

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент Чепіжний А.В.

ДИПЛОМНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження основних існуючих методів та систем захисту асинхронних електричних двигунів»

Виконав

(підпис)

Падалиця Д.А.
(прізвище, ініціали)

Група

ЕТЕС 2301-2м

(Науковий) керівник:

(підпис)

Чепіжний А.В.
(прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент _____ Чепіжний А.В.
(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

«_____» _____ 202__ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Падалиця Дмитро Анатолійович

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження основних існуючих методів та систем захисту асинхронних електричних двигунів

керівник роботи: Чепіжний Андрій Володимирович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом по закладу вищої освіти від «26» __ 02 __ 2024 р. № 572/ос

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи «11» __ 11 __ 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи показники з роботи асинхронних електродвигунів, технічні характеристики обладнання, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти, постанови про забезпечення якості електричної енергії.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

Вступ.

1. Особливості роботи електродвигунів при режимі несиметрії.

2. Аналіз процесів аварійності АД

3. Пропозиції по виконанню захисту АД.

4. Охорона праці.

5. Економічне обґрунтування.

Висновки та пропозиції.

Список використаної літератури.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Презентаційний матеріал виконаний в програмі Power Point

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата

КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 15.08.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 23.08.2024 р.	
3	Написання вступу	до 26.08.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 28.08.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 16.09.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 14.10.2024 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 4»	до 21.10.2024 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 28.10.2024 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2024 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 05.11.2024 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 12.11.2024 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(Падалиця Д.А.)

(прізвище, ініціали)

**(Науковий) керівник
дипломної роботи**

(підпис)

(Чепіжний А.В.)

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Дослідження основних існуючих методів та систем захисту асинхронних електричних двигунів. Магістерська робота / Падалиця Дмитро Анатолійович – Суми: СНАУ, 2024 р. – 48 с.

Виконано аналіз особливостей причини виникнення несиметричних режимів роботи в асинхронних двигунах. Виконано аналіз впливу несиметричних режимів роботи на технічних стан асинхронного електродвигуна.

Проведено аналіз існуючих засобів захисту асинхронних електричних двигунів від несиметричних режимів роботи. Наведено особливості принципів влаштування захисного обладнання.

Виконано аналіз математичної моделі, для проведення досліджень з визначенням основних вихідних параметрів впливу на асинхронні двигуни та визначенням вихідних параметрів для контролю роботи двигуна.

Обрано найбільш ефективний пристрій для захисту асинхронних електродвигунів від несиметричних режимів роботи та наведено основні параметри його роботи.

Виконано аналіз основних заходів охорони праці та наведено основні показники економічної ефективності запропонованих рішень по реалізації захисту асинхронних електродвигунів від несиметричних режимів роботи.

Ключові слова: несиметрія, електрична мережа, засоби захисту, надійність, вібрація, навантаження, технологічні лінії.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ РЕЖИМІ НЕСИМЕТРІЇ.....	7
1.1 Визначення причин аварійності АД.....	7
1.2 Аналіз основних систем виконання захисту електродвигуна.....	11
1.3 Використання методики розрахунку основного захисту АД.....	15
Висновки до розділу.....	17
2 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ АВАРІЙНОСТІ АД.....	18
2.1 Нерухома система для аналізу роботи АД.....	18
2.2 Базова математична модель асинхронного двигуна.....	25
2.3 Робота асинхронного двигуна в аварійних режимах.....	28
Висновки до розділу.....	31
3 ПРОПОЗИЦІЇ ПО ВИКОНАННЮ ЗАХИСТУ АД.....	32
3.1 Опис загальних вимог до системи захисту.....	32
3.2 Виконання обґрунтуванням загального опису захисного пристрою.....	32
3.3 Дані пристрою для виконання контролю за параметрами АД.....	37
Висновок до розділу.....	39
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	40
Висновки до розділу.....	41
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ.....	42
Висновки до розділу.....	44
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми. Використання АД відбувається в доволі великій кількості різноманітних процесів. При цьому вони все ще набирають значного розповсюдження в різних галузях та технологічних процесах. При цьому використання даних АД є виправданим та підтверджується їх параметрами.

Необхідно зазначити, що в результаті тривалої та складної роботи дані АД доволі часто виходять з ладу з різних причин. При цьому основними причинами можуть бути різноманітні перевантаження чи навіть стрибки напруги чи струму в електричній мережі.

Виходячи з такої проблематики необхідною умовою вирішення питання є задоволення потреб захисту даних АД. Система захисту для даних двигунів вибудовується в складну систему, що є складною та багаторівневою.

Така проблематика потребує використання значної кількості датчиків та блоків для обробки різноманітної інформації. В результаті реалізації системи захисту АД спостерігається першочергово забезпечення стабільності їх роботи в технологічних лініях, а також різноманітних процесах.

Додатковою ланкою виконання захисту є використання аномальних пристроїв для контролю за параметрами самих датчиків АД. Вирішення такого комплексу задач потребує доволі складного моделювання та реалізації в програмному середовищі. Виходячи з цього даний напрям дослідження є актуальним, а отже робота відповідно виконується по актуальним на сьогодні темі забезпечення захисту АД.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є аналіз основних систем захисту для реалізації їх використання в асинхронних електродвигунах для різних технологічних процесів та виробництв.

Для проведення дослідження нами пропонується вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз основних несправностей АД та визначити особливості їх виявлення.

2. Виконати математичне моделювання АД та систем ефективних захисту.

3. Запропонувати найбільш ефективну систему захисту АД.

Об'єктом дослідження в роботі є асинхронні двигуни з різними технологічними характеристиками та параметрами.

Предметом дослідження в роботі є системи захисту, що можна ефективно застосовувати для реалізації в пристроях виконання захисту АД.

Методи дослідження. В роботі застосовувались методи програмного та математичного моделювання основних процесів, що виникають в електродвигунах.

Практичне значення отриманих результатів полягає в виборі найбільш ефективної системи захисту АД від різних несприятливих умов роботи.

1 ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ РЕЖИМІ НЕСИМЕТРІЇ

1.1 Визначення причин аварійності АД

Випадки в асинхронних двигунах бувають механічного та електричного типу. Всі вони доволі часто залежать одна від одного та мають перехресний вплив.

Механічні неполадки включають в себе охолодження, поломку крильчатки, вихід зі строю роторів, систему кріплення, недолік підшипника та інші причини та недоліки.

Головні підстави поломки механічного виду є різні вібрації до радіального напрямку. Схожі сигнали відбуваються завдяки асиметрії мережі живлення. Другою причиною вібрації є перенаповнення механічного характеру на роторному валу, та валу роторного асинхронного двигуна. Багато уваги заслуговує неякісне виготовлення частин для АЕД.

Близько 10 відсотків ситуацій є механічними uszkodженнями АД. До 8 відсотків припадає на випадки спричинені енергією асиметрії. До механічних навантаження параметрів, що є номінальними відносять фактично 2 %.

На сьогоднішній час випадки АЕ, які споріднені з електричними випадками поломками струму, не поладки мережі або помилки з напругою, які з'являються на статорі, випадки спричинені зменшенням опору відокремлення процесів псування. Ми розглянули схему для порівняння співвідношення у відсотках (рис. 1.1).

При цьому є проблеми в електродвигунах, що можуть бути утвореними ще на етапі їх виготовлення, а отже строк експлуатації такого двигуна першочергово є низькою, а отже потребує проблемності.

Необхідно зазначити, що навіть при першочерговому закладанні проблемного двигуна основні причини виникнення такі ж, що і аналізовані вище.

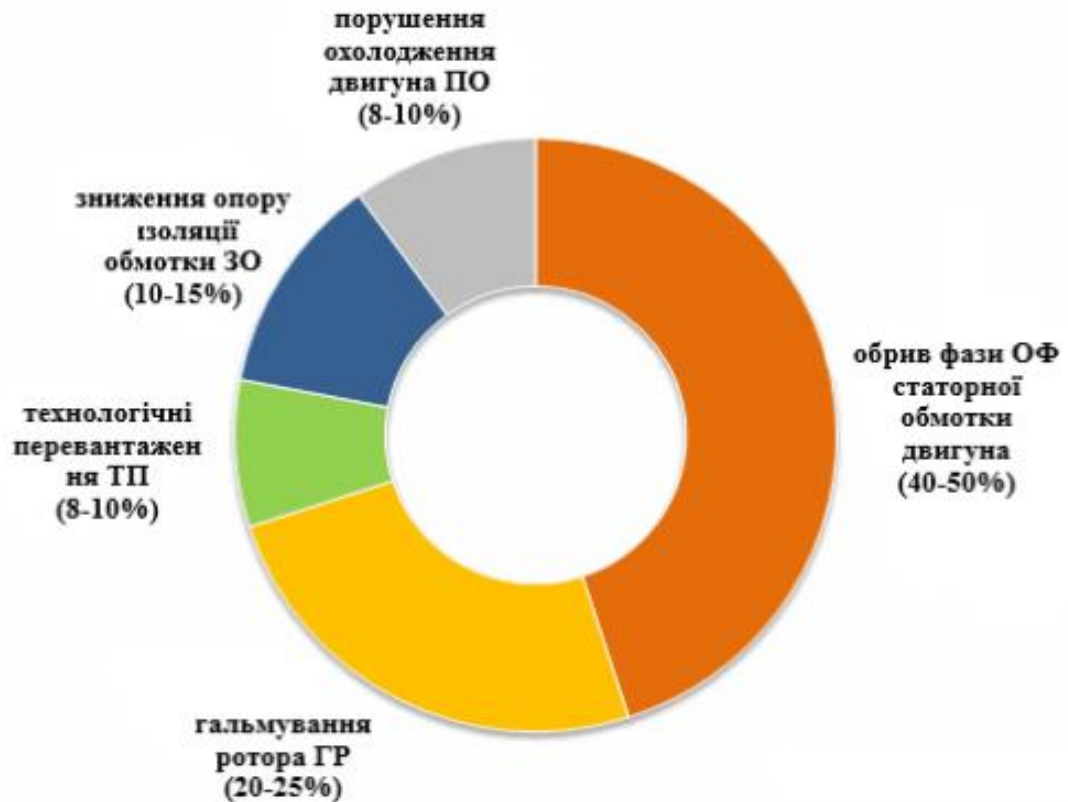


Рисунок 1.1 – Особливості відсоткового розподілу аварійності для АД

Під час проведеного аналізу якості струму під час роботи АЕД було виявлено, що чим менша величина параметру напруги тим більший параметр струм статора. З цього ми бачимо нагрів відокремлення ЕД.

Збільшення мережі може привести подвоєння магнітного потоку статора, магнітного струму, тим самим зменшення потужності.

Уточнюємо про існування мережевих випадків, що не є стандартами не рекламуються та являються проявом асиметричних графіків роботи асинхронного двигуна. Сюди відносяться «злипання» погіршення наступності фаз та їх обриви.

Обриви фаз завжди мають зв'язок з обривом самої лінії, або виключення автомата на одній із ліній, згорівшим захисником.

Режим «залипання» включається під час обриву живильної фази та закривання на стороні двигуна. До того ж однакові фазні напруги додаються на обидві фази двигуна. Напруга у третьої фази лишається в нормі. При невеликій амплітудній асиметрії можна спостерігати фазну асиметрію, яка може

привести до прояву видимих напруг послідовної наступності, що перегрівають двигун, та тим самим вибивають його з робочого стану.

Недотриманість наступності фаз може спричинити зворотній режим роботи, що є недопустимим, тому що може викликати обертання механізму у зворотньому напрямку, як нероботоздатність двигуна так і самого механізму.

Для запобігання аварійних режимів треба проводити наступний алгоритм перевірки: якість живлення та напруги, обчислювати середні показники напруги перед виключенням двигуна, проводити контроль його стану під час роботи, це все допоможе уникнути коротке замикання, та перенавантаження. Слідуючи висновкам дослідження довготривала робота двигуна який має перенавантаження зв струмом, лише на 5 відсотків скорочує його строк експлуатації в десятиліття.

Різна ступінь несунусоїдальності стуму кривої, навіть під час запуску знатно впливає на величину значення. Контролювати роботу АД треба за діючими даними обчислення, а не за середнім показником сигналів може привести до помилок у висновках де описується наявність або ні перенавантаження струму.

Існує два типи перенавантаження струму – симетричний, а також асиметричний. Симетричне виникає по причині механічного перенавантаження двигуна. У більшій частині випадків аварії АД викликані пошкодженнями в середині двигуна, які призводять до перенавантаження асиметричного струму.

Несправний стан асинхронного двигуна визначають в першу чергу ізоляційними дефектами. Під час вживання асинхронного двигуна його ізоляція особливо зношується. Розповсюдженими причинами які викликають старіння цих процесів є перегрів обмоток працюючими та пусковими струмами, струм малого замикання, та переробкою, теплом від інших джерел, активні зусилля які з'являються при взаєморозумінні струму з провідниками та перенапруги комутацій. Навколишнє середовище також має великий на стан ізоляції, забруднення повітря, його вологість та температура.

Категорія безпечності для електричних установок визначається ступенем ізоляції. Якщо опір ізоляції двигуна до корпусу перевищує параметр 0,5 МОм а отже двигун допускають до роботи. Якщо знижена опора ізоляції є ймовірність великого випадку АД який є небезпечним для двигуна та й персоналу що його обслуговує. Мережею шириться струм КЗ, що з 10 разів до 100 раз перебільшує номінальність, та корпусність двигуна на формі може з'являтися небезпечна напруга.

На рис. 1.2. вказана логічно побудована схема недоліків ізоляції АД та методу їх діагностики. Окремі галузі вказані конструктивними дефектами: розривами, проколами, міжфасними ізоляціями, корпусними ізоляціями, що неможливо проводити капітальні ремонти. Недоліки цього типу вимагають діагностики під час експлуатації двигуна.

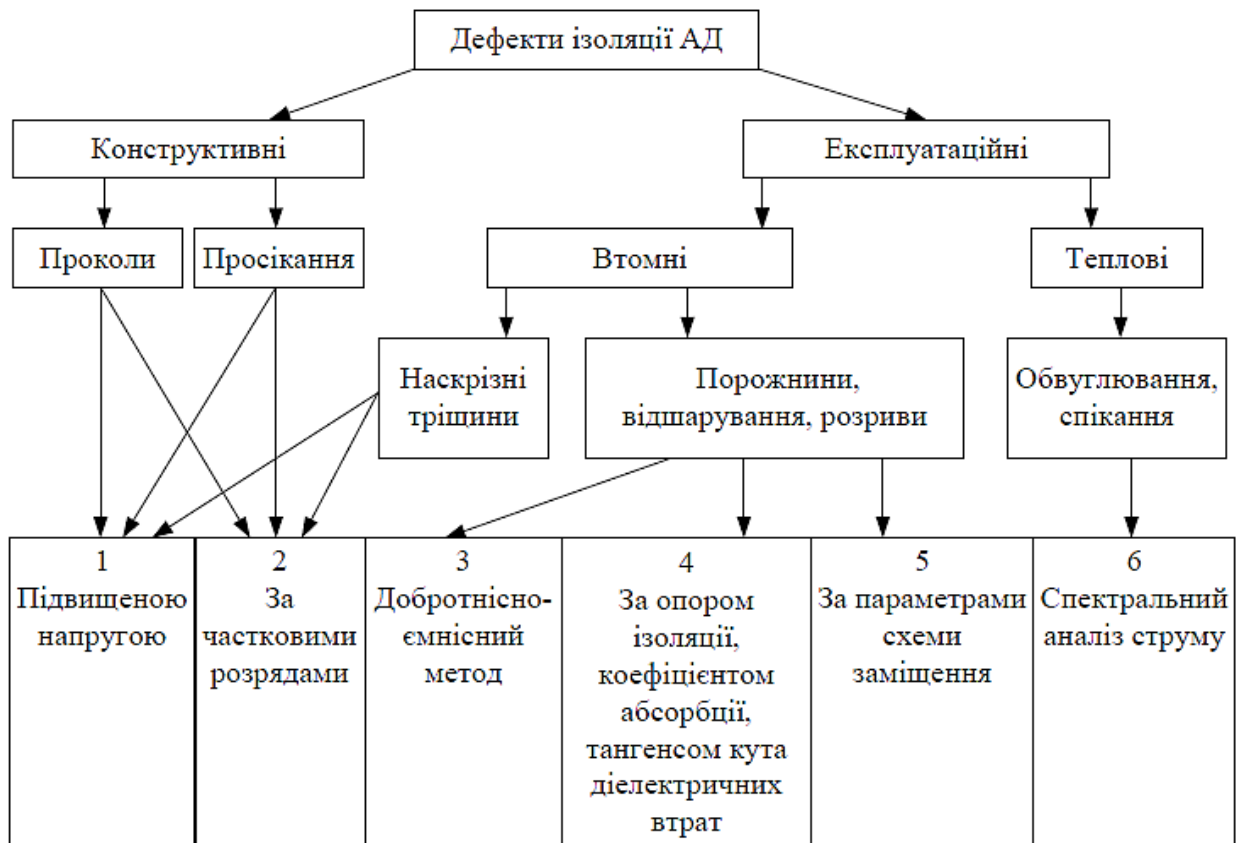


Рисунок 1.2 – Аналіз основних дефектів та їх зв'язків та залежностей

Дефекти в експлуатації ізоляції між витками діляться на втомні та теплові. До теплових відносяться зміни (перегріву), що являються неприпустимими для збільшення температури.

Двигуни з підвищеним ресурсом основну задачу мають – діагностувати втому пошкодженої ізоляції між витками. Базовою ознакою фази зносу і зносу в перехід АЕП до стану прихованого відкази у та відтворення тріщин у ізоляційній міжквиткової композиції. Вади сквозного характеру майже не прибирають напруги засобом ізоляції та не має швидкості у розвитку.

1.2 Аналіз основних систем виконання захисту електродвигуна

Великими вадами мережі вважають недопустиме зменшення або збільшення, погіршення асиметрії та погіршення черги фази. Праця з умовами асиметрії проводиться певними погіршенням для моменту обгортки, збільшення струму у фазах ізоляціях в обмотку статора, зменшення ізоляційного ресурсу.

Несинхронні двигуни трифазного змінного струму напругою більше 500В з напругою більше 400 кВт є погіршенням вигляду електродвигунів. Аварійні режими включають в себе:

1. Однофазні та багатофазні маленькі замикання обмотують електродвигун, багатофазні маленькі замикання у вихідній коробці електричного двигуна та на зовнішніх силових кругах, малі фази замкнення на коробку або на провід з нулем у середині двигуна або назовні у колі з заземленим нейтральним струмом, малі замикання у крузі управління, малі замикання між двигуна обмотками.

На графіку (рис. 1.3) вказані залежності графічних величин струму до нейтрального проводу, тобто з'єднуючи зіркові фази 3, 4 – прямий струм з'єднаний до фаз в трикутному та трифазному графіку роботи.

У вадку при обриванні фази при перегрузу АТ менш ніж 0,5 від номінального значення розряду струму і прямих проводах не перебільшить номінальне значення. Так при такому режимі АД під'єднання обмоток ста тора у зірковому положенні, він може значний час працювати не виходячи з робочого стану при тепловому ушкодженні.

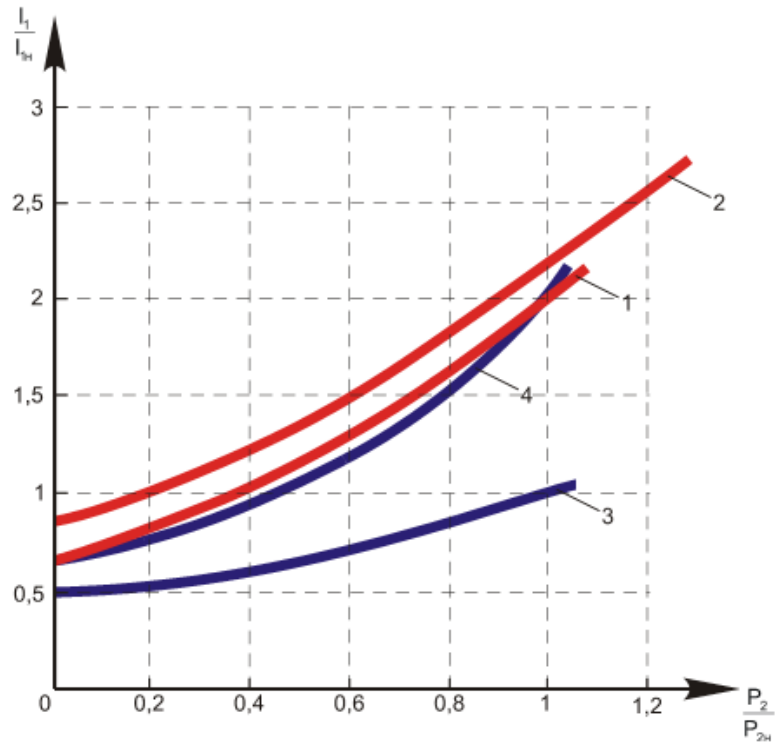


Рисунок 1.3 – Графіки залежності струму та параметру навантаження для двигуна

2. Іншим доволі значним типом перевантаження є теплові. Всі вони фактично повністю виникає через певний набір технічних причин АД. Так для аналізу АД використовують доволі часто побудову основних графіків для опису теплового навантаження.

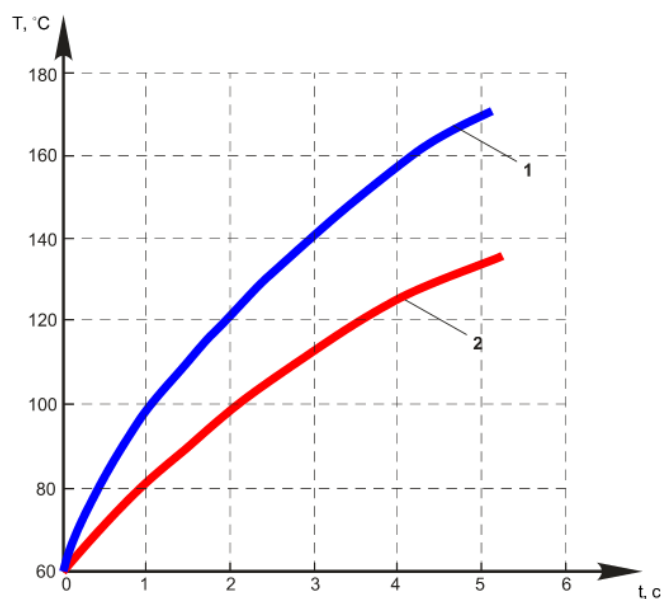


Рисунок 1.4 – Графіки для проведення аналізу теплового навантаження системи

Всі теплові перевантаження виникають фактично через виникнення механічних проблем з електродвигуном, в результаті роботи. Так доволі сильно нагріваються основні механічні елементи. Це такі як підшипники, різноманітні з'єднання.

Додатково всі теплові навантаження можуть бути посилені в результаті виникнення поломок з системою охолодження. А в результаті не відбувається охолодження його основних елементів і може виникнути перегрів. При цьому перегрів призводить в основному до погіршення різноманітних обмоток двигуна.

Теплові процеси мають негативний вплив на всі види ізолюючих матеріалів і в результаті вони не можуть виконувати своїх функцій. При цьому втрата функціональних особливостей даних матеріалів фактично одразу виникає доволі значний перелік інших причин електричного характеру.

В сумі всіх змін параметрів погано впливає на термін експлуатації з значним погіршенням загального стану та в кінцевому випадку до значного зниження терміну експлуатації.

Необхідно також зазначити одну значну особливість, що невчасне виявлення будь якої з проблем призводить до виникнення інших проблем, і в результаті виникає ланцюгова реакція яку зупинити доволі швидко можна лише за умови виконання операцій по капітальному ремонті.

В основних видах захисних систем можна виділити електричні системи захисту, що контролюють фактично зміну основних електричних параметрів мережі живлення та параметрів роботи двигуна, що описуються механічними характеристиками.

Іншим видом захисту є потреба в захисті від режимів КЗ. КЗ в основному відбуваються в колах електродвигуна. При цьому важливо виконати миттєве відключення його від живлення та максимально швидко його зупинити.

Для виконання основних видів захисту можуть використовуватись основні пристрої захисту. Загальна схема одного з пристроїв наведено на рисунку 1.5.

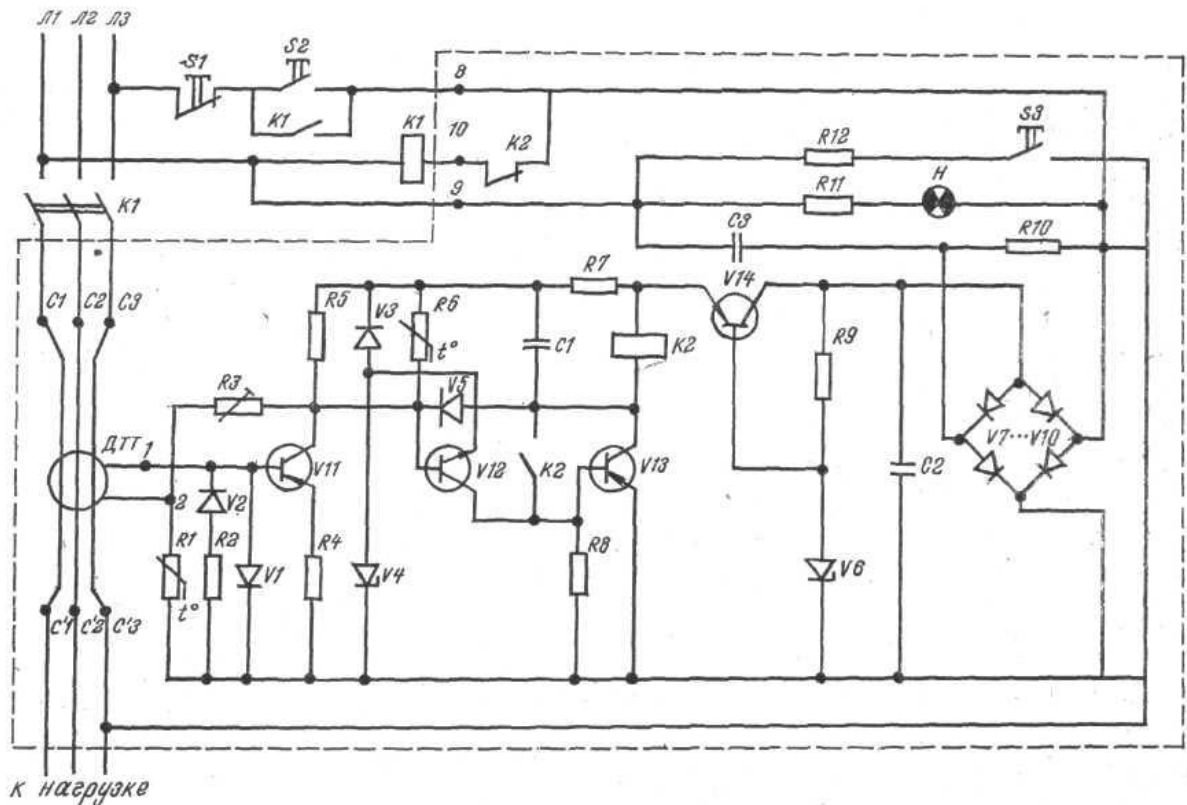


Рисунок 1.5 – Схема пристрою захисту з можливістю його відмикання від системи

Дані пристрої, що наведені на рисунку 1.5 можуть одночасно виконувати декілька типів захисних операцій. При цьому необхідно враховувати призначення захисту та не використовувати зайвих типів захисту на двигуні лінії. Це лише значно переоцінює організацію захисту АД.

Основною особливістю є також можливість компоновання різних типів захисту, що об'єднуються в один блок з розміщенням в щитах керування АД.

Існують доволі розповсюджений тип захисту з використанням плавких запобіжників. Роботу їх забезпечує плавка вставка в його конструкції. Недоліком даних запобіжників є те, що при їх перегоранні вирішити питання подальшої роботи можна лише в виконанням заміни запобіжника на новий, що є робочим.

Інші апаратами захисту мають на меті можливість повернення до робочого режиму. Виконується подібне повернення не за рахунок заміни всього апарату, а простим включенням по принципу автоматичного вимикача.

1.3 Використання методики розрахунку основного захисту АД

Для проведення системи захисту АД необхідною умовою є використання струмовго захисту відповідно до основних струмів, що протікають в електродвигуні. А отже методика розрахунку починається з визначення середнього значення що є квадратичним:

$$I_{\text{екв}}^2 = \frac{I_1^2 \Delta t_1 + I_2^2 \Delta t_2 + \dots + I_n^2 \Delta t_n}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n} \quad (1.1)$$

За рахунок певної рівномірності розподілу струмів отримуємо рівняння з врахуванням основних його осередків:

$$I_{\text{екв1}}^2 = I_1^2 \quad (1.2)$$

$$I_{\text{екв2}}^2 = \frac{I_1^2 + I_2^2}{2} \quad (1.3)$$

$$I_{\text{екв3}}^2 = \frac{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2}{3} \quad (1.4)$$

$$I_{\text{екв}n}^2 = \frac{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}{n} \quad (1.5)$$

Також необхідно визначити значення суми квадратів величини струму:

$$I_1^2 = I_{\text{екв1}}^2 \quad (1.6)$$

$$I_1^2 + I_2^2 = 2 \cdot I_{\text{екв2}}^2 \quad (1.7)$$

$$I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 = 3 \cdot I_{\text{екв3}}^2 \quad (1.8)$$

$$I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2 = n \cdot I_{\text{екв}n}^2 \quad (1.9)$$

В результаті можна зробити висновок, що квадрати значень струмів відповідають основним рівнянням захисту та повинні мати певні комірки для врахування часових проміжків. В результаті отримуємо рівняння:

$$(I_1^2), (I_1^2 + I_2^2), (I_1^2 + I_2^2 + I_3^2), (I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2) \quad (1.10)$$

Для визначення гранично допустимих значень використовуємо рівняння:

$$\sum_{екв n}^n I^n = n I_{ном}^2 ((K / n \Delta t) + 1), \quad (1.11)$$

де n – конкретна комірка для часового проміжку запису інформації;

$I_{ном}^2$ – квадрат по величині струму, що має номінальні значення;

K – сталий показник величини;

Δt – періодичність часових проміжків.

При проведенні основного розрахунку враховують певну максимально допустимі значення для параметрів захисту. А отже і відповідно основні налаштування також виконуються відповідно до заданих показників.

Наведений спосіб проведення розрахунків має доволі гарні показники використання по параметру точності а отже на нашу думку є найбільш кращим видом виконання захисту.

Подібним чином доволі часто використовують контроль за допустимими параметрами величини навантаження. При цьому другою по важливості величиною виступає фактично параметр часу.

Час для спрацювання є доволі важливим параметром через те, що значна тривалість роботи АД в режимі несправності призводить до руйнувань, що є доволі значними в загальній схемі компоновки електродвигуна.

Висновки до розділу

Проведений аналіз основних несправностей електродвигуна та враховано їх основні зв'язки при продовженні роботи АД. При цьому існує доволі велика кількість несправностей, що можуть бути закладені на етапі збирання двигуна. Але всі ці причини є доволі складними та мають або електричний або тепловий характер з взаємозв'язками один між одним.

Для захисту використовується також пристрої, що враховують причини виникнення їх в асинхронному двигуні. При виникненні пошкоджень вони фактично миттєво виникають АД не доскаючи пошкодження іншого електрообладнання, обмоток чи навіть ізоляції.

2 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ АВАРІЙНОСТІ АД

2.1 Нерухома система для аналізу роботи АД

Для проведення аналізу основної роботи АД доволі часто використовують різноманітні способи, що навіть можуть бути графічними. При цьому необхідною умовою є побудова з вказанням основних електричних величин в електричних для аналізу. Далі на основі графічного зображення виконують побудову загальної моделі АД.

Виходячи з цього нами пропонується застосувати дану методику для моделювання роботи двигуна. При цьому на її основі пропонується вибудувати найбільш ефективну систему захисту.

Загальний вигляд електродвигуна, а саме його схематичне зображення наведено на рисунку 2.1.

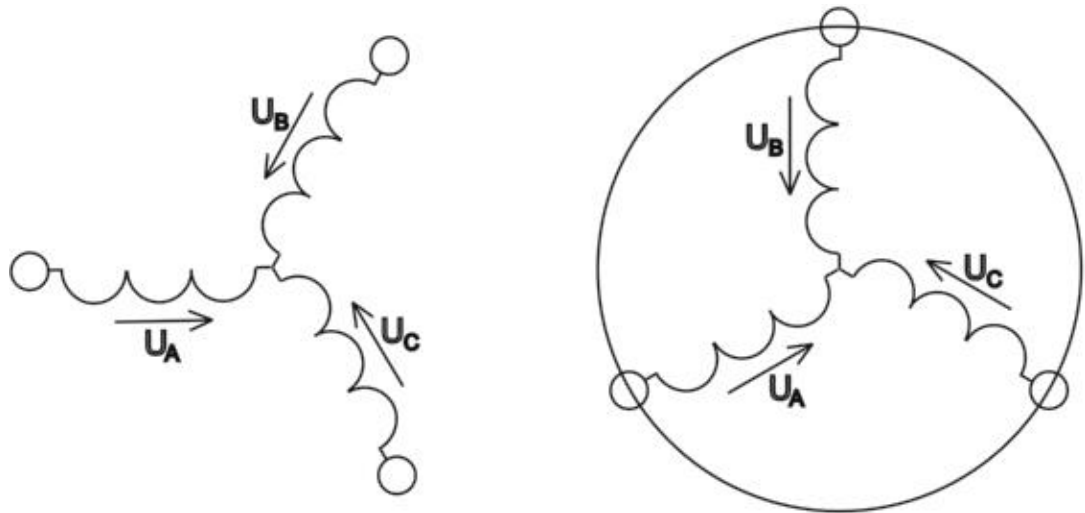


Рисунок 2.1 – Графічне представлення АД

Побудову математичної моделі починаємо з побудови загальної системи рівнянь опису нормальної роботи АД. При цьому основною особливістю даної моделі є його використання в напрямку побудови для статора та ротора окремо:

Так система рівнянь для опису роботи статора має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} U_A &= R_A i_A + \frac{d\Psi_A}{dt}, \\ U_B &= R_B i_B + \frac{d\Psi_B}{dt} \\ U_C &= R_C i_C + \frac{d\Psi_C}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Система рівнянь для опису ротора має наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} U_a &= R_a i_a + \frac{d\Psi_a}{dt}, \\ U_b &= R_b i_b + \frac{d\Psi_b}{dt} \\ U_c &= R_c i_c + \frac{d\Psi_c}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}_S &= r_S \bar{i}_S + \frac{d\bar{\Psi}_S}{dt} + j\alpha_K \bar{\Psi}_S, \\ 0 &= r_R \bar{i}_R + \frac{d\bar{\Psi}_R}{dt} + j(\alpha_K - pv) \bar{\Psi}_R, \\ \bar{\Psi}_S &= x_S \bar{i}_S + x_m \bar{i}_R, \\ \bar{\Psi}_R &= x_m \bar{i}_S + x_R \bar{i}_R, \\ m &= k \text{Mod}(\bar{\Psi}_i \times \bar{i}_K), \\ \bar{T}_m \frac{dv}{dt} &= m - m_H. \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

Дані системи рівнянь враховують фактично особливості кінематики взаємодії між ними. Для виконання опису динамічних систем, якими є АД потрібно проводити врахування проходження основних перехідних процесів. Також необхідно вводити в рівняння різноманітні змінні, що будуть описувати різноманітні параметри для виконання захисту та його розрахунку в подальшому.

Так основною динамічною моделлю є враховані всі параметри моделювання, що в результаті дають можливість виконання процесу опису основних систем в динамічному представлення процесів в АД.

Також необхідно на даному етапі проектування вводити відповідні змінні та додаткові параметри. В результаті отримаємо основні рівняння опису АД в динамічному режимі роботи:

$$\bar{U}_S = r \bar{i}_S + x_S \frac{d\bar{i}_S}{dt} + j\alpha_K x_S \bar{i}_S - \frac{k_R}{\bar{T}_R} \bar{\Psi}_R + jk_R p v \bar{\Psi}_R, \quad (2.4)$$

$$0 = -k_R r_R \bar{i}_S + \frac{1}{\bar{T}_R} \bar{\Psi}_R + \frac{d\bar{\Psi}_R}{dt} + j(\alpha_K - p v) \bar{\Psi}_R, \quad (2.5)$$

$$m = k_R \text{Mod}(\bar{\Psi}_R \times \bar{i}_S), \quad (2.6)$$

$$\bar{T}_m \frac{dv}{dt} = m - m_H, \quad (2.7)$$

де $r = (r_S + k_R^2 r_R)$, $x_S = (x_S - \frac{x_m^2}{x_R})$, $k_R = \frac{x_m}{x_R}$, $\bar{T}_R = \frac{x_R}{r_R}$ - спеціальні коефіцієнти

врахування параметрів динамічної роботи АД.

Данна математична модель дослідження АД потребує використання різних систем координат, це дає отримати результати для проведення порівняльного аналізу. При цьому в разі виявлення певного відхилення отриманих результатів можна отримати параметри, що фактично характеризують справність чи несправність певного елемента. Необхідно враховувати також систему рівнянь де виникли проблемні процеси з відхиленням значень, а отже знаючи, що дане рівняння описує за елемент двигуна можна визначити саме його несправність.

Для просторового аналізу необхідно в загальні рівняння ввести просторові векторні рівняння:

$$\bar{U}_S = U_{S\alpha} + jU_{S\beta}, \quad \bar{i}_S = \bar{i}_{S\alpha} + j\bar{i}_{S\beta}, \quad \bar{\Psi}_R = \Psi_{R\alpha} + j\Psi_{R\beta}.$$

Ввівши дані параметричні вектори отримує систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} U_{S\alpha} &= r i_{S\alpha} + x_S \frac{di_{S\alpha}}{dt} - \frac{k_R}{\bar{T}_R} \Psi_{R\alpha} - k_R p v \Psi_{R\beta} \quad , \\ U_{S\beta} &= r i_{S\beta} + x_S \frac{di_{S\beta}}{dt} - \frac{k_R}{\bar{T}_R} \Psi_{R\beta} - k_R p v \Psi_{R\alpha} \quad , \\ 0 &= -k_R r_R i_{S\alpha} + \frac{1}{\bar{T}_R} \Psi_{R\alpha} + \frac{d\Psi_{R\alpha}}{dt} + p v \Psi_{R\beta} \quad , \\ 0 &= -k_R r_R i_{S\beta} + \frac{1}{\bar{T}_R} \Psi_{R\beta} + \frac{d\Psi_{R\beta}}{dt} + p v \Psi_{R\alpha} \quad , \\ m &= k_R (\Psi_{R\alpha} i_{S\beta} - \Psi_{R\beta} i_{S\alpha}) \quad , \\ \bar{T}_m \frac{dv}{dt} &= m - m_H \quad . \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

Також оперативна форма представлення даного рівняння матиме вигляд:

$$\left. \begin{aligned} U_{S\alpha} &= r(1 + \bar{T}_S S) i_{S\alpha} - \frac{k_R}{\bar{T}_R} \Psi_{R\alpha} - k_R p v \Psi_{R\beta} \quad , \\ U_{S\beta} &= r(1 + \bar{T}_S S) i_{S\beta} - \frac{k_R}{\bar{T}_R} \Psi_{R\beta} - k_R p v \Psi_{R\alpha} \quad , \\ 0 &= -k_R r_R i_{S\alpha} + \frac{1}{\bar{T}_R} (1 + \bar{T}_R S) \Psi_{R\alpha} + p v \Psi_{R\beta} \quad , \\ 0 &= -k_R r_R i_{S\beta} + \frac{1}{\bar{T}_R} (1 + \bar{T}_R S) \Psi_{R\beta} + p v \Psi_{R\alpha} \quad , \\ m &= k_R (\Psi_{R\alpha} i_{S\beta} - \Psi_{R\beta} i_{S\alpha}) \quad , \\ \bar{T}_m s v &= m - m_H \quad , \text{ где } \bar{T}_S = \frac{x_S}{r} \quad . \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Для визначення основних параметрів роботи нами було обрано електродвигун загальною потужністю 14 кВт на напругу 220 В. Основні технічні данні даного двигуна наведено в додатку роботи. Результатами проведення моделювання є данні, що наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Загальні дані моделювання АД

Коефіцієнт	r	\bar{T}_S	k_R	\bar{T}_R	r_R	\bar{T}_m
Значення	0,052	3,01	0,979	138,9	0,026	153,5

Аналіз систем захисту та моделювання потребують виконання побудови графічних моделей аналізу в спеціальних програмних ресурсах. Так для проведення аналізу нами виконано побудову основних параметрів АД та вказавши особливості приєднання проведемо моделювання відповідно до вищеприписаної математичної моделі.

Результатом моделювання є графічний сигнал осцилографа. Необхідно зазначити, що в загальному випадку можна виконувати подібні заміри на реальному двигуні використовуючи пристрої типу осцилограф. При цьому важливо виконати правильність підключення до необхідних місць проведення вимірювання.

Загальна графічна модель наведена на рисунку 2.2.

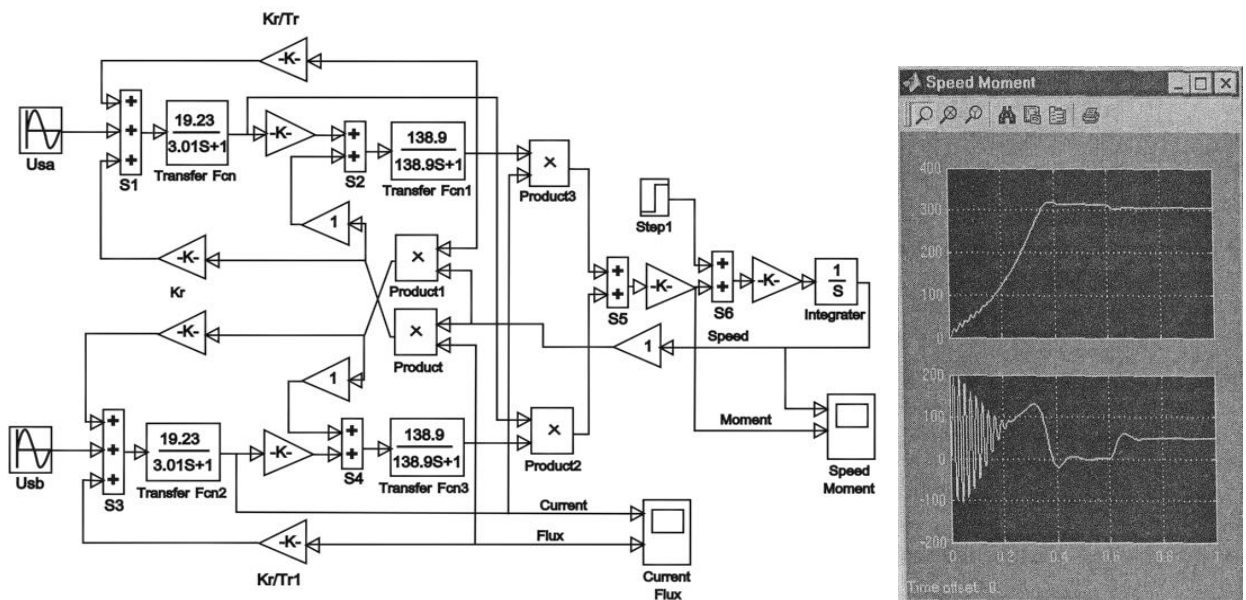


Рисунок 2.2 – Графічна модель та графіки параметрів АД

Основними перевагами проведення комп'ютерного моделювання з використанням різноманітних пристроїв вимірювання є значний їх функціонал. Такі програми дозволяють проводити вимірювання з осцилоскопами параметрів роботи електродвигуна.

Так визначено параметри та значення моменту та швидкості електродвигуна, що показують особливості прямого пуску АД. Так за такої

умови виникає певного роду коливання даних величин. Додатковою проблемою є виникнення пониження швидкісних параметрів електродвигуна.

Для виконання моделювання наведемо графічне зображення АД в віртуальному вигляді для моделювання в загальній схемі роботи (рис. 2.3).

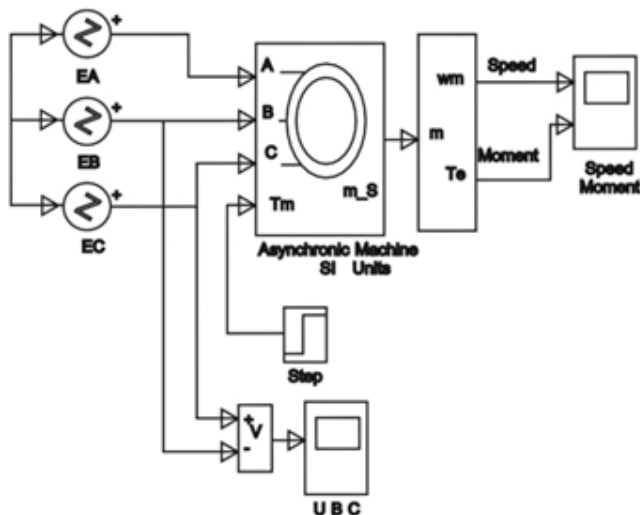


Рисунок 2.3 – Графічне зображення АД для проведення моделювання

Для виконання розрахунків також необхідною умовою є застосування графічної схеми виконання прямого пуску досліджуваного АД при його живленні напряму від мережі:

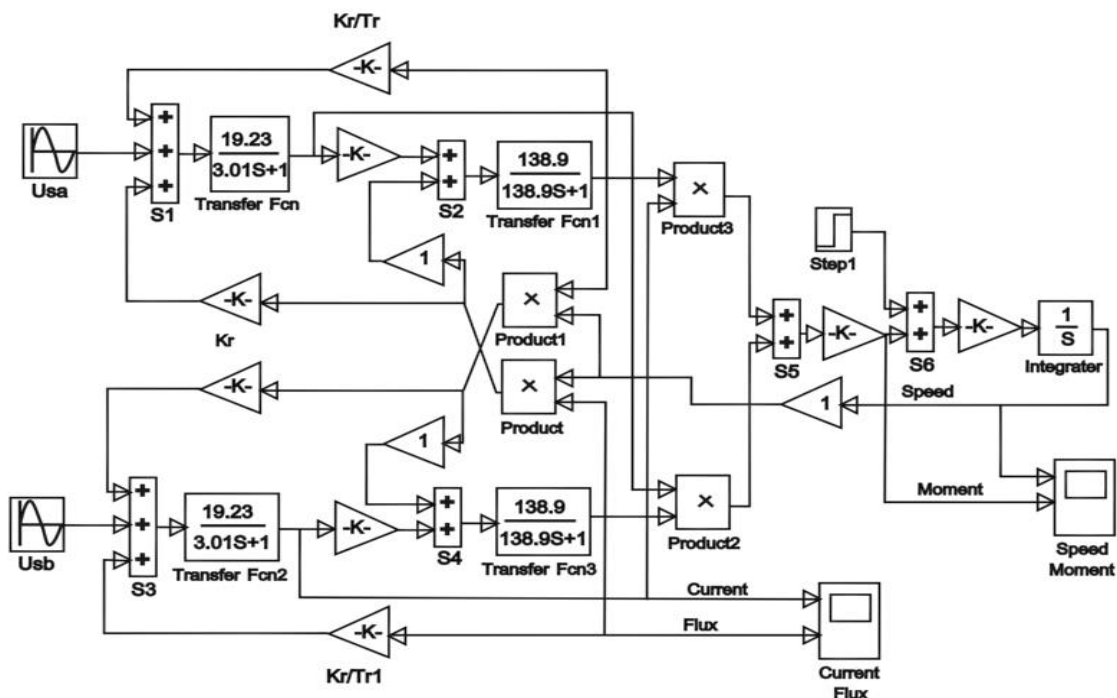


Рисунок 2.4 – Графічне зображення АД з виконання прямого його пуску

Останнім кроком графічного аналізу є використання порівняльного методу для отриманих математично-графічних моделей організації пуску АД. Якщо досягається ідентичність результатів то моделювання процесів основної роботи виконано вірно.

Для моделювання необхідно проводити врахування основних гармонік системи живлення. Для визначення миттєвих їх значень використовуємо рівняння:

$$\eta = \frac{\frac{1}{T} \int M_3(t) \omega(t) dt}{P_0}, \quad (2.10)$$

де $M_3(t) = \frac{P_{01}(t) - \Delta P_{M1}(t) - \Delta P_{ст}(t)}{\omega_0} - M_{мех}(t)$, $P_{01}(t) = I_{a1}(t)U_{a1}(t) + I_{b1}(t)U_{b1}(t)$ – потужності миттєвих складових роботи АД.

Також необхідно врахувати особливості ефективності використання параметрів моменту:

$$\varepsilon_M = \frac{M_0(t)}{M_B(t)} \quad (2.11)$$

де $M_0(t) = \frac{1}{T} \int_0^T M(t) dt$ – постійне значення параметру моменту;

$M_e(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (M(t))^2 dt}$ – ефективний параметр моменту з

врахуванням основних гармонік процесу:

$$K_{M\delta 2} = \sqrt{\sum_{v=1}^{N-1} M_v^2} / M_n \quad (2.12)$$

При отриманні даних по коефіцієнту виникає потреба в проведенні порівняльного аналізу. А отже при високих значеннях даного коефіцієнту маємо негативний режим роботи АД.

2.2 Базова математична модель асинхронного двигуна

Усі режими роботи АД можна поділити на нормальні та ненормальні. Нормальним вважається режим, при якому «нормальний» двигун працює при нормальних параметрах мережі живлення. Нормальним називається трифазний двигун із симетричними електричними та магнітними ланцюгами і параметрами, що не зазнають спрямованих примусових змін. Під нормальними параметрами мережі живлення розуміється синусоїдальна симетрична напруга постійної частоти, яка відповідає паспортним номінальним параметрам двигуна. Інші режими є ненормальними. Ненормальний режим може мати місце або перед-аварійних та аварійних випадках, або бути спеціальним режимом, який створюється спеціально с певною метою.

Використання математичних моделей мережі, асинхронного двигуна та можливості моделювання на їх основі різноманітних режимів роботи з залученням комп'ютера дозволяє вирішити ряд важливих задач, а саме:

- визначити кількісні та якісні параметри та характеристики АД, які прямо і опосередковано характеризують стан і фізичні процеси;
- визначити умови отримання параметрів і характеристик та їх обробки.

Для досліджень виникнення аварійно небезпечних режимів АД та запропонованих методів контролю режимів роботи, використовується вищенаведена математична модель у трифазній системі координат:

$$\left. \begin{aligned} \vec{u} &= \vec{i}_1 \vec{R}_1 \cdot k_{\epsilon 3} + \frac{d\vec{\Psi}_1}{dt} \\ 0 &= \vec{i}_2 \vec{R}_2 + \frac{d\vec{\Psi}_2}{dt} \\ M_e &= \frac{\partial W_e}{dt} \\ M_e - M_c &= \frac{J}{p} \frac{d\omega}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

де \vec{u} - вектор миттєвих напруг на затискачах фаз: $\vec{u} = \vec{U}_m \sin(2\pi ft + \vec{\varphi})$;

$\vec{\Psi}_1$ - вектор потокозчеплень фаз статора;

$\vec{\Psi}_2$ - вектор потокозчеплень фаз ротора;

\vec{R}_1, \vec{R}_2 - вектори активних опорів фаз статора і ротора;

W_e - електромагнітна енергія обмоток АД;

M_e - електромагнітний момент АД;

M_c - статичний момент навантаження;

J - момент інерції електроприводу, приведений до валу двигуна;

p - число пар полюсів.

$k_{\epsilon 3}$ - коефіцієнт, який відповідає відсотку замкнених витків при

імітації виткового короткого замикання в обмотках (фаза A) статора машини.

Для отримання системи рівнянь враховано, що потокозчеплення фаз АД визначаються величиною індуктивності обмотки (L) і взаємної індуктивності (M) з усіма обмотками а також, що взаємне просторове розташування обмоток ротора і статора змінюється, в результаті змінюється і величина взаємної індуктивності між обмотками. За прийнятих допущень, співвідношення для потокозчеплень усіх фаз статора та ротора мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \psi_A &= k_{\epsilon 3} L_1 i_A + k_{\epsilon 3} M_1 i_B + k_{\epsilon 3} M_1 i_C + k_{\epsilon 3} M_{12} \cos \varphi \cdot i_a + \\ &+ k_{\epsilon 3} M_{12} \cos(\varphi + 120^0) i_b + k_{\epsilon 3} M_{12} \cos(\varphi - 120^0) i_c, \\ \psi_B &= (2 - k_{\epsilon 3}) M_1 i_A + L_1 i_B + M_1 i_C + M_{12} \cos(\varphi - 120^0) i_a + \\ &+ M_{12} \cos \varphi \cdot i_b + M_{12} \cos(\varphi + 120^0) i_c, \\ \psi_C &= (2 - k_{\epsilon 3}) M_1 i_A + M_1 i_B + L_1 i_C + M_{12} \cos(\varphi + 120^0) \cdot i_a + \\ &+ M_{12} \cos(\varphi - 120^0) i_b + M_{12} \cos \varphi \cdot i_c, \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

$$\left. \begin{aligned} \psi_a &= L_2 i_a + M_2 i_b + M_2 i_c + (2 - k_{\epsilon 3}) M_{12} \cos \varphi \cdot i_A + \\ &+ M_{12} \cos(\varphi - 120^0) i_B + M_{12} \cos(\varphi + 120^0) i_C, \\ \psi_b &= M_2 i_a + L_2 i_b + M_2 i_c + M_{12} \cos(\varphi + 120^0) i_A + \\ &+ (2 - k_{\epsilon 3}) M_{12} \cos \varphi \cdot i_B + M_{12} \cos(\varphi - 120^0) i_C, \\ \psi_c &= M_2 i_a + M_2 i_b + L_2 i_c + M_{12} \cos(\varphi - 120^0) \cdot i_A + \\ &+ M_{12} \cos(\varphi + 120^0) i_B + (2 - k_{\epsilon 3}) M_{12} \cos \varphi \cdot i_C, \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

де $L_A = L_B = L_C = L_1$ - індуктивність фази статора;

$L_a = L_b = L_c = L_2$ - індуктивність фази ротора;

$M_{AB} = M_{AC} = M_{BC} = M_1$ - індуктивність між двома обмотками статора;

$M_{ab} = M_{ac} = M_{bc} = M_2$ - індуктивність між двома обмотками ротора;

$M_{Aa} = M_{Ba} = \dots = M_{12}$ - максимальна величина індуктивності між обмоткою статора та обмоткою ротора.

Електромагнітна енергія є співвідношенням:

$$W_e = \frac{1}{2} [\Psi_A i_A + \Psi_B i_B + \Psi_C i_C + \Psi_a i_a + \Psi_b i_b + \Psi_c i_c]. \quad (2.16)$$

Вирази утворюють систему рівнянь АД. Математична модель у трифазній системі координат має ряд переваг. До них відносяться:

- наявність миттєвих реальних фазних напруги u_A, u_B, u_C та струмів статора i_A, i_B, i_C , що розглядаються як реальні сигнали, що отримуються з відповідних датчиків:

- можливості моделювання ненормальних режимів, що виникають із боку мережі живлення та двигуна;

- можливість безпосереднього ітеративного впливу через параметри мережі, двигуна та навантаження на фізичні процеси, що досліджуються;

- можливості послідовного урахування та уточнення припущень, що використані при отриманні базової моделі.

При проведенні експериментів за отриманою моделлю прийнято, що моделюється виникнення ненормального режиму роботи АД якому передуює усталений режим якому передуює перехідний процес – включення АД з нерухомого стану під напругу. Це дозволяє дещо спростити процес моделювання враховуючи початкові умови для математичної моделі АД – системи диференціальних рівнянь.

Таблиця 2.2 – Початкові данні

Параметр	Асинхронний двигун		
	4A132M4	4A184M4	4A250M4
Потужність P , кВт	11	30	110
Число пар полюсів, $2p$	4	4	4
Частота, кГц	50	50	50
Напруга $U_{н.ф.}$, В	220	220	220
Струм $I_{н.ф.}$, А	21,53	54,97	190,5
Активний опір обмотки статора R_1 , Ом	0,642	0,16	0,03
Активний опір обмотки ротора R_2 , Ом	0,312	0,078	0,0172
Індуктивний опір розсіяння обмотки статора X_1 , Ом	0,831	0,362	0,117
Індуктивний опір розсіяння обмоток ротора X_2 , Ом	1,262	0,513	0,19
Індуктивний опір контуру намагнічування x_{μ} , Ом	27,5	15,34	4,83
Взаємна індуктивність контуру намагнічування L_{μ} , Гн	0,0876	0,0489	0,0154
Індуктивність розсіяння обмотки статора L_1 , Гн	0,0903	0,05	0,01558
Індуктивність розсіяння обмотки ротора L_2 , Гн	0,0916	0,051	0,0158
Ковзання S_n	0,027	0,019	0,015
Момент інерції J , кгм ²	0,0463	0,2245	0,968

За результатами моделювання роботи зазначених АД при виникненні аварійно небезпечних режимів з боку мережі живлення, двигуна та навантаження, виконано оцінку інформативності характеристики h та показників якості енергії $\varepsilon_p, \varepsilon_{p(j)}, K_{нз c(j)}, K_m, K_v$, де $j = A, B, C$.

2.3 Робота асинхронного двигуна в аварійних режимах

Існують три види аварійних режимів роботи АД: робота АД при неякісній електричній енергії та його якісному технічному стані; робота АД при якісній електричній енергії та його неякісному технічному стані; робота АД при неякісній електричній енергії та його неякісному технічному стані.

Опишемо найнебезпечніший стан для виробництва – режим роботи АД при неякісній електричній енергії та його неякісному технічному стані.

Формування режиму роботи АД за неякісному електропостачанні та технічному стані машини, параметри та характеристики якої не відповідають її паспорту, заслуговує особливої уваги. Результатами контролю й оцінки режиму роботи АД, що виконуються на основі запропонованого методу є можливими два випадки. До першого випадку віднесено ситуацію коли сформований, за певним відношенням параметрів неякісності з боку

електропостачання та зазначеному вище реальному технічному стані двигуна, режим його роботи є небезпечним, але таким, що визначні енергетичні показники знаходяться у нормі. У другому випадку, за попередніх умов, режим роботи двигуна також є небезпечним, але енергетичні показники є відхиленими від норми. Виникнення режиму роботи АД і першому випадку є малоймовірним та віднесеним до спеціальних режимів, що пов'язані з задачами управління. Природно, що режими роботи АД за другим випадком є аварійно небезпечними та потребують виконання відповідних заходів щодо захисту машини. Оцінку методу контролю режиму роботи АД та аналіз ефективності застосованих енергетичних показників.

Моделювання режиму роботи АД виконано за вихідними даними та за умов послідовної імітації виникнення несиметрії напруги живлення, після якого – виникають виткові замикання. Параметри зазначених пошкоджень k_{2U} і k_{g3} , задавались граничними значеннями чотирма комбінаціями: N – ($k_{2U} - k_{g3}$): I – (1-1), II – (4-1), III – (1-10), IV – (4-10). Результати моделювання зведені у таблиці нижче.

Таблиця 2.3 – Значення характеристики h

N	Значення характеристики h для різних асинхронних електродвигунів		
	11 кВт	30 кВт	110 кВт
I	0,538	0,621	0,552
II	0,679	0,737	0,736
III	0,749	0,789	0,689
IV	0,828	0,586	0,837

Таблиця 2.4 – Показники якості перетворення енергії

Потужність асинхронного двигуна	Показники				
	N	$\varepsilon_p, \%$	$\varepsilon_{p(A)}, \%$	$\varepsilon_{p(B)}, \%$	$\varepsilon_{p(C)}, \%$
1	2	3	4	5	6
11 кВт	I	99,999	34,332	29,739	35,742
	II	97,819	31,603	24,178	42,019
	III	98,845	34,651	25,796	38,32
	IV	95,867	32,036	20,33	43,372
0 кВт	I	99,57	33,374	28,82	36,972
	II	97,51	30,651	23,856	42,505
	III	98,498	33,431	25,546	38,916
	IV	96,094	31,169	20,95	42,808
110 кВт	I	100,102	34,404	30,881	34,608

1	2	3	4	5	6
110 кВт	II	98,597	31,929	24,465	38,498
	III	99,395	34,232	29,912	35,452
	IV	96,812	31,682	26,325	39,037

Таблиця 2.5 – Показник завантаження фаз струмом

Потужність асинхронного двигуна	Показники			
	N	$K_{нз c(A)}, \%$	$K_{нз c(B)}, \%$	$K_{нз c(C)}, \%$
11 кВт	I	1,02	0,933	1,047
	II	1,027	0,78	1,195
	III	1,094	0,819	1,087
	IV	1,109	0,671	1,22
30 кВт	I	1,001	0,923	1,076
	II	0,989	0,798	1,212
	III	1,061	0,822	1,117
	IV	1,0	0,739	1,27
110 кВт	I	1,009	0,968	1,022
	II	0,994	0,882	1,124
	III	0,994	0,882	1,124
	IV	1,012	0,85	1,137

Таблиця 2.6 – Показники зміни моменту та погіршення віброхарактеристик

Потужність асинхронного двигуна	N	Момент, K_m	Віброхарактеристики, K_v
11 кВт	I	0,393	0,795
	II	0,603	0,918
	III	0,581	0,908
	IV	0,731	0,963
30 кВт	I	0,162	0,546
	II	0,574	0,905
	III	0,443	0,831
	IV	0,634	0,931
110 кВт	I	0,078	0,39
	II	0,513	0,873
	III	0,3	0,713
	IV	0,608	0,92

Аналіз результатів показує що, характеристика та енергетичні показники мають інформативність зміни режиму роботи АД за даних умов. Дослідженням спостерігається залежність показників від потужності двигуна. Також у залежностей показників якості перетворення енергії за фазами

$\varepsilon_p(ABC)$ і завантаження фаз струмом $K_{НСЗ(ABC)}$ є коливання значень. Коливання характерні певній комбінації (I-IV) не залежно від потужності АД, що можна пояснити умовами моделювання, наявністю завад у сигналів напруги й струму, і взаємозв'язком параметрів k_{2U} і k_{ε_3} , що є комбінацією I-IV. При цьому є небезпека взаємозв'язаних пошкоджень, що виражається у загальноприйнятих властивостях захисту (селективності, чутливості і надійності).

Висновки до розділу

Особливості організації захисту електродвигуна потребує виконання математичного та програмного програмування. Запропоновані математичні моделі дозволяють моделювати основні режими роботи АД. При внесенні в неї основних змінних виникає можливість проведення визначення аварійних режимів роботи.

Графічне моделювання з використанням відповідного програмного забезпечення потребує побудови графічних моделей але дає можливість отримати більш розширений аналіз з моделюванням вже проходження аварійних режимів та визначення величин їх максимальних значень для подальшого виконання налаштування системи захисту.

3 ПРОПОЗИЦІЇ ПО ВИКОНАННЮ ЗАХИСТУ АД

3.1 Опис загальних вимог до системи захисту

Для виконання системи захисту потрібною умовою є першочергове врахування значень та параметрів електромережі, а отже потрібно знати параметри несиметрії напруги. Даний параметр доволі погано впливає на роботи АД викликаючи в нього несправності та нагрівання. А отже для першочергового захисту електродвигуна є можливість забезпечення наступних функцій та функціоналу пристрою:

Першочергово пристрій має виконувати значний контроль основних параметрів мережі. Також доволі легко вдається провести визначення особливостей режиму несиметрії в мережі. Налаштування повинно враховувати те, що за умови відхилення на величину до 5 % повинно виконуватись включення пристроїв виконання симетрування.

Наступним параметром є виконання контролю за тепловими режимами електродвигуна та його елементах.

За умови підключення пристроїв симетрування повинно виконуватись зміна роботи АД.

При контролі температури виконувати його відключення за умови досягнення граничних температурних режимів. Також при остиганні виконувати повторне його ввімкнення.

Виконувати проведення контролю основних параметрів його роботи з використанням датчиків аналізу анаомальних режимів роботи АД.

Виконувати індикацію за умови виникнення дискретних режимів роботи.

3.2 Виконання обґрунтуванням загального опису захисного пристрою

Захисний пристрій в основному побудований на основі контролю параметру струму та напруги при роботі електродвигуна. При цьому необхідно враховувати особливості послідовностей даних величин.

Для забезпечення контролю параметру струму та напруги необхідно використовувати відповідні датчики. Використання датчика напруги потребує використання його в загальній системі захисту. Даний датчик встановлюється на вході до шафи керування АД.

В якості подібного датчика можна використовувати різноманітні фільтри за параметром напруги. Вони повинні використовувати зворотне значення напруги послідовності. Фільтр встановлюється на різних затискачах АД. Кількість фільтрів повинна враховувати кількість затискачів АД та величину напруги з коливанням до 5 %.

Початково при виникненні коливань напруги виконується світлова сигналізація і може здійснюватись вмикання пристроїв симетрування. Таким пристроєм може бути певного роду трансформатор по величині напруги.

За контроль температури відповідають датчики температури. За умови несиметричних режимів спостерігається нагрівання АД, а отже спрацьовують відповідні датчики та можуть виконувати його відключення за значних температур. Для обробки інформації необхідно використовувати також фільтри але зворотної послідовності.

Орган виконання команд монтується в загальному колі підключення АД перед обмотками статора. Спрацювання даного органу також веде до включення світлової сигналізації з подальшим можливим відключенням.

Всі датчики, що використовуються повинні відповідати повністю кількості електродвигунів в загальній системі захисту.

За допомогою теплового реле виконується контроль за температурним режимом. Теплове реле зазвичай встановлюють в магнітному пускачі. При досягненні граничних значень температур виникає також додатково світлова сигналізація та подальше відключення АД з роботи.

В загальній системі захисту потрібно також виконати забезпечення використання контролю датчиків. А отже необхідною умовою є застосування певного роду аномальних датчиків. Дані датчики дозволять виключити певні несправні режими але вже датчиків проведення загального контролю роботи

АД. За умови виникнення несправності в датчиках є можливість виконання певної світлової сигналізації з наступною зупинкою загальної роботи системи.

Для більшого розуміння побудови схеми захисту АД необхідно виконати його графічне модулювання (рис. 3.1)

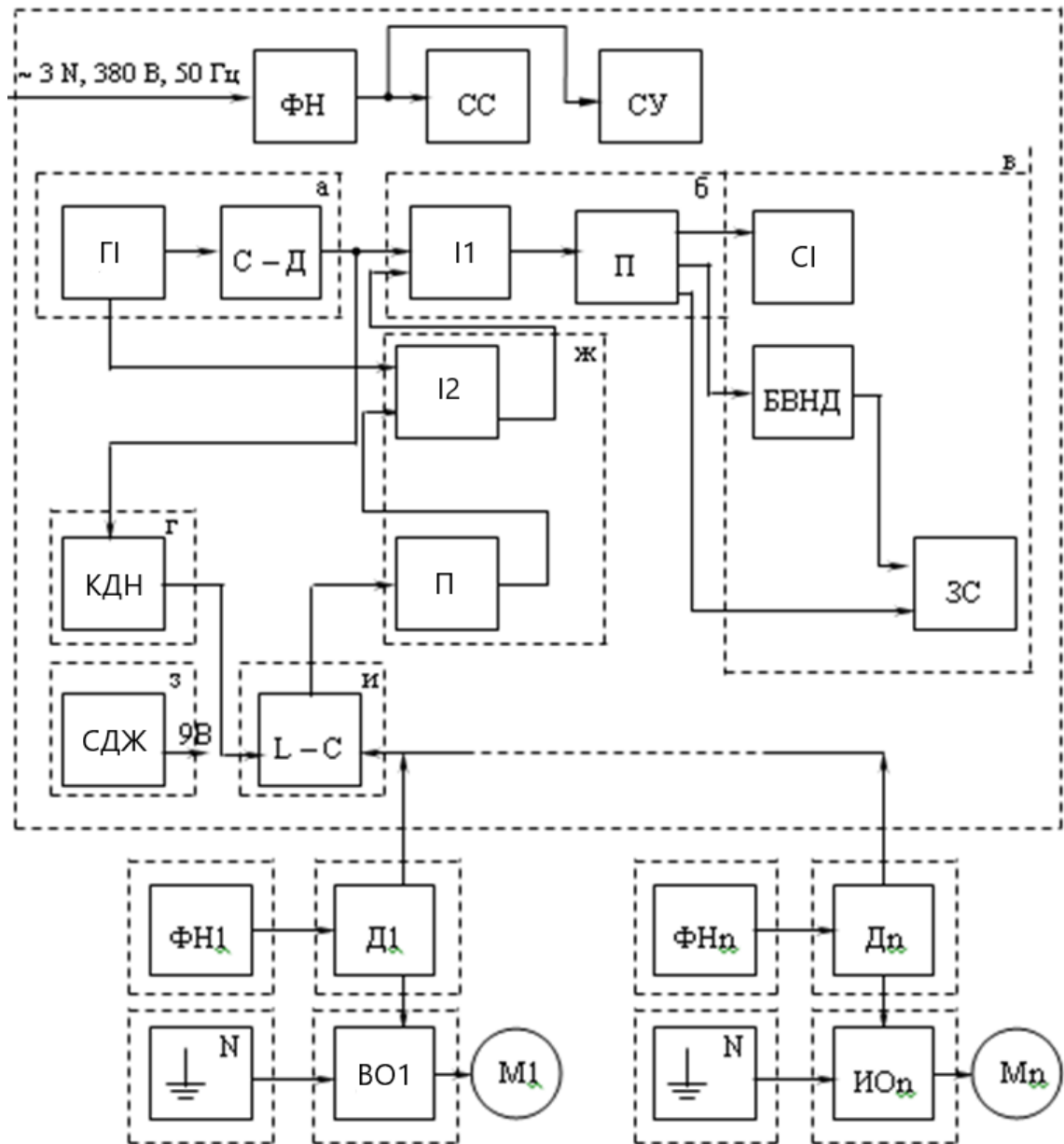


Рисунок 3.1 – Графічний вигляд схеми захисту

Дана система має блочне виконання та повинна забезпечувати необхідний захист. При цьому кожен блок відповідає своїй певній складовій системи захисту та обробки інформації.

Універсальність даної схеми полягає в тому, що вона може бути виконана для будь якої кількості двигунів. При цьому необхідно кратно збільшити число датчиків.

Основною особливістю роботи даного пристрою є синхронна робота основних блоків системи. При цьому для виявлення проблеми з конкретним двигуном використовується блок номера АД. В результаті спрацювання відповідного сигналу отримуємо фактично чітке місце розташування. Далі можна спробувати з даного щита ввімкнути його.

Необхідно зазначити, що подібні системи мають також незначні особливості спрацювання їх в режимах ймовірності.

Загальна система виконана з врахуванням логічних схем з виконанням команд підтвердження та відмови.

Загальне керування виконує блок врахування команд при живленні. Даний блок складається з інтегральних схем реалізації.

Додатковою умовою виявлення слабких сигналів є використання блоків підсилення їх. При цьому підсилення виконується фактично вхідних сигналів.

Окрім підсилення виконується також додатково і подальша обробка сигналу з використанням випрямлячів. Основною особливістю даного процесу є оперативне виконання даних команд та обробка всіх сигналів.

Після проведення обробки загального сигналу виконується передача його на виконавчі органи, що розташовуються на електродвигуні або в шафі захисту.

Для забезпечення живлення захисного пристрою потрібно використання джерела живлення, що не видаватиме фактично сигналів, що є спотвореними. Така функція виконана для забезпечення точності роботи даного захисного пристрою.

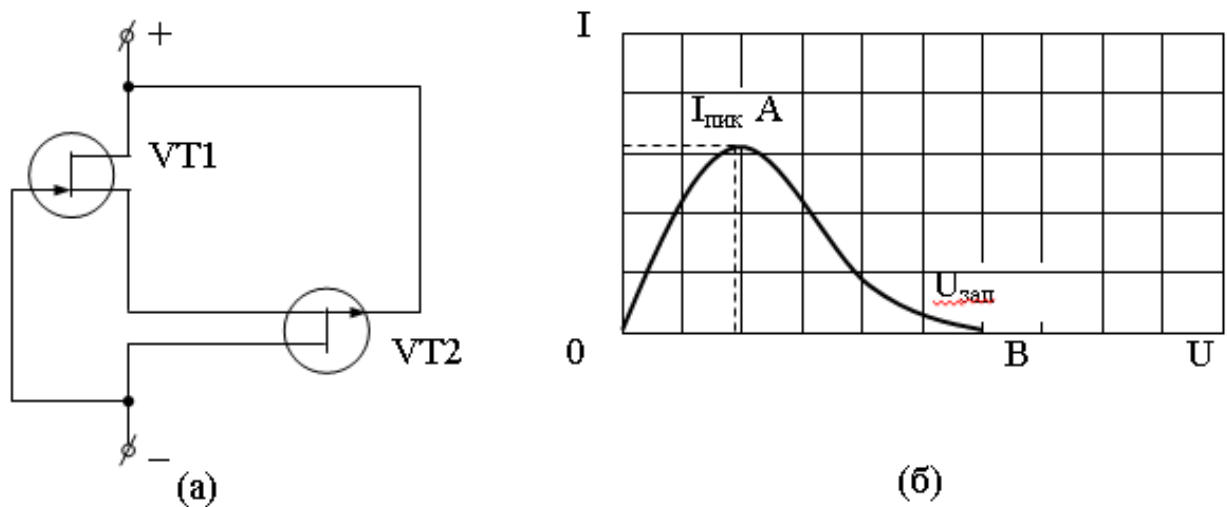
Пристрій живлення забезпечує ефективну роботу всіх елементів системи захисту та заживлюється від загальної електричної мережі.

Для забезпечення вчасного інформування про аварійні режими в загальну систему встановлено блок сигналізації. По перше він виконує функції захисту та визначення аварійних режимів роботи основних датчиків.

Основними пристроями виконання сигналізації є світлодіоди. Кількість світлодіодних датчиків напряму залежить від кількості датчиків для визначення параметрів АД.

Додатково в систему захисту АД встановлюється ще один пристрій для контролю за датчиками. Така система перестраховування дає можливість отримати гарні параметри захисту та виконати його на високому рівні забезпечення. Датчики аномальних режимів є певного роду електронними пристроями для проведення різних переходів сигналу, що дозволяє здійснювати операції контролю. Інша назва даних датчиків лямбда-діод.

Дані датчики повинні володіти значно більшою точністю та ефективністю проведення вимірювання. А отже вони повинні мати відповідні параметри ВАХ. Для лямбда-діода графіки їх ВАХ наведено на рисунку 3.2.



а – електронна схема пристрою;

б – графік ВАХ.

Рисунок 3.2 – Лямбда-діод та графік ВАХ

Дані пристрої в основному виконуються на кристалах а отже має доволі невеликі розміри в загальній системі керування та діагностування АД.

3.3 Дані пристрою для виконання контролю за параметрами АД

Для дослідження нами обраний пристрій, що наведений на рисунку 3.3. При цьому він повинен відповідати основним вимогам та вищенаведених характеристикам.

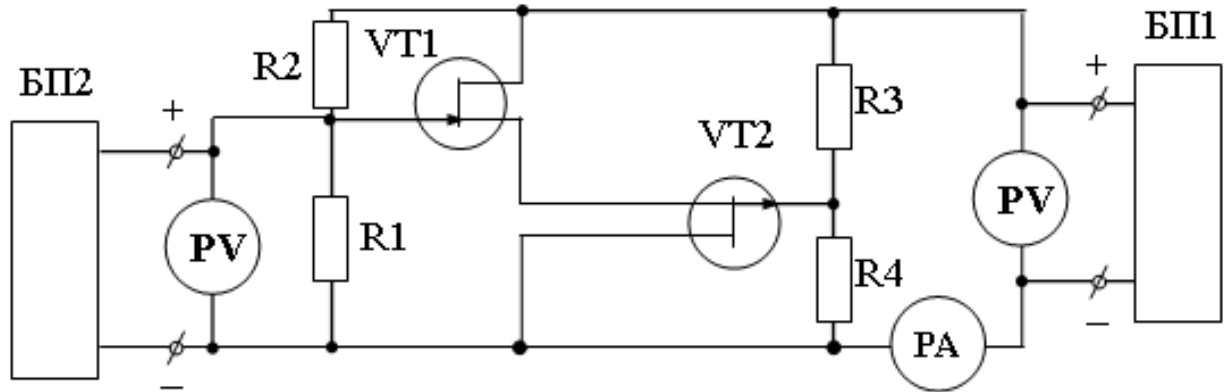


Рисунок 3.3 – Схема пристрою захисту датчиків АД

Основною метою проведення дослідження є отримання певного роду ВАХ для даного пристрою. В результаті порівняння характеристик різних пристроїв можна отримати гарні результати по вибору його для конкретних умов використання.

Необхідною умовою проведення досліджень є використання початкових умов. Дані умови описані в додатку до магістерської роботи. Також необхідно враховувати можливість зміни вхідних параметрів даного лямбда-діода.

Основні вхідні дані обирають відповідно до початкових параметрів якими є фактично режим роботи АД в технологічному процесі. За таких умов потрібно виконувати коригування основних параметрів.

Додатково потрібно розглядати і пристрої контролю за параметрами напруги. В якості подібного пристрою нами обрано пристрій, що зображений на рисунку 3.4.

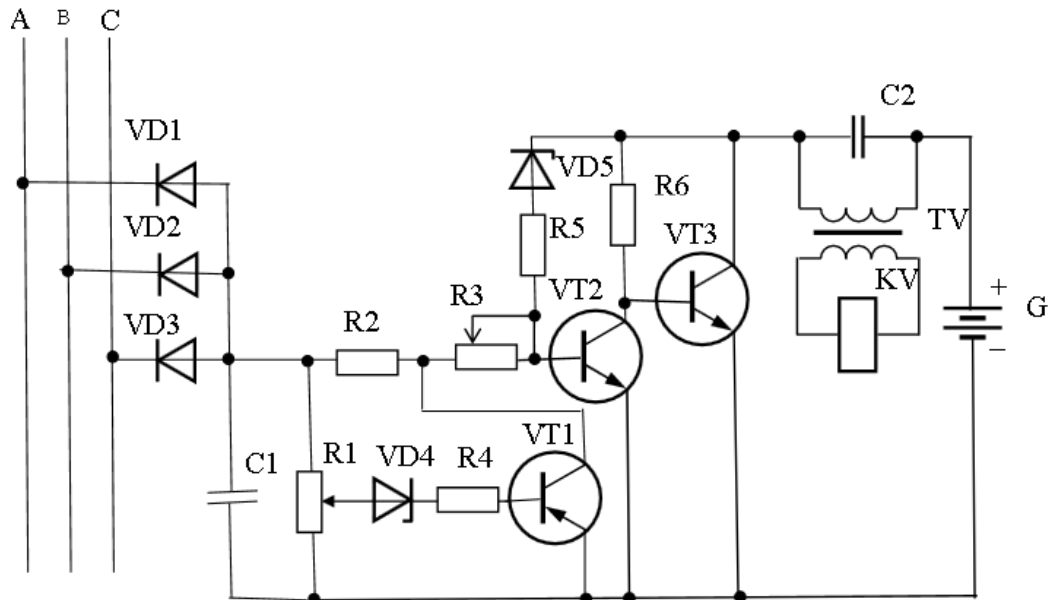


Рисунок 3.4 – Схема для обрано пристрою контролю величини напруги

При проведенні моделювання основного процесу виникає можливість застосування даних пристроїв для системи захисту. Але необхідною умовою є використання їх для задоволення основної умови, що пов'язан з рівнянням:

$$K = \frac{R1}{R2} \approx \frac{R3}{R4}. \quad (3.1)$$

Результатом моделювання є отримані ВАХ для двох вищенаведених пристроїв. Данні графіки наведено на рисунках 3.5 та 3.6.

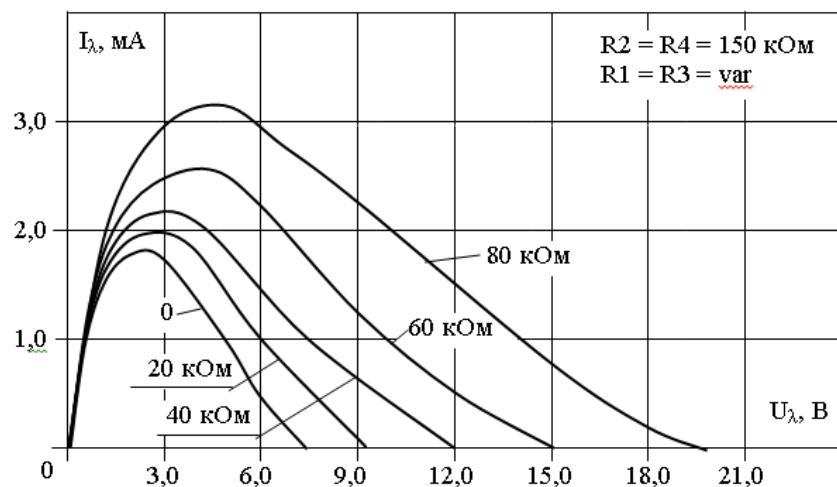


Рисунок 3.5 – Графік ВАХ при опорах 150 кОм.

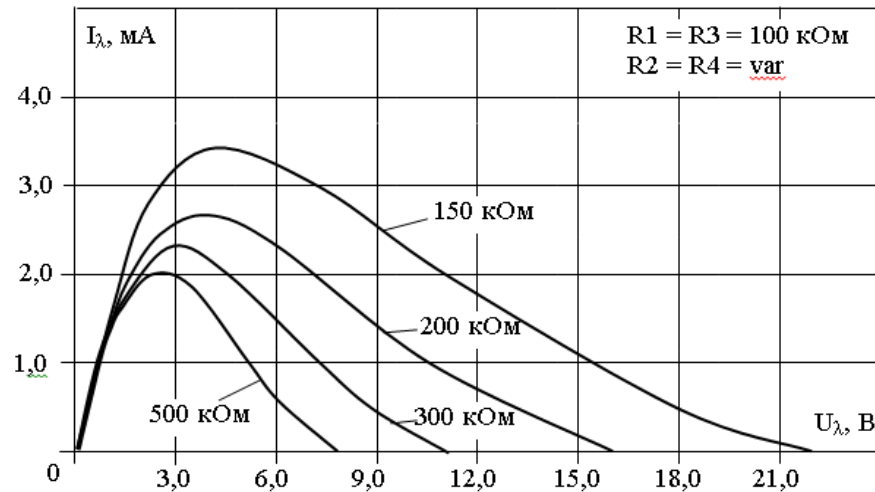


Рисунок 3.6 – Графік ВАХ при опорах 100 кОм

Висновок до розділу

При виконанні аналізу системи захисту основним параметром ефективної його роботи є відповідність ВАХ необхідним параметрам захисту. Для ефективності реалізації захисту АД від різних параметрів виникає потреба в реалізації комплексного підходу та багаторівневого захисту. А отже потребує встановлення засобів навіть на самі датчики АД. Реалізація такого підходу потребує використання дуже тонких налаштувань їх параметрів. В якості захисту було обрано захист від перенапруг та тепловий захист з виконанням контролю за параметром з використання лямбда-діодів.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Необхідною складовою проведення досліджень в електроенергетиці є дотримання заходів з охорони праці. При цьому проведення дослідження запропонованого в роботі можна виконувати не знімаючи асинхронних електродвигунів не знімаючи з технологічної лінії.

Відповідною умовою проведення дослідження в подібних умовах є необхідність проведення робіт бригадою працівників. Зняття кожухів, захисних кришок та інших захисних елементів потребує попередження інших працівників. Відповідно до цього на щитку включення технологічної лінії вивіщується таблиця «Працюють люди». При цьому також додатково виводять обладнання лінії з роботи на момент проведення ремонтних робіт.

Обов'язковою умовою при ремонтів технологічного обладнання ліній чи проведення досліджень на працюючому обладнанні забороняється виконувати включення в мережу без відповідної команди всіх працівників ремонтної бригади.

При проведенні досліджень електродвигунів виконують підключення до пристроїв додатково комп'ютерної техніки. Після підключення комп'ютера до системи проводять включення технологічного обладнання в роботу і далі виконують роботи у відповідності до інструкції порядку проведення дослідження.

Особливістю проведення дослідження на працюючому обладнанні з підключенням додаткових пристроїв вимірювання є чітке дотримання схеми підключення та необхідність застосування перевіреного інструменту.

Всі працівники, які виконують роботи по дослідженню асинхронних двигунів на працюючому технологічному обладнанні лінії повинні в обов'язковому порядку забезпечуватись спеціальних одягом та відповідними засобами захисту.

Іншою особливістю проведення робіт є необхідність відповідних знань з будови електрообладнання, технологічної лінії та інших особливостей професійної діяльності.

Необхідно також знати правила безпечної та технічної експлуатації електрообладнання та технологічного обладнання лінії. При цьому потрібно дотримуватись електробезпеки.

При проведенні робіт за охорону праці відповідає керівник структурного підрозділу де виконуються роботи та керівник підприємства. При цьому безпосередньо на місці проведення робіт відповідає керівник бригади, яка безпосередньо виконує роботи.

Вибір обладнання та різноманітних матеріалів залежить безпосередньо від робіт, що проводяться на об'єкті. Необхідно зазначити, що не дозволяється проводити роботи пошкодженим або неперевіреним інструментом чи обладнанням. Всі пристрої для проведення вимірювань повинні мати сертифікати, що підтверджують проходження перевірок.

До виконання робіт з електричною енергією забороняється залучати неповнолітніх, та працівників до 18 років. При цьому необхідно зазначити, що кваліфікація кожного з працівників повинна бути підтверджена відповідним посвідченням. Отримання необхідного посвідчення в енергетиці потребує перекваліфікації працівників та навчання.

Особливою умовою дотримання всіх заходів є збереження працездатності працівників та недопущення виникнення травматизму чи навіть летальних випадків.

Висновки до розділу

Проаналізовані вимоги охорони праці потребують обов'язкового вирішення всіх питань по їх дотримання, адже це сприяє покращенню умов праці на підприємстві. При цьому дотримання всіх вимог охорони праці дають можливість уникнення травмонезбезпечних ситуацій та інших проблемних питань, що пов'язані з життям та здоров'ям працівників.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Необхідно зазначити, що всі показники економічної ефективності повинні давати можливість економії обладнання та різноманітних варіантів зменшення вартості обслуговування. захист від несиметричних режимів роботи дає можливість зменшення частоти аварій асинхронних електродвигунів на технологічній лінії. Розрахунок економічних показників проводять в наступній послідовності.

1. Визначають значення чистого прибутку:

$$П_{ч} = E_{річ} - \Delta П_{м} - \Delta П_{пр} \quad (5.1)$$

де $E_{річ}$ – показник економії затрат на експлуатацію за рік, грн

$\Delta П_{м}$ – майновий приріс, грн;

$\Delta П_{пр}$ – значення приросту для ставки прибутку, грн.

$$E_{річ} = (E_{д}^{кр} \cdot C_{д}^{кд}) \frac{1}{n} + Z_e + (E_{бе} \cdot n) - \Delta АВ \quad (5.2)$$

де $E_{д}^{кр}$ – економія через зменшення кількості ремонтів АД, грн;

$\Delta АВ$ – значення приросту амортизаційних відрахуваннях.

$E_{бе}$ – річне значення економічного ефекту, грн.

$$E_{д}^{кр} = e_{д}^{кр} \cdot a_{д}^{кр} \quad (5.3)$$

$$E_{д}^{кр} = 0,343 \cdot 20 = 6,86 \text{ грн}$$

$$\Delta АВ = АВ \cdot C_{ey} \quad (5.4)$$

$$\Delta АВ = 0,05 \cdot 20000 = 1000 \text{ грн}$$

$$E_{бе} = \frac{A_{д+р_{д}}}{s} n_{пр.в} \left(\frac{k_{пр}-1}{k_{пр}} \right) \quad (5.5)$$

$$E_{річ} = (6,86 \cdot 2500) \frac{1}{20} + 12 + (240 \cdot 20) - 1000 = 4670 \text{ грн}$$

$$\Delta\Pi_M = \Pi_M \frac{C_{ey} + 0,05C_{ey}}{2} \quad (5.6)$$

де $\frac{C_{ey} + 0,05C_{ey}}{2}$ – балансова вартість пропозиції, грн.

$$\Delta\Pi_M = 0,022 \frac{20000 + 0,05 \cdot 20000}{2} = 231 \text{ грн}$$

$$\Delta\Pi_{пр} = 0,24(E_{річ} - \Delta\Pi_M) \quad (5.7)$$

$$\Delta\Pi_{пр} = 0,24(4670 - 231) = 1065 \text{ грн}$$

$$\Pi_ч = 4670 - 231 - 1065 = 3374 \text{ грн}$$

Економічний ефект знаходять:

$$E_p = \frac{\Pi_ч - K_{дод}}{K_p + K_e} \quad (5.8)$$

де $K_{дод}$ – річні витрати заходів реновації, $K_{дод} = 267$ грн;

K_p – значення реноваційного коефіцієнту $K_p = 0,89$;

K_e – нормативний коефіцієнт для приведення витрат, $K_e = 0,1$;

$$E_p = \frac{3374 - 267}{0,89 + 0,1} = 3138 \text{ грн}$$

Термін окупності запропонованої системи визначається з виразу:

$$T_{ок} = \frac{C_{ey}}{E_p} \quad (5.9)$$

$$T_{ок} = \frac{20000}{3138} = 6,3 \text{ роки}$$

Таблиця 5.2 – Ефективність застосування засобів захисту АД від несиметричних режимів роботи

№ з/п	Показник	Значення
1	Чистий прибуток, грн	3374
2	Економія експлуатаційних витрат за рік, грн	4670
3	Економічний ефекту, грн	3138
4	Термін окупності, років	6,3

Висновки до розділу

Економічна оцінка запропонованих рішень підтверджує їх ефективність, а отже можна отримати доволі гарні результати по застосуванню захисту електричних асинхронних двигунів. При цьому застосування її має гарний показник економії експлуатаційних витрат 4670 грн, при цьому термін окупності становить 6,3 роки.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Проведений аналіз основних несправностей електродвигуна та враховано їх основні зв'язки при продовженні роботи АД. При цьому існує доволі велика кількість несправностей, що можуть бути закладені на етапі збирання двигуна. Але всі ці причини є доволі складними та мають або електричний або тепловий характер з взаємозв'язками один між одним.

Для захисту використовується також пристрої, що враховують причини виникнення їх в асинхронному двигуні. При виникненні пошкоджень вони фактично миттєво виникають АД не доскаючи пошкодження іншого електрообладнання, обмоток чи навіть ізоляції.

2. Особливості організації захисту електродвигуна потребує виконання математичного та програмного програмування. Запропоновані математичні моделі дозволяють моделювати основні режими роботи АД. При внесенні в неї основних змінних виникає можливість проведення визначення аварійних режимів роботи.

Графічне моделювання з використанням відповідного програмного забезпечення потребує побудови графічних моделей але дає можливість отримати більш розширений аналіз з моделюванням вже проходження аварійних режимів та визначення величин їх максимальних значень для подальшого виконання налаштування системи захисту.

3. При виконанні аналізу системи захисту основним параметром ефективної його роботи є відповідність ВАХ необхідним параметрам захисту. Для ефективності реалізації захисту АД від різних параметрів виникає потреба в реалізації комплексного підходу та багаторівневого захисту. А отже потребує встановлення засобів навіть на самі датчики АД. Реалізація такого підходу потребує використання дуже тонких налаштувань їх параметрів. В якості захисту було обрано захист від перенапруг та тепловий захист з виконанням контролю за параметром з використання лямбда-діодів.

4. Проаналізовані вимоги охорони праці потребують обов'язкового вирішення всіх питань по їх дотримання, адже це сприяє покращенню умов

праці на підприємстві. При цьому дотримання всіх вимог охорони праці дають можливість уникнення травмонебезпечних ситуацій та інших проблемних питань, що пов'язані з життям та здоров'ям працівників.

5. Економічна оцінка запропонованих рішень підтверджує їх ефективність, а отже можна отримати доволі гарні результати по застосуванню захисту електричних асинхронних двигунів. При цьому застосування її має гарний показник економії експлуатаційних витрат 4670 грн, при цьому термін окупності становить 6,3 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kholiddinov I. Kh, Musinova Gulasalkhon, Yulchiev M.E., et al. Modeling of calculation of voltage unbalance factor using Simulink (Matlab) // The American Journal of Engineering And Techonology. 2020. V.2. № 10. pp. 33-37.
2. Півняк Г.Г. Особливі режими електричних мереж: Навчальний посібник / Г.Г. Півняк, А.К. Шидловський, Г.А. Кігель, А.Я. Рибалко, О.І. Хованська. – Д.: Національний гірничий університет, 2009. – 376 с.
3. Вовк О.Ю. Метод періодичного діагностування асинхронних двигунів/ О.Ю. Вовк, Л.М. Безменнікова, С.О. Квітка // Праці ТДАТУ. – 2010. - № 10, Т4. - С. 39-46.
4. Попова І. О. Контроль режимів роботи асинхронних двигунів при несиметрії напруг мережі: автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.16 "Електротехнології та електрообладнання в агропромисловому комплексі" / І. О. Попова. – Мелітополь, 2003. – 20 с.
5. Патент 69523 А, Україна, МПК7 H02P 5/04. Пристрій захисту асинхронного двигуна / Родькін Д.Й., Чорний О.П., Живота В.Ф. [та інші]; заявник і правовласник Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського. – № 2003042859 опубл. 5.09.2004. Бюл. №9, 2004 р.
6. Калінова А. П. Математичні моделі для дослідження впливу конструктивних несиметрій електричних машин на їх електромагнітні параметри/ Калінова А. П., Мамчур Д. Г. // Вісник КДПУ. Наукові праці КДПУ. – Вип. 3(44). – Ч. 2. - Кременчук: КДПУ, 2007. – С. 150–154
7. Гераскін О. А. Вібродіагностика ушкоджень роторів потужних асинхронних двигунів на основі польових математичних моделей: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.01 / НАН України, Ін-т електродинаміки. – К., 2012. – 18 с.
8. М. В. Загірняк, Д. Г. Мамчур, А. П. Калінов, А. В. Чумачова Діагностика асинхронних двигунів на основі аналізу сигналу споживаної потужності : монографія – Кременчук, 2013. – 208 с.

9. Ю. М. Васьковський, О. А. Гераскін Математичне моделювання та експериментальні дослідження вібрацій асинхронних двигунів Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України: Зб. наук. пр. - К.: ІЕД 176 НАНУ, 2011. - Вип 30. - С. 68-75

10. Сьомка О. О., В. В. Прус Перспективні структури моделей прогнозування надійності електричних машин із суттєвим напрацюванням на відмову XIV Міжнародна науково-технічна конференція “Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів”: Матеріали конференції. – Кременчук: КрНУ імені Михайла Остроградського, 2015. – С. 126-127.

11. Somka O, M. Zagirnyak, V. Prus. Reliability Models of Electric Machines with Structural Defects Proceedigs 2015 16th International Conference on “Computational Problems of Electrical Engineering” CPEE–2015, – Lviv, Ukraine, 2015. – p. 249-251.

12. Сьомка О. О. Розробка методів дослідження та прогнозування показників надійності асинхронних двигунів XV Міжнародна науково-технічна конференція “Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів”: Матеріали конференції. – Кременчук: КрНУ імені Михайла Остроградського, 2016. – С. 164-165.

13. Somka O., M. Zagirnyak, V. Prus, The methods for accounting the degree of electric machines aging in the assessment of their reliability 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES) – Kremenchuk, Ukraine, 2019. – P.194-197

14. Billinton and Ronald N. Allan, “Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques”, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin 181 (Germany), 2008. – 342 p.

15. Matlab, Getting Started Guide, R2011b. The MathWorks, Inc., 3 Apple Hill Drive, Natick, MA 01760-2098, USA, 276 p.

16. Сьомка О. О., В. В. Прус Комп’ютеризований діагностичний комплекс для випробувань електричних машин на надійність Науковопрактичний журнал «Електротехніка і електромеханіка» – Харків: Національний технічний університет «ХПІ», 2015. – Вип. 3/2015 – Ст. 27–30.

17. Сьомка О. О., В.В. Прус, С.Є. Дзеніс Обґрунтування впливу процесу старіння на електричні та магнітні властивості шихтованих осердь електричних машин Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії – Х. : НТУ „ХПІ”. - 2016. - № 11 (1183) 2016 – С. 115-122.

18. M. Zagirnyak, V. Prus, Siomka O. Electric machine reliability prediction models taking into account the state of major structural components Proceedings of the abstracts the 15th International Conference on “Computational Problems of Electrical Engineering” CPEE–2014, – Terchova – Vratna dolina, Slovak Republic, 2014. – P. 57

19. O. Somka, V. Prus, A. Nikitina Somka O. The determination of the condition of the windings of electric machines with long mean-time-between failures 2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES) – Kremenchuk, 2017. – P. 164-167.

20. M. Zagirnyak, A. Kalinov, and Zh. Romashykhina, “Decomposition of electromotive force signal of stator winding in induction motor at diagnostics of the rotor broken bars”, Scientific Bulletin of National Mining University, issue 4(154), 2016, pp. 54–61.

21. В. В. Прус, Сьомка О. О. Зміна властивостей електротехнічної сталі під впливом теплових та механічних факторів / Збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 8-9 квітня 2015 р. – Кременчук, КрНУ, 2015. – С. 229-230.

22. Somka O. The use of the thermal image control in the current monitoring of electric machines / M. Zagirnyak, V. Prus, O. Somka // Book of digests the 7th Symposium on Applied Electromagnetics SAEM’2018. – Podčetrtek, Slovenia, 2018. – P. 9–10

23. Somka O. The ways for the improvement of the information value of the thermal image control of electric machines with long mean time between failures

/ M. Zagirnyak, V. Prus, O. Somka // Przegląd Elektrotechniczny, 2019, R. 95 № 5
P. 63–66 (Польша)

24. Fedorov M. M. The improvement of the methods for forecasting the thermal state of alternating current electric motors in the unsteady conditions of their operation / Doctor's thesis in specialty 05.09.01 – Electric machines and devices, Kharkiv, NTU KhPI, (2003). – 36 p.

25. Hamid A. Toliyat, Subhasis Nandi, Seungdeog Choi, Homayoun Meshgin-Kelk, Electric Machines: Modeling, Condition Monitoring, and Fault 185 Diagnosis, London-New York: CRC Press, 2012.