

Міністерство освіти і науки України
Чернігівський промислово економічний коледж
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з НР

_____ С.В. Бондаренко

_____ 2014 р.

**Методичне забезпечення
лекційних занять з дисципліни
Надійність електроприводів
для студентів IV курсу
спеціальності 5.05070104 «Монтаж і експлуатація
електроустаткування підприємств і цивільних споруд»**

Уклав

О. І.Кравець

Розглянуто на засіданні
циклової комісії
спеціальних електротехнічних дисциплін
Протокол №1 від 30 серпня 2014 року

Голова циклової комісії

В.В. Олійник

Лекція № 1

Тема: Елементи теорії ймовірності і математичної статистики

Мета: ознайомити з основними видами випадкових подій і з визначенням ймовірності події.

Методи: словесний

План:

- 1 Визначення випадкова подія.
- 2 Види випадкових подій.
- 3 Визначення ймовірність події.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, підручник

Література:

- 1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.
- 2 Электрический привод: Учебное пособие для сред. проф. стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 368 с.

Надійність - один з найважливіших показників якості. Тому стандарти і технічні умови на електричні машини, як правило встановлюють вимоги до показників надійності. Надійність електричних машин повинна бути забезпечена на всіх стадіях: при проектуванні, виготовленні та експлуатації. Це і визначає програму данної дисципліни.

Електроприводом (ЕП) - називається електромеханічна система, що складається з взаємодіючих електричних, електромеханічних і механічних перетворювачів, а також керуючих, інформаційних пристроїв і пристроїв сполучення, призначених для приведення в рух виконавчих органів робочих машин і управління цим рухом з метою здійснення технологічного процесу.

Прогрес техніки завжди супроводжувався аваріями та катастрофами, але осягаючи причину відмов створених ним пристроїв, людина навчилася багато чому і створила науку про **надійність**.

Розрізняють три види подій: достовірні, неможливі і випадкові. Достовірною називається подія, яке обов'язково відбудеться при здійсненні певних умов. Неможливою називається подія, яка напевно не відбудеться при здійсненні певних умов. Випадковою називається подія, яка може відбутися або не відбутися при здійсненні заданих умов.

Кожну випадкову подію передбачити неможливо, проте велике число однорідних випадкових подій підпорядковується певним ймовірнісним законам. Теорія ймовірностей і займається вивченням цих закономірностей.

Дія, в результаті якої настає або не настає випадкова подія, називається **випробуванням**. Якщо поява однієї випадкової події виключає появу інших в даному випробуванні, то такі події називаються несумісними. Якщо жодна з подій не є більш можливою, то такі події називають рівноможливими. Єдиноможливою називають таку подію, поява якої є достовірною подією.

Випадкову подію позначають $A_1, A_2, \dots, A_{n-1}, A_n$. Рівність $A_1 = A_2$ означає, що поява однієї із цих подій тягне за собою появу іншої. Добуток подій A_1 і A_2 є подія $A_3 = A_1 \cdot A_2$, яка настає при настанні обох подій A_1 і A_2 . Сума подій A_1 і A_2 є подія $A_3 = A_1 + A_2$, яка настає при настанні хоча б однієї з подій A_1 і A_2 . Різниця подій A_1 і A_2 є подія $A_3 = A_1 - A_2$, яка зазначається в тому, що подія A_1 відбувається, а A_2 не відбувається. Протилежна подія позначається тією ж буквою, але з рискою зверху, наприклад A і \bar{A} - протилежна подія. Подія A_1 і A_2 несумісні, якщо $A_3 = A_1 \cdot A_2$, де A_3 - неможлива подія. Подія A_k ($k = 1, 2, \dots, n$) утворюють повну групу подій, якщо в результаті досліду обов'язково повинна трапитись хоча б одна з них; при цьому
$$\sum_{k=1}^n A_k = A, \text{ де } A - \text{достовірна подія.}$$

Лекція № 2

Тема: Основні теореми теорії ймовірності

Мета: ознайомити з теоремами та формулами ймовірності.

Методи: словесний

План:

- 1 Теорема множення.
- 2 Теорема додавання.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, підручник

Література:

1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.

2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва «Высшая школа», 1991 г.

У теорії ймовірностей основними є теореми множення і додавання. Теорема множення ймовірностей для незалежних подій свідчить, що ймовірність спільної появи декількох подій, незалежних у сукупності, дорівнює добутку ймовірностей цих подій:

$$p\{A_1 A_2 \dots A_n\} = p\{A_1\} \cdot p\{A_2\} \cdot \dots \cdot p\{A_n\}.$$

Позначимо ймовірність прямого події p , а протилежного. Якщо маються події A_1, A_2, A_n , незалежні в сукупності, то ймовірність появи хоча б однієї з цих подій

$$p\{A\} = 1 - q_1 q_2 \dots q_n.$$

Теорема додавання ймовірностей полягає в наступному. Ймовірність появи однієї з декількох попарно несумісних подій дорівнює сумі ймовірностей цих подій:

$$p\{A_1 + A_2 + \dots + A_n\} = p\{A_1\} + p\{A_2\} + \dots + p\{A_n\}.$$

Сума ймовірності протилежних подій дорівнює одиниці:

$$p\{A\} + p\{\bar{A}\} = 1.$$

Сума ймовірностей подій, що утворюють повну систему, дорівнює одиниці. Ймовірність появи однієї з незалежних подій не залежить від ймовірності появи інших.

Для двох спільних подій ймовірність появи хоча б однієї з них дорівнює:

$$p\{A_1 + A_2\} = p\{A_1\} + p\{A_2\} - p\{A_1 A_2\}.$$

Лекція № 3

Тема: Терміни і визначення в області надійності

Мета:

- 1 Отримати поняття про надійність ЕП.
- 2 Дати характеристику поняттю відмова.
- 3 Зрозуміти основні стани в яких може перебувати ЕП з точки зору надійності.

Методи: словесний

План:

- 1 Поняття надійність ЕП.
- 2 Поняття відмова ЕП. Класифікація відмов.
- 3 Основні стани в яких може перебувати ЕП з точки зору надійності.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник

Література:

- 1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.
- 2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва «Высшая школа», 1991 г.

Надійність — це властивість ЕП виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах, при певних режимах і умовах експлуатації, протягом необхідного часу.

Надійність поняття комплексне, в нього входять такі властивості об'єкта, як: працездатність, безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереженість, відмова, збій, граничний стан, напрацювання, термін служби, ресурс.

2.Класифікація відмов

Відмова — подія, після якої ЕП перестає виконувати (цілком або частково) свої функції, або, інакше кажучи, — це подія, яка спричиняє перехід ЕП з працездатного стану в непрацездатний.

Відмови можна класифікувати за цілим рядом ознак (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 Види відмов за різними ознаками

Класифікаційні ознаки	Види відмов
За ступенем впливу на працездатність	1.Повна (катастрофічна) 2.Часткова (параметрична)
За зв'язком з іншими відмовами	1.Залежна 2.Незалежна
За часом появи відмови	1.Раптова 2.Поступова
За тривалістю існування відмови	1.Стійка 2.Тимчасова

Поясню, що розуміють під тим чи іншим видом відмови.

Повні (катастрофічні) відмови — це такі відмови, при яких ЕП втрачає працездатність.

Часткові (параметричні) відмови — це погіршення якості функціонування ЕП. Якщо погіршення якості функціонування ЕП не призводить до відмови, то такі несправності називають дефектами, і їх розгляд виходить за межі теорії надійності.

Раптовій відмові може не передувати поступове накопичення пошкоджень, вона виникає раптово.

Поступова відмова виникає в результаті поступового накопичення пошкоджень, головним чином, унаслідок зносу і старіння матеріалів.

Залежна відмова – відмова, обумовлена чи зв'язана з іншими відмовами.

Незалежна відмова – відмова, яка необумовлена іншими відмовами.

Стійка відмова - непрацездатність зберігається стійко.

Поступова відмова - поступова зміна одного або декількох основних параметрів. Зауважимо, що надійність невідновлюваного ЕП насамперед визначається його безвідмовністю.

Конструкційна відмова - порушення встановлених правил і (або) норм конструювання, недосконалість прийнятих методів конструювання.

Експлуатаційна відмова - порушення встановлених правил і (або) умов експлуатації об'єкту.

3. Працездатність ЕП — властивість ЕП виконувати задані функції з параметрами і характеристиками, які відповідають технічній документації.

Властивість ЕП зберігати працездатність (тобто не мати відмов) протягом заданого часу і при визначених умовах експлуатації називається **безвідмовністю**.

Довговічність ЕП — це здатність до довготривалої експлуатації при необхідному технічному обслуговуванні, до якого можуть входити різні види ремонтів.

Ремонтпридатність ЕП — це пристосовуваність ЕП до попередження, виявлення і ліквідації відмови.

Ресурс — наробка до критичного стану, який регламентується технічною документацією.

Збереженість - властивість ЕП безперервно підтримувати свою працездатність протягом і після зберігання і транспортування.

Події, які полягають у порушенні працездатності ЕП, називається **відмовою**.

Збій - самоусуваюча відмова ЕП. Непрацездатність зберігається короткочасно, після чого працездатність самовідновлюється.

Граничний стан - стан ЕП, який відповідає технічній неможливості або недоцільності його подальшої експлуатації, обумовлене вимогами безпеки або непереборним зниженням ефективності.

Напрацювання - тривалість або обсяг роботи виконаної електроприводом (ЕП).

Термін служби - календарний період часу від початку експлуатації електропривод (ЕП) до граничного стану.

Лекція № 4

Тема: Показники кількісної оцінки надійності ЕП

Мета:

1 Ознайомити з основними показниками кількісної оцінки надійності елементів ЕП.

2 Зрозуміти основні формули, для розрахунку показників надійності ЕП.

Методи: словесний, наочний

План:

- 1 Основні показники кількісної оцінки надійності ЕП.
- 2 Основні формули для розрахунку показників надійності ЕП.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник

Література:

- 1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.
- 2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва «Высшая школа», 1991 г.

Основні показники надійності

В теорії надійності розглядають три найбільш вживані показники надійності:

- ймовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу;
- середній час напрацювання до відмови;
- коефіцієнт готовності виробу.

Ймовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу $P(t)$

представляє собою ймовірність того, що в межах зазначеного періоду часу t , відмова ЕП не виникне. Цей показник визначається відношення числа елементів ЕП, що безвідмовно пропрацювали до моменту часу t до загального числа елементів ЕП, працездатних в початковий момент.

Середнє напрацювання до відмови T_v - це математичне очікування напрацювання до першої відмови, яке ще називається середнім часом до відмови або середнім часом безвідмовної роботи ЕП.

Коефіцієнт готовності ЕП $k_z(t)$ характеризує ймовірність працездатного стану ЕП в довільний момент часу t .

Знаходять ці показники для різних теоретичних розподілів випадкових величин, що характеризують надійність ЕП.

Об'єм роботи ЕП чи тривалість функціонування ЕП (години, цикли) характеризують таке поняття в теорії надійності як **наробка**.

Неремонтовані ЕП працюють до першої відмови. Цілий ряд показників надійності неремонтованих ЕП є характеристиками випадкової величини — **часу наробки ЕП до відмови**. Під часом наробки до відмови розуміють тривалість роботи ЕП. Для великої кількості ЕП, які випробуються, цей показник є різним і носить випадковий характер, а його середньоквадратичне відхилення називається дисперсією.

Лекція № 5

Тема: Забезпечення надійності ЕП на стадії проектування

Мета:

- 1 Ознайомити з визначенням надмірності ЕП.
- 2 Зрозуміти основні види надмірності ЕП.

Методи: словесний, наочний

План:

- 1 Поняття надмірності ЕП.
- 2 Основні види надмірностей.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник

Література:

- 1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.
- 2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва «Высшая школа», 1991 г.

Основним засобом підвищення надійності ЕП є введення різного виду **надмірності**, під яким приймаються додаткові засоби і можливості, що перевищують мінімально необхідні для виконання заданих функцій.

Надмірність може бути внутрішньо-частинною, структурної і тимчасової.

Внутрішньо-частинна надмірність передбачає зниження електричних навантажень на елементи системи. Це досягається заміною одного елемента іншим, функціонально подібним, але з більш високими визначальними параметрами. Наприклад, застосування конденсатора з номінальною напругою

вище розрахункового створює запас електричної міцності і тим самим підвищує надійність роботи конденсатора в схемі.

Структурна надмірність, називається також резервуванням, є ефективним засобом підвищення надійності ЕП. Резервування припускає включення в схему ЕП додаткових резервних елементів, блоків і пристроїв, що дозволяє створювати навіть з не дуже надійних компонентів надійні ЕП. Важливо відзначити, що включення в схему ЕП додаткових елементів, блоків і пристроїв збільшує його масу, габарити і вартість, тому застосування цього способу має бути економічно обгрунтоване.

Резервування може бути найрізноманітнішим по своїй реалізації. Загальне резервування передбачає резервування ЕП в цілому, а роздільне — окремих його елементів.

При постійному резервування додаткові елементи і пристрої під'єднані до основних (робочим) протягом всього часу їх роботи ЕП і перебувають з ними в однакових умовах. При резервуванні заміщенням додаткові елементи включаються в роботу лише після відмови основних.

Тимчасова надмірність передбачає використання технологічних резервів часу для відновлення працездатності ЕП. Наприклад, такий резерв часу для ЕП верстата, що працює в складі автоматичної лінії, може бути створений за рахунок накопичення деякого запасу оброблених на ньому деталей. Якщо час відновлення працездатності ЕП (наприклад, за рахунок введення резерву) буде менше часу, за який буде витрачений цей запас деталей, то простою лінії не буде.

Лекція № 6

Тема: Підвищення надійності ЕП за рахунок забезпечення його перешкодозахищеності

Мета:

- 1 Зрозуміти причини виникнення перешкод при роботі ЕП.
- 2 Опанувати основні види перешкод.
- 3 Зрозуміти методи усунення перешкод при роботі ЕП.

Методи: словесний, наочний

План:

- 1 Основні причини виникнення перешкод при роботі ЕП.
- 2 Основні види перешкод при роботі ЕП.
- 3 Методи усунення перешкод.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник

Література:

- 1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.
- 2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва «Высшая школа», 1991 г.

Підвищення надійності електропривода за рахунок забезпечення його перешкодозахисту.

Робота ЕП характеризується дією як корисних електричних сигналів, що забезпечують розрахункове його функціонування, так і шкідливих, непередбачуваних заздалегідь випадкових збурень, які називаються перешкодами. Перешкоди викликають збої в роботі елементів і вузлів ЕП, а іноді і їх пошкодження, знижуючи тим самим надійність його роботи і різко ускладнює його налагодження і експлуатацію.

Особливо чутливі до перешкод електронні пристрої управління ЕП, діючі з малопотужними корисними електричними сигналами.

Всі перешкоди можна умовно розділити на дві групи - власні і зовнішні.

Власні перешкоди. Основними джерелами перешкод у ЕП є електричні двигуни, релейно-контакторна апаратура, тиристорні перетворювачі і електромагнітні пристрої. Такі перешкоди можуть створюватися також при коротких замиканнях в електричних мережах, при виникненні перенапруг, пов'язаних з відключенням мереж з індукцією, при зміні напруги на сусідніх проводах.

Перешкоди в електричних двигунах створюються при комутації, порушення контакту між щітками і колектором або контактними кільцями, вібрації валу. Для уникнення перешкод в електричних двигунах застосовують різні **фільтри, додаткові компенсаційні обмотки, мета**

Крім того, повинен бути здійснений надійний електричний контакт між частинами двигуна, а також їх ретельне складання.

Перешкоди виникають при роботі електричних апаратів і різних електромагнітних пристроїв — гальм, муфт, електромагнітів. При відключенні на обмотках апаратів і одночасно на підключених проводах з'являються

перенавантаження, які можуть у багато разів перевищувати номінальний рівень. Ці перенавантаження можуть викликати як пробій ізоляції обмоток.

Перешкоди при роботі реле, контакторів, магнітних пускачів і інших комутаційних апаратів виникають при вібраціях а також при пробіі або виникненні дуги в між контактному проміжку. Зниження цього виду перешкод досягається застосуванням іскро і дуго гасників та фільтрів.

Перешкоди при роботі тиристорних перетворювачів створюються із-за спотворення ними синусоїдальної форми напруги і струму, внаслідок чого створюються високочастотні перешкоди (гармоніки напруги і струму). Крім того, тиристорні перетворювачі створюють перешкоди за рахунок комутаційних процесів, пов'язаних з відкриттям одних тиристорів і закриттям інших.

Найбільш ефективним способом зниження перешкод тиристорних перетворювачів є установка різних фільтрів. Інший шлях зменшення створюваних ними перешкод пов'язаний з вибором таких режимів роботи перетворювачів і способів управління ними, при яких спотворення кривих напруги і струму будуть мінімально можливими.

Зовнішні перешкоди.

Зовнішні перешкоди на ЕП можуть надходити через мережу живлення або за рахунок дії електростатичних і електромагнітних полів, що створюються сусідніми електроустановками. До таких установок крім ЕП відносяться електричний транспорт всіх видів, повітряні лінії і підстанції електропередач, електрозварювальне обладнання, різні високочастотні промислові та наукові установки, автомобілі із двигунами внутрішнього згорання, обчислювальні комплекси. Способи зменшення зовнішніх перешкод визначаються тим, чи надходять вони в ЕП по проводах (гальванічні перешкоди) або за рахунок дії електростатичного та електромагнітного полів (ємнісні або індуктивні перешкоди).

Гальванічні перешкоди можуть надходити в схему ЕП у тому випадку, коли він має загальні для декількох електроприймачів мережі живлення або загальний провід.

Зниження впливу гальванічних перешкод через мережу живлення досягається наступними основними заходами: установкою R-L-C фільтрів у місці приєднання ЕП де електромережі; використання окремих блоків живлення для пристроїв керування ЕП застосуванням проводки з максимально можливою відстанню між проводами системи живлення. При цьому мережі живлення доцільно виконати з максимально коротких проводів великого перерізу.

Зменшення перешкод за рахунок дії електростатичних і електромагнітних полів може здійснюватися кількома способами.

Найбільш дієвий спосіб зменшення цього виду перешкод передбачає, розміщення блоків і пристроїв керування металевих (феромагнітних) корпусах, а

всього електрообладнання ЕП — в металевих шафах. В результаті цього шкідливі зовнішні поля екрануються цими металевими корпусами і не викликають появи перешкод в електричних мережах ЕП.

До цього ж способу зменшення зовнішніх перешкод відноситься екранування проводів і кабелів, розміщення їх в металевих трубах або коробах.

Лекція № 7

Тема: Підвищення експлуатаційної готовності ЕП

Мета:

- 1 Зрозуміти поняття коефіцієнт готовності ЕП і коефіцієнта технічного використання ЕП.
- 2 Опанувати технічні заходи для підвищення коефіцієнта готовності.
- 3 Зрозуміти методи організації ремонту несправного блоку ЕП.

Методи: словесний

План:

- 1 Поняття коефіцієнт готовності ЕП і коефіцієнта технічного використання ЕП.
- 2 Основні технічні заходи для підвищення коефіцієнта готовності.
- 3 Методи організації ремонту несправного блоку ЕП.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник

Література:

1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.

2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва «Высшая школа», 1991 г.

Високоєфективне функціонування робочих машин і механізмів можливо лише при надійній роботі електроприводів їх виконавчих органів, основи такої надійної роботи закладаються вже на стадії проектування і конструювання ЕП.

Однак максимально високі показники надійності ЕП ще не гарантують високу експлуатаційну готовність до роботи, що приводяться в рух машин і механізмів. Наприклад, відмови в ЕП можуть виникати рідко, але вимагають великого часу для їх виявлення і ліквідації або, як кажуть, великого часу відновлення працездатності ЕП. У цьому випадку технологічне обладнання буде

значний час простоювати, що викличе економічні збитки. Таким чином, експлуатаційна готовність ЕП визначається пристосованістю ЕП до виявлення несправностей і відмов. Усунення їх шляхом ремонтів і технічного обслуговування.

Кількісно експлуатаційна готовність ЕП визначається коефіцієнт готовності K_r :

$$K_r = \frac{T_0}{T_0 + T_B}$$

де T_0 - середня напрацювання на відмову, год T_B - середній час відновлення (середня тривалість відмови), що представляє собою математичне очікування часу відновлення працездатності ЕП, год.

У деяких випадках готовність ЕП оцінюється коефіцієнтом технічного використання $K_{т.и.}$, визначаються як:

$$K_{т.и.} = \frac{T_0}{(T_0 + T_B + T_{обсл})}$$

де $T_{обсл}$ -- сумарний час простоїв із-за планового або позапланового технічного обслуговування ЕП, год.

Чим ближче коефіцієнт K_r до одиниці, тим вище технічний рівень ЕП і тим ефективніше може бути використано технологічне обладнання.

Для отримання великого коефіцієнта готовності слід максимально скорочувати час відновлення T_B . У загальному випадку цей час складається з інтервалу між моментами виникнення відмови і початку ремонту $T_{обн}$ (період виявлення відмови) і часу T_p ремонту ЕП (періоду ліквідації відмови). Таким чином, скорочення часу T_B відновлення працездатності ЕП визначається скороченням термінів на виявлення і ліквідацію відмови (несправності ЕП). Розглянемо технічні заходи, що дозволяють скоротити час T_B , і тим самим підвищити коефіцієнт готовності ЕП.

Скорочення часу виявлення відмови $T_{обн}$ забезпечується головним чином за рахунок використання схем контролю за роботою окремих пристроїв ЕП. При виникненні несправності або відмови схема контролю забезпечує звукову і світлову сигналізацію, а в аварійних ситуаціях — і спрацювання захисту ЕП.

Найпростішими функціями схем контролю та сигналізації є, наприклад, світлова сигналізація про стан електричних апаратів схем управління електроприводів, наявності або відсутності напруги або струму на входах і виходах електротехнічних пристроїв ЕП.

Розвиток схем контролю пов'язане зі створенням діагностуючих пристроїв з використанням в першу чергу ЕОМ. Широкі можливості діагностуючих приладів на базі ЕОМ визначаються їх здатністю отримувати, запам'ятовувати, обробляти і розподіляти великі обсяги інформації за короткий час. Наприклад, зіставляючи задані і справжні (поточні) значення електричних сигналів в пристроях ЕП або їх окремих елементах і вузлах, система діагностики здатна оцінити їх, працездатність і видати інформацію про місце і характер несправності.

Ефективність дії схем контролю та діагностики в значній мірі визначається схемотехнічним і конструктивним виконанням пристроїв ЕП. Якщо вони побудовані за блочно-модульним принципом, мають необхідну кількість зручних контрольних точок електричних ланцюгів і елементів сигналізації, той час виявлення несправного блоку або пристрою істотно скорочується.

Вхідні до складу ЕП пристрої за своїм конструктивним виконанням є, як правило, відновлюючими або, іншими словами, ремонтуєми. Час ремонту T_p пристроїв і блоків ЕП визначається головним чином рівнем організації служб ремонту й матеріально-технічного постачання підприємства. У загальному випадку ремонт обладнання може здійснюватися відповідним персоналом ділянки, цеху або централізовано в межах підприємства (об'єднання) або ж за допомогою сторонньої організації (у тому числі і при гарантійному ремонті).

Організація ремонту несправного блоку може здійснюватися за двома варіантами. У першому випадку після виявлення відмови несправний блок ремонтується, а ЕП і відповідне технологічне обладнання в цей час не працюють (простоюють). При значному часу ремонту така його організація призводить до великих економічних збитків.

При другому, доцільний варіант організації ремонтної служби в її розпорядженні повинен знаходитися комплект запасних елементів і блоків ЕП. У цьому випадку при відмові ЕП час його ремонту визначається тільки заміною несправного блоку на запасний, що не призводить до тривалого простою

устаткування. Вилучений зі схеми несправний блок піддається ремонту і через деякий час знову стає справним і вводиться в число запасних.

Якщо ЕП має n однотипних працюючих блоків (елементів, вузлів, пристроїв) з інтенсивністю відмов λ_i , то ймовірність відсутності простою ЕП при наявності в запасі одного запасного блоку з часом ремонту $t_{рем}$ визначається за формулою:

Лекція № 8

Тема: Експлуатаційні фактори, які впливають на надійність електричних машин

Мета:

- 1 Зрозуміти поняття експлуатаційні фактори.
- 2 Опанувати основні експлуатаційні фактори, які впливають на надійність ЕП.

Методи: словесний

План:

- 1 Основні експлуатаційні фактори.
- 2 Вплив основних експлуатаційних факторів на надійність ЕП.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник

Література:

- 1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.
- 2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва «Высшая школа», 1991 г.

В процесі експлуатації на електричні машини впливають: теплова енергія, електрична напруга, вібрації, волога. Електродвигуни, крім того, схильні комутаційним перенапругам, динамічним зусиллям при пусках (реверсах). Нарешті, електричні машини можуть працювати в хімічно агресивних або в інших незвичайних середовищах.

Довгий час вважали, а багато хто вважає дотепер, що майже єдиним чинником, що впливає на надійність ізоляції електричних машин, є теплове старіння. Щоб встановити термін служби електроізоляційних матеріалів, користуються «правилом десяти градусів», яке свідчить, що ресурс ізоляції зменшується вдвічі при підвищенні робочої температури на 10 °С. На цьому

правилі засновані багато пропозиції і розрахунки, спрямовані на підвищення надійності електричних машин. Однак ряд прикладів експлуатації електричних машин переконливо показує, що теплота хоча і один з головних, але не єдиний чинник, що визначає надійність електричних машин.

Далі наведено результати деяких досліджень з асинхронним двигуном, які підтверджують цей висновок. Поданим рядом досліджень, середнє навантаження асинхронних двигунів універсальних металорізальних верстатів становлять 20% номінальної. Однак середній час безвідмовної роботи електродвигунів на цих верстатах та інших виконавчих механізмах (наприклад, вентиляторах) при найменших навантаженні приблизно однаково (лажі на верстатах воно менше через Більшу частоти пусків).

Крім постановки спеціальних експериментів інформацію про вплив окремих експлуатаційних факторів можна отримати безпосередньо за матеріалами експлуатації. За даними про відмови асинхронних двигунів встановлено, зокрема, що на час безвідмовної роботи електродвигунів істотно впливає вологість навколишнього середовища.

В ізоляційних матеріалах відбуваються процеси адсорбції і сорбції вологи, що значно знижує їх електричну міцність. Особливо істотно вплив вологи при недостатній пропитке. Волога проникає в простір, незаповнене просочиним складом, а звідти дифундує в макро-і мікропустоти ізоляції. Наявність вологи може привести до зниження строку служби змащення підшипникових вузлів на 25% .

Це підтверджує і аналіз відмов електродвигунів по порам року: взимку - 17,2%, навесні - 30.6%, влітку - 24.8%. восени - 27,4%.

Є й інші дані. Коефіцієнт кореляції між часом безвідмовної роботи електродвигунів и годиною їх роботи протяг доби становить $0,5 \pm 0,08$ - достатньо високий. При малому часу роботи протяг доби випадає роса на обмотці, волога проникає в мікротріщини, що скорочує час безвідмовної роботи.

Досить істотно впливає на надійність електродвигунів частота їх включення. При частині включення або реверсах швидше руйнуються сепаратори підшипників, в обмотках виникають значні динамічні зусилля від пускових

струмів, а також комутаційні перенапруги, що досягають великої величини. Все це зніжує надійність електродвигунів.

Таблиця 8.1

**Частота включений и процент отказов электродвигателей
за один год эксплуатации**

Наименование оборудования	Средняя частота включений в один час	Число отказавших электродвигателей (из числа установленных на этом оборудовании), %
Намоточные станки	100	60,0
Транспортеры	6	31,0
Бегуны	1,25	17,6
Вентиляторы	0,05	12,7
Насосы	0,05	11,2

Лекція № 9

Тема: Надійність АД

Мета:

- 1 Зрозуміти призначення надійності АД в промисловості.
- 2 Опанувати основні види відмов АД.
- 3 Ознайомитись з кривою розподілу частоти відмов АД.

Методи: словесний

План:

- 1 Характеристика відмов АД.
- 2 Крива розподілу частоти відмов .

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник

Література:

- 1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.
- 2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва «Высшая школа», 1991 г.

Трифазні асинхронні двигуни є найбільш масовою продукцією електромашинобудування проте їх надійність недостатня. Основним видом відмови електродвигунів є пошкодження його обмотки, так що для

електродвигунів з всипною обмоткою вимагає повної перемотування або, як прийнято вважати, капітального ремонту. У середньому протягом року капітального ремонту піддається близько 20% встановлених асинхронних двигунів. По галузях промисловості відмова двигунів характеризується наступними цифрами (з капітального ремонту в рік): будівництво - 50%, гірничодобувна - 30%, машинобудування - 20%, чорна металургія - 13%, хімічна - 0%. У той же час вітчизняні асинхронні двигуни експортного виконання безвідмовно працюють протягом тривалого часу. Це пояснюється якістю їх виготовлення і більш ретельним контролем виробництва.

Недостатня надійність асинхронних двигунів завдає державі великої економічної шкоди. Збитки обумовлені не тільки значними витратами на ремонт, які складають близько 80% вартість річного випуску електродвигунів, а й великими втратами від простою обладнань при відмовах електродвигунів.

Електричні машини мають рад здібностей, не дозволяють безпосередньо застосовувати при дослідженні їх надійності методи, досить повно розроблені для пристроїв радіоелектроніки та автоматики.

Такими особливостями є: принципова неможливість резервування елементів, велика складність окремих вузлів (наприклад, обмотки), схемна не складність, навіть у порівнянні з найпростішими радіоелектронними пристроями, великий строк служби, невизначеність навколишніх умов і нормальних режимів роботи, особливо для електродвигунів загального застосування.

До пошкоджень АД відносяться:

- дефекти проектування;
- низька якість матеріалів і комплектуючих виробів;
- дефекти технології виробництва;
- неправильне застосування двигунів.

Дефекти проектування. При дослідженні відмов виявлена певна група ушкоджень, обумовлена дефектами проектування. Найчастіше ці дефекти пов'язані з зайвим підвищенням використання активних і конструкційних матеріалів. До дефектів проектування належать:

- Високий коефіцієнт заповнення пазів;

- Малий запас теплостійкості ізоляції;
- Малий повітряний зазор;
- Недостатня жорсткість конструкції.

Високий коефіцієнт заповнення пазів. Одним із способів підвищення використання активної частини машини є збільшення коефіцієнта заповнення пазів міддю. Це досягається застосуванням більш тонкої ізоляції (виткової і пазової).

Лекція № 10

Тема: Надійність синхронних машин

Мета:

- 1 Зрозуміти принцип дії синхронної машини.
- 2 Основні причини відмов синхронних машин (СМ).

Методи: словесний

План:

- 1 Принцип дії синхронної машини.
- 2 Причини відмов синхронних машин (СМ).

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник

Література:

- 1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.
- 2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва «Высшая школа», 1991 г.

Синхронні машини виготовляють в дуже широкому діапазоні потужностей: синхронні машини малої потужності (в тому числі реактивні) - потужністю до 100 кВт і великі машини - гідро- і турбогенератори - потужністю від 100 кВт до декількох тисяч кіловат.

Природно, що статистика характеру і причин їх відмов різна.

На відміну від більшості асинхронних двигунів синхронні машини великої потужності являють собою ремонтовані вироби. У зв'язку з цим набувають значення такі поняття як ремонтпридатність, середній час відновлення, коефіцієнт готовності та інші, якими не доводилося користуватися при дослідженні надійності асинхронних двигунів.

Особливістю умов експлуатації синхронних машин, як крупних електричних машин взагалі, є періодичні капітальні та планово-попереджувальні ремонти і

випробування в процесі яких виявляється певне число різних пошкоджень. Сюди входять такі несправності, як знижена електрична міцність ізоляції, попадання масла на обмотки, порушення кріплень, ослаблення опресування активної сталі та ін. Своєчасне усунення таких несправностей підвищує надійність машин, так як зменшує ймовірність відмов аварійного характеру.

Статистичні дані свідчать про те, що однією з основних причин відмов синхронних машин є заводські дефекти, причому особливе значення має якість виготовлення. Число аварійних відключень, викликаних дефектами виготовлення машин, значно (приблизно у 5 разів) більше, ніж викликаних дефектами конструкції. Протягом першого періоду роботи (5-10 тис. год) має місце приробітку, коли замінюються і ремонтуються деталі, що володіють заводськими дефектами. Потім настає період нормальної експлуатації.

Тривалість якої в звичайних умовах становить 15-20 років. В кінці цього періоду починається поступове почастищення відмов, пов'язане із зносом і старінням ізоляційних та інших матеріалів та елементів конструкції.

Розглянемо статистику ушкоджень синхронних генераторів потужністю до 100 кВт, що використовуються в різних установках автономного живлення. За своїми властивостями і показниками надійності ці генератори мають багато спільного як з великими синхронними машинами, так і з асинхронними двигунами.

Розглянемо питання, що визначають надійність синхронних генераторів потужністю понад 100 кВт: гідро- і турбогенераторів. Відмови синхронних машин внаслідок пошкодження обмотки статора відбуваються, як правило, через електричного пробою ізоляції обмотки. Основна умова виникнення пробою полягає в наявності ділянок зниженою електричної міцності в ізоляції обмотки. Такі ділянки можуть з'являтися внаслідок дефектів виготовлення, пошкоджень при монтажі обмотки або виникнути і далі розвиватися при експлуатації або ремонтних роботах.

Процес поступового руйнування ізоляції прискорюють концентрації навантажень: підвищені механічні зусилля при перехідних процесах, вібрація, перенапруження, перевантаження по струму та ін. Проте досвід експлуатації показує, що вирішальне значення має розподіл по обмотці ділянок із зниженою міцністю ізоляції, так як амплітуди практично можливих концентрацій навантажень недостатні для пробою доброякісної неушкодженою ізоляції.

Серед дефектів, що допускаються при виготовленні обмотки, слід згадати потрапляння на поверхню ізоляції феромагнітних частинок, вібрація яких в магнітному полі призводить до поступового руйнування ізоляції. Аналогічні явища відбуваються при слабкій опресовці активної сталі, коли ізоляція руйнується в результаті утворення віяла і вібрації листів сталі в зубцеву зону, що також становить небезпеку для ізоляції. Недостатньо надійне кріплення лобових частин обмотки створює умови для пошкоджень ізоляції переважно біля виходу стрижнів з пазів.

Недостатньо надійними є і конструкції кріплення лобових частин, застосовувані в гідрогенераторах (шпильки, бандажі).

Всі ці дефекти мають місце і в нових машинах, але часті розвиваються при експлуатації та виконанні ремонтних робіт. При використанні термореактивної ізоляції розбухання не відбувається, тому кріплення стрижнів з такою ізоляцією в пазах може послаблюватися в процесі роботи машини.

Лобові частини обмоток статора великих машин піддаються найбільшій небезпеці при перехідних процесах, що супроводжуються великими струмами: коротких замиканнях і несинхронних включених для генераторів, пусках і реверсах для двигунів.

Електродинамічні зусилля і вібрації викликають ослаблення кріплень, порушення герметичності водяного тракту в машинах з водяним охолодженням та інші ушкодження. Усадка ізоляції, радіальна вібрація стрижнів і тангенціальна вібрація зубців при роботі машини знижують щільність закліновки пазів. Оскільки довжина ділянки стрижня з ослабленим кріпленням може бути різною, то можливе виникнення резонансних явищ. Крім того, вібрація викликає втомні пошкодження міді елементарних провідників і стирання ізоляції. Наприклад, на деяких вітчизняних турбогенераторах потужністю 200 і 300 МВт мали місце поломки елементарних провідників поблизу транспозиційних переходів, що приводили до аварійних пошкоджень корпусної ізоляції.

Попадання масла на обмотку створює умови для виникнення поверхневих розрядів та інших явищ, небезпечних для ізоляції. Існуючі системи ущільнень і маслоелектропостачання не виключають можливості проникнення масла і його парів всередину машини. Відомі випадки пробою ізоляції статорних обмоток великих турбогенераторів в результаті попадання масла на поверхню обмотки.

Найбільш типовим дефектом активної сталі є ослаблення її опресування.

Пошкодження роторів синхронних машин відбуваються рідше, але при цьому призводять до більш істотним аварій. Причому наслідки тим важче, ніж великим запасом кінетичної енергії володіє ротор турбогенератора.

Поширеною несправністю є зниження опору ізоляції ланцюга ротора через забруднення струмопідводу (і обмотки) маслом і вугільним пилом. У великих турбогенераторах з безпосереднім водневим охолодженням обмотки ротора порушення ізоляції виникає внаслідок попадання всередину обмотки вологи, часток металу, іржі. Сторонні частинки і бруд можуть стати не лише причиною зниження рівня ізоляції, але й викликати замикання витків обмотки між собою і на корпус.

Найбільш поширеною несправністю підшипників є витікання масла. Масло з підшипників може засмоктуватися всередину машини і потрапляти на обмотку. У турбогенераторах з водневим охолодженням всередину машини потрапляє також масло з ущільнень. Іноді спостерігається проникнення в машину масла в туманному стані.

Боротьба з проникненням масла в машину ведеться двома шляхами: з одного боку, необхідно запобігти витіканню масла з підшипників, з іншого - перешкодити потраплянню його всередину машини. Для цього повинні бути належним чином відрегульовані подача і злив масла, повинні бути справні і добре пригнані лабіринтові ущільнення, для виходу масляних парів рекомендується передбачати відводячу трубку.

Надійність роботи машини, її термін служби і міжремонтний період експлуатації в значній мірі залежать від її вібраційних показників. Підвищена вібрація свідчить про наявність недоліків конструкції, дефектів виготовлення машини і її збірки, а також про виникнення пошкоджень. З іншого боку, сама вібрація є джерелом серйозних пошкоджень та аварій.

Лекція № 11

Тема: Урахування вимог по надійності при проектуванні АД

Мета:

- 1 Ознайомитись з основними вимогами по надійності для АД.
- 2 Зрозуміти будову моделі міжвиткової ізоляції обмотки.

Методи: словесний

План:

- 1 Основні вимоги по надійності при проектуванні АД.
- 2 Будова моделі міжвиткової ізоляції обмотки.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник

Література:

- 1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.
- 2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва «Высшая школа», 1991 г.

Використовуючи модель надійності міжвиткової ізоляції обмотки, можна оцінити безвідмовність обмотки. Слід зазначити, якщо асинхронний двигун можна вважати ремонтується виробом, то його обмотка - елемент не ремонтуемий. Тому для оцінки надійності обмотки можна користуватися показником надійності - безвідмовністю.

Модель надійності міжвиткової ізоляції дозволяє проектувальникові визначити ймовірність безвідмовної роботи обмотки для різних варіантів розрахунків. При цьому проектувальник може варіювати двома групами факторів, що визначають надійність обмотки: статистиками пробивної напруги міжвиткової ізоляції та конструкції активної частини електродвигуна.

Статистики пробивної напруги міжвиткової ізоляції залежать від марки і якості обмотувального дроти, марки і просочувального лаку, коефіцієнта заповнення, технологічного процесу обмотки і просочення. Елементами конструкції активної частини, що впливають на надійність обмотки, є: число пазів, число провідників в пазу, схема з'єднань секції в фазі.

При подальшому збільшенні коефіцієнта варіації надійність міжвиткової ізоляції різко зменшується, особливо зі збільшенням числа витків. При збільшенні

коефіцієнта варіації практично не знижуються надійність обмотки, але зі збільшенням числа витків надійність зменшується. Надійність обмотки залежить не тільки від середніх значень пробивних напруг ізоляції обмотувальних проводів, плівки просочувальних лаків та інших ізоляційних матеріалів, а так само від коефіцієнтів варіації пробивних напруг.

Лекція № 12

Тема: Забезпечення надійності електричних машин в процесі виробництва

Мета:

- 1 Опанувати схему технологічного процесу обмотки статора.
- 2 Дати оцінку впливу процесу обмотково-ізолюючих робіт на надійність обмотки.
- 3 Дати оцінку вхідного контролю обмоткових проводів.

Методи: словесний

План:

- 1 Схема технологічного процесу обмотки статора.
- 2 Вплив процесу обмотково-ізолюючих робіт на надійність обмотки.
- 3 Вхідний контроль обмоткових проводів.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, підручник

Література:

- 1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.
- 2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва « Высшая школа», 1991 г.

Найбільш схильна до пошкоджень статорна обмотка двигунів. Для оцінки впливу технологічного процесу обмоточно-ізолювальних робіт на надійність обмотки проаналізуємо найбільш поширений на електромашинобудівних заводах технологічний процес. На рисунку дана схема технологічного процесу обмотки статора.

У електродвигунах потужністю до 10 кВт виробляють обмоточно - ізолюючі роботи в пакеті статора до запресовування його в станину . Після намотування пакети кілька разів просочують лаком, сушать і потім запресовують в станину . Ці операції вимагають багаторазової транспортування обмотаного пакету статора; який до запресовування його в станину особливо схильний до пошкоджень . Для зменшення пошкодження обмотки потрібно намотування пакетів робити на конвеєрах . Особливо добре себе зарекомендували просочувальні **конвеєри**.

На цих **конвеєрах** робиться просочування , сушіння , а також проміжна транспортування обмотаних пакетів статора.

Для транспортування обмотаних пакетів статора на інших технологічних операціях, наприклад на операції запресовування пакету в станину, застосовується **контейнери**. Можливість ушкодження лобової частини обмотки статора при запресовуванні пакета з обмоткою в станину можна істотно знизити за рахунок використання для цієї мети **спеціального преса**. Для забезпечення надійності електричних машин в процесі виробництва важливу роль відіграє вхідний контроль обмотувальних проводів, так як від їх якості багато в чому залежить надійність обмотки. Вихідними даними є відомості про дефектність проводів з емальованої ізоляції. Тому на ряді заводів організований вхідний контроль обмотувальних проводів для визначення рівня так званої дефективності.

Для правильного визначення дефектності проводів на стадії вхідного контролю повинна бути дотримана певна методика відбору зразків для випробувань. З поступивших на електромашинобудівний завод партій обмотувальних проводів повинно бути відібрано 10% від партії (але не менше п'яти котушок і кожної партії). З кожної обраної котушки відмотується 20 ... 25 м Призначеного для випробувань. Відібрані для випробувань проводи розрізають на зразки завдовжки 350 ... 400 мм, випрямляють і перемішують: для випробувань відбирають близько 250 шт. Стержень, призначений для накручування па нього зразка провoda виконується з металу. Випробування провoda проводять у дробі. Діаметр дробі 1-2 мм. Дроб'ю заповнюється відповідний пристрій. Для проведення випробувань виготовляють зразки, що представляють собою стрижень з накрученими на нього провodom. Довжина стержня з накрученим провodom становить приблизно 200 мм. Зразки поміщають у пристрій для випробування провoda в дробі таким чином, щоб дріб повністю закривала випробуваний зразок.

Випробування зразків проводять на високовольтній установці. Підйом напруги при випробуванні проводиться до значення[^] кВ, Яке визначається за формулою:

$$\bar{U}_в = \bar{U}_д + 3\sigma_д$$

Середнє значення пробивної напруги кВ, пробиваючого зразка, розраховується за формулою:

$$\bar{U}_д = 0,445 + 0,165d$$

Середнє квадратичне відхилення пробивної напруги кВ знаходять за формулою:

$$\sigma_д = 0,14 + 0,18d$$

Дефектність ізоляції емальованого провoda визначається за формулою:

$$\lambda_д = \frac{-\ln \left(1 - \frac{n_д}{N}\right)}{l}$$

де n_d - число зразків, які пробиті напругою $U \leq \bar{U}_a$, шт;

N – загальне число зразків, шт.;

L – довжина зразка, яка випробується, мм. Приблизно 200 мм.

Отримане значення порівнюється з його допустимим значення. Допустиме значення може бути визначено виходячи з вимог безвідмовної роботи обмотки відповідно до вимог стандарту або технічних умов.

Лекція № 13

Тема: Загальні положення. Терміни та визначення

Мета:

- 1 Зрозуміти поняття оцінка при проведення випробувань електричних машин на надійність.
- 2 Опанувати основні різновиди оцінок.
- 3 Зрозуміти різновиди випробувань.

Методи: словесний

План:

- 1 Оцінка, як показник надійності електричних машин при випробуванні їх на надійність.
- 2 Різновиди оцінок.
- 3 Різновиди випробувань.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник

Література:

- 1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.
- 2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва «Высшая школа», 1991 г.

Для визначення показників надійності електричних машин проводять їх випробування на надійність. Оскільки ці показники є випадковими величинами, то результати випробування на надійність - також випадкові події. Отримані в результаті випробувань числові характеристики відрізняються від фактичних значень цих показників, тому їх називають оцінками.

Розрізняють точкові та інтервальні оцінки. При точкових оцінках необхідно знати межі можливих помилок та їх ймовірність. Ці показники

називають точністю і достовірністю точкових оцінок.

Розрізняють два види випробувань на надійність: означальні та контрольні. Означальні випробування проводять для встановлення відповідності фактичних показників надійності вимогами стандартів або технічних умов. Контрольні випробування проводять на вибірках в процесі поточного виробництва електричних машин з цілю переконатися, що неминучі технологічні відхилення не знизили показники надійності машин і що ці показники по колишньому відповідають вимогам стандартів і технічних умов.

При контрольних випробуваннях використовують один з трьох методів: одноразової вибірки, дворазової вибірки, і послідовного аналізу. За результатами контрольних випробувань вирішують прийняти випробувану партію або забракувати її. За цим можливі два види помилок: помилка першого роду, коли хороша партія бракується, і помилка другого роду, коли погана партія приймається.

Лекція № 14

Тема: Експрес – методика для контролю надійності АД

Мета: Опанувати експрес-методику для контролю надійності АД.

Методи: словесний

План:

- 1 Характеристика експрес-методики для контролю надійності АД.
- 2 Основні формули для розрахунку за експрес-методику.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, підручник

Література:

- 1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва:Издательский центр «Академия», 2010 г.
- 2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва « Высшая школа», 1991 г.

Для асинхронних двигунів загальнопромислового застосування з висотою осей обертання 50-355мм включно, яким у нормативно-технічній документації пред'являються вимоги по надійності, при проведенні контрольних випробувань застосовують експрес-методику.

Ця методика дозволяє за допомогою форсованих випробувань трьохфазних асинхронних двигунів на надійність виявити технологічні дефекти, що визначають напрацювання на відмову.

Форсується пуски і рівень вібрації.

Випробуванням підлягають асинхронні двигуни, вибрані з загальної партії методом випадкового відбору. (Методика поширюється на двигуни працюють з частотою пуску не більше 100). Вихідними даними для вибору режиму форсованих контрольних випробувань є умови, які передбачені в технічних умовах. Випробувальна температура приймається рівною гранично допустимою для класу нагрівостійкості системи ізоляції двигунів, обсяг вибірки приймають рівною 5.

$$t_{\text{в}} = T_0$$

Число пусків за час випробування:

$$v_{\text{в}} = v_{\text{е}} \cdot t_{\text{в}} \cdot k$$

$v_{\text{е}}$ - число пусків в годину при експлуатації;

k - коефіцієнт збільшення пусків. $k=1,5$.

При випробуванні число пусків в годину $v_{\text{год}}$ дорівнює 180.

Загальний час випробування з урахуванням прискорення:

$$t_{\text{приск}} = \frac{v_{\text{в}}}{v_{\text{год}}}$$

$$t_{\text{приск}} = \frac{v_{\text{в}}}{180}$$

У разі нагрівання машин при випробуваннях більше допустимого можливе зниження частоти пусків, з тим щоб температура двигуна була не вище гранично допустимої для класу нагрівостійкості (з відповідним збільшенням часу випробування).

Рівень вібрації приймається рівним 5 мм / сек для двигунів з висотами осей обертання 50 -112 мм і 8 мм / сек - для двигунів з висотами осей обертання 132-355 мм. У разі відмови хоча б одного двигуна час випробування збільшується в 1,5 рази. При повторній відмові хоча б одного двигуна робиться висновок, що вся партія двигунів не відповідає встановленим вимогам. Для контролю температур в отвір рим-болта встановлюється термоапарат. Якщо отвір під рим-болта відсутній, то для установки термоапарата на корпусі свердлиться отвір.

Лекція № 15

Тема: Правила експлуатації електродвигунів для забезпечення їх розрахункової надійності

Мета:

- 1 Опанувати основні фактори, від яких залежить надійність електродвигунів при експлуатації.
- 2 Ознайомитись з ремонтним циклом електродвигуна.

Методи: словесний

План:

- 1 Характеристика основних факторів, від яких залежить надійність електродвигунів при експлуатації.
- 2 Характеристика ремонтного циклу електродвигунів.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник

Література:

- 1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.
- 2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва «Высшая школа», 1991 г.

Надійність електричних машин при експлуатації залежить від ряду факторів. Експлуатація повинна бути організована таким чином, щоб надійність машин, закладена при їх проектуванні і забезпечена при їх виготовленні, була збережена при експлуатації. Необхідна, з точки зору забезпечення заданої надійності, експлуатація залежить від наступних **основних факторів:** правильності вибору та застосування електричних машин, захисті їх від аварійних режимів та діагностики в процесі експлуатації, що дозволяє визначати залишковий ресурс машин та їх вузлів, а також своєчасно проводити планово-попереджувальні ремонти.

Під правильним вибори електричної машини розуміють, у разі, коли мова йде про електродвигунах, відповідність параметрів двигуна параметрам приводимого механізму. Мета правильного вибору - забезпечення надійної експлуатації. Повинно звертати увагу на відповідність ступеню захисту і

кліматичного виконання машини умовам експлуатації. Навантаження не повинна перевищувати номінальної потужності.

Ступені захисту електричних машин та їх характеристики встановлюють Публікація МЕК 43-5 і ГОСТ 14254-96. Ступені захисту позначаються двома латинськими літерами IP (International Protection) і двома цифрами. Перша цифра означає ступінь захисту персоналу від дотику з рухомими або перебуваючи ми під напругою частинами, а також ступінь захисту від потрапляння всередину машини твердих сторонніх тіл. (Табл.7.1)

Друга цифра в позначенні ступені захисту електричної машини показує ступінь захисту від проникнення води всередину машини (табл. 7.2).

В асинхронних двигунах загального призначення, використовують ступінь захисту, які представлені в (табл. 7.3.)

При виборі електричних машин для виконавчих механізмів з метою забезпечення необхідної надійності необхідно правильно підбирати їх модифікацію стосовно запропонованих макрокліматичним районам.

У позначенні електричної машини наприкінці вказані букви, що показують кліматичну модифікацію. Так, позначення У вказує, що електрична машина призначена для роботи в середовищі з помірним кліматом, позначення УХЛ (ХЛ) - в помірно холодному (холодному) кліматі, ТВ - в вологому тропічному кліматі, ТС - у сухому тропічному кліматі, М - в помірно холодному морському кліматі, ТМ - в тропічному морському.

Таким чином, відповідність кліматичної модифікації електричної машини умовам макрокліматичного району дуже важлива для забезпечення надійності машини при експлуатації. Зазначена в стандартах і каталогах номінальна потужність електричної машини відповідає температурі навколишнього середовища 40 С і висоті установки її над рівнем моря до 1000 м. Якщо температура навколишнього середовища вище 40 С або висота установки машини перевищує 1000 м, то потужність повинна бути знижена.

За частотою пусків поділяються всі електроагрегати на три групи:

- З нормальною частотою пусків;
- З підвищеною частотою пусків;
- Частими пусками.

Для кожної групи на підставі проведених вимірювань встановлені найбільш вірогідні значення та інтервали змін частоти пусків. Ці матеріали увійшли до згаданого галузевого стандарту.

За тривалістю пуску електроагрегати поділяються на дві групи:

- З нормальною тривалістю пуску;
- Затяжним пуском;

За рівнем вібрації дозволили підрозділити всі електроагрегати на три групи:

- зі зниженим рівнем вібрації;
- нормальним рівнем;
- підвищеним.

Перший обов'язковий для шліфувальних і деяких інших метало-обробних верстатів. Нормальний рівень вібрації повинні мати всі електроагрегати, до яких не пред'являються особливі вимоги щодо вібрації. Підвищений рівень вібрації неминучий для таких агрегатів, як преси, дробарки і т.д.

Для збереження досягнутого рівня надійності електричних машин необхідно дотримуватись певних правил експлуатації. Не допускається експлуатація двигунів без захисної апаратури. Захисна апаратура повинна забезпечувати захист двигунів:

- Від коротких замикань;
- Перевантаження (систематичного і пускового);
- Неповнофазних режимів.

Велике значення для правильної експлуатації двигунів має **монтаж і підготовка до монтажу**. До монтажу двигуни повинні знаходитися в чистому і сухому приміщенні, в атмосфері якого не повинно міститися кислотних та інших парів, шкідливо діючих на ізоляцію. Перед монтажем, а також після тривалих простоїв необхідно виміряти опір ізоляції обмоток мегомметром.

Для збереження надійності асинхронних двигунів в процесі експлуатації необхідно своєчасно проводити їх технічне обслуговування (ТО-1 і ТО-2), а також поточний (ПР) і капітальний (КР) ремонти. ПР проводиться при помічених відхиленнях рівня шуму і вібрації та інших несправностей у двигунах. КР включає в себе всі роботи, проведені при поточному ремонті і заміну обмотки.

Структура ремонтного циклу двигунів, що працюють в нормальних умовах експлуатації наведено в табл 7.4

Періодичність і число ПР і КР зазначені в табл. 7.4 , носячи довідковий характер, так як ці види ремонтів повинні проводитися при порушенні нормальної роботи або відмов двигунів.

Тривалість ремонтного циклу для інших умов експлуатації визначається наступним чином . Залежно від характеру експлуатації двигунів ці умови можна поділити на чотири групи: легка, нормальна, жорстка, особливо жорстка. Характеристики цих груп у залежності від режимів роботи двигунів і умов навколишнього середовища наведено в табл .7.5

За відомим даними про умови експлуатації по табл .7.5 слід визначити до якої групи потрібно віднести двигун, потім по табл.7.6 знайти відповідний поправочний коефіцієнт K_e .

Крім того, тривалість ремонтного циклу також залеж від змінності роботи двигуна. Значення коефіцієнта K_z наведено в табл. 7.7

З урахуванням поправочних коефіцієнтів $K_e K_z$, що враховують умови експлуатації і змінність роботи двигуна, знаходять поправочний коефіцієнт:

$$K = K_e \cdot K_z$$

Перемножуючи значення тривалості ремонтного циклу, наведеного в табл 7.4, на коефіцієнт K можна визначити тривалість ремонтного циклу для інших умов експлуатації.

Лекція № 16

Тема: Захист електродвигунів від аварійних режимів

Мета:

- 1 Зрозуміти призначення апаратів захисту.
- 2 Ознайомитись з основними технологічними вимогами до апаратів захисту.
- 3 Ознайомитись з класифікацією апаратів захисту.

Методи: словесний

План:

- 1 Призначення апаратів захисту.
- 2 Основні технологічні вимоги до апаратів захисту.
- 3 Класифікація апаратів захисту: переваги та недоліки.

Література:

1 Гольберг О.Д., Хелемская С.П. Надежность электрических машин. Москва: Издательский центр «Академия», 2010 г.

2 Москаленко В.В. Электрический привод. Москва « Высшая школа», 1991 г.

Одним з найбільш дієвих методів підвищення надійності електричних машин при експлуатації є забезпечення їх ефективними засобами захисту від аварійних режимів. 80-90% електродвигунів можна було захистити від відмов, якщо б вони були б обладнанні апаратами захисту за умови своєчасного технічного обслуговування цих апаратів.

Апарати захисту призначені для відключення електродвигунів від мережі при аварійних режимах. Однак якщо через особливості технологічного процесу не можна відключити електродвигуни від мережі, то апарат захисту включає сигналізацію. Щоб правильно захистити електродвигун необхідно знати причини їх відмови.

Причини основних аварійних режимів це:

Обрив фази (ОФ) – 40-50%

Загальмованість ротора (З) – 20-25%

Технологічні перевантаження (ТП) – 8-10%

Зниження опору ізоляції (ЗОІ) – 10-15%

Порушення охолодження (ПО) – 8-10%

Апарати захисту можна підрозділити на дві групи.

До першої групи відносяться апарати прості по своїй конструкції, вони користуються попитом через відносно невисоку вартість, але не дають помітного зниження аварійності електродвигуна в наслідок обмежених захисних функцій.

До другої групи відносяться складні апарати захисту, які володіють широкими захисними функціями, але мають недоліки – високу вартість і недостатню надійність.

Основні технологічні вимоги до апаратів захисту:

- відключати електродвигуни при струмових і температурних перевантаженнях, що виникають при заклинюванні валу виконавчого механізму, перевищення допустимого навантаження двигуна, несиметрія напруг або обрив фази мережі, відхиленнях або коливаннях напруги
- бути перешкодостійкими до мережевих і радіоперешкод;
- надійно працювати в інтервалі температур навколишнього середовища від - 50 до + 70 С при відносній вологості (90 + 3)%;
- захисна характеристика апарату захисту повинна співпадати с тепловою характеристикою захищеного електродвигуна;
- мати мінімальну споживчу потужність (3-5 Вт), мінімальну масу і габаритні розміри;
- мати максимальне число функцій захисту і самоконтролю;
- мати мінімальний час повернення в вихідний стан;
- мати термін служби не менше терміну служби електродвигуна.

Класифікацію апаратів захисту, які використовуються зручно робити по параметру, що контролюється датчиком аварійних режимів. За цим параметром їх можна підрозділити на наступні: теплові, струмові, температурні, фільтрові и комбіновані.

В теплових апаратах захисту датчик контролює кількість теплоти, яка виділилась в нагрівальних елементах, включених послідовно з фазами ротора, в струмових – значення сили струму в обмотці статора, в температурних – температуру обмоток, в фільтрових – значення сили струму або напруги прямої, зворотної чи нульової послідовності, в комбінованих – декілька перерахованих вище параметрів.

В наш час знаходять застосування наступні основні апарати захисту: пристрої для температурного захисту УВТЗ-1, уУВТЗ-1М, теплові реле ТРН, РТЛ, РТТ, TSA, ТРП, автоматичні вимикачі с тепловим і електромагнітним роз'єднувачами, фільтрові ЗОУП-25, ФКЗ, РУД-05, ЕЛ-10, Е-511, реле обриву фази РОФ-1, реле мінімального струму ЭТ-521, реле максимального струму ЭТ-522, комбіновані апарати захисту УЗ-1А, ШЕП-5802.

Теплові реле, особливо типу РТЛ і РТТ досить широко застосовуються для захисту двигунів від аварійних режимів. Вони забезпечують захист електродвигунів від тривалих перевантажень при струмах, які на 15-20% перевищують номінальний, при несиметрії напруги і обриві фаз мережі трифазного змінного струму. Перевагою їх є низька вартість. Однак вони мають наступні недоліки:

- старіння біметалічної пластини в процесі експлуатації;
- залежність порога спрацювання від температури навколишнього середовища;
- інерційність спрацювання при виникненні аварійного режиму;
- не реагують на заторможення ротора;
- не реагують на порушення охолодження електродвигуна, а також зниження опору ізоляції.

Аварійні режими електродвигунів (обрив фази, загальмованість, незапуск і перевантаження) викликають перегрів обмотки статора, і якщо пристрій захисту електродвигуна не спрацює вчасно, то обмотка згорить. Отже, якщо контролювати температуру обмотки статора і при небезпечному нагріванні електродвигун автоматично відключати, то він буде захищений від всіх основних аварійних режимів. Для цього використовують **вбудований температурний захист (пристрій УВТЗ)**.

Нагрівання обмотки можна контролювати різними температурними датчиками, наприклад терморезисторами, в тому числі позисторами, якщо їх встановити в обмотці статора. Оскільки датчики температури вбудовують в статорні обмотки, то такий захист електродвигунів називають вбудований.

Незважаючи на зазначені переваги вбудованого захисту їй властивий ряд істотних недоліків, що обмежують її застосування. Захист по температурі обмотки статора є непрямим, реагує не на причину, а на наслідок аварійного режиму. При явних аварійних режимах, таких, як загальмування ротора електродвигуна або незапусканні його на двох фазах, електродвигун відразу не відключається, а залишається в аварійному режимі до небезпечного перегріву обмотки статора, що викликає інтенсивне старіння ізоляції, а в деяких випадках згорання статорної обмотки (при підвищеній температурній інерції датчика). Обмежує використання вбудованого температурного захисту і та обставина, що встановлювати

температурний датчик у статорні обмотки електродвигуна (ЕД) при експлуатації двигунів неможливо. Це можна робити на заводах при виготовленні електродвигунів або в майстернях при їх перемотці, тому що датчики мають бути встановлені до просочення обмотки, а втручання в обмотку готового електродвигуна неприпустимо. У всіх випадках застосування вбудованого захисту необхідні додаткові проводи для з'єднання датчиків з пускозахисною апаратурою. Крім того, вбудований температурний захист не забезпечує електробезпеку, допускаючи роботу електродвигунів на двох фазах.

Пристрої, контролюючі напругу або силу струму нульової послідовності, створюють помилкові відключення двигунів при асиметрії електричних мереж. Всі пристрої захисту по мінімальній напрузі, реле обриву фаз ЕЛ- 8, ЕЛ- 12 і інші реагують на обрив фази тільки в тому випадку, якщо воно відбулося до місця встановлення захисту. Реле мінімального струму не спрацьовують при перевантаженні і виявляють тільки обрив фази, а реле максимального струму, навпаки, захищають електродвигуни від перевантажень і коротких замикань і не реагують на обрив фази. Відомі пристрої контролю опору ізоляції або струмів витоку не спрацьовують при інших аварійних режимах електродвигунів. Ось чому їх можна застосовувати тільки разом з іншим пристроєм захисту. Дослідження комбінованих пристроїв захисту підтверджує доцільність об'єднання кількох принципів захисту в одному пристрої. Наприклад, одночасно потрібно застосовувати теплові реле і реле обриву фази, при цьому теплові реле повинні бути точно відрегульовані.