

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації
виробництва та інженерної екології
Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Макарчук Петро Миколайович

УДК 620.93

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Підвищення експлуатаційної надійності електроприводу витяжних
вентиляторів птахофабрик**

141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Савченко Л.Г.

к.і.н., доцент

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Макарчук Петро Миколайович. Підвищення експлуатаційної надійності електроприводу витяжних вентиляторів птахофабрик. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі встановлено, що застосування безконтактного принципу впливу на комутаційний апарат дозволило розробити варіанти схемотехнічної побудови безконтактних фільтрових захистів, що відрізняються підвищеною надійністю при роботі в приміщеннях з агресивним навколишнім середовищем.

Використання схем захисту з урахуванням електромагнітного пускача разом із тиристорним регулятором напруги пропонується разом із електричними фільтрами.

Споживання електроенергії пристроями захисту в середньому становить: активної енергії – 3,71 Вт, повної енергії – 6,64 ВА, що дозволяє знизити загальне споживання електроенергії схемою керування та захисту електродвигунів витяжних вентиляторів у 2,4 рази.

Застосування розроблених пристроїв захисту, що мають високі показники надійності, які для різних схем мають такі значення: ймовірність безвідмовної роботи (на 10 років) змінюється від 0,9 до 0,91, коефіцієнт готовності – від 0,991 до 0,996, середнє напрацювання на відмову – від 8,6 до 12,3 років, підвищує експлуатаційну надійність електроприводу загалом.

Ключові слова: надійність, електропривід, електродвигун, відмова, коефіцієнт готовності

ANNOTATION

Makarchuk Petro Mykolayovych. Improving the operational reliability of the electric drive of exhaust fans of poultry farms. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for a master's degree in the specialty 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's thesis it is established that the application of the contactless principle of influence on the switching device allowed to develop variants of circuit construction of contactless filter protections, characterized by increased reliability when working in rooms with aggressive environments.

The use of protection schemes with an electromagnetic starter together with a thyristor voltage regulator is offered together with electric filters.

The average power consumption of protection devices is: active energy - 3.71 W, total energy - 6.64 VA, which reduces the total power consumption of the control and protection circuit of exhaust fans by 2.4 times.

The use of developed protection devices with high reliability, which for different schemes have the following values: the probability of failure-free operation (for 10 years) varies from 0.9 to 0.91, the coefficient of readiness - from 0.991 to 0.996, the average failure time - from 8.6 to 12.3 years, increases the operational reliability of the electric drive in general.

Key words: reliability, electric drive, electric motor, failure, readiness factor.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ЗАХИСТУ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВИТЯЖНИХ ВЕНТИЛЯТОРІВ ВІД РОБОТИ НА ДВОХ ФАЗАХ.....	9
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТА ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ.....	27
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВИТЯЖНИХ ВЕНТИЛЯТОРІВ.....	32
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42

ВСТУП

Птахівництво є складною, динамічною і активно розвиваючою системою організаційно-господарських та соціальних одиниць, пов'язаних між собою територіально, за галузевим принципом і що виробляють різноманітну продукцію. Птахівництво є найефективнішою галуззю сільськогосподарського виробництва. Це обумовлено отриманням від птиці таких цінних і дешевих продуктів як м'ясо, яйця, і навіть пуху, пера, помету для добрива, що містить у 5-6 разів більше азоту проти гною.

З 1965 року відбувається переведення птахівництва на промислову основу, що дозволило збільшити валове виробництво яєць майже втричі порівняно з 1964 роком. Відповідне зростання досягнуто також у виробництві м'яса птахів.

Іншим результатом переведення птахівництва на промислову основу стало збільшення кількості птахівницьких підприємств.

Особливість розвитку птахівництва – переведення виробництва на основі систем машин та розширення сфери технологічного застосування науки. Значна частина птахівницьких господарств є абсолютно новим типом сільськогосподарських підприємств з науково обґрунтованими системами інтенсивного використання птиці при утриманні її в закритих приміщеннях з регульованим мікрокліматом, комплексною механізацією та електрифікацією виробництва. При цьому на підвищення ефективності птахівництва істотно впливають противитратні та енергозберігаючі технології.

Комплексна механізація технологічних процесів у птахівництві неможлива без електрифікації. Електропривод забезпечує майже всі технологічні процеси.

І якщо до кінця 80-х років встановлена потужність електрообладнання збільшилася, якість та надійність електропостачання досягли високого рівня, то з початком економічних реформ у країні становище з електрифікацією

сільського господарства різко погіршилося. Це призвело до того, що сьогодні електричні мережі знаходяться в незадовільному технічному стані, більше половини з них мають 100% зношування, якісною електричною енергією забезпечується лише 60...65% споживачів, застосування в сільському господарстві однофазних споживачів призводить до значної несиметрії напруги в мережах 0,38 кВ тощо.

Погіршення якості та надійності елементів системи електропостачання призводить до того, що рівень надійності електроприводу у птахівництві також знижується. Зрештою це призводить до збільшення технологічних збитків та збитків, пов'язаних з виходом з ладу електрообладнання, що ще більше погіршує стан птахівницької галузі.

Одним з рішень проблеми, що склалася, може бути розробка та застосування засобів і методів захисту електродвигунів, що складають основу електроприводу, від аварійних режимів пов'язаних з погіршенням якості та надійності системи електропостачання.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення експлуатаційної надійності електроприводу витяжних вентиляторів птахівницьких приміщень за рахунок вдосконалення їх захисту.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізовано стан питання і обґрунтування необхідності захисту асинхронних електродвигунів витяжних вентиляторів від роботи на двох фазах;
- розробити пристрої захисту елементів електроприводу, що мають високі показники надійності;
- оцінити технічну ефективність застосування пристрої захисту елементів електроприводу.

Об'єкт дослідження: є електропривод витяжних вентиляторів птахівницьких приміщень.

Предмет дослідження: є параметри фільтрового пристрою захисту залежно від особливостей технологічного процесу та потужності асинхронного електродвигуна.

Методи дослідження. У роботі був використаний ряд конкретних методів: класифікації, статистичного спостереження, порівняльного і факторного аналізу та ін. Основою бази дослідження прийнято теорію надійності технічних систем. В експериментальних дослідженнях використовувалися сучасні засоби вимірювальної техніки.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко Л.Г., **Макарчук П.М.**, Артемчук О.О. Горпиняк М.В. Ковальов Б.В. Комплексне забезпечення надійності і якості електропостачання у сільських розподільних мережах. Збірник тез *VII-ї* всеукраїнської науково-практичної конференції «*Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь*» 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 164-166.

2. Савченко Л.Г., Баланський А., Романчук Н., Ковальов Б., **Макарчук П.** Моделювання надійності електроприводу. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей VIII всеукраїнської науково-практичної конференції, 20-21 травня 2021 р., м. Луцьк [Електронний ресурс]. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. С. 110-112.

3. Савченко Л.Г., **Макарчук П.М.**, Артемчук О.О. Горпиняк М.В. Ковальов Б.В. Особливості несиметричних та неповнофазних режимів . IV Всеукраїнська науково-практична інтернет конференція «Сучасні технології в енергетиці, електромеханіці, системах управління та машинобудуванні» (Бахмут 25-26 листопада 2021 р.), Бахмут :ННПП «УПА». С. 64-65

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес представляє розроблений пристрій захисту підвищеної надійності для електродвигунів витяжних вентиляторів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 43 сторінки комп'ютерного тексту, містить 1 таблицю і 13 рисунків.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ЗАХИСТУ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВИТЯЖНИХ ВЕНТИЛЯТОРІВ ВІД РОБОТИ НА ДВОХ ФАЗАХ

У період нормальної експлуатації відмови у роботі електродвигунів, зокрема і електродвигунів вентиляторів, зазвичай носять випадковий характер. Їхня поява багато в чому залежить від умов роботи пристрою. Розрізняють три види пошкоджень електродвигуна:

- 1) механічні пошкодження;
- 2) пробій ізоляції внаслідок перенапруги;
- 3) вихід з ладу ізоляції через перегрівання обмоток.

Механічні пошкодження, до яких відносяться пошкодження корпусу, щитів, підшипників, вентиляторів, виникають через вплив навколишнього середовища або випадкові механічні впливи на ці елементи. Можна вважати, що у разі відмови електродвигунів обумовлені конструктивними особливостями матеріалів, у тому числі виконані механічні частини пристосування. Частка відмов електродвигунів, що працюють у сільському господарстві, через механічні пошкодження в середньому становить 11% (для вентиляторів – 5%) від загальної кількості електродвигунів, що вийшли з ладу.

Друга причина пошкоджень – пробій ізоляції статорної обмотки, що супроводжується міжвитковими замиканнями, замиканням обмотки на корпус обумовлено впливами довкілля на електродвигун та його режимом роботи. Найбільш несприятливими є режими роботи у тваринницьких та особливо – птахівницьких приміщеннях. Ці приміщення характеризуються високою відносною вологістю, великим діапазоном температур та високим вмістом аміаку, причому навіть якщо система вентиляції працює ефективно. Ізоляція обмоток зволожується, насичується парами аміаку. Внаслідок цього опір ізоляції різко знижується і зростає ймовірність її пробію. Частка

електродвигунів, що вийшли з ладу, при пробі ізоляції становить у середньому 18% . (Для електродвигунів, що працюють у системі вентиляції птахівницьких приміщень, це співвідношення складає: з 13% по 15%).

Третьою причиною пошкодження електродвигунів є вихід із ладу ізоляції статорних обмоток. Слід зазначити, що основний вплив, що призводить до пошкодження ізоляції, є тепловий. Розмір перегріву залежить від конструкції електричної машини та навантаження під час експлуатації. З підвищенням температури зменшується механічна міцність ізоляції та коефіцієнт тепловіддачі. При температурному розширенні матеріалів послаблюється їх структура, виникають внутрішні перенапруги та механічні навантаження. Внаслідок цього прискорюється руйнація ізоляції від дії механічних зусиль, високої напруги та пускових струмів.

Серед основних причин виходу з ладу ізоляції асинхронного електродвигуна можна зазначити наступне: перевантаження (для електродвигунів витяжних вентиляторів характерне примерзання крильчатки в зимовий час), робота в неповнофазному режимі, зтяжний пуск, робота при зниженій напрузі, робота при несиметрії напруги. В результаті дії цих несприятливих факторів спостерігається перевищення струму за величиною та тривалістю протікання у всіх або двох фазах двигуна, що призводить до появи додаткових Джоулевих втрат. Додаткові втрати, виділяючись як тепло, призводять до перегріву ізоляції статорних обмоток. При погіршенні охолодження перегрів може статися без підвищення струму.

Одними з найнебезпечніших і найчастіших аварійних режимів у сільському господарстві є несиметричні та неповнофазні режими. Причини виникнення цих режимів є різними. Причиною несиметрії напруги насамперед є нерівномірний розподіл навантаження по фазах за рахунок неправильного приєднання однофазних споживачів. Розрив фазного ланцюга обумовлений механічним обривом фазного дроту, перегоранням одного із запобіжників, порушенням контакту в одній із фаз.

У сільських розподільчих мережах 10 та 0,38 кВ завжди існує несиметрія напруги та висока ймовірність виникнення неповнофазного режиму. Інтенсивність відмов з причин обриву фазного дроту становить у середньому від 3,56 до 4,19 відмови на рік на 100 км ліній 10 кВ за довірчої ймовірності 0,95. Причому, на лінії 10 кВ припадає від 65% до 75% від загальної кількості елементів електричної мережі, що відмовили. У середньому близько 30% усіх відмов на рік припадає на лінію 0,38 кВ.

Сьогодні сільські електричні мережі перебувають у незадовільному технічному стані. Більше половини з них мають 100% знос.

Отже, якщо найближчим часом фінансування в галузь не збільшиться, кількість відмов елементів електричних мереж, у тому числі з причин обриву фази, зростатиме.

Таким чином, електродвигуни витяжних вентиляторів, що працюють практично цілодобово, особливо в літні місяці, мають високу ймовірність бути охопленими цими аварійними режимами.

Вихід з ладу обмотки статора – вид пошкодження, що найчастіше зустрічається, і частка електродвигунів, що вийшли з ладу, з цієї причини для сільського господарства становить у середньому 71%, з них на обрив фази і несиметричні режими роботи доводиться – 36%, на різні види навантаження – 28%. (Для електродвигунів, що працюють у системі вентиляції птахівницьких приміщень, ці співвідношення становлять відповідно – 47%, 35%, 0,12%, за даними – 65%, 50% 15%).

Для захисту електродвигунів від перерахованих вище видів пошкоджень існують різні способи. Умовно їх можна поділити на:

- 1) профілактичні, пов'язані з проведенням профілактичних оглядів;
- 2) конструктивні, пов'язані з розробкою нових ізоляційних матеріалів, просочувальних лаків, а також з правильним вибором електродвигунів за потужністю, за умовами запуску та за ступенем захисту від впливу навколишнього середовища;

3) технічні, пов'язані з використанням різноманітних пристроїв захисту.

Профілактичні способи, в основному, призначені для попередження перших двох видів ушкоджень – механічних та пробую ізоляції.

Конструктивні методи спрямовані на запобігання майже всіх видів аварійних режимів. Найбільшого поширення набули технічні пристрої захисту, які в першу чергу, характерні для попередження пошкодження електродвигунів, пов'язаних з перегріванням статора обмоток, через відхилення нормального режиму роботи електричної мережі або порушення технологічного процесу. Також відомі пристрої контролю ізоляції або витoku струмів, які застосовуються спільно з іншими пристроями захисту.

Аналіз співвідношення основних причин відмови електродвигунів показує, що найбільше серед усіх причин припадає на неповнофазні та несиметричні режими роботи мережі живлення, а також – всілякі види перевантаження. З цього випливає, що існуючі пристрої захисту електродвигунів витяжних вентиляторів не завжди успішно виконують свої функції.

Причини неспрацьовування пристроїв захисту можна розбити на дві групи:

1) об'єктивні, пов'язані з конструктивною недосконалістю власне пристроїв;

2) суб'єктивні, пов'язані з неправильними діями електротехнічного персоналу: вибором, налаштуванням та експлуатацією.

Таким чином, розробка та застосування нових конструкцій, принципів побудови пристроїв захисту з одночасним підвищенням освіти електротехнічного персоналу дозволить зменшити кількість електродвигунів, що виходять з ладу.

Несиметричні режими, що існують у сільських розподільчих мережах, умовно можна розділити на: тривалі та короточасні. Тривалі несиметричні режими з'являються в основному в результаті нерівномірного розподілу

навантаження по фазах, що створюється однофазним навантаженням. Короткочасна несиметрія виникає, наприклад, через різночасне замикання силових контактів комутаційної апаратури, при несиметричних коротких замикання на ділянках мережі. У випадку ці режими характеризуються тим, що напруги кожної фази відрізняються друг від друга, як у величині так і по фазі. Відповідно до теорії симетричних складових при несиметричній системі напруг з'являються напруги нульової, зворотної та прямої послідовності. Відповідно при підключенні електродвигуна до такої електричної мережі виникають струми нульової, зворотної та прямої послідовності. При цьому спостерігається перевищення струму ротора, фазних струмів статора, зменшення моменту, що обертає електродвигуна і поява додаткових втрат енергії, що виділяються у вигляді тепла в активних елементах електродвигуна.

При неповнофазному режимі, що є крайнім граничним випадком несиметрії напруги, до перерахованих вище ознак можна додати і відсутність напруги в одній із фаз за місцем розриву в мережі.

Отже, від розглянутих режимів у тому чи іншою мірою електродвигун можуть захищати пристрої, що реагують: на перевищення струму вище допустимого (струмові та теплові типи захистів), на перевищення температури статорних обмоток (температурні пристрої захисту), на появу зворотної або нульової складових напруги або струму (фільтрові пристрої захисту).

Для порівняння між собою різних пристроїв захисту необхідно враховувати основні вимоги:

- 1) точність дії, що характеризується результируючою похибкою за параметрами спрацьовування;
- 2) надійність технічного пристрою, що характеризується здатністю виконувати свої функції протягом заданого проміжку часу;
- 3) швидкодія або час, з моменту виникнення аварійного сигналу до моменту відключення електродвигуна від мережі (для пристроїв з витримкою часу цей параметр менш важливий);

4) економічна ефективність, що складається з вартості виробництва, споживання електроенергії, витрат на експлуатацію і т.д.

Всі вимоги, так чи інакше, пов'язані одна з одною і в цілому залежать від схемотехнічної побудови пристрою, від елементів, що входять до його складу і їх внутрішніх зв'язків.

За своєю структурною побудовою більшість існуючих пристроїв захисту схожі (рис. 1.1). Як правило, до складу схеми пристрою входять: орган, що сприймає (ВО), логічний орган (ЛО), виконавчий орган (ИО). Також на схемі (рис. 1.1) представлені електродвигун (ЄД) та комутаційний апарат (КА).

Сприймаючий орган, призначений для виділення і перетворення вхідного сигналу в сигнал, зручний для подальшого порівняння.

Логічний орган порівнює величину отриманого від реагуючого органу сигналу із заданою величиною і якщо вхідна величина виявляється більшою за задану, формує вихідний сигнал. Вихідним органом пристроїв захисту є виконавчий орган, який отримавши сигнал від логічного органу, формує сигнал на відключення, впливаючи на ланцюг управління комутаційними апаратами. У свою чергу комутаційні апарати відключають електродвигун від мережі.

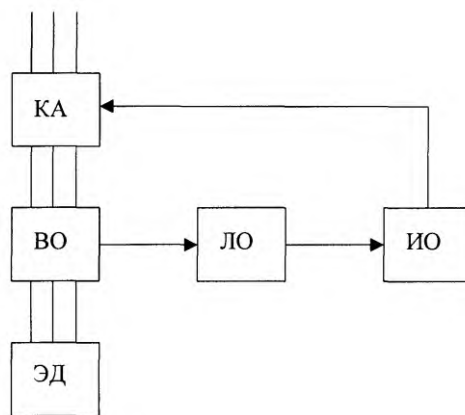


Рис. 1.1. Структурна схема побудови захисних пристроїв

Точність дії пристроїв захисту практично залежить від усіх елементів схеми. Сприймаючий орган або лінійний перетворювач за рахунок конструктивних особливостей може мати деяку похибку при перетворенні сигналу. Наприклад, біметалева пластина має зону розкиду захисних

характеристик, через що при певній кратності струму похибка часу спрацьовування може коливатися у досить значних межах. Це також призводить до зниження швидкодії захисту.

Надійність елементної бази помітно впливає на роботу пристрою загалом. Відмова будь-якого з елементів схеми призводить до того, що при аварійному режимі пристрій не зможе виконувати свої функції, тобто відключити електродвигун. Найменш надійним органом пристрою захисту в більшості випадків є виконавчий орган, представлений електромеханічним реле. Основними причинами відмов пускозахисної апаратури є: перегрів або замикання витків котушок реле, знос контактів та дефекти механічної частини. При цьому, близько 45% відмов пов'язано з ушкодженнями контактів. Насамперед, це пов'язано з впливом агресивного доквілля тваринницьких та птахівницьких приміщень. Спільний вплив сірководню, механічних домішок, підвищеної вологості та температури, навіть якщо їх параметри відповідають зоотехнічним нормам у поєднанні з дією електричної дуги при розмиканні контакту, призводять до електричної ерозії та низької надійності контактів. Вплив навколишнього середовища негативно впливає також і на інші елементи реле та пристрою в цілому.

Швидкодія пристрою залежить від інерційності елементів, їх кількості, етапів трансформації вхідного сигналу у вихідний, коефіцієнт повернення виконавчого органу.

Економічність пристрою захисту також пов'язана зі схемотехнічною побудовою. Від кількості елементів схеми залежить вартість пристрою, споживана потужність. Складність схеми підвищує трудовитрати на експлуатацію пристрою.

Як захисні пристрої до складу комплексу вентиляційного обладнання “Клімат” входять теплові реле та автоматичні вимикачі з комбінованими розчіплювачами.

Теплове реле відноситься до класу теплових пристроїв захисту. Вхідним сигналом є кількість теплоти, що виділяється на нагрівачі під час проходження струму. При цьому кількість теплоти пропорційна квадрату струму. У тепловому реле реалізовано кілька функціональних блоків. Сприймаючим органом теплових реле є нагрівальний елемент. При протіканні контрольованого струму нагрівача в останньому виділяється тепло, що впливає на біметалічну пластину, яка є логічним органом. При певній величині струму біметалічна пластина вигинається, виходить із зачеплення з важелем механізму розчеплення. Під дією пружини тяга розмикає контакт, який є виконавчим елементом. Контакт теплового реле, розмикаючись, відключає ланцюг живлення магнітного пускача в результаті електродвигун відключається від мережі.

Недоліки біметалічної пластини щодо точності дії відзначалися вище. Через існування зони розкиду захисних характеристик швидкодія у реле недостатня. Це призводить до великого запізнення часу спрацьовування, тому ймовірність виходу з ладу електродвигунів витяжних вентиляторів при неповнофазному режимі дуже велика. Використання контактної системи знижує показники надійності теплового реле. Однак цей захист простий в експлуатації, має малу вартість, внаслідок цього має нині масове поширення.

Автоматичні вимикачі з комбінованими розчіплювачами також призначені для захисту електродвигунів витяжних вентиляторів від перевантажень, мають ті ж недоліки що і теплові реле.

Крім цих пристроїв захисту, широке поширення у сільськогосподарському виробництві мають також пристрої вбудованого температурного захисту (УВТЗ) та фазочутливі пристрої захисту (ФУЗ).

УВТЗ відносяться до температурних пристроїв захисту, які безпосередньо контролюють температуру статорних обмоток. Як сприймає орган використовуються терморезистори, що змінюють свій опір залежно від температури. Логічний блок реалізований на напівпровідникових елементах, які

розміщені на друкованій платі. Як виконавчий орган використовується електромагнітне реле, контакти якого включені послідовно з котушкою магнітного пускача, що є комутаційним апаратом.

Принцип дії пристрою заснований на тому, що при збільшенні температури обмотки статора вище допустимого значення опір термодатчиків різко змінюється. Відповідно, відбувається перерозподіл напруги в логічному блоці між опором і термодатчиками, які разом з резисторами утворюють дільник напруги. При цьому формується сигнал спрацьовування виконавчого органу з подальшим відключенням магнітного пускача. Даний принцип дії є основною перевагою УВТЗ, оскільки дозволяє зробити захист більш універсальним і певною мірою дозволяє повністю використовувати теплові можливості електродвигуна при аварійних режимах. Проте, температура обмотки статора не завжди характеризує такий аварійний режим як обрив фази. Наприклад, температура статорної обмотки може і не перевищити допустиме значення у разі обриву фази, якщо електродвигун не завантажений на повну потужність.

До інших недоліків УВТЗ можна віднести динамічну похибку термодатчика. Це призводить до запізнювання спрацьовування при швидкому зростанні температури через те, що датчику потрібно деякий час, щоб нагрітися до температури обмотки. Крім того, при неповнофазному режимі УВТЗ реагує на слідство (температуру), а не на причину (обрив фази). Це призводить до того, що двигун залишається у ввімкненому стані при аварійному режимі. Різноманітність елементів, використання електромеханічного реле знижує загалом показники надійності УВТЗ, збільшує вартість та створює складності при ремонті та експлуатації.

Слід зазначити, робота з усунення даних недоліків ведеться. Роботи спрямовані в основному на усунення похибки термодатчиків з метою підвищення чутливості, а також конструктивна зміна виконавчого органу з метою підвищення надійності пристрою. Наприклад, в УВТЗ-5М

використовується як виконавчий орган реле з герметичним контактом, що підвищує коефіцієнт готовності схеми

У Поліському національному університеті розроблено фазочутливі пристрої захисту, які призначені для захисту від неповнофазного режиму та різних перевантажень (рис. 1.2). В якості сприймаючого органу у ФУЗі використовуються два фазообертальних трансформатора струму, особливим чином включені в мережу. Логіка пристрою виконана на друкованій платі, основу якої становить фазочутливий кільцевий детектор, що реагує на сигнал, пропорційний коефіцієнту потужності. Виконавчим органом є проміжне електромагнітне реле, що розмикає контакт якого включений у ланцюг котушки магнітного пускача.

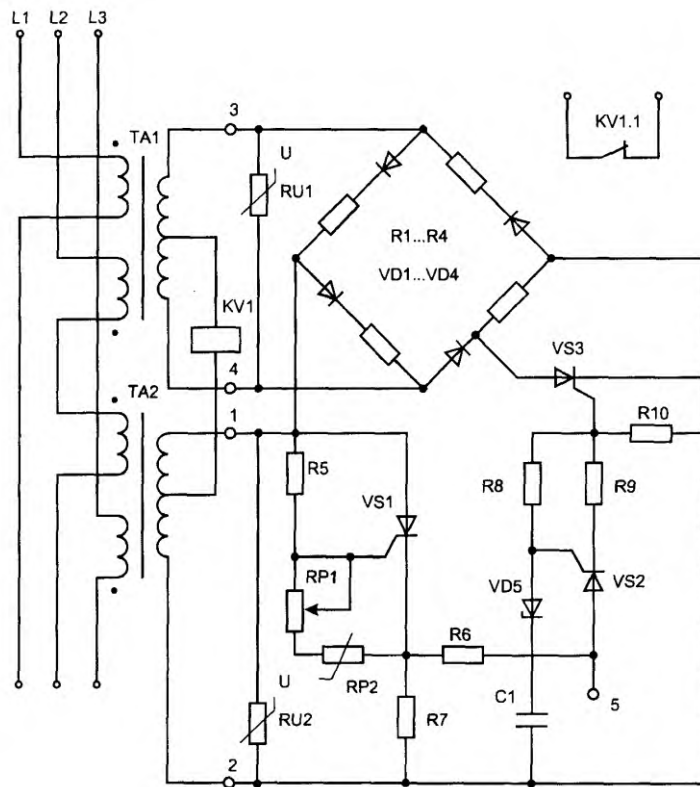


Рис. 1.2. Принципова електрична схема пристрою ФУЗ-М

В основі принципу дії ФУЗ лежить фазовий принцип виявлення аварійних режимів електродвигуна. У нормальному режимі на виході фазових трансформаторів формується певна система напруг, взаємно зсунута на кут, приблизно рівний 90° . При цьому на вхід виконавчого органу надходить

сигнал, недостатній для спрацювання реле. Коли відбувається обрив фази мережі, система напруг на виході фазообертальних трансформаторів змінюється, кут між ними стає рівним 0° або 180° і струм у котушці реле стає більше струму притягання якоря реле. Відповідно реле (KV1) розмикає своїм контактом (KV1.1) ланцюг живлення котушки магнітного пускача (рис. 1.4).

При обриві фази ФУЗ забезпечує хорошу точність дії. Дещо гірша точність дії виявляється при несиметрії напруги, пристрій не спрацює (при номінальному струмі) від несиметрії фазних струмів до 10%. Надійність самого пристрою, як і у випадку з УВТЗ залишається недостатньою, в умовах приміщень з агресивним навколишнім середовищем через застосування в якості виконавчого органу проміжного реле. До інших недоліків ФУЗ слід віднести: складність схеми, відносно велика маса – габаритні показники, через використання фазо поворотних трансформаторів і як наслідок – високу вартість.

Розглянуті пристрої захисту реалізують різні принципи дії, проте у плані структурної реалізації вони схожі і є “класична” побудова, описана вище. Ймовірно, це визначило і спільність їхніх недоліків. Перш за все ці пристрої мають багатoelementну базу, що веде до зменшення надійності самого пристрою; великі похибки за параметрами спрацювання; високу вартість; велике енергоспоживання, крім теплових реле. Складна схема ускладнює експлуатацію та ремонт пристроїв. Відмінною особливістю є також використання як виконавчий орган електромагнітного реле, що ще більше знижує експлуатаційну надійність цих пристроїв в умовах приміщень з агресивним середовищем. Отже, ця схемотехнічна побудова не повністю відповідає сформульованим вище вимогам, через що не знайшла застосування для захисту електродвигунів витяжних вентиляторів птахівницьких приміщень.

Крім того, ці пристрої реагуючи на надструми та перевищення температури, опосередковано реагують на несиметричні режими. У цьому вже закладена деяка похибка у виконанні заданої функції – відключення

електродвигуна при аварійному режимі. Про це свідчить також великий відсоток виходу з ладу електродвигунів через несиметричні режими.

Правилами влаштування електроустановок (ПУЕ) рекомендується застосування спеціального захисту від роботи в однофазному режимі лише як виняток. Однак, для захисту електродвигунів, що працюють в системі вентиляції птахівницьких приміщень, від неповнофазних режимів, що найчастіше зустрічаються, переважними є пристрої, що безпосередньо реагують на несиметрію напруг або обрив фази і крім того, мають високу надійність роботи в умовах агресивної навколишнього середовища.

Для захисту електродвигуна від обриву фази відомі багато спеціальних пристроїв, до яких можна віднести:

1. Захист по мінімальній напрузі, що є доповненням до захисту електродвигунів за допомогою теплових реле (рис. 1.3). Цей захист заснований на контролі симетрії напруги між фазами. При обриві однієї з фаз рівність напруг між фазами порушується, що призводить до спрацьовування реле (KV1) та відключення магнітного пускача (KM1);

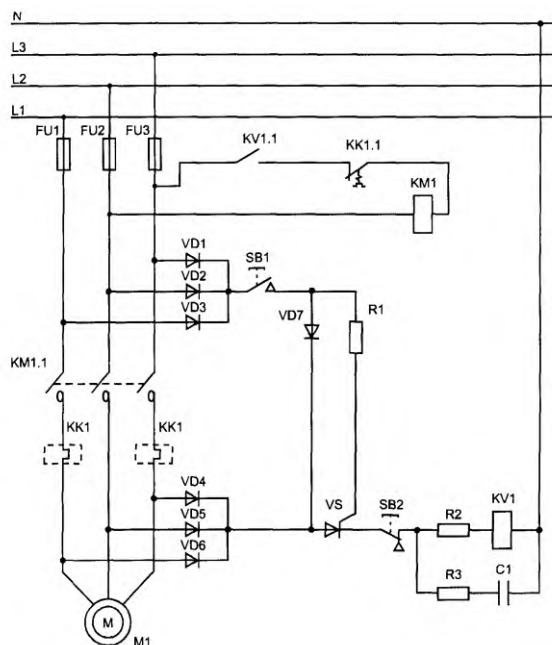


Рис. 1.3. Захист електродвигунів за допомогою теплового реле та контролю напруги у трьох фазах (захист від обриву фази)

2. Захист із використанням реле, включеним між нульовою точкою електродвигуна та нульовим проводом;
3. Захист із використанням реле, включеним на лінійну напругу;
4. Захист струмовим реле, наприклад типу РТ 40/10, із сердечника якого знімаються заводські обмотки і замість них намотуються три інші з рівним числом витків, які підключені до фаз мережі. При обриві однієї з фаз в осерді реле з'являється магнітний потік, який при певних параметрах призводить до спрацювання;
5. Захист за допомогою трьох реле мінімального струму (рис. 1.4). Реле налаштовуються так, щоб у всьому діапазоні навантажень електродвигуна від холостого ходу до максимального навантаження вони знаходилися в положенні спрацювання, а при зникненні струму в будь-якій фазі контактами реле забезпечувалося б відключення схеми управління.

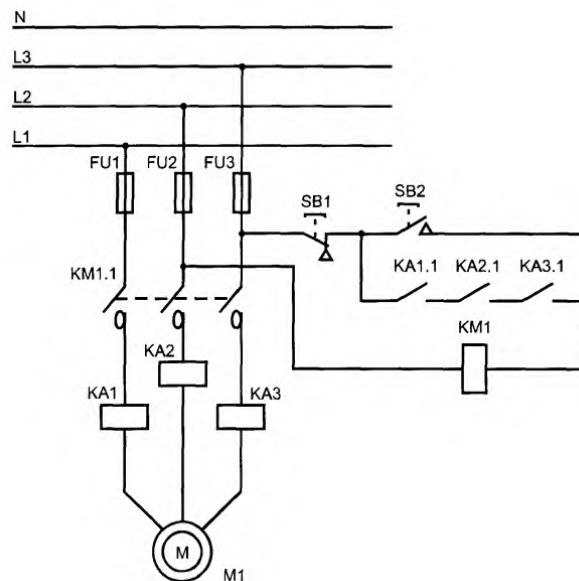


Рис. 1.4. Схема захисту електродвигуна за допомогою реле мінімального струму

Більшість пристроїв цієї групи прості, мають відносно низьку вартість. Загальним недоліком розглянутих захистів можна вважати: необхідність відбудови реле від природної несиметрії, що існує у сільській електричній мережі; помилкові спрацювання під час пуску електродвигуна; обмежений діапазон номінальних струмів, при якому можливе їхнє пряме включення в

ланцюг статора; порівняно низька надійність у приміщеннях з агресивним середовищем, через розмаїтість блок - контактів у ланцюгах управління.

Для захисту електродвигунів від несиметричних режимів роботи, у тому числі від обриву фаз мережі, більш перспективними є фільтрові пристрої захисту. Пристрої захисту цієї групи реагують на напруги або струми симетричних складових, які безпосередньо супроводжують несиметричні режими. Всі схеми фільтрових захистів умовно можна розбити на дві великі групи: пристрої, що реагують на несиметрію струмів та пристрої, що реагують на несиметрію напруг.

До першої групи пристроїв захисту можна віднести:

1) струмові захисту з використанням фільтра зворотної послідовності (рис. 1.5) типу РТ, РТФ і т.д.;

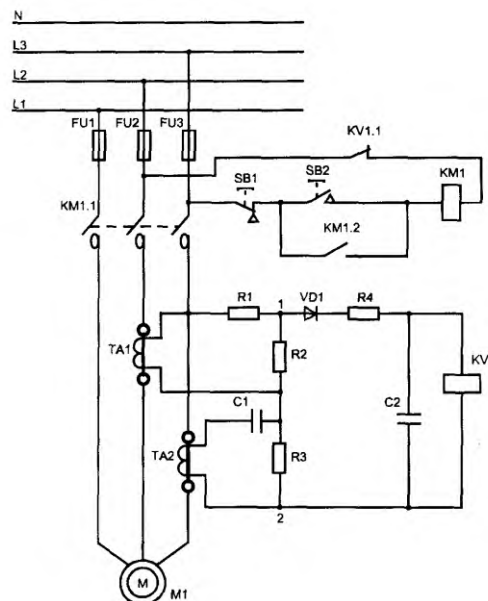


Рис. 1.5. Схема захисту електродвигунів по струму з фільтром негативної послідовності

2) фільтри струму нульової послідовності, представлені трансформаторами струму серій ТЗР, ТЗЛ, ТНП.

Сприймаючим органом пристроїв цієї групи є трансформатори струму (ТА1, ТА2). Фільтри струмів зворотної або нульової послідовності, принцип дії яких заснований на виділенні з фазних струмів електричної мережі складових струмів зворотної та нульової послідовності своїми вхідними затискачами

схема підключена до вторинних затискачів трансформаторів струму, а вихідними - до виконавчого органу (проміжне реле KV1). Реле спільно з фільтрами струмів зворотної або нульової послідовності складають логічний блок захисту.

Струмові фільтри захисту реагують на всі несиметричні режими. Оскільки зазначені пристрої контролюють струм, що протікає по фазних ланцюгах статора, спрацьовування їх залежить від місця підключення.

Однак, використання трансформаторів струму зменшує надійність захисту, збільшує енергоспоживання та масо-габаритні показники. Крім того, трансформатори струму, через насичення сердечника, критичні щодо точності спрацьовування.

Для підвищення чутливості струмових фільтрових захистів були розроблені захисти з гальмуванням. Ці пристрої захисту використовують два інформаційних сигнали: робочий та гальмівний, що значно покращує характеристики захисту при несиметричних режимах роботи. В якості робочого та гальмівного сигналів можуть використовуватися такі поєднання:

- а) струм зворотної послідовності – струм прямої послідовності;
- б) змінна складова випрямленого трифазного струму – постійна складова цього струму;
- в) змінна складова сумарної напруги, пропорційної квадратам струмів фаз – постійна складова цієї напруги;
- г) найбільший із струмів фаз – найменший із струмів фаз;
- д) наявність струму в одній або більше фазах – наявність струму у трьох фазах.

Вибір сигналів у таких захистів проводиться таким чином, щоб при збільшенні несиметричного режиму роботи електроустановки, яка захищається, робочі сигнали збільшувалися, а гальмівні - зменшувалися.

Однак, струмові фільтрові захисти не набули великого поширення. Найбільш поширена друга група фільтрових захистів.

До цієї групи можна віднести:

- 1) фільтри – реле напруг зворотної послідовності типу РНФ;
- 2) реле обриву фаз типу ЕЛ, Е (рис. 1.6);
- 3) фільтри – реле напруги нульової послідовності (асиметри) типу РА, КРЛ;
- 4) фільтри – реле напруги прямої послідовності.

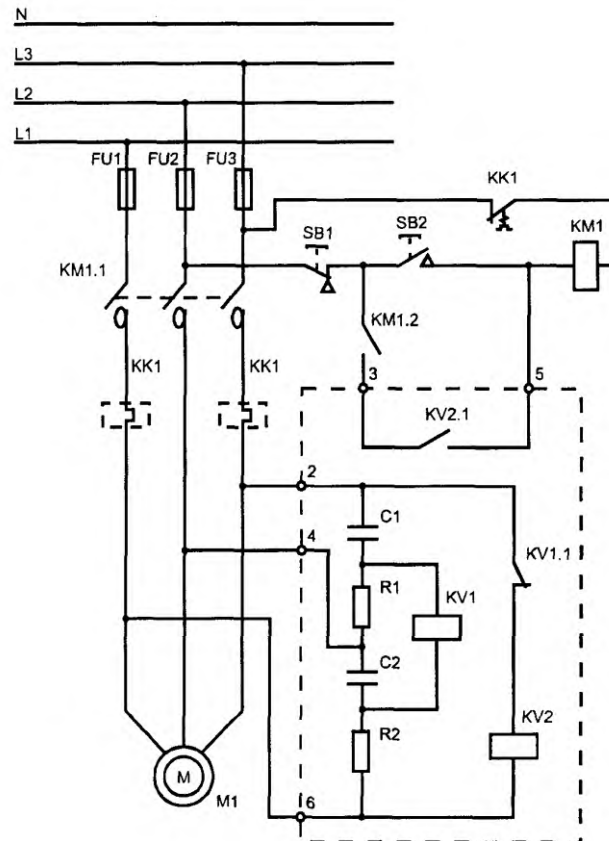


Рис. 1.6. Захист електродвигуна за допомогою теплового реле та реле обриву фаз типу Е-511

Основою цих пристроїв захисту є фільтри прямої, зворотної та нульової послідовностей напруги, вхідними затискачами підключені безпосередньо до електричної мережі. До вихідних затискачів фільтра підключено електромагнітне реле.

Дані пристрої прості, відносно надійні, мають низьку вартість.

Аналізуючи схемотехнічну будову пристроїв, які безпосередньо реагують на несиметричні режими, слід зазначити, що більшість цих пристроїв мають

дещо іншу структурну схему (рис. 1.7), порівняно з рис. 1.1. Очевидно за рахунок того, що ці пристрої безпосередньо реагують на несиметричний режим, можна було поєднати деякі функції.

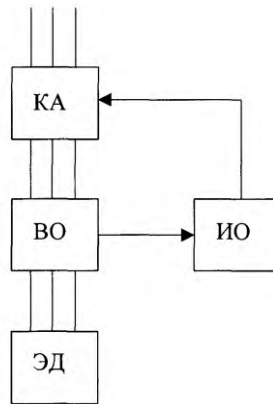


Рис. 1.7. Структурна схема побудови пристроїв захисту від несиметричних режимів

Дійсно, наприклад у схемах фільтр – реле напруги симетричних складових виконавчий блок суміщений з логічним і т.д. Це дає великі переваги щодо надійності, зручності в експлуатації, вартості. За рахунок очевидного зменшення кількості елементів схеми знижується споживання енергії. Зменшення рівнів перетворення вхідного сигналу на сигнал на відключення дозволяє зменшити похибку за параметром спрацьовування, яка проте, все ще визначатиметься технологічним розкидом параметрів елементів схеми захисту.

Найбільш загальним для всіх схемотехнічних побудов розглянутих захистів є виконання виконавчого органу з використанням електромагнітного реле.

Цей контактний спосіб впливу на комутаційний апарат, як і раніше, знижує коефіцієнт готовності пристроїв захисту в умовах агресивного середовища птахівницьких приміщень.

Отже, для використання таких переваг як простота та ефективність пристроїв захисту, що реагують безпосередньо на несиметричні режими, необхідні схемотехнічні рішення, що забезпечують інший спосіб на комутаційний апарат.

Висновки по першому розділу

1. Порушення вентиляції у птахівничих приміщеннях через відмову електродвигунів в умовах швидко старіючих та ненадійних сільських електричних мереж 0,38 – 10 кВ призводить до зниження продуктивності птиці, до значних збитків у галузі. У зв'язку з цим виникає потреба у недорогих та надійних пристроях захисту електродвигунів вентиляторів.

2. Аналіз причин виходу з ладу електродвигунів витяжних вентиляторів дозволив виявити такі основні фактори відмов:

- через несиметричні та неповнофазні режими роботи в електричній мережі – в середньому 43%;

- з причин перевантаження (технологічного, заклинювання ротора) – у середньому 13,5%;

- внаслідок пробою ізоляції – у середньому 14%;

3. Оцінка основних факторів відмов електродвигунів витяжних вентиляторів свідчить про низьку ефективність захисту струмовими тепловими реле даних електродвигунів від перерахованих вище аварійних режимів.

4. Однією з основних причин низької ефективності струмових теплових реле можна назвати низьку надійність контактів в умовах агресивного середовища птахівницьких приміщень. На контакти припадає до 45% відмов пристрою загалом.

5. Виконаний аналітичний огляд відомих способів та пристроїв захисту електродвигунів дозволив апріорно визначити структурну схему пристрою захисту електродвигунів вентиляторів птахівницьких приміщень, що відповідає вимогам дешевизни, простоти та надійності.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТА ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

У процесі експериментальних досліджень вирішувалися наступні завдання:

- 1) визначення реального рівня несиметрії напруги в електричних мережах, що живлять вентиляційне обладнання;
- 2) визначення зміни опору та ковзання електродвигуна АІРП 80Д6У2 витяжного вентилятора ВО-5,6 при несиметрії напруги та обриву фази;
- 3) визначення кореляційного зв'язку несиметрії напруги з тепловими характеристиками обмоток статора електродвигуна.

Експериментальні дослідження щодо оцінки рівня природної несиметрії напруги проводилися на ВАТ «Вінницька птахофабрика» м. Ладизин Вінницької області. Лабораторні випробування велися на кафедрі «Електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології» Поліського національного університету м. Житомир.

У процесі дослідження застосовувалися такі прилади та обладнання:

- 1) амперметр Ц433 (клас точності 1,0);
- 2) комплект вимірювальний К-505 (клас точності 0,5);
- 3) комбінований цифровий прилад М830;
- 4) вольтамперфазометр ВАФ-85М (межа основної похибки приладу, що допускається, при вимірюванні кута зсуву фаз $\pm 1,5\%$);
- 5) тахометр електронний 2ТЕ30 (клас точності 0,2);
- 6) регулятор напруги РНО-250-5;
- 7) електровентилятор ВО-5,6 (електродвигун АІРП 80Д6У2, $P_n = 0,37$ кВт, $n_n = 900$ об/хв);
- 8) прилад КСП-4;
- 9) термопари хромель – крапель.

. Обробка експериментальних даних проводилася з використанням ЕОМ ІВМ – РС/

Кількісно несиметрія напруги виражається коефіцієнтами зворотної та нульової послідовностей напруги (КОНПН), величина яких встановлюється ДСТУ. Отже, завдання визначення рівня несиметрії напруг зводиться до визначення реальних коефіцієнтів зворотної та нульової послідовностей напруги з подальшим порівнянням з тестованим значенням.

Відомості про реальний рівень несиметрії напруги необхідні, перш за все, для налаштування порога спрацьовування фільтрових захистів, уточнення якого дозволить виключити помилкові спрацьовування пристроїв захисту. Це мінімізує можливість спрацьовування захисту при роботі електродвигуна в номінальному режимі, що є одним з критеріїв відмов пристроїв захисту. Для визначення реального рівня несиметрії напруги з метою стиснення часу та інформації рекомендується користуватися статистичними методами дослідження. При цьому може бути використана інформація у вигляді математичного очікування коефіцієнтів симетричних складових, визначених за вимірюваними в контрольних точках мережі значення фазних і лінійних напруг для кількох перерізів добової реалізації.

Збір даних проводився за наступною методикою: протягом робочого дня у двох корпусах, що живляться від різних фідерів, через кожну годину проводилися вимірювання лінійних та фазних напруг на клеммах електродвигунів витяжних вентиляторів приладом М830 в найбільш віддаленій точці мережі.

Аналіз динаміки несиметрії напруги показав, що довірчі межі значень коефіцієнтів нульової та зворотної послідовностей напруги на клеммах електродвигунів витяжних вентиляторів по другому фідеру не виходять за рамки, встановлені ДСТУ. Протягом робочого дня значення коефіцієнта нульової послідовності напруги змінювалося в діапазоні 0,6... 1,94%, значення коефіцієнта зворотної послідовності напруги – 0,27...0,81%.

Значення коефіцієнта нульової послідовності напруги, на клеммах електродвигуни вентиляторів по першому фідеру, у першій половині робочого дня перевищували значення, встановлені ДСТУ, при цьому значення коефіцієнта зворотної послідовності напруги залишалися в нормі. Протягом робочого дня значення коефіцієнта нульової послідовності напруги змінювалося діапазоні 0,61...8,55%, значення коефіцієнта зворотної послідовності напруги – 0,08...0,81%.

Такі значення коефіцієнтів, насамперед, пов'язані з особливостями електропостачання витяжних вентиляторів птахівницьких приміщень, до яких можна віднести: по-перше, маленьку протяжність фідерів – 75...110 м. По-друге, якщо другий фідер представлений, в основному, трифазними навантаженнями перший фідер живить крім виробничого приміщення ще й побутове, представлене однофазними навантаженнями. Це більшою мірою позначилося перевищенні коефіцієнтом нульової послідовності напруг встановленого ДСТУ значеннями.

Для визначення зміни опорів нульової, зворотної та прямої послідовностей напруги та ковзання електродвигуна АІРП 80Д6У2 та характеру залежності їх між собою до досліджуваного електродвигуна за допомогою регулятора напруги типу РНТ прикладалася несиметрична система фазних напруг. Обриви фаз моделювалися вимикачами, введеними у кожен фазу мережі.

Під час проведення експерименту кожної реалізації несиметричного режиму роботи мережі фіксувалися комплексні значення фазних напруг і струмів (діючі значення і кути зсуву фаз). Одночасно вимірювалася частота обертання валу електродвигуна. На валу електродвигуна знаходилася робоча машина – вентилятор ВО-5,6.

Користуючись теорією симетричних складових, кожної реалізації було визначено значення напруг і струмів прямий, зворотної і нульової послідовностей. По їх відношенню визначалися значення опору прямої,

зворотної та нульової послідовностей електродвигуна. Ковзання визначалося за стандартними формулами через частоту обертання електродвигуна.

Користуючись отриманими рівняннями регресії у поєднанні із залежностями, встановленими в ході теоретичних досліджень, можна прогнозувати зміну важливих технологічних характеристик витяжного вентилятора ВО-5,6 з електродвигуном АІРП 80Д6У2 та оцінювати граничне значення несиметричної напруги.

Так як електродвигуни вентиляторів мають тепловий запас за потужністю, через необхідність регулювання частоти обертання вентилятора зниженням напруги, виникло завдання оцінити цей запас з метою обґрунтування порогового значення несиметрії, при якому спостерігатиметься перевищення температури обмотки вище за допустиме значення.

Відомо досить багато методів визначення температури обмоток статора електродвигуна при різних експлуатаційних режимах. Поряд з експериментальними методами розроблено й аналітичні методи, наприклад, за тепловими параметрами або за ізотермічними кривими.

Аналітичні методи є узагальненим алгоритмом вирішення теплових задач і дозволяють описувати теплові зв'язки між елементами в машині, які максимально відповідають теорії нагріву.

Як основний показник, що характеризує тепловий стан електродвигуна, рекомендується використовувати швидкість нагрівання або підвищення температури обмотки статора. Швидкість підвищення температури залежить від виду аварійного режиму, які можуть викликати мале та велике теплове навантаження. Для визначення швидкості підвищення температури обмотки найкращі експериментальні методи.

Експериментальні дослідження щодо визначення швидкості підвищення температури статорних обмоток при несиметричних та неповнофазних режимах мережі проводилися на лабораторному стенді.

Експерименти виконували з використанням електродвигуна АІРП 80Д6У2 потужністю 0,37 кВт та ізоляцією класу нагрівальності F.

Вимірювання температури проводилося відповідно до ДСТУи за допомогою термопар типу ХК, закладеної в лобову частину обмотки статора. Як робоча машина використовувався вентилятор ВО-5,6.

Несиметрична напруга, що прикладається до досліджуваного електродвигуна, моделювалася регулятором напруги РНО/250/5. Обриви фаз, як і попередньому експерименті, імітувалися вимикачами, встановленими у кожній фазі мережі. Параметри мережі контролював вимірювальний комплект К-505. Зміна температури фіксувалася за допомогою приладу КСП – 4.

Висновки по розділу

В другому розділі магістерської роботи розроблена методика проведення експериментальних досліджень та вибрано обладнання для його проведення.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВИТЯЖНИХ ВЕНТИЛЯТОРІВ

Вирішуючи завдання магістерської роботи, було розроблено пристрій захисту трифазних електродвигунів від несиметричних та неповнофазних режимів роботи, принципова електрична схема якого приведена рис. 3.1.

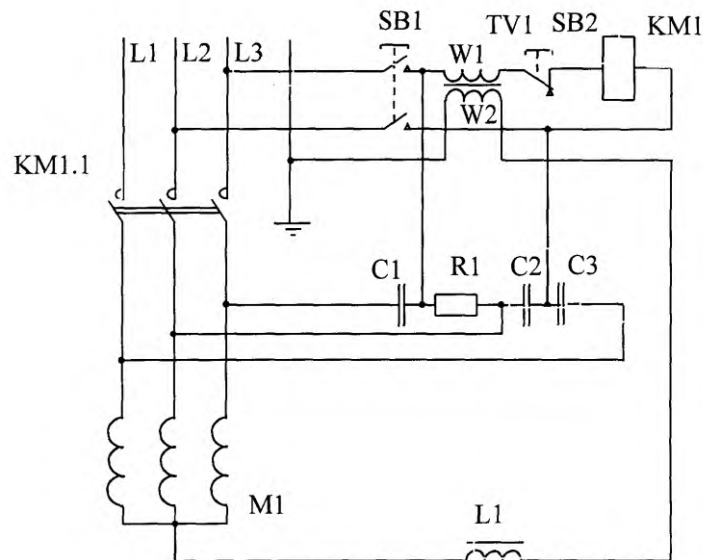


Рис. 3.1. Схема електрична принципова двоканального пристрою захисту електродвигунів від несиметричних та неповнофазних режимів роботи

Даний пристрій призначений для пуску та захисту електродвигунів від роботи на двох фазах та від будь-якого іншого несиметричного режиму. Він контролює два параметри: рівень напруги прямої послідовності за допомогою фільтра напруги прямої послідовності і рівень напруги нульової послідовності за допомогою струмообмежуючої індуктивності L1 і вторинної обмотки W2 магнітного підсилювача TV1. Фільтр напруги прямої послідовності містить в одному плечі активний дільник напруги, включений на лінійну напругу між фазами L2 і L3, а в другому плечі – ємнісний дільник напруги, включений на лінійну напругу між фазами L1 і L2, при цьому ємності конденсаторів C1 і C2 однакові. Котушка магнітного пускача KM1 через кнопку SB2 безпосередньо

з'єднана з фільтром напруги прямої послідовності і через первинну обмотку W1 магнітного підсилювача TV 1 – з каналом нульової послідовності.

Принцип дії пристрою захисту електродвигунів від несиметричних та неповнофазних режимів роботи наступний.

Під час запуску електродвигуна необхідно швидко натиснути здвоєну кнопку SB1. Котушка магнітного пускача KM1 отримує живлення та замикає свої силові контакти KM 1.1. Після відпускання кнопки SB1, котушка магнітного пускача залишається у включеному стані, за рахунок прикладеної до неї напруги, яку одержує з виходу фільтра напруги прямої послідовності, яке пропорційно напрузі прямої послідовності на клеммах електродвигуна, що захищається. У цьому випадку при нормальному режимі роботи електродвигуна падіння напруги на первинній обмотці W1 магнітного підсилювача TV1 (рис. 3.1) невелике.

У разі аварійного режиму, що супроводжується зменшенням напруги прямої послідовності з одночасним збільшенням напруги нульової послідовності, напруга на виході фільтра напруги прямої послідовності зменшується, а падіння напруги на обмотці W1 магнітного підсилювача TV1 - збільшується. В результаті цього напруга на котушці магнітного пускача KM1, що дорівнює геометричній різниці напруг між виходом фільтра і падінням напруги на обмотці W1 стає менше напруги відпускання. Це призводить до відпускання якоря магнітного пускача та розмикання його силових контактів з подальшим відключенням електродвигуна від мережі.

Більш перспективним є пристрій, призначений безпосередньо для захисту асинхронних електродвигунів приводу витяжних вентиляторів. Схема електрична принципова та зовнішній вигляд пристрою захисту наведені на рис. 3.2 та рис. 3.3.

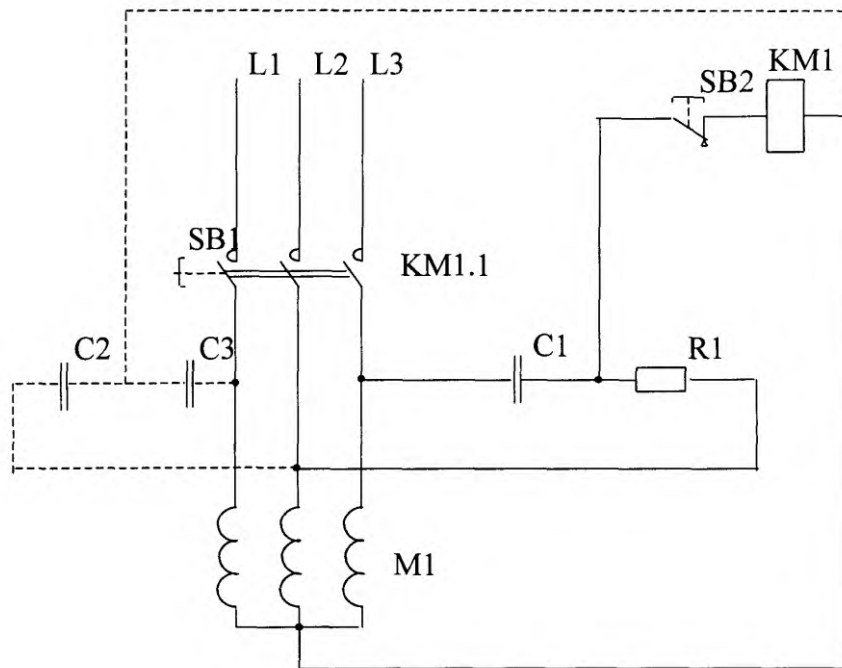


Рис. 3.2. Схема електрична принципова спрощеного пристрою захисту асинхронних електродвигунів від несиметричних та неповнофазних режимів роботи

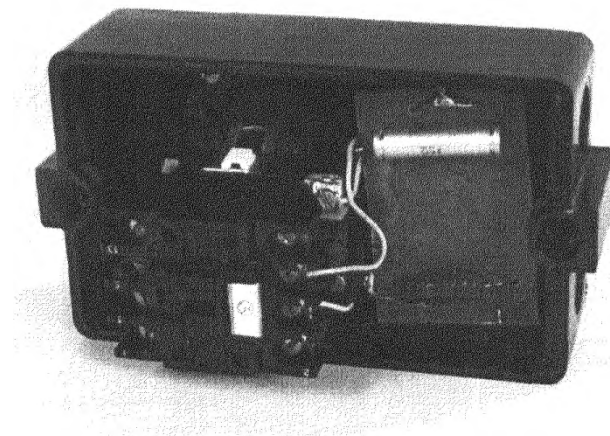


Рис. 3.3. Загальний вигляд пристосування.

Даний пристрій призначений для управління та захисту електродвигунів від роботи на двох фазах та будь-якого іншого несиметричного режиму, які мають виведену нульову точку. Функціонально воно також відноситься до класу безконтактних фільтрових захистів.

Експериментально на макеті пристосування було досліджено похибку спрацювання пристрою захисту. Данні наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Визначення похибки спрацювання пристрою захисту.

Теоретичні данні			Експериментальні данні (при довірчій ймовірності – 0,95)		
+	kl_T	–	kl_e	мат. очік.	довір. інт.
1	2	3	4	5	6
0,689	0,708	0,727	0,711 0,723 0,713 0,695 0,695 0,709 0,715 0,706 0,707 0,698 0,712 0,708 0,712 0,719 0,721 0,686 0,708 0,692 0,701 0,699	0,7065	±0,0044

Тут "+" - позначає відхилення опору та ємності у велику сторону; "-" – у менший бік; kl_T – теоретично розрахований поріг спрацювання захисту за коефіцієнтом прямої послідовності напруги; kl_e – експериментально встановлений поріг спрацювання.

Аналіз експериментальних досліджень показує, що діапазон спрацювання знаходиться в теоретично розрахованих межах, обумовлених технологічним розкидом параметрів елементів, що входять до складу схеми (рис 3.4). При цьому з 95-ти відсотковою вірогідністю можна вважати, що похибка спрацювання складе 1,2% від теоретично розрахованої уставки.

На похибку спрацювання пристроїв захисту також може впливати несинусоїдність магнітного пускача напруги, що підводиться до котушки. При несинусоїдальній напрузі значення напруги основної гармоніки зміниться, що спричинить зміну порога спрацювання.

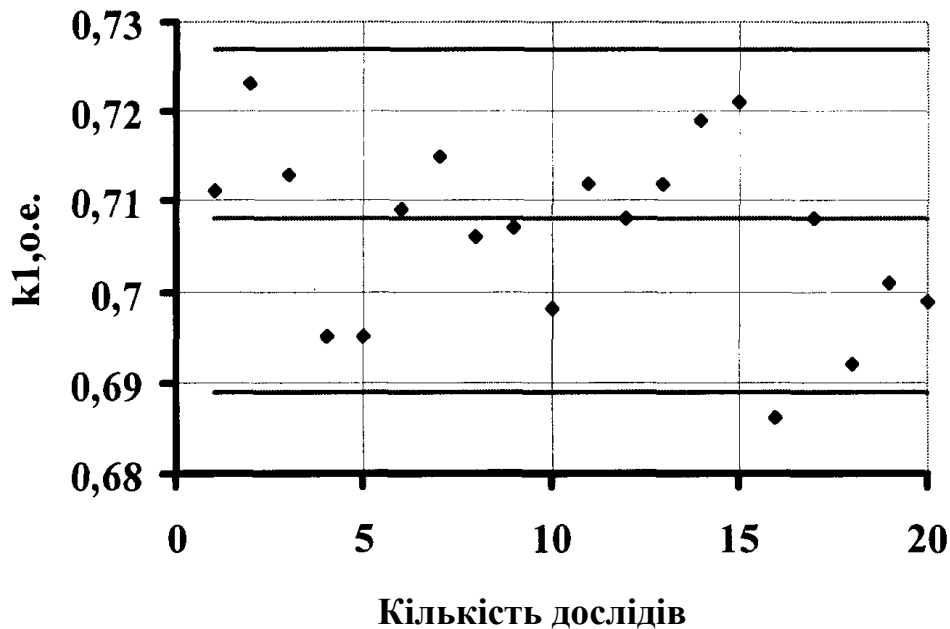


Рис. 3.4. Діапазон похибки спрацювання

Гіпотетично вищі гармоніки напруги, прикладеного до котушки магнітного пускача, можуть виникнути через: 1) можливий вплив на гармонійний склад елементів фільтра напруги прямої послідовності, навіть якщо на його вході напруга відповідає вимогам щодо якості напруги; 2) підведення до вхідних затискачів пристрою несинусоїдальної напруги, наприклад, при живленні електродвигуна від тиристорних регуляторів напруги.

Для дослідження цих припущень за допомогою шлейфогого осцилографа Н119 було знято криві напруги на котушці магнітного пускача (рис. 3.5, рис 3.6).

При дослідженні гармонійного складу кривих напруги використовувався стандартний графоаналітичний метод розкладання кривої ряд Фур'є.

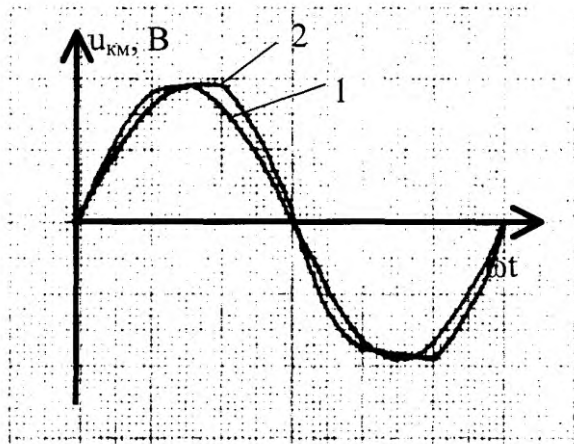


Рис. 3.5. Крива напруга на котушці магнітного пускача: 1 – крива напруги для пристрою захисту з виведеною нульовою точкою (рис. 3.2); 2 – крива напруги для пристрою захисту з ємнісним дільником напруги (рис. 3.2 позначений пунктиром).

Аналіз кривих напруги для різних варіантів схем пристрою захисту показав, що напруга на котушці магнітного пускача для схеми з виведеною нульовою точкою – суто синусоїдальна, для схеми з ємнісним дільником напруги – дещо відрізняється від синусоїди. При цьому для другого варіанта коефіцієнт амплітуди дорівнює 1,329, коефіцієнт форми дорівнює 1,105 і коефіцієнт спотворення дорівнює 0,997.

Похибка за коефіцієнтом спотворення, що показує відношення чинного значення напруги основної гармоніки до діючого значення всієї кривої, становить 0,3%. Отже, так само як і для першої схеми, цілком прийнятний розрахунок параметрів пристрою захисту першої гармоніки напруги.

Використання тиристорних регуляторів напруги для зміни частоти обертання вентиляторів, наприклад, в системі управління “Кліматика”, призводить до виникнення в мережі несинусоїдальної напруги, яка поступає на вхід пристрою захисту. Відповідно на котушці магнітного пускача також буде несинусоїдальна напруга (рис. 3.6).

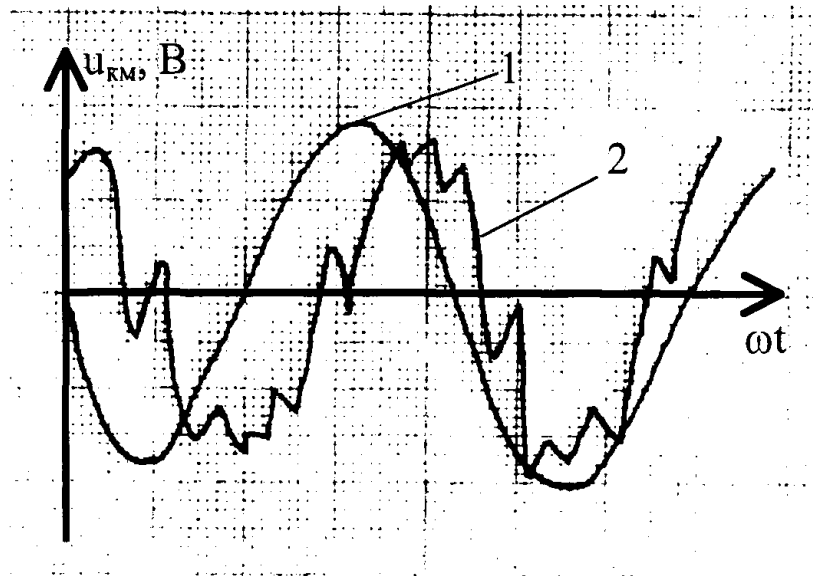


Рис. 3.6. Крива напруги на котушці магнітного пускача: 1 – крива напруги на котушці магнітного пускача до регулювання напруги на електродвигуні; 2 – крива напруги при роботі тиристорного регулятора.

Проведений аналіз кривих напруги показав, що при регулюванні частоти обертання вентиляторів тиристорними регуляторами напруги виникають вищі гармоніки, дія яких призводить до значної похибки роботи схеми захисту. Зменшити похибку можна розрахунком параметрів пристрою по кожній гармоніці, проте в процесі роботи регулятора тиристора дія основної гармоніки настільки пригнічується, що це призводить до відпускання якоря електромагнітного пускача, навіть при задовільному рівні несиметрії напруги в мережі.

Таким чином, використання пропонованого пристрою захисту під час живлення електродвигуна від “Кліматики” недоцільно без застосування фільтрів.

Швидкодія пристроїв захисту при досягненні граничного значення визначається часом відпускання якоря електромагнітного пускача.

Загальне споживання електроенергії пристроями захисту залежить від втрат потужності на кожному елементі схеми (крім втрат на обмотках електродвигуна) і становить середньому:

- споживання активної потужності – 3,71 Вт;

- споживання повної потужності – 6,64 ВА.

Для порівняння, при стандартній схемі керування електродвигуном магнітним пускачем, на його котушці виділяється:

- Активної потужності – 9 Вт;
- Повної потужності – 17,4 В А.

Пристрої захисту мають високу надійність. Показники надійності визначалися за стандартними методиками.

Обслуговування даних пристроїв не вимагає висококваліфікованого персоналу, в першу чергу, для додаткового налаштування, оскільки в процесі розрахунку параметрів схеми закладається обґрунтований поріг спрацьовування, характерний для конкретного електродвигуна і технологічного процесу. Таким чином, схема працює в режимі очікування і відключає електродвигун при досягненні рівня несиметрії напруги в мережі порогового значення пристрою.

Відмінність розроблених пристроїв від відомих фільтрових пристроїв захисту полягає в тому, що в принципі з'явилася можливість усунути один із важливих недоліків – відсутність чутливості до аварійного режиму, що стався за місцем встановлення фільтра. Двоканальний пристрій захисту електродвигунів витяжних вентиляторів від несиметричних та неповнофазних режимів роботи, за рахунок каналу нульової послідовності повністю контролює мережу, що живить електродвигун. Коли обрив фази відбувається за місцем установки фільтра напруг прямої послідовності, то напругу нульової послідовності можна ще посилити магнітним підсилювачем TV1. На обмотці W1 створюється падіння напруги, яке навіть при напругі, що залишилася без змін на виході фільтра напруг прямої послідовності дозволить відключити електродвигун від мережі (рис. 3.1). У цьому плані дія спрощеного пристрою захисту асинхронних електродвигунів від несиметричних та неповнофазних режимів роботи дещо гірша. Однак, схема захисту при виведеній нульовій точці дозволяє повністю контролювати фазу L1 (рис. 3.2).

Висновки по розділу

Таким чином, захист з використанням фільтра напруги прямої послідовності відрізняється простотою пристрою та обслуговування, низькою трудомісткістю ремонту, економічністю та надійністю.

Для захисту електродвигунів вентиляторів птахівницьких приміщень пропоновані схемні рішення рекомендується застосовувати:

- при двопозиційному переривчастому регулюванні мікроклімату;
- при безперервному пропорційному регулюванні.

В останньому випадку запропоновані пристрої захисту рекомендується використовувати з комплектами вентиляційного обладнання, що експлуатуються, "Клімат 2 (станція управління ШАП. 5711. 33А2У5)", "Клімат 3 (станція управління ШАП. 5712. 33А2У5)", "Клімат 4 (станція управління ШАП. 5701 .03А2Д)". Використання в комплекті вентиляційного обладнання "Клімат 4 (безконтактний пристрій керування МК-ВАУЗ)" пристроїв захисту зі спрощеною структурною схемою недоцільно.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Застосування безконтактного принципу впливу на комутаційний апарат дозволило розробити варіанти схемотехнічної побудови безконтактних фільтрових захистів, що відрізняються підвищеною надійністю при роботі в приміщеннях з агресивним навколишнім середовищем.

2. Експериментальне дослідження похибки спрацьовування пристроєм захисту показало, що похибка спрацьовування знаходиться в теоретично обґрунтованих межах, що говорить про адекватність розробленої методики розрахунку основних параметрів пристрою. Похибка спрацьовування за довірчої ймовірності – 0,95 становить 1,2% від теоретично розрахованої уставки пристрою.

3. Елементи схеми не викликають появи вищих гармонійних складових напруги на котушці магнітного пускача. Максимальне відхилення коефіцієнта спотворення кривої напруги проти синусоїдальної напруги становить 0,3%.

4. Використання схем захисту з урахуванням електромагнітного пускача разом із тиристорним регулятором напруги пропонується разом із електричними фільтрами.

5. Споживання електроенергії пристроями захисту в середньому становить: активної енергії – 3,71 Вт, повної енергії – 6,64 ВА, що дозволяє знизити загальне споживання електроенергії схемою керування та захисту електродвигунів витяжних вентиляторів у 2,4 рази.

6. Застосування розроблених пристроїв захисту, що мають високі показники надійності, які для різних схем мають такі значення: ймовірність безвідмовної роботи (на 10 років) змінюється від 0,9 до 0,91, коефіцієнт готовності – від 0,991 до 0,996, середнє напрацювання на відмову – від 8,6 до 12,3 років, підвищує експлуатаційну надійність електроприводу загалом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування. Навчальний посібник. Київ : Аграрна освіта. 2021. 557 с.
2. Дуброва Ю.Н. Автоматизация инженерных систем. Учебно-методическое пособие. Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. 414 с.
3. Bundschuh J., Chen G. Sustainable Energy Solutions in Agriculture. CRC Press, 2014. 480 p.
4. Антонов С.Н., Данилов Д.В. Проектирование электропривода сельскохозяйственного назначения. Ставрополь: Агрус, 2010. 272 с.
5. Гетманенко В.М., Плотников В.И. Электронные устройства в АПК. зерноград: Азово-Черноморская Государственная агроинженерная академия (АЧГАА), 2010. 126 с.
6. Кунденко М. П., Федюшко Ю. М., Плахтир О. О., Кошкін Д. Л., Вахоніна Л. В., Циганов О. М., Садовий О. С. Монтаж енергообладнання та систем керування. Частина І. Навчальний посібник. Харків: Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка (ХНТУСГ), 2017. 282 с.
7. Матвійчук В.А., Рубаненко О.Є., Стаднійчук І.П. Електротехнології в АПК. Навчальний посібник. Вінниця: Вінницький національний аграрний університет (ВНАУ), Твори, 2020. 272 с.
8. Прищеп Л.Г. и др. Проектирование комплексной электрификации. Москва : Колос, 1983. 271 с.
9. Юдаев И.В., Машков С.В., Фатхутдинов М.Р. Расчет электротермических процессов и оборудования. Кинель: РИО Самарской ГСХА, 2018. 218 с.

10. Янукович Г.И. Пути улучшения показателей несимметрии и несинусоидальности напряжения в сельскохозяйственных электроустановках. Монография. Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет (БГАТУ), 2013. 216 с.

11. Akagi Hirofumi, Watanabe Edson Hirokazu, Aredes Mauricio. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning. 2nd ed. Wiley, 2017. 744 p.

12. Василега П.О. Електропостачання. Суми: Сумський державний університет (СумДУ), 2019. 521 с.

13. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения. Тольятти: ТГУ, 2016. 78 с.

14. Гончар В.Ф., Тищенко Л.П. Електрообладнання тваринницьких підприємств і автоматизація виробничих процесів у тваринництві. Вища школа. 1980. 280 с.