

M. V. Chashko (Ph.D, Associate Professor),
Industrial Institute of SHEE “Donetsk national technical University”
V. A. Semeval
Industrial Institute of SHEE “Donetsk national technical University”

THE INTRODUCTION OF SOLAR ENERGY IN THE MINING INDUSTRY

Annotation: *This article is devoted to questions of economy in mining and other industries in General. Identified and the necessity of using alternative source of energy. The introduction of solar energy in mining enterprise.*

Key words: *solar energy saving, solar panels, enterprises, mining industry, prospects for the future.*

УДК 621.313.3

В. І. Чернишев

Індустріальний інститут ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ГІРНИЧИХ МАШИН

Анотація: *Наведено аналіз методів контролю та видів несправностей асинхронного електродвигуна у процесі експлуатації. В якості контрольованого параметра асинхронного двигуна визначено резонансну гармоніку струму. Запропоновано метод діагностики асинхронного електродвигуна з використанням резонансних вищих гармонік струму.*

Ключові слова: *асинхронний електропривод, струм, контроль, вищі гармоніки, резонанс, спектральний аналіз, діагностика, перевантаження, короткозамкнений виток.*

Постановка проблеми. Асинхронний електродвигун дуже поширений в електроприводах механізмів та машин гірничих підприємств. Зростання потужності електроприводів здійснюється у напрямку збільшення кількості асинхронних електродвигунів. Надійна робота асинхронного електроприводу забезпечує безперервність технологічного процесу. Практика показує, що більшість відмов електрообладнання відбувається у робочі зміни. Експлуатація асинхронних електродвигунів, що знаходяться в незадовільному технічному стані, призводить до раптових фінансових втрат, зниження якості продукції та безпеки виробництва. Узв'язку із цим виникає необхідність контролю стану та діагностування асинхронного електроприводу в процесі його роботи. Насьогодні відсутня концепція обслуговування електроприводів «за станом».

Аналіз попередніх досліджень. Система технічного обслуговування і ремонту електроустаткування що існує на вугільних шахтах регламентується вимогами правил безпеки та правилами технічної експлуатації вугільних шахт, положенням про планово-попереджувальні ремонти устаткування вугільних підприємств. Відносно великі терміни між випробуваннями, не дозволяють виявляти пошкодження на ранній стадії їх виникнення, тобто не можуть бути зафіксовані у мить її появи [1-3].

Методи неруйнівного контролю і технічної діагностики електрообладнання, які представлено в [4], засновані за різними принципами. Найбільш поширений, вібраційний метод, який використовують для пошуку несправності асинхронного двигуна є трудомістким, так як потребує ретельного розташування датчиків.

Останнім часом, в Україні, та за кордоном [10,11], широко розвивається моніторинг спожитого електроустановкою струму з подальшим використанням спектрального аналізу отриманого сигналу. Метод спектрального аналізу струму значно спрощує процес діагностування. За цим методом можна визначати якість споживаної електроенергії та стан

елементів асинхронного електродвигуна.

При вивченні літератури виявлено, що недостатньо розкрито перерозподіл спектрального складу струму в залежності від режиму роботи та стану асинхронного електродвигуна. Метод спектрального аналізу струму, споживаного асинхронним двигуном, потребує подальшого розвитку.

Мета статті. Удосконалення способів контролю та методів діагностики, що дозволяють на ранній стадії виявляти дефекти асинхронного двигуна в робочих режимах.

Виклад основного матеріалу. У вугільній промисловості України останнім часом спостерігається тенденція до збільшення кількості асинхронних двигунів в електроприводах гірничих машин і стаціонарних установок. Так, сумарна потужність вітчизняного вугільного комбайна КДК700 досягає 830 кВт, а забійного конвеєра СПЦ334П становить 750 кВт. Застосування багатодвигунних електроприводів збільшує капітальні витрати на їх придбання, та зменшує надійність роботи машини. Непередбачена зупинка в роботі гірничої машини, у зв'язку з відмовою асинхронного електродвигуна, зменшує кількість видобутого вугілля, збільшує експлуатаційні витрати на технічне обслуговування машин. Незадовільний стан електрообладнання гірничих машин і механізмів в обмежених просторах виробок, небезпечних за газом, та пилом може бути причиною пожежі або вибуху.

Надійна та безпечна робота асинхронних електродвигунів визначається не тільки проектними рішеннями, технологіями їх виготовлення, але значною мірою якістю обслуговування. Існуюча на вугільних шахтах система технічного обслуговування і ремонту («за регламентом») електроустаткування визначається вимогами правил безпеки та правилами технічної експлуатації вугільних шахт, положенням про планово-попереджувальні ремонти устаткування вугільних підприємств [1-4].

Відносно великі терміни між випробуваннями, регламентовані ДОСТ 7217-87 [5], не дозволяють виявляти пошкодження асинхронного двигуна на ранній стадії їх виникнення, тобто не можуть бути зафіксовані своєчасно.

Основні несправності електричних машин у процесі експлуатації можна поділити на дві категорії: електричні і механічні.

До електричних відмов відносяться наступні несправності: пробій ізоляції на корпус і між фазами, обрив провідників в обмотці, замикання між витками обмотки, порушення контактів і з'єднань (паяних і зварних), зниження опору ізоляції внаслідок її старіння або надмірного зволоження, порушення ізоляції між листами магнітопроводів.

До механічних відмови внаслідок виплавки бабіту в підшипниках ковзання, руйнування сепаратора, шариків або роликів у підшипниках кочення, деформації валу ротора, утворення глибоких доріжок на поверхні контактних кілець, ослаблення кріплення статора до станини, обрив бандажів або їх сповзання, ослаблення пресування осердя, погіршення охолодження машини.

Несправності і пошкодження електричних машин, що викликають відмову в роботі, не завжди вдається знайти шляхом зовнішнього огляду, оскільки деякі з них носять прихований характер і можуть бути знайдені тільки після відповідних випробувань і розбирання машини.

Характерні причини відмов ротора асинхронних двигунів наступні: пробій ізоляції обмотки ротора на корпус призводить до повільного збільшення частоти обертання при пуску асинхронного двигуна; ротор сильно нагрівається навіть при невеликому навантаженні; до тих же явищ призводить порушення ізоляції між контактними кільцями і валом ротора. У разі короткого замикання обмотки фазного ротора спостерігається такий же ефект, як при порушенні ізоляції між контактними кільцями і валом. Обрив стрижня короткозамкнутої обмотки ротора призводить до підвищених вібрацій, зменшенню частоти обертання під навантаженням, пульсаціям струму статора послідовно у всіх фазах

Для статора асинхронного характерні такі причини відмов. Пробій ізоляції між фазами призводить до короткого замикання в обмотці. При короткому замиканні обмотки статора, спостерігаються сильні вібрації двигуна змінного струму, які припиняються після відключення його від мережі, сильне гудіння, несиметрія струмів у фазах, швидкий нагрів окремих ділянок обмотки. Обрив провідників обмотки статора асинхронного двигуна викликає несиметрію струмів і швидкий нагрів однієї з фаз. В крайньому випадку – обрив

фази, ротор не обертається або його частота обертання мала, спостерігається сильний шум і швидкий нагрів двигуна. Виткове коротке замикання обмотки статора або ротора призводить до надмірного нагріву електричної машини при номінальному навантаженні.

Порушення контактів, паяних або зварних з'єднань в асинхронних двигунах еквівалентно обриву витків, стрижнів короткозамкнених обмоток або фази обмотки залежно від місця знаходження даного з'єднання. Порушення контакту в ланцюзі щіток призводить до підвищеного іскріння між контактними кільцями й щітками.

При експлуатації електричних машин особливу увагу надають стану ізоляції. Ізоляція є найуразливішим елементом електричних машин, бо вона порівняно легко порушується від механічних дій і впливу навколишнього середовища, попадання масла і пилу. Для контролю за станом обмоток періодично вимірюють опір ізоляції. Неприпустиме зниження опору ізоляції може бути наслідком сильного забруднення ізоляції, зволоження і часткового руйнування, викликаного старінням ізоляції.

Порушення ізоляції між листами осердя магнітопроводів, призводить до неприпустимого підвищення температури окремих ділянок магнітопроводу і всього магнітопроводу в цілому, підвищеному нагріву обмоток, вигорянню частини магнітопроводу.

Виплавка бабіту в підшипниках ковзання і надмірний знос підшипників кочення призводять до порушення співвісності валів електричної машини і механізму, до появи ексцентриситету ротора. Виплавка бабіту викликає підвищення вібрацій електричної машини, які не зникають після відключення її від мережі. Знос підшипників кочення приводить до появи великих сил одностороннього тяжіння, внаслідок чого двигун не розвиває номінальної швидкості, а його робота супроводжується сильним гудінням. Підвищені вібрації можуть бути також наслідком порушення врівноваженості частин, що обертаються.

Деформація валу ротора приводить до появи ексцентриситету ротора і великих сил одностороннього тяжіння.

Ослаблення кріплення осердя статора призводить до підвищених вібрацій, зникаючих після відключення машини від мережі. Ослаблення кріплення листів магнітопроводу викликає шум і підвищені вібрації двигуна.

Засмічення вентиляційних каналів приводить до неприпустимого нагріву електричної машини або окремих її частин.

Із аналізу приведених можливих несправностей асинхронних двигунів і їх впливу на робочі властивості машини звертаємо увагу, що одні і ті ж ефекти можуть бути викликані різними причинами. Це не дозволяє однозначно назвати несправність електричної машини по її зовнішньому прояву, примушує обмежитися переліком можливих несправностей, які уточнюватимуться при діагностуванні з метою подальшого їх усунення.

Дослідження показують [6], що основні причини ушкоджень асинхронного двигуна наступні: пробій ізоляції обмотки статора – 55%, пошкодження обмотки ротора – 35%, інші – 15%. Статистичні дані для електрообладнання шахтних підйомних установок показують [7], лише 43,5 % відмов запобігаються технічним обслуговуванням, а більшість відмов відбувається в робочі зміни.

Відповідно даним [8], у вугільній промисловості 35% пожеж у підземних виробках шахт відбувається від теплових імпульсів електричної енергії, що виділяються в рудникову атмосферу при експлуатації несправних електричних мереж.

Проведений аналіз показує, що обслуговування асинхронних електроприводів за регламентом потребує змін, так як більшість відказів відбуваються у робочі зміни. Методи неруйнівного контролю і технічної діагностики електрообладнання постійно удосконалюють. Вібродіагностика, це метод, який діагностує асинхронний електродвигун у мить його проведення. Групи методів вібродіагностики асинхронного електродвигуна та, критерії їх ефективності наведені в роботі [9]. Результати вібродіагностики можна використовувати для оцінки стану електродвигуна, та зміни термінів проведення планово-попереджувальних ремонтів. Вібраційний метод є достатньо дорогим і трудомістким.

На шахтах України успішно впроваджується уніфікована телекомунікаційна система диспетчерського контролю та автоматизації керування гірничими машинами і

технологічними комплексами (система УТАС) [12,13]. УТАС виконує повний обсяг функцій, що забезпечують безпечні умови ведення гірничих робіт і підвищення продуктивності шахти з усіма варіантами гірничо-геологічних умов. Дана система призначена для контролю параметрів роботи гірничих машин і навколишнього середовища в гірничих виробках шахт і автоматизованого управління машинами і технологічними комплексами, а також передачі даних про стан гірничих машин та рудникової атмосфери диспетчеру на поверхню.

Основна область застосування системи – це вугільні і гірничодобувні підприємства, в тому числі, небезпечних по газу і пилу, з устаткуванням, розташованим на поверхні і під землею, а також інші підприємства, де потрібно контролювати і передавати на віддалені відстані параметри роботи обладнання.

Функціональним призначенням системи УТАС є: збір даних про параметри роботи гірничих машин; збір даних про навколишнє середовище у виробках шахт; первинна обробка отриманої інформації; передача даних диспетчера на поверхню; аналіз зібраної інформації за заздалегідь розробленим алгоритмом; видача команд управління до гірничих машин або рекомендацій гірничому диспетчеру.

Сигнали про стан гірничих машин, механізмів, устаткування та навколишнього середовища надходять від відповідних датчиків, установлених в шахті та на поверхні. Ці сигнали надходять на програмовані контролери для їх реєстрації, аналізу, виконання відключення обладнання при перевищенні граничних значень параметрів, а також для передачі сигналів по телекомунікаційному каналу зв'язку в диспетчерську. В диспетчерській, за допомогою програмного забезпечення, інформація аналізується, реєструється, відображається на екрані диспетчера і, залежно від ситуації, керуючі команди віддаються на обладнання, встановлене під землею, або даються рекомендації диспетчеру для прийняття рішень. Для контролю параметрів електроприводів, в системі УТАС, використовують такі вимірювальні модулі: датчик струму, датчик вібрації, датчик температури. Технічні характеристики вимірювальних модулів не розпізнають динамічних процесів в електроприводах гірничих машин. Існуючу телекомунікаційну систему, необхідно доукомплектувати інноваційними модулями. Які, в якості інформаційного сигналу використовують параметри вищих гармонік струму, який споживається електроприводом.

Контроль спектрального складу струму, споживаного асинхронним електроприводом, значно прискорює процес діагностування, і дає можливість робити його автоматично, без присутності людини. Визначення параметрів вищих гармонік струму асинхронного двигуна, дозволяє оцінити стан двигуна. Асинхронний двигун являє собою складну електромеханічну систему у якій електричні, магнітні та механічні процеси пов'язані між собою.

Магнітна індукція вздовж повітряного зазору електродвигуна відрізняється від синусоїди, тому в обмотках існує нескінченний спектр гармонік поля. Вищі гармоніки магнітного поля можна розділити на часові та просторові. Часові гармоніки з'являються в повітряному зазорі електродвигуна внаслідок несинусоїдальності і несиметрії живлячої напруги. Просторові гармоніки з'являються внаслідок нелінійності намагнічуючого контуру, наявності зубців на статорі і роторі, несинусоїдного розподілу магніторушійної сили обмоток[14].

Додаткові моменти вищих гармонік магнітного поля, що діють на ротор асинхронного двигуна можна розділити: на асинхронні, синхронні, гістерезисні й реактивні. Виникають також моменти, що викликані радіальними вібраційними силами. Асинхронні моменти вищих гармонік за своєю дією аналогічні моментам основної гармоніки, але мають менші амплітуди і синхронні швидкості. Додаткові асинхронні моменти відіграють значну роль в асинхронних двигунах з короткозамкненим ротором, так як в них утворюються контури для струмів вищих гармонік.

Для визначення характеру частотного перерозподілу струму, досліджувався спектральний склад струму у силовому колі асинхронного електродвигуна потужністю 4кВт. Методом прямого заміру аналізатором гармонік СК4-56 вимірювалися вихідні параметри трансформатора струму, включеного в статорне коло електродвигуна. Почастотно вимірювалися амплітуди вищих гармонік струму до 50-го порядку при зростанні навантаження на вал двигуна. Виявлено різке прирощення амплітуд окремих гармонік

струму. Додатковими дослідженнями визначено, що це резонанс струмів в обмотці статора.

Поява в спектрі струму асинхронного електродвигуна резонансних частот певної величини, свідчить про наявність змін в електромагнітній системі двигуна. За характером змін можна визначити ступінь перевантаження асинхронного електродвигуна або несправність, яка тільки зароджується. Резонансна частота визначається індуктивністю, обмоток статора і ротора та ємностями кабеля живлення та обмоток відносно корпусу. Кожній ступені навантаження електродвигуна відповідає резонансна гармоніка струму[15,16]. Появі короткозамкненого витка в обмотці статора відповідає резонансна гармоніка струму іншої частоти[17,18]. Контроль резонансних гармонік струму в обмотках електродвигунів можна використовувати для діагностування, та організації обслуговування і ремонту в залежності фактичного стану елементів асинхронного двигуна.

Інноваційний підхід полягає у тому, що із нескінченного складу вищих гармонік струму асинхронного електродвигуна обирають гармоніку яка знаходиться в резонансі у номінальному режимі. Частотне вікно спостереження прив'язане до резонансної гармоніки. По напрямку зміщення частоти резонансу, величині амплітуди та часу її дії приймається рішення. Спектральні вимірювання проводяться під час роботи електродвигуна, без зупинки технологічного процесу. За цим підходом пропонуються: метод діагностики та способи захисту від перевантаження та короткозамкненого витка асинхронного електродвигуна[19].

Особливо важливо застосувати резонансні гармоніки струму, для захисту від перевантаження та короткозамкненого витка окремих електродвигунів багатодвигунних електроприводів. Запропонований спосіб раціональний для діагностування та контролю асинхронних електроприводів напругою вище 1 кВ, у які за умов безпеки не встановлюють датчики в обмотки електродвигунів.

Висновки. Обґрунтовано резонансну гармоніку струму в якості контрольного параметра струму асинхронного електродвигуна багатодвигунного електроприводу. Розроблено способи та пристрої захисту, що реагують на пошкодження на ранній стадії їх виникнення. Запропоновано метод діагностики асинхронного електродвигуна з використанням резонансних гармонік струму. Натомість планово-попереджувальним ремонтам, пропонується технологія організації обслуговування асинхронного електроприводів за фактичним станом. У зв'язку із цим гірніше підприємство отримає економічний зиск за рахунок зменшення кількості непередбачених зупинок технологічного процесу у робочі зміни.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. НПАОП 10.0-1.01-05. Правила безпеки у вугільних шахтах. – Луганск: ДП ЛЭТЦ, 2005. – 399 с.
2. СОУ 10.1-00185790-002-2005. Правила технічної експлуатації вугільних шахт.– К.: Мінвуглепром України, 2006. – 353 с.
3. Дідик, Р.П. Технологія виробництва і ремонт гірничих машин: Підруч. / Р.П.Дідик, В.М.Забара, П.М.Шилов.– Дніпропетровськ: Наука і освіта, 1999.– 470 с.
4. Техническое обслуживание и текущий ремонт стационарного оборудования /В.М.Бирюков, В.А. Пристром, В.И. Матвеев, Н.Г.Картавий.– М.: Недра, 1998. – 318с.
5. ГОСТ 7217-87. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний. — Введ 01.01.88 г.–М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987.– 41с.
6. Обеспечение надёжности асинхронных двигателей / П.И.Захарченко, И.Г.Ширшин, Б.Д.Ванеев, В.М.Гостищев .– Донецк: УкрНИИВЭ,1998. – 324с.
7. Макаров М. И. Надёжность шахтных подъемных установок /М.И.Макаров, Е.Кърцелин. – Донецк: ДонГТУ, 1996. – 310 с.
8. Ткачук К. П. Взрывопожаробезопасность горного оборудования/К.П.Ткачук, В.П.Колосюк, С.А.Ихно. – К.: Основа, 2000. – 695 с.
9. Браташ А. В. Анализ методов вибродиагностики асинхронных двигателей. / А.В. Браташ, А.П. Калинов. // Вісн. Кременчуцького держ. політехніч. ун-ту. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип. 4.

10. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий /И.В.Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
11. Krai C. Vienna monitoring method — detection of faulty rotor bars by means of a portable measurement system /C.Krai, F.Pirker // Internat. conf. on electrical machines (ICEM-2000).– Helsenki University of technology, Espoo.– Finland,2000.– P. 873-877.
12. <http://www.itras.com.ua>
13. Галушко Н.Н., Глебов В.П. Первый год эксплуатации системы УТАС. Уголь Украины. №8, 2012. С. 38-40.
14. Копылов И.И. Электрические машины: Учеб. для вузов / И.И.Копылов.– М:Энергоатом,1986.–360с.
15. А. с. № 1436175 СССР, МКИ³ H02H7/08. Способ защиты от перегрузки асинхронных электродвигателей / В. И. Чернышев и др.–№4104367; заявл 30.05.1986; опубл. 07.11.88, Бюл. №41.– 6 с.
16. А.с.№ 1598026 СССР, МКИ³ H02H7/08, 3/52. Устройство для защиты группы электродвигателей от перегрузки по токам высших гармоник./ В.И.Чернышев и др. – №4463486; заявл 19.07.1988;опубл. 07.10.90, Бюл. № 37.– 6 с.
17. Патент на корисну модель №79239,Україна, МПК H02H7/08(2006.01). Спосіб захисту асинхронного електродвигуна від виткових замикань./В.І. Чернишев; заявл. Держ. вищ. навч. закл. «Донецький національний технічний університет». – №u201213774;заявл.03.12.2012; опубл.10.04.2013, Бюл. «Промислова власність» №7. – 8 с.
18. Патент на винахід №105420, Україна, МПК (2014.01) H02H7/08 (2006.01), G01R31/00, H02H7/00. Спосіб захисту асинхронного електродвигуна від виткових замикань. /В.І. Чернишев; заявл. Держ. вищ. навч. закл.«Донецький національний технічний університет».–№a201211385; заявл. 02.10.2012; опубл. 12.05.2014, Бюл. «Промислова власність» № 9. – 8 с.
19. Чернишев В.І. Спосіб захисту та діагностування електроприводів гірничих машин від виткових замикань. Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі. Електронна версія збірника тез Міжнародної науково- практичної інтернет-конференції, ДВНЗ «Криворізький національний університет», 14 грудня 2016р.- С. 262.

В. И. Чернышев

Индустриальный институт ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ГОРНЫХ МАШИН

Аннотация: Приведен анализ методов контроля и видов неисправностей асинхронного электродвигателя в процессе эксплуатации. В качестве контролируемого параметра асинхронного двигателя определена резонансная гармоника тока. Предложен метод диагностики асинхронного электродвигателя с использованием резонансных высших гармоник тока.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, ток, контроль, высшие гармоники, резонанс, спектральный анализ, диагностика, перегрузки, короткозамкнутый виток

Victor Chernyshev

Industrial Institute SHEE "Donetsk national technical University"

DEVELOPMENT OF CONTROL AND DIAGNOSTICS OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES OF MINING MACHINES

Annotation: The analysis of methods of control and types of faults in induction motor operation is given in the paper. Controlled parameter of the induction motor is determined as a resonant harmonic of current. The method of diagnostics of induction motor with resonant higher harmonics of current use is proposed.

Key words: asynchronous electric drive, current control, harmonics, resonance, spectral analysis, diagnostics, over-load, closed loop