить інформація про стан тестованого об'єкта.

Статистичний аналіз часто використовується для виявлення дефектів.

Статистичний аналіз розраховується на основі прямих значень або на основі прямих вимірювань. У штучних нейронних мережах (АНН) використовуються статистичні методи. Так, у [8] дефекти підшипників ідентифікуються за допомогою нейронної мережі. У цьому випадку навчання нейронної мережі базується на частоті обертання та сигналах струму статора. У [33] ШНМ і виміряні струми статора використовуються для визначення ексцентриситету ротора та деформації підшипників, що обертаються. У роботі [28], ANN використовується для діагностики несправностей підшипників і важелів за допомогою хвильового перетворення для попередньої обробки вібраційного сигналу. Основна проблема використання ANN полягає в тому, що навчання мережі на певні типи недоліків, а наразі система не працює за наявності інших недоліків віце-президента.

Незрозуміла логіка. Нейронна мережа може забезпечити точну діагностику технічного стану об'єкта, але це «чорний ящик», який не дозволяє пояснити дефекти. ШНМ часто є вибірково чутливою, тому вона може бути невідповідним інструментом для демонстрації наявних пошкоджень. Наомість нечітка логіка заснована на евристичному мисленні. Він частково заснований на понятті істини, в якому істинність твердження коливається від нуля до одиниці. Крім того, вихідні дані подвійні. Тому при аналізі технічного стану невизначена логіка може дати інформацію про ступінь дефекту, «можливість» дефекту або надати паралельні вказівки для подальшого аналізу. У вигляді підгруп (відмінків) типу «низька вібрація» і «висока вібрація», лінгвістичні, використовуються евристичні та інші види вхідної інформації, які можна повторити. Набір станів називається функцією належності і обчислюється за невизначеними правилами з використанням операторів IF для формування належності вихідного набору (початковий рівень стану). Вихідні набори зазвичай за замовчуванням набори перетворюються на явні значення, обчислюючи їх вагу з більшою ймовірністю. Методи розпливчастої логіки широко використовуються в діагностиці різних видів ушкоджень АТ. Так, у [24] для класифікації частотного спектру вібраційних сигналів для елементів

повільно обертових підшипників використовується нескінченна логіка.

Неоднозначність виникає при використанні загальних і нормованих відхилень компонентів кожної важливої гармоніки двигуна з різними типами пошкоджень від спотворених гармонік за ВР. Набір станів називається функцією належності і обчислюється за невизначеними правилами з використанням операторів IF для формування належності вихідного набору (початковий рівень стану). Вихідні набори зазвичай за замовчуванням - набори перетворюються на явні значення,

розраховуючи їх вагу з більшою ймовірністю. У діагностиці різних видів

ушкоджень АТ широко використовуються методи нечіткої логіки. Так, у [24]

для класифікації частотного спектру вібраційних сигналів для елементів

повільно обертових підшипників використовується нескінченна логіка.

Неоднозначність виникає при використанні загальних і нормованих відхилень компонентів кожної важливої гармоніки двигуна з різними типами пошкоджень

від спотворених гармонік за ВР. Набір станів називається функцією належності і обчислюється за невизначеними правилами з використанням операторів IF для

формування належності вихідного набору (початковий рівень стану). Вихідні

набори зазвичай нейтралізуються - набори перетворюються на числі значення

відповідно до їх ваги для більшого ступеня ймовірності. У діагностиці різних

видів ушкоджень АТ широко використовуються методи нечіткої логіки. Так, у

[24] для класифікації частотного спектру вібраційних сигналів для елементів

повільно обертових підшипників використовується нескінченна логіка.

Неоднозначність виникає при використанні загальних і нормованих відхилень

компонентів кожної важливої гармоніки двигуна з різними типами пошкоджень від спотворених гармонік за ВР. і згідно з невизначеними правилами, оператори

IF обчислюють IF, щоб сформувати приналежність до набору джерел

(початковий рівень стану). Вихідні набори зазвичай нейтралізуються - набори перетворюються на числі значення відповідно до їх ваги для більшого ступеня

ймовірності. У діагностиці різних видів ушкоджень АТ широко

використовуються методи нечіткої логіки. Так, у [24] для класифікації

частотного спектру вібраційних сигналів для елементів повільно обертових

підшипників використовується нескінченна логіка. Неоднозначність виникає

при використанні загальних і нормованих відхилень компонентів кожної

важливої гармоніки двигуна з різними типами пошкоджень від спотворених

гармонік за ВР. і згідно з невизначеними правилами, використання операторів

IF обчислює IF, щоб сформувати приналежність до набору джерел (початковий рівень стану). Вихідні набори зазвичай нейтралізуються - набори

перетворюються на числі значення відповідно до їх ваги для більшого ступеня

ймовірності. Методи розпливчастої логіки широко використовуються в

діагностиці різних видів ушкоджень АТ. Так, у [24] для класифікації частотного

спектру вібраційних сигналів для елементів повільно обертових підшипників

використовується нескінченна логіка. Неоднозначність виникає при

використанні загальних і нормованих відхилень компонентів кожної важливої

гармоніки двигуна з різними типами пошкоджень від спотворених гармонік за

ВР. Вихідні набори зазвичай нейтралізуються - набори перетворюються на

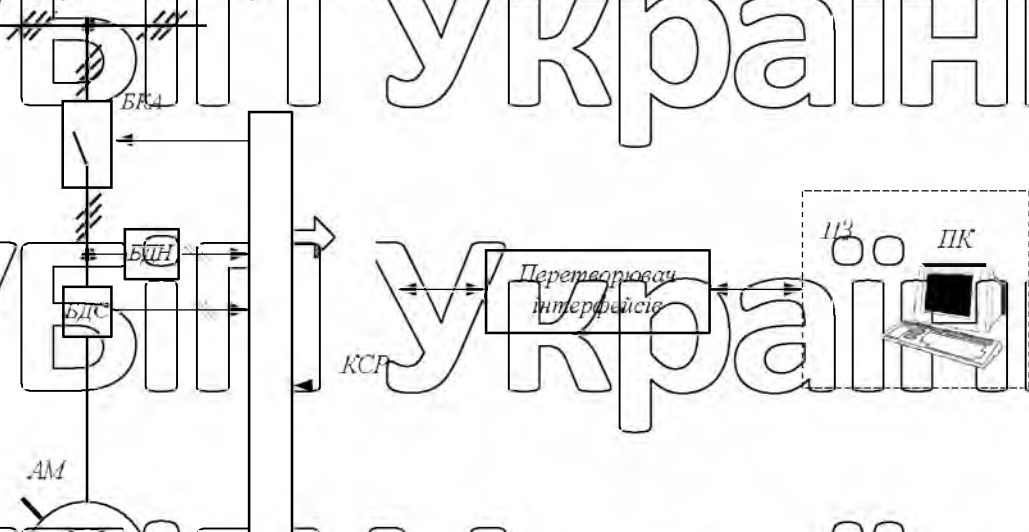
чисті значення відповідно до їх ваги для більшого ступеня ймовірності. Методи розпливчастої логіки широко використовуються в діагностиці різних видів ушкоджень АТ. Так, у [24] для класифікації частотного спектру вібраційних сигналів для елементів повільно обертових підшипників використовується нескінченна логіка. Неоднозначність виникає при використанні загальних і нормованих відхилень компонентів кожної важливої гармоніки двигуна з різними типами пошкоджень від спотворених гармонік за ВР. Вихідні набори зазвичай нейтралізуються - набори перетворюються на чисті значення відповідно до їх ваги для більшого ступеня ймовірності. Методи розпливчастої логіки широко використовуються в діагностиці різних видів ушкоджень АТ. Так, у [24] для класифікації частотного спектру вібраційних сигналів для елементів повільно обертових підшипників використовується нескінченна логіка. Неоднозначність виникає при використанні загальних і нормованих відхилень компонентів кожної важливої гармоніки двигуна з різними типами пошкоджень від спотворених гармонік за ВР. у [24] Логіка невизначеності використовується для класифікації частотного спектру, отриманого з вібраційних сигналів для елементів низькошвидкісних підшипників коліс. Неоднозначність виникає при використанні загальних і нормованих відхилень компонентів кожної важливої гармоніки двигуна з різними типами пошкоджень від спотворених гармонік за ВР. у [24] логіка незрозуміла. використовується для класифікації частотного спектру, отриманого від вібраційних сигналів для елементів низькошвидкісних підшипників коліс. Неоднозначність виникає при використанні загальних і нормованих відхилень компонентів кожної важливої гармоніки двигуна з різними типами пошкоджень від спотворених гармонік за ВР. у [24] логіка незрозуміла. використовується для класифікації частотного спектру, отриманого від вібраційних сигналів для елементів низькошвидкісних підшипників коліс. Неоднозначність виникає при використанні загальних і нормованих відхилень компонентів кожної важливої гармоніки двигуна з різними типами пошкоджень від спотворених гармонік за ВР. у [24] логіка незрозуміла. використовується для класифікації частотного спектру, отриманого від вібраційних сигналів для елементів низькошвидкісних підшипників коліс. Неоднозначність виникає при використанні загальних і нормованих відхилень компонентів кожної важливої гармоніки двигуна з різними типами пошкоджень від спотворених гармонік за ВР.

1.5 Вимоги до розробки обладнання для діагностики асинхронних двигунів

Аналіз методів і систем діагностики асинхронних двигунів показав, що в даний час більш перенективними є системи, засновані на аналізі електричних сигналів. Такі системи відносно недорогі і прості у використанні. Більшість із цих систем засновані на аналізі чотирьох найлегше одержуваних сигналів, які можуть надати інформацію про стан електромеханічної системи. Однак слід

зазначити, що існуючі діагностичні системи, які базуються на аналізі як струму, так і напруги, за точністю діагностичної інформації все ще поступаються дорогим вібродіагностичним системам. В результаті для аналізу використовується електричний сигнал. Цей сигнал містить усі характеристики сигналів струму та напруги, а також додаткові гармоніки, які можна використовувати як діагностичні ознаки. Використання в системі діагностики датчиків як струму, так і напруги істотно не підвищує вартість діагностичного обладнання. Тому розроблене обладнання системи діагностики асинхронних двигунів слід проектувати з урахуванням можливості аналізу сигналу потужності ВП. На основі аналізу причин розладів ВП та факторів, що їх викликають, розроблено функціональну схему системи діагностики дефектів і пошкоджень ВП (рис. 1.8).

Рисунок 1.8 - Функціональна схема системи діагностики АМ



АМ - асинхронна машина; АЦП - аналого-цифровий перетворювач; БДН - блок датчиків напруги; БДС - блок датчиків струму; БКА - блок розподільного пристрою; КСП - контролер середнього рівня; Персональний комп'ютер - персональний комп'ютер; Програмне забезпечення - програмне забезпечення; РЧО - пристрій для синхронізації з об'єктом

До функцій діагностичної системи входять: моніторинг, прогнозування, захист, діагностика, сервісні функції

Для спостереження та врахування факторів, що відображають стан вузлів артеріального тиску, діагностична система повинна бути оснащена системою датчиків у просторових координатах артеріального тиску. Ці датчики фіксують поточне навантаження печі і параметри напруги джерела живлення. Якщо є інформація про параметри ВП, швидкість обертання ротора може бути визначена опосередковано з достатньою точністю для розглянутих завдань. На

основі отриманих даних розраховуються втрати в печах, сумарні втрати в машині та змінні складові електромагнітного моменту.

На основі попередніх даних, зчитованих із датчиків, система розраховує агреговані параметри за часом – ефективні чи середні значення. Потім, порівнюючи значення цих параметрів з дозволеними параметрами, реалізується ряд стандартних запобіжних заходів.

На основі отриманих інтегральних параметрів перевіряється сумісність діагностичних ознак з дефектами АД. За результатами аналізу на всіх етапах роботи діагностична система дає рекомендації на основі аналізованих даних або забороняє експлуатацію обладнання в аварійній ситуації або перед інцидентом.

Рекомендації включають попередження про необхідність уявлення артеріального тиску для ремонту, вказівку причини, ймовірність виникнення аварійних ситуацій та рекомендації щодо оптимальної роботи обладнання.

Також має бути можливість архівувати та записувати інформацію про ненормальні режими роботи обладнання, щоб узагальнити та пояснити результат.

Система повинна включати підсистему моніторингу артеріального тиску, засновану на спостереженні тенденції електромагнітних параметрів машини змінюватися з часом.

Важливим фактором є вартість і доступність компонентів, що використовуються для реалізації системи, можливість перенесення та узагальнення правил аналізу для різних типів БП.

Щодо технічної реалізації переваги, слід зазначити, що, на відміну від відомих систем діагностики гіпертонії, ця система не потребує використання точних вимірювальних приладів. Структура системи може виконуватися за класичною структурою, де на нижньому рівні розташовані датчики збору основної інформації та пристрої для координації з об'єктом, а на верхньому –

персональний комп'ютер. Середній рівень системи повинен будуватися на основі промислових логічних контролерів, які дозволяють працювати на цьому рівні в режимі реального часу і швидко реагувати на збої або небезпечні ситуації. Використовуючи його як ядро середнього рівня сучасної системи процесора сигналів,

Функції підрахунку та діагностики, обміну повідомленнями персоналу, реєстрації та архівування розташовані на верхньому рівні системи, де збираються дані з кількох різних вторинних систем моніторингу артеріального тиску.

1.6 Підсумок сектора

Огляд діагностичного стану ВП показав необхідність розробки діагностичних показників для визначення технічного стану електромеханічних пристроїв (ЕМО), у тому числі ВП, на основі аналізу змін його форми та властивостей. Споживана потужність сигналу. Основою розрахунку таких показників при аналізі енергетичних режимів ЕМО є миттєві значення сигналів струмів,

напруг та інтенсивностей. Зручність аналізу миттєвого електричного сигналу залежить від здатності його елементів діяти як покроково, так і поетапно [93]. При визначенні діагностичних параметрів на основі аналізу енергоспоживання необхідно дотримуватися таких вимог:

- чіткий і розбірливий зміст діагностичних ознак;
- однаковий зв'язок з деякими видами дефектів;
- чіткі кінцеві значення та розумні значення деталей.

Аналіз показав, що оцінити стан ВП можна, аналізуючи енергетичні процеси в АД, у тому числі сигнал споживаної потужності, оскільки цей сигнал контрастує з сигналами струму та напруги, що не тільки виявляє дефекти, це буде зроблено. на певній гармонічній частоті енергія розсіюється відповідною амплітудою гармонік.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ЗА АНАЛІЗОМ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ.

Як зазначалося в першому розділі, все більшої популярності набувають методи діагностики гіпертонії, які не вимагають зупинки процесу і придатні для виявлення пошкоджень на початковій стадії. З цією метою успішно застосовуються методи вібродіагностики двигунів великої потужності. Однак через відносно високу вартість приладів виявлення вібрації та складність встановлення вібраційних датчиків, використання цих методів утруднено для діагностики найбільш поширених споживачів та перетворювачів енергії – асинхронних двигунів середньої та малої потужності. Тому для вирішення цієї проблеми існують методи, засновані на аналізі параметрів ВП, які дуже легко виміряти і контролювати в робочому режимі - електричних сигналів двигуна.

2.1 Теоретичні основи діагностики асинхронних двигунів на основі аналізу фазних струмів

Діагностика за допомогою аналізу фазних струмів є дуже поширеним методом завдяки простоті вимірювання та реєстрації сигналів струму в режимі роботи БП. В даний час багато роботи присвячено використанню цього методу для діагностики зламаних стрижнів ротора, дисбалансу ротора, коротких замикань у статорній печі, а також виявлення дефектів підшипникових вузлів [4, 16, 18, 34-36, 39], 40, 106]. Ідея цього методу полягає в тому, щоб співвіднести дефекти АТ з конкретними гармоніками поточного спектру, як показано нижче.

2.1.1 Поломка стержнів ротора

Струми короткого замикання в роторі створюють трифазне магнітне поле з кількістю полюсів у магнітному полі статора. Однак це магнітне поле обертається з частотою ковзання відносно обертового ротора. У разі короткої симетрії роторних осередків існує лише магнітне поле прямої послідовності, яке обертається з частотою, що змінюється в залежності від обертового ротора. У разі асиметрії обертової ланки, яка виникає, наприклад, в результаті обриву стрижнів короткої ланки, магнітні поля в зворотному порядку обертаються з частотою ковзання відносно обертового ротора. Впливом цих полів на статорну ніч є наявність гармонік струму та напруги з такими частотами [4, 5, 8, 106]:

$$f_{bb} = f_s |1 \pm 2s|, \quad (2.1)$$

де f_s – основна частота; v – ковзання.

2.1.2 Нерівність робочого колеса

Як зазначалося в першому розділі, існує три типи дисбалансу ротора: статичний, динамічний і змішаний (рисунки 1.2). Усі види дисбалансу призводять до появи специфічних гармонік у спектрі сигналу фазового струму. Розглянемо механізм їх утворення.

Статична рівновага. З частот гармонік роторних брусків, які є поперечними частотами основних гармонік, визначають і розраховують наступне:

$$\Phi_{\text{стат}} = K \cdot \omega_{\text{Так}} \pm n f_{\text{Так}} \quad (2.2)$$

де $f_{\text{стат}}$ - частота, що відповідає статичному дисбалансу; K - кількість стрижнів ротора; $\omega_{\text{Так}}$ - частота обертання ротора; f_s - частота мережі; n - кількість гармонік у смузі частот живлення.

Динамічний баланс. Він проявляється в основних гармоніках напрямку ротора та його субгармоніках, а також у частотах поперечних швидкостей навколо них і розраховується наступним чином:

$$\Phi_{\text{динам}} = K \cdot \omega_{\text{Так}} \pm n f_{\text{Так}} \pm n_{\text{Так}} \quad (2.3)$$

Змішаний баланс. На практиці статичний і динамічний дисбаланс зазвичай виникають одночасно. У [11] ми отримали вираз для визначення гармонік спектра струму в загальному випадку наявності змішаного ексцентрика:

$$f_{\text{mix}} = f_s \left[1 + k \frac{(1-s)}{p} \right], \quad (2.4)$$

де $k = 0.1.2...$ - кількість стрижнів ротора.

2.1.3 Короткі кабелі в статорній печі

Вихід з ладу трифазних обмоток статора ВП можна класифікувати так:

- 1) коротке замикання в одній фазі: двигун може працювати, але невідомо, як довго;
- 2) фаза короткого замикання: двигун вимикає і відключає пристрої захисту від мережі;
- 3) коротке замикання на масу: двигун виходить з ладу і відключає захисний пристрій від мережі;
- 4) однофазний розірваний ланцюг: двигун може продовжувати працювати в залежності від навантаження, але в неушкоджених фазних печах відбувається перегрів.

Запобігання несправності двигуна, як-от випадки 3 і 4, можливе лише в тому випадку, якщо коротке замикання в одній фазі (як у випадку 1) виявлено на ранній стадії за допомогою онлайн-методів діагностики. У низьковольтних двигунах, порівняно з високовольтними, дуже важливий інтервал часу між виникненням короткого замикання в одній фазі і виходом з ладу двигуна. Цей факт корисний тим, що дозволяє вчасно передбачити виникнення пошкодження, контролювати його розвиток і вчасно планувати ремонт, уникаючи великих витрат в результаті аварій.

У [16, 17] математично та експериментально було продемонстровано, що спектральні складові фазних струмів, що виникають від обмоток у фазі, не є надійними індикаторами для визначення пошкодження статора. У роботах [16, 17] було досліджено взаємодію пошкодженого статора та неушкодженого ротора, на основі чого математично та експериментально визначено частотні спектри струмів, що генеруються наявністю закорочених провідників. Спотворена й асиметрична гармоніка статора може створити велику гармоніку будь-якого порядку в електромагнітному полі повітряного зазору ВР. Проте всі ці гармоніки змінюють одну частоту - частоту сітки. Гармоніки статора генерують струми в комірці ротора,

$$f_{st} = f_s \left[\frac{n}{p} (1-s) \pm k \right], \quad (2.5)$$

де f_s - основна частота, n - додатних чисел (1, 2, 3...);
Так - ковзання; k - ціле число, що дорівнює 1, 3, 5 або 7.

Діагностика короткого замикання в статорній печі заснована на аналізі сигналу фазного струму статора на основі визначення частотних складових за виразом (2.5), які відображаються в гармонічних частинах сигналу фазного струму.

2.1.4 Дефекти підшипників

Несправні підшипники можуть призвести до ураження електричним струмом. Оскільки підшипники утримують ротор на місці, їх вібрації викликають вібрації в повітряному зазорі між статором і ротором. Ці коливання виникають у сигналі струму з частотами, визначеними згідно з [4]:

$$f_{vrg} = [f_s \pm m f_{i.o}], \quad (2.6)$$

де $m = 1, 2, 3 \dots$; f_s - частота мережі; $f_{i.o}$ - питома частота вібрації, яка залежить від геометричних розмірів підшипника:

$$f_{i.o} = \frac{n}{2} f_v \left[1 \pm \frac{bd}{pd} \cos(\beta) \right], \quad (2.7)$$

де n - кількість кульок в підшипнику; f_v - частота обертання ротора, Гц;

немає - діаметр кульки; rd - відстань між кульками; β - кут контакту м'яча з дорогою.

2.2 Теоретичні основи спектрального аналізу електричних сигналів

Діагностика за допомогою спектрального аналізу електричного сигналу дозволяє уникнути недоліків інших методів аналізу електричних сигналів - аналізу напруги та струму живлення [12, 13, 15, 21, 37].

Спектр сигналу потужності, що споживається трифазним двигуном або електромагнітним двигуном, на відміну від спектрів сигналу струмів або фазової оболонки статора, дозволяє не тільки виявити наявність відповідного дефекту або дефекту, а й розрахунок ступеня пошкодження за потужністю гармонічної складової. Це означає, що використання спектру потужності або

електромагнітного крутного моменту дозволяє оцінити енергетичний компонент пошкодження і безпосередньо пов'язує його з додатковим поломкою компонентів електромеханічного перетворювача в результаті нагрівання та вібрації, викликаних цим компонентом, потужність. Крім діагностики, це також дозволяє оцінити зниження енергоефективності двигуна як електромеханічного перетворювача. Діагностика більш надійна завдяки миттєвому аналізу спектру,

Миттєва сила фази розраховується за формулою:

$$p(t) = \text{Re}(U(t))i(t),$$

де $u(t)$ - фазна напруга; $i(t)$ - фазний вхідний струм.

Для двигуна з постійною швидкістю, що працює в ідеальній мережі, фазна напруга $u(t)$, фазний струм $i(t)$ і фазна потужність описуються такими виразами [9, 37, 115, 116]:

$$u(t) = \sqrt{2}U_1 \cos(\omega t),$$

$$i(t) = \sqrt{2}I_1 \cos(\omega t - \varphi);$$

$$p(t) = u(t)i(t) = 2U_1I_1 \cos(\omega t) \cos(\omega t - \varphi) =$$

$$= 2U_1I_1 \cos(\omega t) [\cos(\omega t) \cos(\varphi) + \sin(\omega t) \sin(\varphi)] =$$

$$= U_1I_1 \cos(\varphi) + U_1I_1 \cos(\varphi) \cos(2\omega t) +$$

$$+ U_1I_1 \sin(\varphi) \sin(2\omega t),$$

(2.7)

де U_1, I_1 - поточні значення фазної напруги і струму відповідно;

$\omega = 2\pi f_s$ - кут обертання ротора, де f_s - частота живлення, φ - кут зсуву струму по відношенню до напруги

На відміну від спектрів напруги та струму, які мають лише основні гармоніки з частотою сітки f_s , спектр потужності постійної складової $U_1 I_1 \cos(\varphi)$ а основна частота вдвічі перевищує частоту основного джерела $2f_s$. Щоб всебічно проаналізувати технічний стан двигуна та уникнути помилок, доцільно провести додатковий аналіз сумарної потужності трьох фаз VP, тобто додати ємність фаз:

$$P_{\text{Малюк}}(T) = T a_{k_1}(T) i_1(T) + T a_{k_6}(T) i_6(T) + T a_{k_c}(T) i_c(T) .$$

Сума потужності трьох фаз містить більше діагностичних даних і допускає не тільки короткі замикання, які викликають модуляцію фазових електричних сигналів, а й короткі замикання внаслідок асиметрії двигуна або джерела живлення до асиметрії електричних сигналів. бути виявлені. . У разі VP і симетрії живлення сума трифазного сигналу потужності містить лише одну постійну складову. Тому будь-який збій двигуна або асиметрія системи електроприводу призводить до появи унікальних гармонік, за допомогою яких можна точно визначити тип несправності.

2.2.1 Поломка стержня ротора

Як згадувалося в першому розділі, обрив роторних брусів модулює струм статора. Аналогічно [5], потік модульованих фаз можна описати таким виразом:

$$i_m(t) = i(t) [1 + I_m \cos(2\pi f_{bb} t)] = \quad (2.8)$$

$$= i(t) + \frac{\sqrt{2}}{2} I_1 I_m \left[\cos(2\pi(f_s - f_{bb})t - \varphi) + \cos(2\pi(f_s + f_{bb})t - \varphi) \right]$$

де I_m – амплітуда частоти моделювання; f_{bb} - це частота модуляції дорівнює $2 f_{ss}$, де f_s - частота живлення; v - ковзання.

Згідно з виразом (2.8), спектр фазових струмів, крім гармонік основної частоти, включає дві бічні гармоніки на частотах $f_s - f_{bb}$ і $f_s + f_{bb}$.

Потужність модульованої фази описується наступним чином

вираз:

$$p_m(t) = i_m(t)u(t) = P_0 + U_1 I_1 \cos(\varphi) \cos(2\omega t) + U_1 I_1 \sin(\varphi) \sin(2\omega t) + \left(I_1 I_m U_1 \cos[2\pi(f_s - f_{bb})t - \varphi] + I_1 I_m U_1 \cos[2\pi(f_s + f_{bb})t - \varphi] \right) \cos(2\omega t). \quad (2.9)$$

Цей вираз показує, що спектр фазових сил, крім констант P_0 і двох бічних основних гармонік на частотах $2f_s - f_{bb}$ і $2f_s + f_{bb}$, є додатковою складовою частоти модуляції f_{bb} , що є додатковим аналізом варіант.

У симетричному стані ВР гармоніки, що виникають у результаті дефектів, компенсуються, і загальний спектр потужності трьох фаз містить лише одну постійну складову і гармоніки на $2f_s + f_{bb}$.

Кожен дисбаланс системи приводу викликає додаткові гармоніки в трифазному спектрі сумарної потужності на частоті модуляції f_{bb} , побічні гармоніки на $2f_s - f_{bb}$ і основні гармоніки потужності на подвійній частоті потужності. $2f_s$.

2.2.2 Нерівність робочого колеса

У разі дисбалансу ротора гармоніки частоти струму f_r , які визначаються згідно (2.4), викликають модуляцію фазного струму:

$$i_{ecc}(t) = i(t) + \frac{\sqrt{2}}{2} I_1 \sum_{k=1}^K \left[I_{e1k} \cos(2\pi(f_s - kf_r)t - \alpha_{e1k} - \varphi) + I_{e2k} \cos(2\pi(f_s + kf_r)t - \alpha_{e2k} - \varphi) \right], \quad (2.10)$$

де f_s – основна частота; тобто $1/\alpha_{e1k}$, – амплітуда і кут початкової фази частоти модуляції $f_s - kf_r$; сінс, α_{e2k} , – амплітуда і кут початкової фази частоти модуляції $f_s + kf_r$.

У цьому випадку миттєва сила фази AD, при якій ротор розбалансований, визначається за формулою:

$$p_{ecc}(t) = i_{ecc}(t)u(t) = P_0 + U_1 I_1 \cos(\varphi) \cos(2\omega t) + U_1 I_1 \sin(\varphi) \sin(2\omega t) + \sqrt{2} U_1 \cos(2\omega t) \sum_{k=1}^K \left[I_{e1k} \cos(2\pi(f_s - kf_r)t - \alpha_{e1k} - \varphi) + I_{e2k} \cos(2\pi(f_s + kf_r)t - \alpha_{e2k} - \varphi) \right], \quad (2.11)$$

Нерівність ротора призводить до появи лімбових фаз у спектрі потужності щодо основних гармонік на частотах $2f_s - kf_r$ і $2f_s + kf_r$ та додаткових гармонік на kf_r .

2.2.3 Пошкодження статорних печей

На відміну від (2.8), який модулюється через виникнення коротких замикань в кабелі, фазний струм статора можна описати виразом:

$$i_m(t) = i(t) [1 + I_m \cos(2\pi f_{st} t - \varphi)] = \quad (2.12)$$

$$= i(t) + \frac{\sqrt{2}}{2} I_1 + I_m [\cos(2\pi f_{st} t - \varphi)],$$

де I_m – амплітуда частоти моделювання; f_{st} – частоти модуляції згідно (2.5); φ – ковзання. Відповідно до виразу (2.12) у спектрі фазового струму, крім гармонік основної частоти, входять гармоніки з частотами f_{st} , які залежать від конструктивних особливостей машини і визначаються згідно (2.5).

Модульна фазова сила потім описується таким виразом:

$$p_m(t) = i_m(t) u(t) = \quad (2.13)$$

$$= P_0 + U_1 I_1 \cos(\varphi) \cos(2\omega t) + U_1 I_1 \sin(\varphi) \sin(2\omega t) +$$

$$+ \frac{1}{2} I_1 I_m U_1 \cos(2\pi f_{st} t - \varphi) \cos(2\omega t).$$

Отже, виникнення дисбалансу в обмотках статора, що виникає в результаті коротких замикань, призводить до зменшення спектру гармонічного енергетичного сигналу на частотах модуляції f_{st} і підключення їх до основної частоти живлення.

2.2.4 Пошкодження підшипників

Вібрації, викликані дефектами підшипників, матеріалізують сигнал струму з частотою, зазначеною в (2.6). Після вібрації підшипника модуляцію струму можна визначити наступним чином.

$$i_{brg}(t) = i(t) + \frac{\sqrt{2}}{2} I_1 \sum_{k=1}^K \left[I_{b1k} \cos(2\pi(f_s - kf_{brg})t - \alpha_{b1k} - \varphi) + \right.$$

$$\left. + I_{b2k} \cos(2\pi(f_s + kf_{brg})t - \alpha_{b2k} - \varphi) \right],$$

де f_s – основна частота; I_{b1k}, α_{b1k} , – амплітуда і кут початкової фази частоти модуляції $f_s - kf_{brg}$; I_{b2k}, α_{b2k} , – амплітуда і кут початкової фази частоти модуляції $f_s + kf_{brg}$.

На відміну від (2.11), миттєва потужність фази дві уна, яка розриває підшипники, визначається як:

$$\begin{aligned}
 p_{brg}(t) &= i_{brg}(t)u(t) = \\
 &= P_b + U_1 I_1 \cos(\varphi) \cos(2\omega t) + U_1 I_1 \sin(\varphi) \sin(2\omega t) + \\
 &+ I_1 U_1 \cos(2\omega t) \sum_{k=1}^K \left[I_{b1k} \cos(2\pi(f_s - kf_{brg})t - \alpha_{b1k} - \varphi) + \right. \\
 &\left. + I_{b2k} \cos(2\pi(f_s + kf_{brg})t - \alpha_{b2k} - \varphi) \right],
 \end{aligned}$$

Недоліками підшипників є поперечні гармоніки в спектрі потужності фаз АД по відношенню до основних частот з частотами $2f_s - kf_{brg}$ і $2f_s + kf_{brg}$, додаткові гармоніки на частоті kf_{brg} і гармоніки, що виникають в результаті поєднання частоти f_{brg} з множенням частоти.

2.2.5 Погана якість з'єднань двигуна

За наявності низького монтажного тиску АД гармоніки повітряного зазору в статорних печач генерують електрорушійні сили та гармоніки струму статора на певних частотах. На жаль, це ті самі частоти, на яких працююча машина генерує гармоніки струму статора. Пошкодження статора може вплинути лише на амплітуду цих гармонік. Тому питання визначення наявності неякісних моторних комплектів на основі аналізу електричних сигналів потребує подальших досліджень.

2.3 Теоретичні основи аналізу сигналу напруги

В даний час методи діагностики АТ, засновані на аналізі сигналу напруги, лише розроблені і надзвичайно надійні. Для аналізу використовується спектр напруги нейтрального провідника або сигнал високочастотної несучої [20]. У першому випадку результат діагностики багато в чому залежить від якості напруги живлення, яка зазвичай не ідеальна в мережах НН з ВП. У разі другого способу виникає необхідність використання додаткового обладнання для формування тестового сигналу несучого. Обидва методи, незважаючи на свою простоту, не є надійними і не підходять для належного аналізу низьковольтних мережевих двигунів з низькою напругою живлення.

ГЛАВА 3 ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГЕС ТА ВІДКРИТТЯ АСИНХРОННИХ ДВИГІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ СИГНАЛУ СИГНАЛУ.

3.1 Розробка методу енергетичного аналізу асинхронних двигунів на основі аналізу експериментальних сигналів фазних струмів і напруги статора

Щоб визначити артеріальний тиск за сигналом споживання енергії, спочатку виміряйте його продуктивність. У більшості випадків у промислових умовах єдиними параметрами, які можна легко виміряти, записати та оцінити, є струми та напруги статора двигуна [70, 71, 81, 147, 148]. Інші параметри, що характеризують енергію ефективність роботи електромеханічних пристроїв можна визначити непрямими методами. Запропоновано метод аналізу енергетичної ємності асинхронних машин, який базується на аналізі експериментальних сигналів фазного струму та напруги статора ВР [19].

Розроблена методика передбачає використання миттєвих параметрів потужності АТ, які можна звести до стандартних у статичних режимах.

Розрахунок енергетичних параметрів здійснюється наступним чином.

Загальна миттєва активна сила трьох фаз визначається як сума миттєвих активних сил кожної фази (рис. 4.1):

$$p_{\Sigma}(T) = T_{ak_1}(T) i_1(T) + T_{ak_2}(T) i_2(T) + T_{ak_3}(T) i_3(T), \quad (3.1)$$

де $T_{ak_1}(T)$, $T_{ak_2}(T)$, $T_{ak_3}(T)$ - фазні напруги; $i_1(T)$, $i_2(T)$, $i_3(T)$ - фазні струми.

Рис. 3.1 - Безпосередні значення активної, реактивної та сумарної сили. Криві миттєвої та повної реактивної потужності визначають при визначенні миттєвого коефіцієнта потужності $\cos(\varphi(T))$ (Малюнок 3.2), який розраховується шляхом проходження трифазної системи струму та напруги до ортогональної:

$$\varphi(t) = \text{artg} \left(\frac{u_Y(t)}{u_X(t)} \right) - \text{artg} \left(\frac{i_Y(t)}{i_X(t)} \right), \quad (3.2)$$

де

$$u_X(t) = \frac{2}{3} u_A(t) - \frac{1}{3} u_B(t) - \frac{1}{3} u_C(t),$$

$$u_Y(t) = \frac{1}{\sqrt{3}} u_B(t) - \frac{1}{\sqrt{3}} u_C(t),$$

$i_X(t)$ - 2- проекції сигналів напруги та струму на осях X і Y ортогональної системи координат.

При відсутності синусоїди та асиметрії струмів і напруг $\cos(\varphi(T))$ плавний вигин, прямих у осі чіткого положення. При відсутності синусоїдальної і

асиметрії потужності, структурної асиметрії і нелінійності існуючих АД на кривій коефіцієнта електричної потужності вібрації виникають з подвійними і більш високими частотами, але середнім значенням циклу напруги живлення дорівнює середньому значенню коефіцієнта сили.

Розрахунки наведені для типу БП МФ-011-63 з параметрами $P_n = 1,4$ кВт, $U_n = 380$ В, $I_n = 5,3$ А, $n_n = 885$ об/хв з прямим пуском на холостому ході та ескізом 20% номінального навантаження. . . .

Рис. 3.2 - Коефіцієнт миттєвої сили

Розрахунок електромагнітної сили (рис. 3.3) можна виконати двома способами: на основі споживання енергії та результуючого потокового зв'язку.

На основі аналізу споживання енергії та втрат потужності в статорі:

$$n_{\psi}(T) = n_i(T) - \Delta n_{mi}(T) - \Delta n_{st}(T), \quad (3.3)$$

де $n_i(T)$ - споживання енергії, $\Delta n_{mi}(T)$ - втрати між статора,

$\Delta n_{st}(T)$ - втрати в сталі.

Втратив мідному статорі визначається таким виразом:

$$\Delta n_{mi}(T) = i_f(T)P_f + i_\sigma(T)P_\sigma + i_c(T)P_c. \quad (3.4)$$

На основі отриманих флюсів:

$$(3.5) \quad \left[p_u(t) = \left[\frac{d\psi_A(t)}{dt} i_A(t) + \frac{d\psi_B(t)}{dt} i_B(t) + \frac{d\psi_C(t)}{dt} i_C(t) \right] - \Delta p_{cm}(t), \right]$$

$$\frac{d\psi_A(t)}{dt} = u_A(t) - i_A(t)R_A; \quad \frac{d\psi_B(t)}{dt} = u_B(t) - i_B(t)R_B; \quad \frac{d\psi_C(t)}{dt} = u_C(t) - i_C(t)R_C$$

- Похідні фазових сполук; R_A, R_B, R_C - активні опори фаз статора.

Рис. 3.3 - Активне ($p_l(t)$) та електромагнітне споживання ($n_{\psi}(t)$) сила

Втрати в сталі (рис. 3.4) визначаються величиною магнітного потоку в повітряному зазорі ВР або його аналогом - ЕРС в повітряному зазорі:

$$\Delta p_{cm}(t) = e_z^2(t) [k_{ec} f_1^2 + k_z f_1], \quad (3.6)$$

де k_{ec} і k_z - коефіцієнти втрат для вихрових струмів і навіпки, відповідно; -

Модуль миттєвого вектора ЕРС

Електромагнітне поле в повітряному проміжку визначається так

$$e_A(t) = \frac{d\psi_A(t)}{dt} - L_A \frac{di_A(t)}{dt}; \quad e_B(t) = \frac{d\psi_B(t)}{dt} - L_B \frac{di_B(t)}{dt};$$

$$e_C(t) = \frac{d\psi_C(t)}{dt} - L_C \frac{di_C(t)}{dt},$$

де L_A, L_B, L_C - індуктивності витоків фази статора.

НУБІП України

Рис. 3.4 - Миттєва втрата міді $\Delta p_{MI}(T)$, в сталі $\Delta p_{NS}(T)$,

механічний $\Delta p_m(T)$

і разом $\Delta p_\Sigma(T)$

Розрахунок електромагнітного поля в повітряному зазорі вимагає розрахунку генерованих струмів, а також наявності даних про значення індукції фазового розсіювання статора.

При активних фазових опорах статора відносно легко отримати спостережуваний електромагнітний момент. Його відмінність від реального залежить від безпосередніх значень втрати сталі. Слід зазначити, що миттєві значення змін електромагнітного моменту отримують з миттєвих потужностей:

$$m_{\mu 1}(t) = \frac{P_\mu(t)}{\omega_0} \quad (3.7)$$

і крутний момент на основі потоків:

$$m_{\mu 2}(t) = \frac{P}{\sqrt{3}} \left[\begin{array}{l} (\psi_C(t) - \psi_B(t)) i_A(t) + \\ + (\psi_A(t) - \psi_C(t)) i_B(t) + \\ + (\psi_B(t) - \psi_A(t)) i_C(t) \end{array} \right] \quad (3.8)$$

в дрізняються, а їх середні значення в часі збігаються (рисунки 3.5). Криву крутного моменту для споживання та втрати потужності можна отримати в будь-який момент.

Рис. 3.5 - Лінії електромагнітного моменту

$m_{\mu 1}(T)$ - крутний момент, отриманий від миттєвої сили;

$m_{\mu 2}(T)$ - крутний момент, отриманий на основі гіроромфрт.

Використання розрахункового електромагнітного моменту дозволяє непрямим методом розрахувати кутову швидкість двигуна, тоді як момент навантаження розраховується як середнє значення електромагнітного моменту в усталеному режимі.

$$\text{де } J \text{ — момент інерції; } M_C \quad \omega(t) = \frac{1}{J} \int (m_{\mu 1}(t) - M_C) dt \quad (3.9)$$

Визначення миттєвих значень $m_{\mu 1}(t)$ та $m_{\mu 2}(t)$ дозволяє розрахувати крутний момент і потужність на валу ВР:

$$m_B(t) = \frac{P_\mu(t) - \Delta p_m(t)}{\omega(t)} \quad (3.10)$$

де $\Delta p_m(T)$ - негати механічне

Для непрямого розрахунку швидкості обертання ВР метод з використанням

електромагнітного моменту, який розраховується за струмами та потікосополученнями, найкраще відповідає експериментальній кривій за стандартним відхиленням (рисуюнок 3.6).

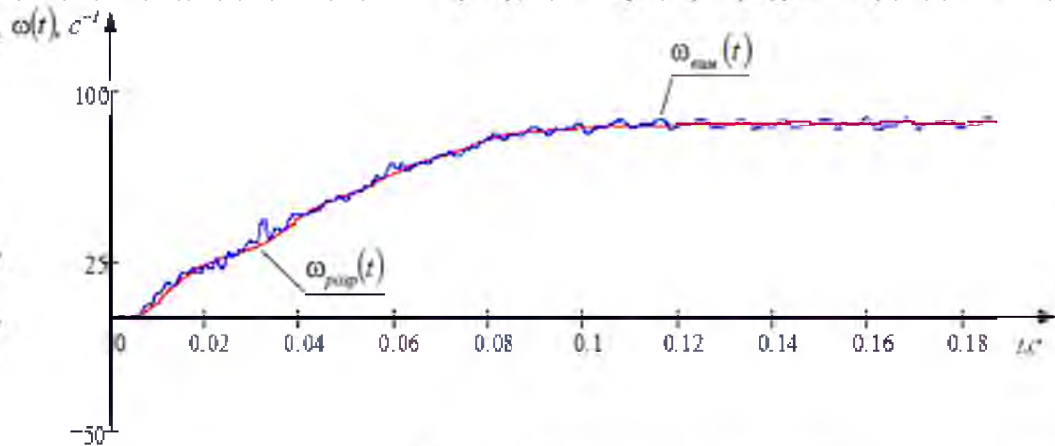


Рис. 3.6 - Криві швидкості, розраховані непрямим методом (ω належним чином (T)) і отримано експериментальним шляхом (ω бдобрість (T))

Врахування миттєвих втрат сталі підвищує точність розрахунків електромагнітного моменту, крутного моменту на стовбурі свердловини та енергетичних параметрів, що підтверджує відповідність розрахункових та експериментальних ВР швидкостей ліній.

Іншим недоліком існуючої системи номінації енергії для електромеханічних пристроїв є те, що ККД двигуна, розрахований стандартними методами в статичних режимах, не допускає зміни потоку енергії під час пуску та роботи. режими гальмування. Тому пропонується розрахувати миттєві значення ККД всієї електричної машини, а також розкласти цей параметр на ККД статора і ротора відповідно до конструктивної будови пристрою. АТ (рисуюнок 3.7). Для ефективності статора потужність, що розсіюється з мережі p_{Σ} , приймається як споживана потужність і корисна електромагнітна сила $p_{\Sigma 1}$, яка передається через повітряний зазор від статора до ротора. Споживана потужність p_{Σ} використовується для розрахунку ККД ротора $\eta_{\Sigma 2}(t)$ і як корисне - зусилля на валу $p_2(t)$. Аналіз працездатності статора та ротора дозволяє виявити джерела погіршення енергетичних показників артеріального тиску та локалізацію дефекту.

Рис. 3.7 - Одночасний ККД статора, ротора та електричної машини в цілому

Запропонований метод дозволяє оцінити енергетичні характеристики ВП за низькою напругою живлення, конструктивною асиметрією та параметрами електричної машини та зміною режимів її роботи, що може бути використано для оцінки поточного технічного стану та його діагностики. Перевага цього методу полягає в тому, що він дозволяє витратити менше часу на аналіз даних, ніж метод, який розділяє сигнали струму та напруги на гармоніки.

Послідовність визначення енергетичних параметрів ВП показано на рисунку 2.

3.8

Таким чином, на основі вимірних сигналів струмів і напруг розраховуються параметри джерела живлення за паспортними та вимірювальними даними джерела живлення (такі як активний опір, індуктивне розсіювання фазних обмоток статора, момент інерції), які потім використовуються для визначення діагностичні параметри. Розрахунковими параметрами є миттєві значення електромагнітного моменту, моменту в свердловині, силового коефіцієнта, миттєвої сили. На основі розрахованого електромагнітного моменту та механічних характеристик двигуна непрямим методом розраховується проміжна швидкість V_N , що дозволяє розрахувати одночасний крутний момент і ту саму силу ВР. Рекомендується враховувати різноманітність потоків енергії в електромеханічній системі під час пуску та гальмування, що ефект одноразової машини зазвичай розраховується, і аналізується показник ККД статора і ротора за структурою ВП. Запропонована методика дозволяє оцінити енергетичні характеристики ВП як частини електромеханічної системи з точки зору несинусоїдності та асиметрії напруги живлення, конструктивної несиметрії та параметрів електричної машини та зміни режимів її роботи. Перевага розробленого методу полягає в тому, що він вимагає менше часу на аналіз даних, ніж методи, що полягають у розкладанні сигналів струму та напруги на гармоніки, що важливо в системах моніторингу технічного стану електромеханічних пристроїв. Запропонована методика дозволяє оцінити енергетичні характеристики ВП як частини електромеханічної системи з точки зору несинусоїдності та асиметрії напруги живлення, конструктивної несиметрії та параметрів електричної машини та зміни режимів її роботи. Перевага розробленого методу полягає в тому, що він вимагає менше часу на аналіз даних, ніж методи, що полягають у розкладанні сигналів струму та напруги на гармоніки, що важливо в системах моніторингу технічного стану електромеханічних пристроїв. Запропонована методика дозволяє оцінити енергетичні характеристики ВП як частини електромеханічної системи з точки зору несинусоїдності та асиметрії напруги живлення, конструктивної несиметрії та параметрів електричної машини та зміни режимів її роботи. Перевага розробленого методу полягає в тому, що для аналізу даних порівняно з методами потрібно менше часу на аналіз даних, ніж методи, що полягають у розкладанні сигналів струму та напруги на гармоніки, що важливо в системах моніторингу технічного стану електромеханічних пристроїв. Запропонована методика дозволяє оцінити енергетичні характеристики ВП як частини електромеханічної системи з точки зору несинусоїдності та асиметрії напруги живлення, конструктивної несиметрії та параметрів електричної машини та зміни режимів її роботи. Перевага розробленого методу полягає в тому, що для аналізу даних порівняно з методами потрібно менше часу на аналіз даних, ніж методи, що полягають у розкладанні сигналів струму та напруги на гармоніки, що важливо в системах контролю технічного стану електромеханічних пристроїв. Запропонована

методика дозволяє оцінити енергетичні характеристики ВП як частини електромеханічної системи з точки зору несинусоїдності та асиметрії напруги живлення, конструктивної несиметрії та параметрів електричної машини та зміни режимів її роботи. Перевага розробленого методу полягає в тому, що для аналізу даних порівняно з методами, Запропонована методика дозволяє оцінити енергетичні характеристики ВП як частини електромеханічної системи з точки зору несинусоїдності та асиметрії напруги живлення, структурної асиметрії, та параметри електричної машини та зміни режимів її роботи. Перевага розробленого методу полягає в тому, що для аналізу даних порівняно з методами, Запропонована методика дозволяє оцінити енергетичні характеристики ВП як частини електромеханічної системи з точки зору несинусоїдності та асиметрії напруги живлення, конструктивної несиметрії та параметрів електричної машини та зміни режимів її роботи. Перевага розробленого методу полягає в тому, що для аналізу даних порівняно з методами,

3.2. Розробка критеріїв діагностики асинхронних двигунів за аналізом сигналу потужності

3.2.1 Обґрунтування діагностичних показників на основі аналізу сигналу споживаної потужності

Як зазначалося [119–121, 123, 139], аналіз поточного стану електромобіля, а також прогноз його залишкового терміну служби та потреби в ремонті можна виконати шляхом аналізу процесу перетворення електроенергії машиною.

Однією з характеристик енергетичних процесів ВР є потужність, яку вони споживають. Як зазначалося в першій частині, оцінка артеріального тиску шляхом аналізу сигналу споживання енергії є перспективною, оскільки не вимагає великих ресурсів пристрою: використання датчиків струму та напруги, інших розрахунків непрямыми методами, і не вимагає вилучення обладнання з виробничого процесу, тому його можна використовувати як систему моніторингу поточної ситуації. У розділі 2, математичні вирази для визначення спектральних частот електричного сигналу, які є результатом найбільш поширених дефектів. Однак у разі низького живлення збоїв у живленні та наявності кількох несправностей одночасно діагностувати ці частоти може бути важко. Тому виникає потреба в розробці додаткових діагностичних можливостей на основі аналізу електричного сигналу з метою підвищення точності діагностики.

На форму та характеристики сигналу споживаної потужності істотно впливає напруга в мережі, яка оцінюється за допомогою стандартизованих показників якості енергії [99, 66, 143]. В даний час надто мало уваги приділяється вивченню взаємодії якості електроенергії та електромеханічного перетворювача з поганою продуктивністю в реальних умовах експлуатації. Тому виникає

потреба проаналізувати комплексний вплив низьких і низькоякісних параметрів потужності та недоліків електромеханічних приймачів на зміну форми та характеристик сигналу споживання електроенергії. Для цієї мети, Як зазначалося в главі 1, діагностичні параметри аналізу технічного стану ДБЖ повинні мати строго визначене значення і давати інформацію про причини зміни форми сигналу споживаної потужності та ступеня погіршення загального технічного стану машини. При розробці діагностичних параметрів також необхідно враховувати значення поточного навантаження або працювати зі значеннями контрольованого параметра (наприклад, номінальне значення параметра).

У [2, 14, 67, 77, 119] підкреслюється, що сила нестійкості Це фізична величина, яка відображає процеси генерації та відновлення енергії між джерелом і реципієнтом. Характеристики, що відображають характеристики режимів роботи та технічний стан пристроїв в системі «асинхронні двигуни – живлення», слід визначити шляхом аналізу миттєвих складових потужності: середньої вартості, змінних частин тощо та її особливостей.

Рекомендується виконувати базовий аналіз за спектром електричного сигналу – три загальні фази та одна для фаз двигуна окремо.

Відомо, що при ідеальних параметрах мережі та двигуна введення трифазного сигналу живлення відбувається прямолінійно. Наявність значної змінної складової сили зазвичай пов'язана з дефектом або несправністю машини або технологічного навантаження і вказує на необхідність додаткового аналізу для визначення джерела її походження. Аналіз експериментальних даних показав, що робота ВП зі змінною часткою більше 10% від номінального значення потужності свідчить про незадовільний технічний стан двигуна. При цьому амплітудне обмеження частини змінної потужності слід визначати залежно від потужності двигуна та вимог технологічного механізму. Щоб врахувати цей коефіцієнт потужності вищої гармоніки, пропонується:

$$K_{P_{vz}} = \frac{\sqrt{\sum_{v=1}^{N-1} P_v^2}}{P_n}, \quad (3.11)$$

де P_n — номінальна сила; P_v — амплітуда гармоніки v -тої сили.

В ідеалі в трифазному силовому сигналі немає вищої гармоніки, коефіцієнт дорівнює нулю. Коефіцієнт враховує значення змінної складової потужності по відношенню до номінального значення, що дає можливість оцінити неможливість продовження роботи пристрою в поточних умовах експлуатації.

Оскільки коливання різного роду можуть з'являтися в спектрі не тільки на мультиплікаційних частотах основного джерела живлення, а й у вигляді поперечних гармонік багатьох симетричних гармонік [106], то спектр частоти трифазної миттєвої сили для частотного аналізу він був розділений на кілька регіонів:

0–5 Гц — область постійної складової;

6–45 Гц - область низькочастотних складових;
 46–55 Гц - основна смуга частот живильної мережі;
 56–95 Гц - суміжна смуга бічних частот основної та подвійної мережевої частоти;

– 96–105 Гц вдвічі перевищує частоту мережі.

Далі за аналогією: 106–195 Гц, 206–295 Гц, > 306 Гц - суміжні області; 196–205 Гц, 296–305 Гц, 396–405 Гц, 496–505 Гц, 596–605 Гц - гармонічні зони в кілька разів перевищують частоту мережі. Для оцінки частки/гармонік певних частот у загальній величині потужних гармонік пропонується використовувати квадрат середньоквадратичного значення гармонік певного діапазону до квадрата середньоквадратичного значення всіх вищих гармонік:

$$K_{\text{зрпм}(N_1+N_2)} = \frac{\sum_{k=N_1}^{N_2} P_k^2}{\sum_{k=1}^{N-1} P_k^2}, \quad (3.12)$$

де N - загальний номер гармоній спектру; N_1, N_2 - відповідно початкове і кінцеве значення частоти гармоній досліджуваного простору.

Цей коефіцієнт дозволяє розрахувати частку вищих гармонік конкретного діапазону/частот, що визначає виникнення конкретного типу дефекту в сумарному значенні гармонік вищої потужності.

Як додаткові діагностичні критерії можуть бути використані наступні фактори. На основі гармонійних складових сигналу коефіцієнт потужності полігармонічного струму та напруги можна розрахувати таким чином:

$$K_\varphi = P_0 / \sqrt{P_0^2 + \sum_{k=1}^{K-1} Q_k^2}, \quad (3.13)$$

де P_0 - постійна складова електричного сигналу;

$Q_k = \sum_{n=0}^{k-1} (I_a U_{b_n} - I_b U_{a_n})$ - активна сила k -ї гармоніки,

зідку $k = m \pm n$, де m, n - порядкові номери гармонік струму та сили. При наявності струмових сигналів і несинусоїдальної напруги через недостатнє живлення або наявність несправностей або пошкодження двигуна K -фактор φ змінюється, викликані появою додаткових гармонічних складових сигналів. Таким чином, змінюючи цей фактор, можна зробити висновок про погіршення якості споживання електроенергії та можливості подальшої роботи ВП у такому режимі, який використовується для оцінки загального технічного стану.

Для оцінки інтегральної асиметрії артеріального тиску, яка може бути результатом як недостатньої потужності, так і дефекту апарату, пропонується використовувати середньозважену амплітуду k гармоніку фаз споживання електроенергії в окремих фазах:

$$P_{\varphi_{iv}} = \frac{P_{iv}}{Pa_v + Pb_v + Pc_v}; \quad (3.14)$$

$$|\varphi_{\varphi_{iv}} = \frac{\varphi_{iv}}{\varphi a_v + (\varphi b_v + 2\pi/3) + (\varphi c_v + 4\pi/3)}; \quad (3.15)$$

Вирази виражають відношення v -амплітуди гармонії або фази сили однієї з фаз до загального значення амплітуд гармонік або фаз сумарної сили трьох фаз одного порядку. В ідеалі співвідношення для всіх фаз становить $1/3$ [92]. Аналіз найкраще проводити при $v=2$, оскільки сигнали фазової потужності двигуна вібрають з частотою, що вдвічі перевищує частоту джерела живлення, тобто ця гармоніка завжди присутня в сигналі і на її значення впливає більша потужність гармонії, що виникають внаслідок різних поганих якостей.

З метою всебічного аналізу характеристик електричних сигналів, окрім запропонованих пропозицій, представлено ефективність споживання енергії, що характеризується загалом і в автомобільному циклі [141]:

- загальний коефіцієнт, що характеризує низьку якість перетворення в цілому:

$$\varepsilon_p = \frac{P_\theta}{P_s} 100\%.$$

- Повільний коефіцієнт конверсії поетапно:

$$\varepsilon_{pi} = \frac{P_{\theta i}}{P_e} 100\%.$$

де $i = A, B, C$ - фаза АД; -
потужності;

$$P_\theta = \frac{1}{T} \int_0^T \sum_i p_i(t) dt$$

середнє значення трифазної

- середнє значення фазної потужності;

$$P_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (p(t))^2 dt}$$

- значення еквівалентної потужності двигуна

3.2.2 Інформаційне дослідження показників якості енергії та індикаторів, що формуються на основі аналізу силового сигналу для діагностики асинхронних двигунів.

Як зазначалося в попередніх розділах, аналіз характеристик і аналіз частотного спектру сигналу споживаної потужності за наявності дефектів і низької якості АД можна використовувати для діагностичних процедур та оцінки існуючого технічного стану ВП. Однак зміни технічного стану БП по-різному відображаються на розвитку різного роду дефектів значень сформованих показників. Це означає, що індикатор надає більше інформації при виявленні деяких типів недоліків і може бути більш інформативним при виявленні інших.

Усвідомленість показника виявлення конкретного виду пошкодження чи дефекту — це інтенсивність зміни його величини під час розвитку дефекту. Для інформаційного аналізу показників якості енергії та показників для діагностики гіпертонічної хвороби з використанням математичних моделей були отримані миттєві значення вихідних сигналів, на основі яких проводився подальший аналіз, у тому числі: миттєві значення струмів, напруг і сил для різного ступеня пошкодження або розвитку низького артеріального тиску.

Випробування проводилися для біполярної моделі ВР АО90SC-4Q1,1 кВт, 1410 об/хв; 2,8 А), для умов холостого ходу та значень відносного крутного моменту навантаження 0,5Mn, Mn, 1,5Mn.

З метою аналізу впливу якості параметрів напруги на непошкоджений двигун за допомогою математичних моделей досліджено такі режими:

– живлення від симетричної синусоїдної мережі;

– жка3 несинусоїдальна симетричний мережі (доступно гармоніки 3);

– жка3 несинусоїдальна симетричний мережі (є гармонії 3 і 5);

– живлення від несинусоїдної асиметричної мережі (виникають гармоніки 3 і 5, амплітуди гармонік відрізняються по фазах).

Проведено моделювання для умови з'єднання печей типу АД з нулем. Для спрощення аналізу решту експериментів проводили з урахуванням того, що двигун працював від синусоїдної мережі. Тому, щоб дослідити вплив якості з'єднання ВР з базами на електричні сигнали, було змодельовано роботу ВР шляхом розриву основи та жорсткості з однаковими та різними коефіцієнтами жорсткості в точка замикання. Досліджено вплив дисбалансу на випадки динамічного дисбалансу від 10 до 50%, а також на динамічний і статичний дисбаланс. Досліджено несиметричність роботи статорних печей за наявності несиметрій від 10 до 40%. Розривний ефект стрижнів ротора досліджувався для випадків обриву від однієї до трьох сусідніх канавок або розташованих у різних частинах вала ротора. Моделювання роботи ВР за наявності обмоток короткого замикання однієї з фаз виконано для обмоток короткого замикання 10-70% обмоток (табл. 3.1). Таблиця містить наступні коментарі: U1, U3, U5 - амплітуди першої, третьої і п'ятої гармонік напруги за умови, що їх значення рівні за фазами; c1, c2, c3 – коефіцієнти жорсткості опор відповідно лівої, правої та основної величини, які відповідають сумарній жорсткості (c3 = 500 000); Моделювання роботи ВР за наявності обмоток короткого замикання однієї з фаз виконано для обмоток короткого замикання 10-70% обмоток (табл. 3.1). Таблиця містить наступні коментарі: U1, U3, U5 - амплітуди першої, третьої і п'ятої гармонік напруги за умови, що їх значення рівні за фазами; c1, c2, c3 – коефіцієнти жорсткості опор відповідно лівої, правої та основної величини, які відповідають сумарній жорсткості (c3 = 500 000); Моделювання роботи ВР за наявності обмоток короткого замикання однієї з фаз виконано для

обмоток короткого замикання 10-70% обмоток (табл. 3.1). Таблиця містить наступні коментарі: U_1, U_3, U_5 - амплітуди першої, третьої і п'ятої гармонік напруги за умови, що їх значення рівні за фазами; c_1, c_2, c_6 - коефіцієнти жорсткості офер відповідно лівої, правої та основної величини, які відповідають сумарній жорсткості ($c_6 = 500\ 000$); ε - коефіцієнт відносної асиметрії статорної печі; w - кількість коротких витків кольору.

Ладвалі 3.1 - ступінь пошкодження в математичних моделях ВР

Показати дефект	Номер досвіду			
	1	2	3	4
Низька напруга живлення	Синусоїдальна симетрична мережа	$y_3 = 0,3U_1$	$y_3 = 0,3U_1$ $y_5 = 0,1U_1$	$U_3 = 0,3U_1$ $0,2c_6 = 0,2U_1$ $b_5 = 0,2U_1$ $Uc_5 = 0,1U_1$
Неякісні ров'єми	$C_1 = C_6$, $C_2 = 0,9C_6$	$C_1 = 0,5C_6$ $C_2 = 0,45C_6$	$C_1 = 0,05C_6$ $C_2 = 0,045C_6$	$C_1 = 0,005C_6$ $C_2 = 0,0045C_6$
Нерівність ротор	динамічний, 10%	динамічний, двадцять%	динамічний, 50%	динамічний, 50% статичний 10%

Продовження таблиці 3.1

Асиметрія статорної печі	$\varepsilon = 0,9$	$\varepsilon = 0,8$	$\varepsilon = 0,65$	$\varepsilon = 0,4$
Поломка стрижнів ротора	Зламати палицю	Верхня частина цих двох не знаходиться	Розламати три сусідні палички	Зламати два сусідніх бруска
Резерв струму короткого замикання	$C = 10\%$	$C = 20\%$	$C = 50\%$	$C = 70\%$

На основі отриманих даних були отримані струми, напруги та потужності, спектри сигналів струмів і фаз, а також загальна споживана потужність трьох фаз, а також систематичні діагностичні показники та їх інформативність для діагностики різних типів. були розраховані дефекти.

Середньозважені показники потужності за ступенями

Небаланс потужності відображається в сигналі потужності. Таким чином, перевірений коефіцієнт буде чутливим до наявності асиметрії мережі, але для забезпечення несинусоїдної, але симетричної потужності значення коефіцієнта залишаться незмінними по фазі.

Низька якість добавок АД суттєво не змінює електромагнітні параметри АТ за фазами, тому різниця в цьому співвідношенні не перевищує 1-2%, що не відомо з діагностики. тип дефекту.

Як був показано бути, відсутність рівноваги ротор має вплив на утворення магнітних струмів у повітряному просторі, а отже і на величину струмів у фазах. Це означає, що за наявності даного ураження ВН також порушується симетрія параметрів ВП за фазами, що може бути використано як інформативний ознака при діагностиці АТ. В присутності асиметрії статорних печей або печей, сильно порушується симетрія параметрів машини, що призводить до значної різниці коефіцієнтів, перевірених у фазі.

При роботі двигуна з розривом ротора ротора при навантаженнях, нижчих за номінальні, істотної різниці цих параметрів за фазою немає. Однак із збільшенням навантаження показники значно погіршуються.

Тому цей коефіцієнт використовується для діагностики асиметричних методів роботи БП, таких як асиметрія мережі, асиметрія обмотки статора через руйнування або асиметрія конструкції печей, а також наявність дисбалансу ротора, що викликає симетрію.

Коефіцієнт потужності полігармонічних сигналів K_p

При наявності пошкоджень значень фактор потужності полігармонічних сигналів у стані спокою. Детальніше, по відношенню до співвідношення за відсутності пошкоджень. Це пов'язано з тим, що в разі пошкодження частина

використаної енергії йде на додаткові втрати. При цьому при роботі під навантаженням у разі відмови коефіцієнт потужності полігармонічних сигналів менше ідеалізованого коефіцієнта потужності ВР, оскільки при однаковій споживаній потужності пошкоджена машина має більше додаткових втрат.

Найбільш інформативна зміна значення коефіцієнта потужності полігамних сигналів відбувається при наявності асиметрії або повороту обмотки статора - величина коефіцієнта змінюється в межах 20% з розвитком дефектів від 10 до 70% короткого замикання. обмотка ланцюга. зміна однієї з фаз і відносна асиметрія від 0,9 до 0,4 дюйма. w У таких випадках коефіцієнт істотно змінюється під час простою та під навантаженням.

При тріщині сердечників ротора змінюється перевіреним коефіцієнт роботи під навантаженням (в межах 10% від номінального навантаження під час розриву, від 8 до 25% сердечників ротора). Водночас у випадку безробіття вона майже не змінюється.

В інших випадках зміна коефіцієнта пошкодження незначна, тобто фактор недостатньо інформативний для діагностики пошкодження.

Таким чином, коефіцієнт потужності полігармонічних сигналів використовується при оцінці поточного технічного стану ВП для діагностики пошкоджень обмоток ротора і статора ВП: при наявності такого виду пошкоджень він значно знижує значення коефіцієнта. під час роботи при номінальному навантаженні та на холостому ходу. Подальші випробування на холостому ходу виявляють причину зносу - слабкий ротор (коефіцієнт холостого ходу дещо відрізняється від мотора без пошкоджень) або статор (коефіцієнт холостого ходу набагато важливіший).

У цю групу коефіцієнтів входять процеси та несинусоїдні сили несинусоїдних коефіцієнтів (K_{Ins} , K_{Pns}) та асиметрії (KI_{as} , $KPas$).

Тому що дослідження (крім ідеальної ситуації з харчуванням) джерело низької якості), враховуючи, що випробувані моделі двигунів, що живляться від синусоїдального симетричного джерела, не враховують стандартизовані показники якості електроенергії за напругою. Оскільки електричний сигнал формується за допомогою сигналів струму і напруги, і в цьому випадку напруга ідеальна, має сенс розглядати індикатори тільки для струмових сигналів.

При завантаженні непошкодженої або асиметричної мережі до непошкодженої машини струми машини також будуть несинусоїдальними або асиметричними. Зміна якості кріплення машини до основи мало впливає на формування вищих гармонік у сигналі струму, а аналізований для експериментів коефіцієнт для БП із значенням жорсткості та абсолютної жорсткості не перевищував 1%. 0,5% від оригіналу.

Досліджуючи різні види дисбалансу, було встановлено, що найважливішим внеском у формування високіх гармонік струмового сигналу є статичні та змішані дисбаланси. Таким чином, при 10% статичному дисбалансі значення коефіцієнта також змінюється в межах 10% у випадку безробіття. При цьому при виникненні до 20% динамічного дисбалансу значення коефіцієнта зменшується менше ніж на 1%.

Наявність обмоток і асиметрія обмоток статора призводять до найбільшої несинусоїдної фази асиметрії - до 30%, порівняно з іншими фазами, до 10% асиметрії.

Обрив стрижнів ротора призводить до збільшення несинусоїдних струмів із збільшенням навантаження. Однак інформативного фактора для діагностики цього виду пошкодження немає, тому що при зламанні навіть 25% деревини його величина змінюється на один відсоток у стані спокою і до 2 відсотків у разі вищезгаданого навантаження.

При неправильному монтажі основи ротор розбалансований, асиметрія струму незначна (менше 1%). При розриві стрижнів ротора асиметрія струму дещо збільшується (2-5%). Найважливіша асиметрія струму виникає при наявності коротких замикань і асиметрії обмоток, а за відсутності однієї з фаз може досягати 100% (приблизно 100% обмоток замкнені, що неможливо в реальних умовах).

Тому на основі аналізу отриманих сигналів у математичних моделях ВП з моделюванням найбільш поширених типів дефектів проводиться інформаційне дослідження встановлених у роботі діагностичних параметрів. За результатами аналізу можна зробити висновок, що перевірені коефіцієнти відображають процеси, що відбуваються при наявності певних видів пошкоджень, але не завжди можна правильно визначити тип пошкодження двигуна. Тому виникає потреба в комбінованому аналізі спектрів електричних сигналів і додаткових показників для формування правил діагностики окремих видів пошкоджень автомобіля.

3.3 Розробити метод аналізу артеріального тиску на основі аналізу сильного сигналу

3.3.1 Розробка правил (семантичних виразів) процедури оцінки технічного стану асинхронних двигунів

Визначено вище характеристики процедури (рис. 3.8.). ПЕРШО вихідні параметри для розрахунків діагностичних показників на основі попереднього розділу. Результати аналізу показали чутливість запропонованих коефіцієнтів до зміни режимів роботи ВВ через наявність або розвиток дефектів. Для використання цих коефіцієнтів у діючих системах оцінки технічного стану ПВ необхідно розробити правила, на основі яких існуюча система оцінки технічного стану ПВ зможе робити висновки щодо її функціонування операція. Правила формуються на основі відповідності значень створених показників значенням вібраційної швидкості для подібних режимів роботи обладнання відповідно до вимог ГОСТ ISO 10816-1-97 [50]:

– «Відмінно» - прилад працює від симетричного синусоїдального джерела

живлення в ідеальному стані, параметри артеріального тиску симетричні, без

пошкоджень, перетворює енергію без зайвої втрати паспорту; цей режим, як

правило, підходить для двигунів без пошкоджень і дефектів при найкращих

умовах експлуатації;

– «Добре» - обладнання працює в режимі, що відповідає передбачуваним

допустимим робочим параметрам, загальний стан параметрів

електропостачання та наявні дефекти або погана якість АТ істотно не

впливають на якість виконання технологічних операцій та погіршення стану

обладнання. . машина придатна для тривалої роботи;

– «Задовільно» - обладнання здатне виконувати технологічні операції з

передбачуваними вимогами з достатньою надійністю, але через додаткові

втрати через дефекти або погану якість експлуатація дуже неякісна, що

призводить до подальшого інтенсивного зниження артеріального тиску

негативний ефект. навколишнє середовище та персонал. Пристрій може

працювати в цьому режимі протягом певного періоду часу, поки його не

можна буде відремонтувати;

«Швидка допомога» – обладнання здатне виконувати технологічні операції, але це не гарантує якість їх роботи та надійність обладнання, є значна відстань від номіналу, втрачається багато енергії, рекомендується машина бути ретельно відремонтована та діагностована.

Початкову оцінку технічного стану ВП проводять шляхом порівняння отриманих на основі експериментальних даних коефіцієнтів з граничними коефіцієнтами, що відповідають одному з перерахованих вище режимів. Обмежувальні фактори розраховуються на основі аналізу даних математичних моделей БП з дефектами при моделюванні кожного режиму з урахуванням поточного навантаження.

За результатами попереднього аналізу для оцінки поточного технічного стану були обрані наступні фактори.

Коефіцієнт потужності полігармонічних сигналів K_{φ} . З цього коефіцієнта, враховуючи наше струмове навантаження, можна зробити висновок, що розсіювання потужності АД змінюється в результаті утворення сигналів струму і напруги вищих гармоній.

Чим вище коефіцієнт енергії гармоній K_{Rvg} . За гармоніками змінної складової потужності по відношенню до її номінального значення. Порівнюючи значення змінних складових потужності по відношенню до номінальних значень зі значеннями вібраційної швидкості, можна оцінити рівень безпеки подальшої роботи БП.

ККД η . Цей фактор також може бути використаний для оцінки ефективності споживання енергії.

Миттєве значення тепловтрат $\Delta n_{en} = \Delta n_{ml} + \Delta n_{zt}$ дозволяє визначити робочу температуру змійовика та ризик перегріву тимчасового збою тиску ВП.

В результаті були розроблені наступні правила оцінки поточного режиму роботи ВП.

Якщо правило дотримано:

$$(K_{\varphi} = K_{\varphi \text{ відн}}) \wedge (K_{Peg} = 0) \wedge (\eta = \eta_{ном}) \wedge (\Delta P_{zp} = \Delta P_{zp \text{ відн}}) = 1, \quad (3.16)$$

де K_{φ} належить чинам.

Двигун працює в «хорошому» стані, якщо правило справедливе:

$$(K_{\varphi \text{ хор}} \leq K_{\varphi} < K_{\varphi \text{ відн}}) \wedge (0 < K_{Peg} \leq K_{Peg \text{ хор}}) \wedge (\eta_{хор} \leq \eta < \eta_{ном}) \wedge (\Delta P_{zp \text{ хор}} \leq \Delta P_{zp} < \Delta P_{zp \text{ відн}}) = 1, \quad (3.17)$$

де $K_{\varphi \text{ хор}}$, $K_{Peg \text{ хор}}$, $\eta_{хор}$, $\Delta P_{zp \text{ хор}}$ - допустимі значення відповідних коефіцієнтів, визначені для «хорошого» стану двигуна. Таким чином, двигун буде працювати «задовільно», якщо:

$$\left(\begin{array}{l} (K_{\varphi} > K_{\varphi \text{зад}}) \wedge (K_{P_{\text{рез}}} > K_{P_{\text{рез}} \text{зад}}) \wedge \\ \wedge (\eta > \eta_{\text{зад}}) \wedge (\Delta P_{\text{зр}} > \Delta P_{\text{зр}} \text{зад}) \end{array} \right) \equiv \text{И} \\ \left(\begin{array}{l} (K_{\varphi} < K_{\varphi \text{хор}}) \vee (K_{P_{\text{рез}}} < K_{P_{\text{рез}} \text{хор}}) \vee \\ \vee (\eta < \eta_{\text{хор}}) \vee (\Delta P_{\text{зр}} < \Delta P_{\text{зр}} \text{хор}) \end{array} \right) = 1, \quad (3.18)$$

де K_{φ} , $K_{P_{\text{рез}}}$, η , $\Delta P_{\text{зр}}$ - Граничні значення відповідних факторів визначаються для «задовільного» стану двигуна.
Дотримуйтесь правила:

$$\left(\begin{array}{l} (K_{\varphi} > K_{\varphi \text{ог}}) \wedge (K_{M_{\text{рез}}} > K_{M_{\text{рез}} \text{ог}}) \wedge \\ \wedge (\eta > \eta_{\text{ог}}) \wedge (\Delta P_{\text{зр}} > \Delta P_{\text{зр}} \text{ог}) \end{array} \right) \equiv \text{И} \\ \left(\begin{array}{l} (K_{\varphi} < K_{\varphi \text{зад}}) \vee (K_{P_{\text{рез}}} < K_{P_{\text{рез}} \text{зад}}) \vee \\ \vee (\eta < \eta_{\text{зад}}) \vee (\Delta P_{\text{зр}} < \Delta P_{\text{зр}} \text{зад}) \end{array} \right) = 1, \quad (3.19)$$

де K_{φ} , $K_{P_{\text{рез}}}$, η , $M_{\text{рез}}$ - Допустимі значення відповідних коефіцієнтів, визначені для «оптимального» стану двигуна, свідчать про початок «оптимального» режиму роботи ВП.

Допустимі значення коефіцієнтів розраховують згідно з вимогами ГОСТ 183-74 [95] для відповідного типу двигуна при визначенні кожного режиму роботи БП.

Таким чином, за встановленими правилами можна контролювати працездатність ВП і при необхідності подавати попереджувальні сигнали. Розраховані значення теплових втрат $\Delta P_{\text{зр}}$ і коефіцієнта гармонічної сили $KR_{\text{гв}}$ можна використовувати для прогнозування залишкового терміну служби. Для цього необхідно знати основні параметри двигуна, для яких розраховується основний термін служби. Під час роботи через задані проміжки часу поточні значення робочих параметрів двигуна визначаються на підставі, в разі завищення часу, що залишився, за фактичними параметрами роботи двигуна. Запропонований системний алгоритм оцінки поточного стану артеріального тиску наведено на рисунку 2. 3.9.

Рис. 3.9 - Алгоритм оцінки поточного стану ВП (старт)

Рис. 3.9 - Алгоритм системи оцінки поточного стану ПЗ (виконується)

3.3.2. Розробка методу аналізу асинхронних двигунів на основі аналізу сигналів споживання енергії

Попередній аналіз даних математичного моделювання роботи ВП з різним ступенем просування розглянутих дефектів показав ефективність ідентифікації

дефектів на основі аналізу спектру потужності сигналу. Однак при аналізі даних АТ з незначним ступенем дефекту, за наявності електричних збоїв або за наявності кількох типів дефектів можуть виникнути помилки через неможливість визначити інформаційні характеристики дефектів специфічного сигналу потужності. спектр. Тому є потреба в додаткових діагностичних індикаторах для запобігання помилок діагностики. Також використовуються індикатори, описані в розділі 3. З метою всебічного аналізу спектру сили запропонованих діагностичних показників та розробки критеріїв виявлення конкретних недоліків.

Початковий аналіз показав, що більше інформації для процесу діагностики - коефіцієнти енергоефективності ϵ_n - загальний, $\epsilon_{\text{фазові}}$ - крок за кроком, - середньозважені значення фазових гармонік $P_{\text{сг}}$; - коефіцієнт потужності полігармонічних сигналів K_{ϕ} .

Для врахування впливу поганих параметрів живильної мережі додатково розраховувалися показники якості електроенергії [66, 67], у тому числі: показники дисбалансу напруги ϵ_2 , поточний індекс асиметрії ϵ_{I2} , індикатор дисбалансу потужності ϵ_{P2} , індекс для несинусоїдної напруги k_{nsU} , індекс для несинусоїдального струму I_{kns} . На малюнку. 4.10, 4.15, 4.17, 4.19, 4.21 порядкові номери графіків до порядкових номерів ступеня розвитку дефектів при формуванні діагностичних виразів для АД типу АО90С-4 (1,1 кВт, 1410 об/хв; 2, 8 А) і згоден. Аналіз амплітуд вищих гармонік трифазного спектру споживання електроенергії слід проводити, де загальне значення амплітуд вищих гармонік споживаної потужності становить не менше 2% від номінального значення ($K_{\text{Rvg}} \geq 0,02$), що усуває його дпо помилки вимірювань і розрахунків в результаті аналізу. При цьому виключається низькоамплітудний гармонічний аналіз, що дає можливість діагностувати дефекти. З комбінованого аналізу вищезазначених параметрів і спектру потужності частоти.

Непошкоджені двигуни в спектрі трифазного сигналу споживання електроенергії лише з невеликим значенням низькочастотних складових (рис. 3.10, рис. 1) через похибки при розрахунку математичної мінливості при розрахунку параметрів математичної моделі ВП. гармонік по відношенню до симетрії та частоти живильної мережі (50 Гц) (рисунок 3.11, б). Ці явища також пов'язані з помилками в математичних змінах. Основний відсоток вищих гармонік знаходиться в діапазоні 5-45 Гц (рисунок 3.11, а).

Оскільки двигун непошкоджений, складові коефіцієнти мають обмежені значення, що відповідають роботі ВП з синусоїдальними струмами та напругами. Отже, якщо дотримуватися правила:

$$(K_{\text{Рсг}} < 0,02) \wedge (\epsilon_{\text{РА}} = \epsilon_{\text{РВ}} = \epsilon_{\text{РС}}) \wedge (P_{\text{срА}_1} = P_{\text{срВ}_1} = P_{\text{срС}_2} = 0,33) \wedge (K_{\text{зартм}(0-45)} > 0,75) = 1, \quad (3.20)$$

можливо говорити. Що вони навчилися двигун здорові, оснащені синусоїдною мережею.

НУБІП УКРАЇНИ

Рис. 3.10 - Розподіл сигналу з частотою вищих гармонік миттєвої трифазної потужності непошкодженого двигуна при наповненні мережі з різними властивостями

НУБІП УКРАЇНИ

Рис. 3.11 - Спектр трифазної миттєвої потужності (а) і фази А (б) ідеалізованого двигуна без пошкоджень з оптимальним джерелом живлення

При наявності несинусоїдального джерела живлення (3-я гармоніка) у спектрі електричного сигналу з'являються трифазні гармоніки частотою 300 Гц (рис. 3.12, а), за наявності гармонік напруг 3 і 5, у спектрі трифазного сигналу з'являється гармоніка частотою 600 Гц (рис. 3.12), б). У разі одночасної нелінійності та асиметрії живильної мережі в трифазному спектрі потужності в живильній мережі з'являються всі множники подвійної частоти (рисунок 3.12, в). У цьому випадку гармоніки непошкодженого двигуна залишаються незмінними як за частотою, так і за амплітудою. Основний відсоток високих гармонік у несинусоїді 300 Гц (Малюнок 3.12). Для асиметрії значуща гармонія з частотою 200 Гц (рис. 3.12, в, рис. 4.10, рядки 2, 3, 4).

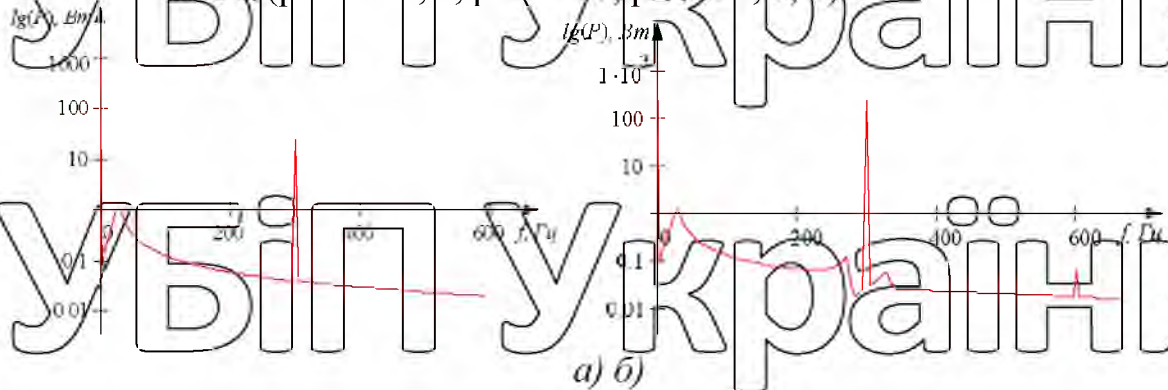


Рис. 3.12 - Спектри трифазної потужності з несинусоїдним живленням:
 а) гармоніки 1, 3; б) гармоніки 1, 3, 5;
 в) гармоніки 1, 3, 5 і амплітуда гармонік 5 мають різні значення в залежності від фаз (дисбаланс).

НУБІП УКРАЇНИ

Таким чином, наявність у спектрі трифазного сигналу потужності гармоніки 300 Гц із середньозваженим для всіх фаз евіднить про видачу нелінійної потужності. Отже, якщо дотримуватися правила:

$$(K_{P_{\Sigma}} > 0,02) \wedge (\varepsilon_P > 0,9) \wedge (\varepsilon_{PA} \approx \varepsilon_{PB} \approx \varepsilon_{PC}) \wedge \\ \wedge (P_{\varphi A_1} = P_{\varphi B_1} = P_{\varphi C_1} = 0,33) \wedge (K_{\text{гарм}(206-305)} > 0,7) = 1, \quad (3.21)$$

тоді перевірений двигун не пошкоджений і працює по симетричній несинусоїдальній мережі, з дотриманням принципу:

$$(K_{P_{\Sigma}} > 0,02) \wedge (\varepsilon_P > 0,9) \wedge (\varepsilon_{PA} \neq \varepsilon_{PB} \neq \varepsilon_{PC}) \wedge \\ \wedge (P_{\varphi A_1} \neq P_{\varphi B_1} \neq P_{\varphi C_1}) \wedge (K_{\text{гарм}(106-205)} > K_{\text{гарм}(146-195)} \cdot 10^3) \wedge \\ \wedge (K_{\text{гарм}(206-305)} > 0,7) = 1, \quad (3.22)$$

тоді двигун працює від несинусоїдної асиметричної мережі. У разі погіршення зв'язку АД з базою в спектрі трифазної миттєвої потужності (рис. 3.13 і), що виникає в результаті низькочастотних коливань, спостерігається лише низькочастотна складова (рис. 3.13 і). Двигуна, і в спектрі фазових сил. - основні гармоніки з частотою 100 Гц і симетричні бічні гармоніки 50 відносно 100 Гц (рисунки 3.13, б). Зі погіршенням якості збірок змінюються частоти гармоній сторін і збільшується їх амплітуда (рисунки 3.14). При цьому зазначені вище показники змінюються незначно (1-2%). Це явище пояснюється підходом до частоти саморушення АД з різною жорсткістю, закріпленої на основі. Основний відсоток гармонік знаходиться в діапазоні 5-45 Гц (рисунки 3.13, а).

Рис. 3.13 - Діапазон трифазної миттєвої потужності (а) і фазної ємності, двигуна А (б) на роз'ємах низької якості

Рис. 3.14 - Високогармонійний частотний розподіл сигналу потужності трифазного двигуна з низькою якістю муфтаю. Тобто, якщо вираз справедливий:

$$(K_{P_{\Sigma}} > 0,02) \wedge (\varepsilon_{PA} = \varepsilon_{PB} = \varepsilon_{PC}) \wedge \\ \wedge (P_{\varphi A_1} = P_{\varphi B_1} = P_{\varphi C_1} = 0,33) \wedge (K_{\text{гарм}(6-45)} > 0,2) = 1, \quad (3.23)$$

Потім двигун встановлюється повільно. У режимі холостого ходу зі статичним або динамічним дисбалансом ротора в спектрі трифазної потужності є чітка гармоніка 200 Гц (в чотири рази

перевищує частоту мережі), що вказує на наявність асиметрії. При підвищенні навантаження до номінальної частоти цієї гармоніки вона стає трохи менше 200 Гц (рис. 3.15, а), тому основний відсоток високих гармонік в роторі розбалансується при номінальному навантаженні в діапазоні 156–205 Гц. (рис. 3.16). Він також характеризується збільшенням коефіцієнта асиметрії струму зі збільшенням навантаження і, водночас, зі зменшенням коефіцієнта асиметрії сил.

Рис. 3.15 – Спектр трифазної (а) і А (б) фазної потужності двигуна за наявності дисбалансу ротора

Рис. 3.16 – Розподіл сигналу з частотою вищих гармонік потужності трифазного двигуна при наявності дисбалансу ротора

Тому спосіб за доступність відсутність рівноваги ротор отримує вираз:

$$\begin{aligned} & (K_{P_{\Sigma}} > 0,02) \wedge (\varepsilon_{P_A} \neq \varepsilon_{P_B} \neq \varepsilon_{P_C}) \wedge \\ & \wedge (P_{\varphi A_2} \neq P_{\varphi B_2} \neq P_{\varphi C_2}) \wedge \\ & (K_{\text{гарм}(156-195)} > 0,1) \wedge (K_{\text{гарм}(196-205)} > 0,2) = 1. \quad (3,24) \end{aligned}$$

Частотний спектр трифазної потужності при фазовій асиметрії ВП і печей характеризується значною амплітудою частоти гармонік 100 Гц (рис. 3.17, а, б). Зі збільшенням ступеня пошкодження амплітуда гармонік збільшується.

Основний відсоток вищих гармонік для фазової потужності знаходиться в діапазоні 96–105 Гц, а також значний відсоток гармонік у діапазоні 196–205 Гц (рисунок 3.17, б). Оскільки в обох випадках значення електричних параметрів істотно відрізняються від фази до фази, значення показників енергетичної ефективності також відрізняються від фази до фази; також істотно змінюються асиметрія струму та потужності $\square 12$, $\square P2$. Внаслідок збільшення втрат, що призводить до нерівності.

термічне напilenня значно знижує ефективність споживання енергії n .

Виділення цих дефектів можливе шляхом аналізу значення коефіцієнта сили полігамних сигналів ($K_{\square\square}$): значення коефіцієнта збільшується при наявності коротких замикань за рахунок збільшення кута зміни фази струму та напруги.

Рис. 3.17 – Спектр миттєвої трифазної (а) і А (б) фазної потужності двигуна при фазовій асиметрії

Рис. 3.18 – Розподіл частотного сигналу вищих гармонік потужності трифазного двигуна при фазовій асиметрії А

Ось правда цього речення:

$$(K_{P_{\text{ср}}2} > 0,02) \wedge (\varepsilon_{P_A} \neq \varepsilon_{P_B} \neq \varepsilon_{P_C}) \wedge \\ \wedge (P_{\text{ср}A_2} \neq P_{\text{ср}B_2} \neq P_{\text{ср}C_2}) \wedge$$

$$\wedge (K_{\text{ср}2(196-205)} > 0,4) \wedge \left(\begin{array}{l} (K_{\text{ср}2(196-205)} > K_{\text{ср}2(156-195)}) \vee \\ \vee (K_{\text{ср}2(196-205)} \approx K_{\text{ср}2(156-195)}) \end{array} \right) = 1, \quad (3,25)$$

або наявність асиметрії або наявність обмоток в статорній печ. Ізоляція дефектів досягається факторним аналізом сили потугармонічних сигналів.

При розриві стрижнів ротора в трифазному частотному спектрі з ростом дефекту збільшується тільки низькочастотна складова (рис. 3.19, а, рис. 3.20).

Він також характеризується зниженням низького коефіцієнта перетворення зі збільшенням навантаження, що відрізняється від поведінки цього фактора для інших низької якості. Значення решти параметрів змінюються незначно.

асиметрія заданих параметрів не спостерігається, оскільки зміна параметрів ротора опосередковано відбивається на зміні параметрів статора, його робота «розсіяна» по фазах статора і можна записати як низькочастотну модуляцію.

Видно з частотної характеристики).

НУБІП України

Рис. 3.19 - Спектр трифазної миттєвої сили (а) і фази А (б) двигуна з тріщиною/осердя ротора

Рис. 3.20 - Розподіл частотного сигналу вищих гармонік потужності трифазного двигуна при пошкодженні одного сердечника ротора

Отже, у разі виходу з ладу сердечника ротора справедливе слово:

$$(K_{P_{\Sigma}} > 0,02) \wedge (\varepsilon_{PA} = \varepsilon_{PB} = \varepsilon_{PC}) \wedge (P_{\varphi A_2} \neq P_{\varphi B_2} \neq P_{\varphi C_2}) \wedge (K_{\text{зартм}(6-45)} > 0,2) = 1. \quad (3,26)$$

Числові значення у виразах 3.21-3.26 для ВП типу АО90С - 4 (1,1 кВт, 1410 об/хв, 2,8 А) розраховувалися за умови збільшення значення змінної складової моменту $K_{P_{\Sigma}} \square \square 0,02$, що до межа допустимих норм вібрації згідно з ГОСТ/20815-93 [94]. У разі АД інших типів ці показники можна замінити на основі сигналів відповідної математичної моделі.

Тому в роботі описані принципи діагностики технічного стану артеріального тиску та показана можливість їх використання для виділення найбільш поширених видів дефектів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4 МЕТОДИ ТЕСТУВАННЯ

4.1 Побудова експериментального обладнання для дослідження змін технічного стану асинхронних двигунів на основі аналізу сигналу споживаної потужності

Для проведення експериментальних досліджень оцінки технічного стану та діагностики АГ розроблено відповідне лабораторне обладнання. До складу обладнання входять фізична модель експериментального обладнання для перевірки несправностей електричних машин, блок вимірювання електричних сигналів, що використовуються в діагностиці, спеціальні програми для вимірювання, запису, обробки електричних сигналів та застосування розроблених діагностичних алгоритмів.

4.1.1. Експериментальне обладнання для дослідження несправностей електричних машин

Для вирішення проблеми дослідження методів аналізу пошкоджень та оцінки поточного технічного стану ВП розроблено лабораторний стенд, що дозволяє проводити випробування як в заочному режимі, так і під навантаженням. Зарядка в вал ВП відбувається за допомогою зарядного генератора постійного струму. Керування струмом збудження генератора навантаження дозволяє змінювати момент навантаження на валу ВП (рис. 4.1). Технічні характеристики двигунів, використаних у випробуванні, наведені в таблиці 4.1.

Одним з найпростіших варіантів електропостачання ВП є пряме підключення до мережі живлення 0,4 кВ (рисунок 4.2). Недоліком проведення досліджень з таким підключенням є погана якість електропостачання, що спотворює результати тестів і діагностики.

Рис. 4.1 - Функціональна схема вимірювань артеріального тиску під навантаженням

Таблиця 4.1 - Технічні характеристики випробуваних двигунів

Технічні характеристики асинхронного двигуна AIR80V4U2			
1	Номінальна напруга, IN	220/380	/ V
2	Номінальна потужність, кВт	1.5	
3	Номінальний струм, А.	6.3 / 3.6	
4	Номінальний ККД, %	77	
5	Номінальний ймовірності	0.81	
6	Номінальна швидкість, об/хв	1395	рік
7	План роботи	\$1	
8	Клас ізоляції	.	

1	Рівень безпеки	IP 54
2	Активна та індуктивна підтримка контури комутації	$R_s = 5 \text{ Ом}; X_s = 4,35 \text{ Ом}; R_r = 3,69 \text{ Ом}; X_r = 4,01 \text{ Ом}; X_{\mu} = 58,61 \text{ Ом}; R_{\mu} = 3,9$
Технічні характеристики двигуна DC 2PB		
3	Номинальна напруга, IN	110
4	Номинальна потужність, кВт	1.2
5	Номинальний струм, А.	15.4
6	Номинальний ККД, %	71
7	Номинальна швидкість, хвилини -1	2820
8	Стійкість до активних печей якій в холодному / теплому стані, Ом	4,0 / 4,7

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Рис. 4.2 - Функціональна схема підключення ВП до електромережі

Для перевірки методів діагностики з використанням перетворювача частоти використовувався перетворювач Lenze 8200 Vector з однофазним входом і трифазним виходом (рис. 4.3). Обмотки статора ВП були з'єднані трикутником. Перетворювач Vector 8200 (табл. 4.2) дозволяє перевірити статичні та динамічні характеристики ВП зі змінною частотою живлення.

Рис. 4.3 - Функціональна схема підключення АД з перетворювачем частоти

Ладвалі 4.2 - Технічні характеристики векторного перетворювача частоти Lenze 8200

Тип	Потужність двигуна кВт	Перетворювач струму	
		Вхід	протягом вихідних
Напруга живлення 1 фаза 180...264 В змінного струму / 3 фази 0...240 В змінного струму			
E82EV152K2C	1,50	15.00	7.00 ранку

З тією ж метою, але після підключення обмоток статора ВП до зірки, схема показана на рисунку 9.4.4. За перетворювачем знаходиться високовольтний трансформатор 220/380 В (табл. 4.3) і U-подібний фільтр (табл. 4.4), що згладжує хвилі напруги та струму. Наведена схема живлення дозволяє показникам якості електроенергії, споживаної ВП під час випробувань, позитивно впливати на результати тестування та діагностику.

Таблиця 4.3 - Технічні характеристики трансформатора

1	Номінальна напруга, IN	220/380
2	Номінальна потужність, кВА	10
3	Схема підключення	Δ / \square
4	Номінальний ККД, %	96
5	Номінальний фактор сили	0,92

Таблиця 4.4 - Технічні характеристики П-образного фільтра

1	номінальна напруга конденсатора, IN	1000
---	-------------------------------------	------

2	Номінальна ємність конденсаторів, мФ	1
3	Опір дросельної заслінки, Ом	0,0134
4	Опір індукційного удару, Ом	0,21

Схема з трифазним тиристорним перетворювачем напруги використовується для перевірки режимів роботи АД при несинусоїдальній напрузі (рисунок 4.5). Ця діаграма також дозволяє досліджувати методи застосування рідини та методи визначення втрат сталі в полігармонійних харчових продуктах. Технічні характеристики тиристорного перетворювача напруги наведені в таблиці 4.5.

Рис. 4.4 - Функціональна схема з'єднання ВП з перетворювачем частоти шляхом підвищення та фільтрації напруги живлення

Рис. 4.5 - Схема роботи зв'язку між ВП і ТРН

Таблиця 4.5 - Технічні характеристики тиристорного перетворювача напруги

1	Номінальна напруга, IN	380
2	Кількість етапів	3
3	Номінальна потужність, кВА	6.5
4	Номінальний струм, А.	12
5	Тип навантаження	активно-індуктивний

Трифазна схема автотрансформатора (табл. 4.6) використовується для проведення дослідів і випробувань в стані спокою для визначення сталевих і механічних втрат БП (табл. 4.6), яка за допомогою неї змінює фазну напругу в діапазоні 0-250 В (Рисунок 4.6). Конструкція складається з трьох однофазних автотрансформаторів, з'єднаних загальною віссю обертання, що приводиться в рух малопотужним однофазним реверсивним двигуном. Управління мотор-редукторами здійснюється з панелі керування.

Таблиця 4.6 - Технічні характеристики трифазного автотрансформатора

1	Номінальна лінійна напруга вхід/вихід, IN	380 / 0-430
2	Кількість етапів	3

3	Номинальна потужність, кВА	○ 12
4	Номинальний фазовий потік, А.	двадцять
5	Підключіть духовки	У

Створене обладнання дозволяє реалізувати найрозширеніші схеми електропостачання та підключення ВП до мережі, а також перевіряти режими роботи двигуна при несиметричному живленні.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Рис. 4.6 - Функціональна схема живлення ВП від трифазного автотрансформатора

В якості випробуваного двигуна були використані три однакові АІ, штучно вставлені в статор і ротор різного ступеня.

З метою імітації обмоток короткого замикання в одній із ступенів обмотки статора (рис. 4.7) були отримані відводи, які відповідають обмоткам короткого замикання певного відсотка обмоток (табл. 4.7).

Рис. 4.7 - Схема зварювання фаз статора печі

Хлоці 4.7 - Вимірювання опору печей ВР

Етап	Опір, Ом		
IN ТОМУ ЩО	5102 з найпопулярніших		
	4972 найпопулярніший		
	4945 найпопулярніших		
Скасуваги фаза С	Складна частина	Опір, Ом	Зменшення кількості обертів, %
	1 - с	4,95	0,3
	2 - с	4878 найпопул	1,36
	3 - с	4,82	2,52
	4 - с	4253 найпопул	14

Для випробування на руйнування коротких роторів використовувалися три однакові роторні ротори. Там, де стрижні були з'єднані з коротким електричним кільцем, були просвердлені отвори, щоб розірвати електричне з'єднання. Послідовність отворів показана на малюнку 4.8.

Рис. 4.8 - Порушене розташування балки

4.1.2 Програмне забезпечення програмне забезпечення для виконання алгоритми діагностики електричних машин,

У середовищі LabVIEW також розроблено програмне забезпечення для впровадження методів діагностики на основі аналізу електричних сигналів. Математичне забезпечення, на якому базувалася діагностична програма, базувалося на формулюваннях, розроблених у другій частині, що дозволяло проводити аналіз як за допомогою аналізу спектру фазних струмів, так і за допомогою аналізу електричного сигналу.

Интерфейс користувача показаний на малюнку 4.8 - 4.10. Це програмне забезпечення дозволяє завантажувати попередньо записані сигнали вимірювальною системою (Малюнок 4.8). У цьому вікні також можна визначити довжину даних, які будуть використані в подальшому аналізі. На основі зчитуваних сигналів програма виконує швидкий алгоритм перетворення Фур'є та виводить отримані спектри електричних сигналів (рисунок 4.9). Відповідно до розробленого алгоритму, програма виконує аналіз АТ на наявність дефектів і пошкоджень машини на основі аналізу поточного спектру фаз статора та фазної потужності, а також сумарної потужності трьох фаз ВП (Рисунок 4.10).

Рис. 4.8 - Програмне забезпечення системи діагностики. Графік читання

Рис. 4.9 - Програмне забезпечення системи діагностики. Таблиця спектру

Рис. 4.10 - Програма діагностики системи. Графік діагностики

4.2 Експериментальна перевірка розроблених методів

4.2.1 Експериментальний перегляд метод оцінка поточного стану асинхронних двигунів

З метою перевірки ефективності розробленого методу діагностики та оцінки технічного стану БП на основі аналізу електричних сигналів та порівняння цього методу з методом гармонічного аналізу спектру струму було проведено ряд експериментів. Були виконані з однопозиційним ВР AIR80V4U2. Для дослідження параметричної асиметрії статорних печей у фазі С один із статорів зварюють за схемою, наведеною на рисунку 2. 4.2. Для перевірки розтріскування короткої різьби в роторах висвердлюють отвори, які перетинають електричне з'єднання стрижнів з коротким кільцем (за схемою на рисунку 4.3). Оскільки двигуни ідентичні, перевірені ротори та статори можна замінити, щоб дослідити різні дефекти та їх комбінації. Для аналізу вибрані випадки, в яких можна дослідити ступінь розвитку таких дефектів, як розтріскування стрижнів ротора та параметрична асиметрія статорних печей. Відповідність наявних недоліків порядковому номеру проведених дослідів наведено в таблиці. 4.8. Усі експерименти наведено для стану АТ при номінальному навантаженні.

На підставі попереднього аналізу спектрального складу фазових процесів і потужності, а також сумарної потужності трьох фаз базової версії ВП (експеримент № 1), можна зробити висновок, що випробуваний АД є ексцентричним з без штучних травм., як показує гармонія в спектрі сигналу 4.11, а) і його зв'язок з основною частотою живильної мережі в спектрах сигналів (рис. 4.11, б, в). Ексцентриситет пояснюється положенням центральної осі статора по відношенню до центральної осі ротора відповідно до процедури складання - розбирання випробуваного БП. Виходячи з вимог ГОСТ 183-74 [95] і допустимих норм вібрації БП згідно з ГОСТ 20815-93 [94], значення попередньо розрахованої межі аналізованих коефіцієнтів визначаються відповідним технічним станом двигун. Аналіз отриманих даних показав, що коефіцієнт потужності полігармонічних сигналів K_p для дослідів 1-3 і 5-8 не більше 25% номіналу. Це означає, що технічний стан двигуна відповідає принципу «задовільно», що свідчить про необхідність додаткової діагностики наявних несправностей. Для експерименту 4 (коротка кількість 14% фазового розряду статора С) було перевищено значення змінної складової моменту, тобто видно стан «оригінального» двигуна і подальша робота може призвести до відмови. Висновок правильний, оскільки наявність коротких замикань навіть 5% фазної обмотки статора призводить до швидкого нагріву обладнання та аварійного відключення.

Таблиця 4.8 - Експерименти зі штучним пошкодженням артеріального тиску

№ літ	Тип жаль	% асиметрії параметра С-фази	Кількість зламаних стрижнів ротора
1	Негайно ПЕКЛО	-	-
2		0.3	-
3	Параметрична асиметрія печей статора	2.52	-
4		14	-
5		-	1
6	Поломка стрижнів ротора	-	2
7		-	3
8	Параметрична асиметрія печей і поломка штока статора і ротора,	2.52	1
9		2.52	2
10		2.52	3

НУБІП України

а) поточний спектр фази А

б) спектр фазової сили А.

в) загальний спектр потужності трьох фаз

Рис. 4.11 - Спектри електричних сигналів для дослідів No1

Тому була розроблена методика оцінки поточного технічного стану БП на основі логічних правил шляхом аналізу значень діагностичних показників. Результати випробувань свідчать про придатність методу для використання в реальних умовах для своєчасного виявлення небажаних і небезпечних режимів роботи КП з метою своєчасного виявлення наявних недоліків.

4.2.2. Експериментальна перевірка аналізу асинхронного двигуна на основі аналізу сигналу споживаної потужності

На основі експериментальних даних АД АІR80V4U2 для експериментальної таблиці. 4.5 Ефективність методу вимірювання артеріального тиску була перевірена шляхом аналізу сигналу споживання електроенергії.

Для оцінки технічного стану ВП проведено гармонічний аналіз поля миттєвої потужності, електромагнітного моменту та струму, який охопив велику кількість циклів. Це дозволило визначити частоту гармонійних сигналів до однієї десятої герца, а також проаналізувати спектр низькочастотних сигналів. Проведено аналіз експериментальних даних для найбільш поширених випадків: параметрична асиметрія С-фази на рівні 2,52%, злам двох стрижнів ротора та одночасна наявність двох дефектів (табл. 4.2, досліди № 3, 6 і 8, відповідно).

Для параметричного дисбалансу обмоток статора в спектрі фазового сигналу струму АД, крім гармонік, пов'язаних з ексцентриситетом ротора, є гармоніки з частотами, розрахованими за виразом 2.5, що виникають у результаті дисбалансу статора. печі (рисунок 4.12, а). У спектрі сигналу з інтенсивністю фаз і в спектрі сигналу з сумарною силою трьох фаз присутні гармоніки, які визначаються згідно з п. 2.13 (рисунок 4.12, б, в). Слід зазначити, що амплітуди електричних гармонік, пов'язаних з дисбалансом статора, більші за амплітуди аналогічних гармонік спектру струму.

У разі обриву ниток ротора в спектрі струму з'являються бічні гармоніки основної частоти живлення, які визначаються згідно з п. 2.1 (рисунок 4.13, а). У спектрах фазної потужності та сумарної потужності трьох фаз, крім бічних гармонік подвійної частоти живильної мережі, є низькочастотна складова частоти модуляції (5,5 Гц), яка є додаткова діагностична функція (рис. 4.13, б, в).). Цей факт підтверджує теоретичні висновки розділу 2 і правильність виразу 2.9.

За наявності одночасно двох розглянутих недоліків гармоніки, що виникають внаслідок асиметрії статорних печей, є зовсім незначними порівняно з іншими гармоніками спектра, а похибку можна визначити як інтерференцію (рисунок

4.14, а). У спектрах електричних сигналів можна легко визначити амплітуду гармонік, пов'язану з асиметрією. Також легко визначити гармоніки, пов'язані з розривом стрижнів (рис. 4.14, б, в). Відповідно, аналіз показав, що діагностика дефектів АТ, виконана за допомогою аналізу спектру потужності, є більш надійною, оскільки містить більше діагностичних даних, оперує амплітудами гармоній, пов'язаними з дефектами, і придатна для виявлення супутніх дефектів.

а) поточний спектр фази А
Рис. 4.12 - Спектри електричних сигналів для експерименту 3 (початок)

б) спектр фазової сили А.

в) загальний спектр потужності трьох фаз
Рис. 4.12 - Спектри електричних сигналів для експерименту 3 (продовження)

а) поточний спектр фази А

Рис. 4.13 - Спектри електричних сигналів для експерименту №6 (старт)

б) спектр фазової сили А.

в) загальний спектр потужності трьох фаз

Рис. 4.13 - Спектри електричних сигналів для експерименту 6 (продовження)

а) поточний спектр фази А

Рис. 4.14 - Спектри електричних сигналів для експерименту №8 (старт)

б) спектр фазової сили А.

в) загальний спектр потужності трьох фаз

Рис. 4.14 - Спектри електричних сигналів для експерименту №8 (продовження)

Таким чином, експериментальна перевірка методу діагностики ВР, заснована на аналізі сигналу споживаної потужності, показала корисність методу для виявлення найбільш поширених дефектів ВП, у тому числі за наявності кількох дефектів. Про можливість оцінки ступеня розвитку дефекту показали значення амплітуди відповідних гармонік та аналіз створеного в роботі набору діагностичних показників.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Адитья Корде Б.С. Моніторинг стану двигунів за допомогою аналізу електричних сигнатур / Б.С. Адитья Корде // Презентація на семінарі «Останні досягнення в догляді за рослинами» 17-18 травня 2002 р.
2. Actira Nabal Toshiko Tanaka Нове визначення активного та реактивного струму та миттєвої поужності на основі просторових векторів у полярних координатах у трифазних ланцюгах / Actira Nabal Toshiko Tanaka // IEEE Operation on Power Transmission. – 1996. – Том 11. – No 3.- С. 1238-1244.
3. Альбрехт П. Ф. Оцінка надійності двигуна в комунальних будівлях / П. Ф. Альбрехт, Дж. К. Аппіаріус, Р. М. Маккой, Е. Л. Оуен, Д.К. Шарма // Операції перетворення енергії IEEE, оболонка. EC-2, № 3 вересня 1986 р. - с. 396-406.
4. Benbouzid MEN Огляд аналізу сигнатур асинхронного двигуна як засобу виявлення несправностей / MEN Benbouzid // IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 47, №. 5.010.2000 р., с. 984-993.
5. Боннет А. Х. Причини та аналіз несправності статора та ротора в трифазних асинхронних двигунах / А. Х. Боннетт, Г. К. Сукуп // IEEE Transactions on Applications Industry, vol. 28, №. 4 липня / серпень 1992 р., с. 921-937.
6. Боннет А. Х. Причини та аналіз несправності підшипників в електродвигунах / А. Х. Боннетт // Конференція нафтової та хімічної промисловості, 1992 р., Матеріали 39-ї щорічної конференції Товариства промислових програм, 28-30 вересня 1992 р., с. 87-95.
7. Бриз Ф. Вибір високочастотної несучої напруги для діагностики несправностей обмотки статора на машинах із змінною частотою / Ф. Бриз, MW Degner, P. Garcia, AB Diez // IEEE Operations on Industrial Electronics, vol. 55, №. 12 грудня 2008 р., с. 4181-4190.
8. Чоу М. Підхід нейронної мережі до моніторингу реального стану асинхронних двигунів / М. Чоу, М. Магнум, О. Ю. Суй // IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 38, №6, грудень 1991 р., с. 448-453.

9. Чоска Анджей Нота магнітного поля в тріщині може похвалитися небезпечною індукційною машиною / Анджей Чоска - Глівце: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2008. - 207 с.

10. Кузидо Дж. Айбвизначення в асинхронних машинах за допомогою спектру потужності в розподілі хвиль / Я. Кузидо, Л. І. Ромераль,

Я. Ортега, Я. Розеро, А. Гарсія Еспиноса // IEEE Circulation on Industrial Electronics, Vol. 55, №. 2 лютого 2008 р. С 633–643.

11. Доррелл Д.Г. разом вплив статичного та динамічного ексцентриситету на хвилі потоку повітряного зазору та використання моніторингу струму для

визначення динамічного ексцентриситету в 3-фазних асинхронних двигунах
DG Dorrell,

П. Томсон, С. Роуч // Електричні машини та приводи, 1995 р. - Сьома міжнародна конференція (Conf. Edition No. 412), Дарем, Великобританія, вересень. 1995. С. 151–155.

12. Дріф М. Діагностика похибки ексцентриситету повітряного зазору в трифазних асинхронних двигунах з використанням видимого комплексу Аналіз сигнатур потужності / М. Дріф і А. М. Кардозо // IEEE Circulation for Industrial Electronics, vol. 55, №. 3 березня 2008 р., стор 1404-1410.

13. Дріф М. Застосування сигнатурного аналізу миттєвого потоку для діагностики несправностей ротора в трифазних асинхронних двигунах /

М. Дріф, А. М. Кардозо // Операції IEEE з промислової електроніки, вип. 56, № 11 листопада 2009 р., с. 4606–4614.

14. Гзарнецький Л. Примітки щодо розрахунку активної енергії та потоку енергії в електричних системах з несинусоїдальними та асиметричними формами хвилі

Л. Гзарнецький // Операції передачі електроенергії IEEE. - 1996. - Том 11. - No 3.- С. 1244-1250.

15. Ібрагім А. Новий метод виявлення несправностей підшипників в асинхронних машинах на основі миттєвого коефіцієнта потужності /

Иброхим А., М.Ел Badaoui, F. Guillet, F. Bonnardot // IEEE Circulation for Industrial Electronics, Vol. 55, №. 12 грудня 2008 р., с. 4252-4259.

16. Лєксимович Ідентифікація коротких замикань між витками в статорній печі працюючих двигунів / GM Jaksimovic, J. Penman // IEEE Transactions on Industry, Vol. 47, №. 5 жовтня 2000 р. 1078-1084.

17. Хауер Родрігес І. Сигнатура електричних помилок розподілу потужності та вібрації асинхронних двигунів / П. Хауер Родрігес, . Бєлахчен, . Арккіо // Протоколи ІЕЕ – енергетичні програми, 2006, вип. 153, №. 4. С. 523-529.

18. Хауер Родрігес Р. Визначення похибки обмотки статора в асинхронному двигуні з використанням невизначеної логіки // P. Jover Rodriguez, A. Arkkio // Applied Soft Computing, 2008, vol. 8, № 2, С. 1112-1120.

19. Калинов А. Спостережні дослідження асинхронних двигунів для оцінки умов праці та енергоефективності / А. Калинов, . амчур, . Чумачова // 10-й Міжнародний докторський семінар OWD'2008, С. 357-362.

20. Хєззар А. Діагностика асинхронного двигуна з лінійної сигнатури напруги нейтралі / А. Хєззар, М. Ель Камель Умаамар, М. Хаджамі,

М. Бучерма, Х. Разик // IEEE Circulation on Industrial Electronics, Vol. 56, №. 11 листопада 2009 р., с. 4581-4591.

21. Лєговський С. Ф. Миттева потужність як засіб аналізу характеристик асинхронних двигунів / С. Ф. Лєговський, А. М. Гадрул Ула,

А. М. Тржинадловський // IEEE Circulation on Industrial Electronics, Vol. 32, №. 4 липня / серпень 1996 р., с. 904-909.

22. Мамчур Д. Хвилинку Аналіз спектрів потужності як метод виявлення помилок в асинхронному двигуні / Д. Мамчур // Матеріали 13-го Міжнародного докторського семінару, OWD'2011, с. 407-412.

23. Мамчур Д. Асинхронна діагностика двигуни на основі аналізу спектру споживаної потужності / Д. Амчур, . Калинов // XI Міжнародний докторський семінар OWD'2009, с. 434-439.

24. Призначення Мєчєфського ІК діагностика машинних помилок з

використанням невизначеної логіки / К.К. Мечеське // Механічні системи та обробка сигналів, 1998, №12, с. 855-862.

25. Немек. Ідентифікація обірваних смуг в асинхронному двигуні шляхом аналізу модуляції напруги живлення / М. Немек, К. М. дріб'язковий,

Д. Неделькович, Р. Фізер, В. Амброзич// IEEE Circulation on Industrial Electronics, Vol. 57, №. 8 серпня 2010 р., с. 2879-2888.

26. Батько Hassan Осак, нова схема виявлення та діагностики пошкоджень підшипників на основі моделювання сигналу вібрації Маркова,

. Лопаро Кеннет// Міжнародна конференція IEEE з акустики, мови та обробки сигналів, 2001. Статті, том 5, 2001. С. 3141 - 3144

27. Ордаз-Морено А. Онлайн ігрові автомати Діагностичний алгоритм визначення зламаного штока в асинхронних двигунах за дискретним хвильовим перетворенням для FPGA виконання /

А. Ордаз-Морено, Р. де Хесус Ромеро-Тронкосо, Ж. А. Віте-Фріас,

Молодший Рівера-Гіллен, А. Гарсія-Перес// IEEE Circulation on Industrial Electronics, Vol. 55, №. 5 травня 2008 р., с. 2193-2202.

28. Пайя П. А. Діагностика пошкоджень обертових машин у штучній нейронній мережі з використанням вейвлет-перетворень як препроцесора /

П. А. Пая, Т. Г. Есат// Механічні системи та обробка сигналів, 1997, № 11, с. 751-765.

29. Пенман Дж. Можливість використання неконтрольованого навчання, штучних нейронних мереж для моніторингу стану електричних машин /

J. Penman, SM Yin// IEE Protocol on Energy Deployment, Vol. 141, No 6, листопад. 1994, с. 317-322.

30. Розгляд методів вимірювання та оцінки рівня гармонійних викидів від окремих навантажень / CIGRE 36.05

/ CIRED 2 WG joint CC02 1999.

31. Рієра-Гуасп М. Загальний підхід до тимчасового визначення компонентів помилки ковзання на основі дискретного хвильового перетворення /

. Рієра-Гуасп, JA Антоніно -Давіу, Пінєда-Санчес,

R. Puche-Panadero, J.C. Perez-Cruz // IEEE Circulation for Industrial Electronics, vol. 55, № 12 грудня 2008 р., с. 4167-4180.

32. Роджер-Фолч Дж. Новий метод діагностики пошкодження ротора в асинхронних машинах за допомогою методу хвильової декомпозиції / Дж.

Роджер-Фолч,

Я. А. Антоніно, М. Піера, М. П. Модіна // Міжнародна конференція електромобілів (ICEM), вересень 2004 рік.

33. Schoen RR Некерована та онлайн система виявлення несправностей індукційного двигуна за допомогою моніторингу струму статора / Р. Р. Шоен, Б.

К. Ліп,

TG Habetler, JH Schlag, S. Farag // Щорічна зустріч Товариства промислових програм, 1994, Матеріали конференції IEEE 1994, 2-6 жовтня, 1994, - С. 103-109.

34. Thomson WT Аналіз сигнатур струму для виявлення несправностей в асинхронних двигунах / WT Thomson, M. Fenger // IEEE Operations on Industrial

Applications, липень / серпень 2001 р., с. 26-34.

35. Thomson WT Історія аналізу поточних сигнатур для виявлення несправностей в приводах асинхронних двигунів / WT Thomson, M. Fenger // Electric Machines and Drives, IEMDC IEEE, vol. 3 червня 2003 р., стор 1459-1465.

36. Поточний аналіз сигнатур двигуна Thomson WT для виявлення несправностей в приводах асинхронних двигунів - основи, інтерпретація даних та історія виробничих випадків / WT Thomson, R.J Gilmore // Proceedings of 32nd Turbine

Machine Symposium, 2003.

37. Тржинадловський А.М. Порівняльне дослідження середовищ асинхронних двигунів: випадок помилки обойми ротора /

A. M. Trzynadlowski, E. Ritchie // IEEE Operations on Industrial Electronics, vol 47, №. 5.010.2000 р., с. 1092-1099.

38. Вас П. Оцінка параметрів, моніторинг стану та діагностика електричних машин // П. Вас // Оксфорд, Великобританія Clarendon Press, 2001. - IEEE

Application Industry Magazine, Vol. 33, №. 1 січня / лютий 1997 р. С. 24-34.

39. Yazici B. Статистичний умовний моніторинг та діагностика несправностей

двигунів із застосуванням на роторних штангах і підшипниках / Yazici, GB Kliman, WJ Premerlani, RA Koegl, A. Abdel-Malek, GB Robinson // GE Research & Development, September 1997.

40. Визначення пошкодження підшипників двигуна Інв Ренді за допомогою моніторингу потоку статора / Інв Ренді, Р. Р. Шоен, Т. Г. Хабетлер, Ф. Камран, Р. Г. Бартфілд // IEEE Transactions on Industrial Applications Vol. 31, №. 6 листопада / грудень 1995 р. — С. 1274-1279.

41. Як. 1371233 А1. G 01 R 31/34. Як здійснюється утеплення печинизька напрута електродвигуни / МЕНІ. Липський, В. Є. Кривоносов, В. Н. Мякотін. - № 3985415 / 40-22; оголошено 27.11.85 - 16:00

42. Андреев В. С. Теорія нелінійних електричних кіл / В. С. Андреев. - М.: Зв'язок, 1972. - 328 с.

43. Астахов Н. В. Математичне моделювання вібрацій асинхронних машин / Н. В. Астахов, В. С. Малишев, Н. Ю. Овчаренко // Кишинів: Штениця, 1987. - 206 с.

44. Бессонов Л.А. Теоретичні основи електротехніки. Електричні схеми: Підручник / Л.А. Бессонов. - [X видання] - М.: Гардарики, 2001. - 638 с.

45. Більше ОС. Визначення параметрів електропривода в умовах енерго- та ресурсозбереження (розробка, розвиток і застосування теорії): Автореферат дисерт. для науки Кандидат технічних наук: спец. 05.09.03 / О.С. Випікати. - Дніпропетровськ, 2001. - 38 с.

46. Бешта О. С. Спектральний аналіз енергії в діагностиці електромеханічних систем / О. С. Бешта, І. І. Пелтек, О. В. Балахонцев // Вісті НТУ «ХП». - Харків : НТУ «ХП». - 2010 - № 28. - С. 531-532.

47. Біргер І. А. Технічна діагностика / І. А. Біргер. - М.: Машиностроение, 1978. - 240 с.

48. Васьковський Ю.Н. Математичне моделювання електромагнітних полів у короткочасному асинхронному двигуні з пошкодженим ротором печі /

Васьковський Ю.Н., Гераскін А.А. // Технічна електродинаміка: науково-практичний журнал. - Київ: ІЕР НАН України. - 2010. - № 2. - С. 56-61.

49. Вашковський Ю. . Математичне моделювання електrofізичних процесіву

зламаний шині, що з'єднує ротор турбіни / Ю. Масковський, О. Тітко // Технічна електродинаміка: науково-практичний журнал. - Київ: ІЕР НАН України. - 2010. - № 4. - С. 33-37.

50. Вібрація. Перевірка стану верстата за результатами вимірювань вібрації на деталях, що не прокатуються. Частина 1. Загальні вимоги (ISO 10816-1: 1995):

ГОСТ ISO 10816-1-97. - [Чинний з 07.01.1999]. - Я.: Видавництво ІПК Стандарти, 1998. - 18 с. - (Міждерж. стандарт).

51. Волдек АІ / АІ електричні машини. Волдек - Л.: Енергетика, 1974. - 840 с.

52. Кора Волдека А. Автомобілів. Машини зі змінним потоком / А. І. Волдек, В.

В. Попов, підручник [для вузів]. - СПб.: Пьотр, 2008. - 350 с.

53. Вібродіагностична діагностика машин і механізми / М. Д. Генкін, А. Г. Соколова. - М.: Машинобудування, 1987. - 288 с.

54. Голдберг О. Д. Автоматизація контролю параметрів та аналіз асинхронних двигунів / О. Д. Гольдберг, І. М. Абдулаєв, А. Н. Абієв. - М.: Енергоатоміздат, 1991. - 160 с.

55. Електричні випробування Голдберга О. Д. Техніка: ручна [для вузів] / О. Д. Гольдберг. - [2-ге видання]. - М.: Вище. школа, 2000 р. - 255 балів

56. Якість від О. Д. Голдберга та надійність асинхронних двигунів / О. Д. Гольдберг. - М.: Вище. школа, 1968. - 176 с.

57. Гольдберг О. Д. Надійність електричних машин загального призначення побутової техніки / О. Д. Гольдберг. -: Знання, 1976. - 58 с.

58. Гольдін А. С. Вібрації роторних машин / А. С. Гольдін. -: Машиностроение, 1999. - 344 с.

59. Григор'єв Н. В. Вібрація енергетичних машин / Н. В. Григор'єв - Л.: Машинобудівник, 1974. - 464 с.

60. Декларативний патент України на винахід 62492 А. G 01 R 31/34. Спосіб випробування короткофазного трифазного асинхронного двигуна та обладнання для його реалізації / Родкін Д. І., Мартиненко В. О., Чорний О. П. та інші. - № 62492 А; оголошено 2 квітня 2003 р., публікації: 15.12.2004, бул. № 12. - 14 балів

61. Теоретичний Демірчян К.С. Основи електротехніки: Підручник [для вузів] / К. С. Демірчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкін. - [5-е видання]. - Т. 1. - СПб. : Пьотр, 2009. - 512 с.

62. Теоретичний Демірчян К.С. Основи електротехніки: Підручник [для вузів] / К. С. Демірчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкін. - [5-е видання]. - Санкт-Петербург. : Пьотр, 2009. - 432 с.

63. Дунаєвський Зі мною. Моделювання елементи електромеханічних систем / С.Я. Дунаєвський, Ф.А.Крилов, Л.В.Мазія. -.-Л. : Изд-во Энергетика, 1966.- 304 с.

64. Євдокимов Ю. К. LabVIEW для радіоінженера: від віртуальної моделі до реального пристрою. Практичний посібник з роботи в програмному середовищі LabVIEW / Ю.К.Євдокимов, В.Р.Пиндвал, Г.І.Щербаков – М.: ДМК Прес, 2007. – 400 с.

65. Єрмолін Н. П. Надійність електричних машин / Н. П. Єрмолін, І. П. Єріхін. - М.: Енергія, 1975. - 250 с.

66. Жежеленко І. В. Питання якості електроенергії в електроустановках / ІВ. Жежеленко, Ю.Л. Саєнко. – Маріуполь: ПТУ, 1996.- 173 с.

67. Жежеленко І.В. Якість електроенергії на промислових підприємствах / І. В. Жежеленко, М.Л.Рабінович, В.М.Божко – Київ: Технологія, 1981.- 160 с.

68. Жерве Г. К. Промислові випробування електромобілів / Г.К. Жерве. - Л. : Енергоатиміздат, 1984. - 408 с.

69. Захарченко П. І. Перевірка навичок печі коротких асинхронних електродвигунів / П. І. Захарченко, В. Ф. Сивокобиленко, Д. В. Полковниченко та ін. // Вісті Кременчуцького державного політехнічного університету. - Кременчук : КДПУ, 2005. – Вип. 4/2005 (35). - С. 89-92.

70. Зеленов А.Б. Теорія електроприводу. Частина I: навч. доповнення. / Зеленов А. Б. - Алчевськ: ДонДТУ, 2005.- 394 с.

71. Зеленов А.Б. Теорія електроприводу. Частина II: Підручник. доповнення. / Зеленов А. Б. - Алчевськ: ДонДТУ, 2005.- 513 с.

72. Зінов'єв Г.С. Визначення енергетичних характеристик

клапанівперетворювачі / Г. С. Зінов'єв // Перетворювачі електроклапанів. –
Новосибірськ: НЕТИ. - 1984. - С. 89-100.

73. Ільїнський Н.Ф. Ефективність процесу електромеханічного перетворення
енергії/ Н. Ф. Ільїнський, А. О. Горнов // Кора. - 1987. - № 10. - С. 24-29.

74. Електромагнітні поля Inkin Alta параметри електричних машин: підручник /
А. І. Інкін. –Новосибірськ: ТОВ «Видавництво ЮКЕА», 2002. –464 с.

75. А.П.Калинов, Ж.І. Ухан, Ю.А. Топчійенко, «Дослідження роботи асинхронних
двигунів при несправності ротора ротора», Ізоляція роботи асинхронних
двигунів при роботі ротора. НТК мол. вчений. і спец. «Електромеханічні
системи, методи моделювання та оптимізації». – Кременчук: КДПУ. - 2008. -
С. 73-74.

76. Калинов А. П. Універсальне навчально-наукове обладнання для
електромеханічних лабораторій / А. П. Калинов, А.И. Гладір // Щоквартальний
журнал Науково-виробничий електроніка електротехнічні та енергокраняючі
системи. - VIP. 1. – Кременчук : КДПУ - 2007. - С. 14-19.

77. Калинов А. П. Силкові характеристики асинхронних двигунів у динамічних
режимах роботи / А. П. Калинов, Д.Г. Мамчур, А.В. Чумачова // Збірник наук.
Статті Дніпровського державного технічного університету: (технічні
дисципліни). – Дніпро: ДСТУ. - 2009. - VIP. № 1 (11). - С. 104-110.

78. Калинов А.П., Мамчур Д.Г., Браташ О.В. та ін. // Вісті Київського державного
педагогічного університету імені Остроградського М. Наукові праці КДУ. -
VIP. 3 (56). Лот 2 – Кременчук: їх КДПУ. Остроградського. - 2009. - С. 103–107.

79. Калинов А.П. Математичні моделі для вивчення впливу конструктивної
асиметрії електричних машин на їх електромагнітні параметри / А.П.Калинов,
Д.Г. Мамчур // Вісті Київського державного педагогічного університету.
Наукові праці ХДУ ім. - VIP. 3 (44). Лот 2 – Кременчук : КДПУ ім. - 2007. - С.
150–154.

80. Kiba SP Механізм впливу низької якості енергоспоживання на збереження
електромеханічних систем / С. П. Кіба, А. И. Артеменко, А. В. Чермалих //
Вісник КДПУ. -

№ 2/2002 - С. 190-193.

81. Копилов І. П. Електромеханічне перетворення енергії / І. П. Копилов. - М.: Енергетика, 1973. - 400 с.

82. Котеленець Н.Ф. тести надійність електричних машин / Н.Ф. Котеленець, Нідерланди Кузнецов. - М.: Коледж, 1988.

- 231 бал

83. Кулаковський В.Б. Ізоляційні роботи в генераторах: Виникнення і методи виявлення несправностей - М.: Енергоиздат, 1981. - 256 с.

84. Кучерук В. Ю. Діагностика стану асинхронного двигуна за допомогою логіки / В.Ю. Кучерук // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2001).

Шостий міжнародний матеріал STS - Дитина 2. - Виноградник: УНІВЕРСУМ-Виноградник. - 2001.

- С. 91-98.

85. Кучерук В. Ю. Елементи теорії побудови систем технічного діагностування електродвигунів: монографія / В.Ю. Кучерук. Виноградник: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. - 195 балів.

86. Луговий, А.В. Максимов, Д.І. Родкін та ін. «Надійність змінних електродвигунів», Проблеми створення нових машин і технологій.

[Ст статті]. - Кременчук: КГПІ. - 1999 р. - Вид. 1 (8). - С. 150-156.

87. Мамчур Д. - Дослідження коливань механічної частини електричних машин у математичних моделях / Д.Г. Мамчур // Тезис п'ятої укр. НПС молодий вчений

і спец. «Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації». - Кременчук: КДПУ, 2007. - С. 60-61.

88. Мамчур Д.Г. Мамчур, А. П. Калинов, Херардо Беласкес Ангуло.

// Новини НТУ «ХПІ», «Проблеми з автоматичним електроприводом. Теорія і практика. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2008. - № 30. - С. 559-563.

89. Мамчур Д.Г. Мамчур, А.П.Калинов // Вісник КДПУ імені строградського М.

Наукові праці ХДУ ім. - VIP. 3 (56). Частина 1 - Кременчук: ДПУ імені Михайла Остроградського - 2009. - С. 90-96.

90. Мамчур Д. - Методи визначення стану ізоляції електромобілів / Д.Г. Амчур, .

Осадчук // Вісник Київського державного педагогічного університету. Наукові праці ХДУ ім. - VIP. 4/2006 (39) Ч. 1 - Кременчук: КДПУ, 2006. - С.122-129.

91. Мамчур Д., Мамчур, А.П.Калинов, В.Я.Мастерова // Правила побудови систем моніторингу ресурсу електротранспорту // Вісник Київського державного педагогічного університету ім. Наукові праці ХДУ ім. - VIP. 3 (32). - Кременчук: КДПУ, 2005. - С. 180-183.

92. Мамчур Д.Г., Мамчур, А.П.Калинов // Вісник з КДПУ імені М. Остроградського, вип. 4/2008 (51). Частина 2 - С.158-163.

93. Мамчур Д.. Усунення впливу параметрів живильної мережі на результати аналізу асинхронних двигунів / Д.Г. Мамчур // Вісники КДУ, Остроградский М. Наукові праці ХДУ ім. - VIP. 3/2010 (62). Ч. 1 - Кременчук: ДДХ. Остроградський, 2009. - С. 139-145.

94. Електричні роторні машини. Якась механічна вібрація типи верстатів висотою 56 мм і більше. Допустимі розміри, номінал і значення: ГОСТ 20815-93. - [Чинний з 01.01.1997]. - Я. : ИПК Standards publisher, 1996. - 8 с. (Міждерж.стандарт).

95. Електричні роторні машини. Загальні технічні умови: ГОСТ 183-74. - [Чинний з 01.01.1976]. - М.: Держстандарти УРСР, 1974.- 26 с. - (Міждержавний стандарт).

96. Мельникова Н. А. Реактивна потужність в енергетичних мережах / Н. А. Мельникова. - М.: Енергетика, 1975. - 128 с.

97. Моделювання електромеханічних системи: підручник / О. П. Чорний, А. В. Луговий, Д. С. Родкін та ін. - Кременчук, 2001. - 410 с.

98. Нікуліна Основи теорії автоматизованого управління ЕА. Частотні методи системного аналізу та синтезу: навч. підручник [для вузів] / Є. А. Нікулін. - СПб. : БХВ-Петербург, 2004.- 640 с.

99. Стандарти якості електроенергії для енергосистем загального призначення: ГОСТ 13109-97. - [Чинний з 01.01.1999]. - Я. : Видавництво ИПК Стандарти, 1998.- 31 с. - (Міждерж.стандарт).

100. обсягстандарти випробувань електрообладнання. РД 34.45- 51.300-97
Виробничо-практичне видання. - М.: Видавництво НК ЕНАС, 2006. - 255 с.

101. І. В. А. Розрахунок втрат сталі при оцінці характеристик асинхронних
двигунів / В. А. Огар, Д. І. Родкін, А. П. Калинов // Технічна електродинаміка.
- Науково-практичний журнал. – Київ: ІЕР НАН України. - 2008 р. - Тематичне
видання. Частина 7- С. 31-35.

102. Програма Оксанич А. Інструменти систем управління (LabView):
Навчальний посібник [для студентів вузів] / А. П. Оксанич, С. Є. Прітчін, В. Р.
Петренко. – Кривий Ріг: Мінеральний, 2007.- 503 с.

103. Оман А.Б. Електромеханічні властивості трифазних асинхронних
двигунів асиметрії ущільнення статора : автор автореферату дис. на прохання
вчених. Кандидат наук. техніка. науки / А. Б. Оман. - Самарський державний
технічний університет (СамДТУ). - 20 сторінок.

104. Оппенгейм А. Цифрова обробка сигналів/ А. Оппенгейм, Р. Шефер. - М.:
Техносфера, 2006 – 856 с.

105. ауїр. Про виконання Закону про утримання рятувальних сил / М. Оявир, В.
Сарв // Изв. АН Естонської РСР. – 1986. – Число. 35. - С. 316-325.

106. Петухов В. С. Діагностика стану електродвигунів. Методи спектрального
аналізу споживаного струму / В. С. Петухов, В. А. Соколов // Вісті
електротехніки. - № 1 (31) 2005. - С. 50–52.

107. Полковниченко Д.В. Удосконалення діагностики щечі з короткими
асинхронними електродвигунами на основі контролю параметрів режиму
роботи: дис. в пошуку. мав науку. канд. техніка. наук: спец. 05.09.01 / Д. В.
Полковниченко: Донецьк, 2003.- 202 с.

108. Поспелов Г. К. Компенсаційно-регулюючі пристрої в електроустановках
/ Г. Є. Поспелов, Нью-Мексико Сич, В. Т. Федін. - Л. : Энергоатоміздат.
Ленінградська. отд-но, 1983.- 122 с.

109. Після затвердження Порядок контролю, випробування та дослідження
(технічної діагностики) машин, механізмів, пристроїв підвищеного ризику.
Постанова Кабінету Міністрів України № 687 від 26 травня 2004 р. - Київ,

2004.

110. Програмне забезпечення «Комп'ютерна програма для обчислення символічних виразів складових миттєвої потужності електричних сигналів» / Д. І. Родкін, В. М. Сидоренко, О. П. Чорний та ін. : свідоцтво про реєстрацію авторського права на номер 12522.

111. Прус В.В. Удосконалено оцінку робочих параметрів асинхронні двигуни / В.В.Прус, О.Ф.Кірюнов, А.С.Гераскін // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Наукові праці ХДУ ім. – Кременчук : КДПУ, 2001. – Вип. 1/2002 (12). - С. 174–179.

112. Пустахайлов С. К. Розробка багатоканальної системи моніторингу асинхронних двигунів електростанції: автореф. дис.на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: спец. 14.02.02 / С. К. Пустахайлов: Ставрополь, 2006.- 21 с.

113. Рівлін Л. В. Як визначити несправність асинхронного двигуна / Л. В. Рівлін. - Л. : Енергетика, 1968.- 45 с.

114. Rogozin G.G. Визначення електромагнітних параметрів машин змінного струму: нові експериментальні методи / Г. Г. Рогозін. - К. : Техника, 1992. - 168 с.

115. Родкін Д. І. Аналіз силових складових полігармонічних сигналів / Д. І. Родкін // Електротехніка. - 2003. - № 6. - С. 34–37.

116. Коментарі Родкіна Д.І до теорії енергетичних процесів з полігамними сигналами / Д. І. Родкін: Матеріали НТУ в Кіровограді. - Кіровоград. - 2004. - С. 10-18.

117. Родкін Д.І. Особливості аналізу, діагностика паспорта асинхронних двигунів з використанням комп'ютерних вимірювально-діагностичних систем / Д. І. Родкін, І. Є. Здор, Д. В. Барвінок // Вісник КДПУ: Журнал. наук. проти DDH. – Кременчук : КДПУ. - 2001. - VIP. 2.- С. 70-72.

118. Системи динамічної зарядки Родкін Д.І та діагностика електродвигунів при капітальних оглядах / Д. І. Родкін / - М.: Недра, 1992. - 236 с.

119. Родкін Д.І. Нова індикаторна система якості споживання електроенергії /

Д. І. Родкін // Науковий кореспондент НГУ. - 2004. - № 3. - С. 20-26.

120. Родкін Д. Про перетворення енергії в електромеханічних системах / Д. І. Родкін // Наукова праця Політехнічного інституту в м. Кременчуці «Проблеми створення нових машин і технологій». – Кременчук : КДПУ, 2000. – Вид. 1.- С. 106–112.

121. Родкін Д.І. Затвердження стандартів якості трансформації енергії в електромеханічних системах / Д. І. Родкін, А. П. Черний, В. А. Мартиненко // Проблеми створення нових машин і технологій: зб. Наукові праці ХДУК: Проблем. 1. – Кременчук. - 2002. - С. 81-85.

122. Розвиток частоти Родкіна Д. Методи оцінки параметрів АС / DI Rodkin, AP Kalinow, Juw. Ромашихін // Вісті Київського державного педагогічного університету. Наукові праці ХДУ ім. - VIP. 4 (33). - Кременчук: КДПУ. - 2005. - С. 43–46.

123. Родкін Д. І. Енергопроцес в навантаженні трифазного двигуна з несинусоїдальним живленням / Д. І. Родкін // Проблеми модернізації нових машин і технологій: зб. наукова робота ХДУ ім. Зламаті. 1.- Кременчук, 1998.- С. 23-34.

124. Рейтинг Родкіна Д. Елементи безпосередньої потужності полігармонічних сигналів / Д. С. Родкін – Львів: – Електроінформ. - 2003. - № 3. - С. 13-15.

125. Автоматизація віртуальної машини Сидоренка розрахунок миттєвої потужності електричних сигналів / В.М.Сидоренко, Д.І.Родкін, О.П.Чорний та ін. // Вісті ХДУ. Наукові праці ХДУ ім. - VIP. 3 (26). – Кременчук : КДПУ. - 2004. - С. 91-96.

126. Сіпайлов Г. А. Теплові, гідравлічні та аеродинамічні розрахунки в електричних машинах / Г. А. Сіпайлов, Д. І. Санніков, В. А. Жадан. - М.: Вище. школа – 1989 р. – 239 балів

127. Інструкція з автоматичного електроприводу; під червоним. В. А. Єлісєєв, А. В. Шиняцький. - М.: Енергоатоміздат, 1983.

- 616 балів

128. Статистичний щорічник України за 2001 р. Державний комітет статистики

України. - К.: Техніка, 2002. - 645 с.

129. Побудова систем керування удосконаленням технологічних комплексів з насосами, вентиляторами та компресорами в задачах енергозбереження / Д.І.Рьдкін, О.П.Чорний, Т.В.Коренкова, А.І.Гладир та ін.: звіт про наукову роботу держбюджету МОН ім. Україна,

№ 0107U002867. - Кременчук, 2009 - 420 балів.

130. Супрунович Д. Підвищення коефіцієнта потужності перетворювачів; лінія. З Польщі. / Г. Супрунович - М.: Энергоатоміздат, 1985.- 136 с.

131. Сіром'ятніков І. А. Режимиробота асинхронних і синхронних двигунів / І. А. Сіром'ятніков. - М.: Энергоатоміздат, 1984.- 240 с.

132. Тітко електромагнітний А електродинамічні поля та сили в елементах ротора турбогенератора при переході / А. І. Тітко, Г. М. Федоренко, А. П. Грубой та ін. // Пр. Ін-т електродинаміки НАН України: Зб. Точні науки. пр. - К.: ІЕД НАНУ. - 2008. - VIP. 21.- Сх. 38-42.

133. Тітко О. П. Підвищення надійності / ККД електричних машин в динамічних режимах силових агрегатів / . . Тітко // Праці Інституту електродинаміки НАН України: Збірник наукових статей. - Київ: ІЕР НАНУ. - 2009. - VIP. 23. - С. 83-90.

134. Ткачук. Електромеханічна електроніка: підручник / В. Ткачук - Л.: Вид-во Львівської політехніки, 2006. - 440 с.

135. Тонкаль В.Є. Баланс енергії в електричних колах / [В.Є.Тонкаль, А.В.Новосельцев, С.П. Денисюк та ін.]. - Київ: Наукова думка, 1992.- 312 с.

136. Генеральний директор Федоренко Контроль, діагностика, моніторинга спрогнозувати залишок терміну ізоляції електродвигунів напругою до 0,4 кВ/ДМ. Федоренко, В.В. Чумак, О.А. Але // Українська гідроелектростанція. - №1. - 2004. - С. 28-30.

137. Федорова ММ Поліпшення Методи прогнозування теплового стану двигунів змінного струму в нестационарних режимах роботи: автореф. дис. в пошуку. Кандидат технічних наук. наук: спец. 05.09.01 / М. М. Федоров - Донецьк, 2003.- 39 с.

138. Регульовані диски Firago ВІ АСток / Б. І. Фіраго, Л. Б. Павлячик. - Я. : Технічна перенектива, 2006. - 363 с.

139. Чорний А. П., Калинов, А. П., Калинов, Д. Г., Мамчур: Зб. наук. проти DDTU. - Тематичне видання

«Проблеми автоматичного електричного руху. Теорія дії. »- Дніпро Дніпро: ДСТУ. - 2007. - С. 519-524.

140. А. П. Черний, Д. І. Родкін, В. Н. Сидоренко та ін. Наукові праці ХДУ ім. А. М. Кошового. - Кременчук : КДПУ. - 2004. - С. 123-127.

141. Черный А.П. Визначення зменшення резерву асинхронних двигунів за якістю перетворення електроенергії Черного / А.П. 15. - С. 160-168.

142. Чумак В. В. Надмірне поширення електронпечак під час імпульсного випробування ізоляції на випадок коротких замикань і холостого ходу / В. В.

Чумак, Дао Фі Шан // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - Кременчук : КГПУ, 2005. - Вид. 4/2005 (33). - С. 93-95.

143. Шидловський А.К. Підвищення якості енергії в мережах енергетики / А. К. Шидловський, В. Г. Кузнецов - К.: Наук. андеша, 1985. - 268 с.

144. Шидловський А.К. Електродинамічна стійкість з'єднання та виходустаторні шини та методи підвищення надійності 1000 МВт / А.К. Шидловський, О.І.Тітко, Г.М.Федоренко, В.Л.Гременко, Б.М.Демидюк турбогенератори // Енергетика та електрифікація. - 2008. - №9. - С. 22-27.

145. Ширман А.А. Р. Ширмана, А. Б. Соловійова. - М.: Бібліогр., 1996. - 276 с.

146. Шубов І.Гі вібрації електричних машин. / І. Г. Шубов. - [Видання друге, перероб. і дод.] - Л.: Енергоатоміздат. Ленінградська. отд-но, 1986. - 208 с.

147. Електричне вимірювання. Засобита методи вимірювання (загальний курс): [навч. посібник для вузів]; під червоним. Е. Г. Шрамкова.

- М.: Вище. школа, 1972 - 520 балів

148. Електрика вимірювання; під червоним. А. В. Фремке, Є. М. Душина. - Л.: Енергетика, 1980. - 384 с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України