

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

БОКЛАН ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 665

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення систем симетрування навантажень в системах енергопостачання з урахуванням режимів роботи обладнання

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.

_____ О. О. Боклан

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Пінкін Анатолій Анатолійович

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,

автоматизації виробництва та інженерної екології

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Боклан О. О. Удосконалення систем симетрування навантажень в системах енергопостачання з урахуванням режимів роботи обладнання.

Кваліфікаційна робота на правах рукопису. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" Житомирський національний агроекологічний університет, Житомир, 2020.

В роботі проведено дослідження та аналіз питання симетрування напруги в розподільних мережах енергопостачальних електроспоживачів.

Вирішене завдання удосконалення систем симетрування навантажень в системах енергопостачання з урахуванням режимів роботи однофазних електроспоживачів, що підключені до фазних напруг.

Ключові слова: система, симетрування, навантаження, електропостачання, режими роботи, обладнання.

SUMMARY

Boklan O.O. Improvement of load balancing systems in power supply systems taking into account operating modes of equipment.

Qualification work on the rights of the manuscript. Qualifying work for a master's degree in 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics" Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, 2020.

The research and analysis of voltage balancing in distribution networks of power supply consumers is carried out in the work.

The problem of improving load balancing systems is solved in power supply systems taking into account the modes of operation of single-phase power consumers connected to phase voltages.

Keywords: system, balancing, load, power supply, operating modes, equipment.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ НЕСИМЕТРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЖИМІВ, ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	8
1.1 Дослідження та аналіз наукових робіт з проблеми симетрування режимів	8
1.2 Дослідження та аналіз внутрішнього симетрування навантажень на основі наукових робіт.....	8
Висновок до першого розділу	9
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЗАДАЧІ ВНУТРІШНЬОГО СИМЕТРУВАННЯ ОДНОФАЗНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ЩО ПІДКЛЮЧЕНІ ДО ФАЗНИХ НАПРУГ	10
2.1 Критерії забезпечення ефективності для вирішення задачі внутрішнього симетрування та технічні обмеження.....	10
2.2 Математична модель керування несиметрією режиму способом внутрішнього симетрування навантажень.....	13
2.3 Алгоритм завдяки якому буде вирішення задачі внутрішнього симетрування.....	15
2.4 Ефективність проведення досліджень в тестовому прикладі.....	16
2.5 Переваги у вирішенні задачі внутрішнього симетрування навантажень.....	18
2.6. Розробка структурної схеми системи для внутрішнього симетрування однофазних електроприймачів.....	19
Висновок до другого розділу	
РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	21
3.1 Дослідження та аналіз компенсації реактивної потужності.....	22
3.2 Компенсація реактивної потужності	22
3.3 Варіанти компенсації реактивної потужності.....	23
3.4 Застосування частотно-регульованого приводу.....	24

3.5 Економічна ефективність зменшення споживання	
реактивної енергії з мережі.....	25
Висновки до третього розділу.....	26
ВИСНОВКИ.....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	28
ДОДАТКИ.....	30

ВСТУП

В системах електропостачання втрати електричної енергії є однією із важливих проблем електропостачання і являється актуальною.

Показниками втрат і якості електроенергії займаються на теоретичному і практичному рівнях. Виробничники енергетичних компаній, наукові співробітники працюють над вирішенням, цих завдань в науковому і практичному напрямках.

Дослідження та аналіз систем електропостачання показали, що доцільно спрямовувати пошуки втрат та якості електроенергії як в комплексі так і на окремих напрямках проектуванню, монтажу, експлуатації, технічному обслуговуванню та ремонті систем електропостачання.

В трифазних системах електропостачання підприємств, приватного сектора можуть бути використанні одно дво- і три фазні електроспоживачі, які мають різну потужність, режими та час роботи, що приводить до виникнення несиметрії навантаження між фазними проводами і струми в нульовому проводі. Такі несиметрії приводять до погіршення якості електропостачання, збільшення втрат електроенергії, аварій в електропостачанні. Тому дана тема є актуальною.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи – зниження втрат електричної енергії в електричних мережах шляхом реалізації удосконалення симетрування навантажень, розробка математичної моделі внутрішнього симетрування в чотирипровідній електричній мережі, зменшення втрат, поліпшення якості електричної енергії.

Задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

- провести дослідження та аналіз фазних та лінійних напруг, що створюються при внутрішньому симетруванні електричних навантажень;
- розробити математичну модель оптимального розподілу електричних навантажень по фазах в чотирипровідній електричній мережі, яка мінімізує втрати електричної енергії, які створюються несиметрією фазних напруг;

- розробити числовий метод аналізу математичної моделі внутрішнього симетрування однофазних навантажень;
- виконати оцінку адекватності моделі шляхом розв'язання тестової задачі.

Об'єктом дослідження є процес керування несиметрією режиму в чотири провідній мережі.

Предметом дослідження є математична модель внутрішнього симетрування однофазних навантажень в чотири провідній системі електропостачання.

Методи дослідження. Аналіз задачі внутрішнього симетрування однофазних навантажень виконано з використанням **методу симетричних складових**. Розроблений алгоритм вирішення задачі внутрішнього симетрування реалізує обчислювальну процедуру **метода динамічного програмування**.

Наукова новизна одержаних результатів. Дістала подальший розвиток **математична модель процесу керування несиметрією режиму**, яка на відміну від існуючих моделей, дозволяє знаходити оптимальні керуючі рішення в цілочислових значеннях при симетруванні електричного режиму в чотирипровідній електричній мережі.

Практичне значення отриманих результатів. Впровадження розробленої математичної моделі дозволяє:

- 1.Зменшити втрати активної потужності та електроенергії в розподільчих електричних мережах.
- 2.Покращити показники якості електричної енергії в чотирипровідній електричній мережі, яка живить несиметричні однофазні електроприймачі.
- 3.Створити програмне забезпечення для автоматизованої системи управління несиметрією режиму в чотирипровідній електричній мережі.

Перелік публікацій

1. Боклан О. О. Удосконалення систем симетрування навантажень в системах електропостачання з урахуванням режимів роботи обладнання. Наукові читання–2020: Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. с. 93-95 Житомир: ЖНАЕУ, 5-6 березня 2020 р

2. Боклан О. О., Прядко В. А., Дослідження та аналіз несиметрії напруги в розподільних мережах електропостачальних систем Збірник. Частина 2. с. 31-35. 4 Міжнародна науково-практична Конференція «Біоенергетичні системи». 28–29 травня 2020 року Поліський національний університет.

3. Боклан О. О., Боклан О. О., Алексеєнко А. О., Лось Р. В, Прядко В. А., Дослідження та аналіз методів визначення витрат та втрат електроенергії. Матеріали науково-практичної конференції «Студенські читання 2020». Житомир: ПНУ, 26 жовтня 2020 р.

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ НЕСИМЕТРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЖИМІВ, ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

1.1 Дослідження та аналіз наукових робіт з проблеми симетрування режимів

Науковцями написано велика кількість наукових робіт і статей з проблеми симетрування режимів в системах електропостачання.

Є два способи симетрування режимів систем електропостачання: внутрішнє і відповідно зовнішнє [3].

Внутрішнє симетрування закладається в слідуєчому, щоб забезпечити рівномірніше розподілити між фазами навантаження. А зовнішнє симетрування полягає у додатковому використанні симетрувальних конденсаторних установок (СУ) [25].

Найбільш ефективним є спосіб внутрішнього симетрування, який найбільш найпростішим і економним.

1.2 Дослідження та аналіз внутрішнього симетрування навантажень на основі наукових робіт

В наукових роботах для розв'язку задачі з внутрішнього симетрування навантаження пропонують використовувати критерії сумарних додаткових втрат активної потужності, зумовлені протіканням струмів нульової і зворотної послідовностей.

Але в роботах не розглядається поєднання використання асинхронних двигунів і вагшого коефіцієнта в поєднанні зі струмами зворотної послідовності. Якщо виникає напруга зворотної послідовності то в обмотках трифазних асинхронних відбувається нерівномірний розподіл струмів, що приводить до збільшення температури в окремих фазах, що приведе до зменшується термін їх служби. Використовуючи цей коефіцієнт можна змінитися спосіб приєднання електроспоживачів, так як струми

послідовностей зворотної нульової не завжди будуть мати один напрямок і величини, що впливає на загальний результат.

Завданням є - порівнянні двох способів вирішення задачі внутрішнього симетрування. Перша заключається в тому, щоб виконати внутрішнє симетрування без використання вагового коефіцієнта, а друга – з використанням вагового коефіцієнта.

Висновок до першого розділу

В трифазних системах електропостачання підприємств можуть бути використанні одно дво- і три фазні електроспоживачі, які мають різну потужність, режими та час роботи, що приводить до виникнення несиметрії навантаження між фазами, а також значні струми в нульовому проводі. Такі несиметрії приводять до погіршення якості електропостачання, збільшення втрат електроенергії, аварій в електропостачанні та електродвигунів.

Крім того доцільно розглянути для струму зворотної послідовності, який характеризує використання асинхронних двигунів ваговий коефіцієнт, так як виникнення напруги зворотної послідовності приводить до нерівномірного розподілу струмів в обмотках трифазних асинхронних електродвигунах і збільшення температури в окремих фазах, що приведе до зменшується термін їх служби.

Це характерно для мереж, що забезпечують живлення різко несиметричних навантажень, які є причиною виникнення несиметрії напруг.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЗАДАЧІ ВНУТРІШНЬОГО СИМЕТРУВАННЯ ОДНОФАЗНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ЩО ПІДКЛЮЧЕНІ ДО ФАЗНИХ НАПРУГ

При різних варіантах приєднання однофазних електроспоживачів до мережі відповідають різні значення струмів зворотної та нульової послідовностей в мережах електропостачання. Всі варіанти приєднання допустимі. Загальна їх кількість 3^n , де n – кількість однофазних електроприймачів [24]. Характерною ознакою для несиметричних режимів є наявність струмів зворотної та нульової послідовностей.

Задачу внутрішнього симетрування однофазних споживачів можна вважати оптимізаційною і вирішувати її методами дослідження операцій, методологія яких передбачає розробку математичної моделі [17].

В цьому розділі розроблена математична модель внутрішнього симетрування однофазних навантажень. Її спроможність перевіряється на числовому прикладі.

Розроблена математична модель може застосовуватися і для керування в реальному масштабі часу, що необхідно у зв'язку з тим, що характеристики однофазних електроспоживачів змінюються у часі (наприклад, у відповідності з технологічними процесами виробництва) і тому оптимальне приєднання до системи електропостачання також буде іншим.

2.1 Критерії забезпечення ефективності для вирішення задачі внутрішнього симетрування та технічні обмеження

Задача внутрішнього симетрування є оптимізаційною, оскільки, з множини допустимих розв'язків, які можливі, тільки один який забезпечить максимальний симетруючий ефект. Вирішення оптимізаційних задач можливе за допомогою застосування методів дослідження операцій, методологія яких передбачає побудову математичної моделі.

Оптимізаційна задача, що вирішується з використанням математичного апарату потребує наявності критерію ефективності, який дає можливість порівнювати різні варіанти, не враховуючи гірші, і вибрати серед множини рішень те, яке задовольняє умові мінімуму або максимуму[7].

Критерій ефективності може бути як технічного так і економічного змісту. За критерій ефективності в даній задачі можна прийняти збитки, пов'язані із несиметрією режиму. Цей критерій однозначно вказує на цільову спрямованість задачі внутрішнього симетрування. Цей критерій описується складною функцією [11], за своєю природою не являється вимірюваною величиною. Для оперативного керування критерій ефективності має бути простим і вимірюваним [9]. Тому за критерій ефективності доцільно прийняти параметри режиму, які визначають збитки від несиметрії (збитки або їх складові, які функціонально залежать від даних параметрів).

Критеріїв ефективності для вирішення оптимізаційної задачі внутрішнього симетрування може бути декілька.

Є ряд параметрів електричного режиму, які дозволяють здійснювати оцінку стану несиметрії в чотирипровідній електричній мережі.

В термінах теорії прийняття рішень критерії ефективності називаються суперечливими. Можна відмітити той факт, що критерії 1; 3; 6, які характеризують режим нульової послідовності, та 2; 4; 7, що характеризують режим зворотної послідовності, проявляють властивості суперечливості.

Такі задачі в теорії досліджень операцій визначені як багатокритеріальні. Серед існуючих підходів до їх вирішення є такий, що полягає в тому, що формується один критерій (метод середньозваженого критерію) [19]. Такий середньозважений критерій має ряд доданків, кожен з яких по-суті є одним із критеріїв вирішення задачі. Іноді ці складові можуть мати різну природу та відповідно і різну вимірність. Значення кожної складової середньозваженого критерію може регулюватися ваговим коефіцієнтом.

Такий критерій можна запропонувати і до задачі внутрішнього симетрування навантажень. Сумарні додаткові втрати активної потужності, можна пояснити несиметрією режиму:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_2 + \Delta P_0. \quad (2.1)$$

Складові такого критерію можна також вводити із різними ваговими коефіцієнтами. Якщо наприклад, в системі електропостачання є асинхронні двигуни, які працюють під навантаженням і мають суттєвий додатковий нагрів струмами зворотної послідовності, що приводять до скорочення терміну служби ізоляції, то ΔP_2 можна ввести із ваговим коефіцієнтом >1 . Виходячи із цього визначається пріоритетність задачі зменшення режиму зворотної послідовності. Відповідне значення такого вагового коефіцієнта повинно обґрунтовуватися додатковими дослідженнями.

Але, введення великої кількості технічних обмежень в математичну модель може призвести до складнощів під час дослідження та аналізу даної моделі. Збільшення трудомісткості не завжди означає отримання кращого результату, тому приймаючи обмеження будемо враховувати тільки ті, які можуть зробити математичну модель неадекватною по відношенню до процесів, що протікатимуть в електричній мережі. Інші технічні обмеження, якими можна не брати до уваги потрібно довівши, що вони суттєво не впливають на отримані результати не приймати їх до уваги.

2.2 Математична модель керування несиметрією режиму способом внутрішнього симетрування навантажень

Встановимо аналітичні співвідношення, що описують критерій ефективності та зазначені обмеження. Для цього введемо керувані змінні x_{im} , що можуть приймати значення 1 або 0, $i=1, 2, \dots, n$; $m=1, 2, 3$; m -кількість фаз. Якщо змінна x_{im} в результаті вирішення задачі або за результатами будь-

якої ітерації дорівнює 1, то це реалізується ввімкненням i -го навантаження на напругу m , а якщо $x_{im} = 0$, навантаження i не вмикається на напругу m . Змінні, що набувають лише два можливих значення 1 або 0 в математиці називаються Булевими змінними і вони використовуються для опису дискретних задач, розв'язки яких шукають у вигляді „ТАК” – „НІ”.

Введені змінні створюють вектор змінних, які наводимо в додатку А

Обмеження лінійної залежності керованих змінних.

Цільова функція має дві не скалярні складові вигляду $f(x) + j\phi(x)$. На відміну від відомих математичних моделей не скалярної оптимізації, де не скалярна функція першого порядку [26, 28], в даній задачі кожна не скалярна складова знаходиться в квадратичній залежності.

Математичну модель (2.8) можна класифікувати як квадратичну, не скалярну, дискретного програмування.

Для виразів, що знаходяться під знаком модуля, можна виконати перехід до модулів відповідних величин, але в результаті отримаємо квадратичну дискретну задачу.

Класичні методи аналізу розробленої оптимізаційної математичної моделі (методи дискретної оптимізації розроблені, тільки, для лінійних задач), а також відомі методи не скалярної оптимізації (методи не скалярної оптимізації вирішують лінійну задачу) для нашого випадку використаними бути не можуть. З цієї причини для аналізу математичної моделі розроблено числовий метод.

Значна кількість однофазних споживачів електроенергії мають змінний режим роботи, іноді з великим діапазоном зміни тому потребують постійного контролю величини несиметрії, і при необхідності прийняти та здійснити корекцію керуючого рішення, щоб зменшити струми зворотної та нульової послідовності. Тобто виконати перерозподіл електричного навантаження між фазними напругами так, щоб забезпечити мінімальні додаткові втрати активної потужності.

Керування несиметрією режиму в реальному масштабі часу можна здійснювати через певні проміжки часу, використовуючи розроблену математичну модель. Таке керування виконується за відповідною схемою:

- спочатку вимірюються необхідні параметри однофазних електроспоживачів на момент прийняття рішення;
- проаналізувавши отримані параметри розраховуємо вектор керування за математичною моделлю (2.8);
- в тому випадку, якщо вектор керування відрізняється від реалізованого, то виконуємо корекцію під'єднання однофазних електроспоживачів.

Для наступного відповідного моменту часу прийняття керуючого рішення все повторюється. Таке керування в термінах теорії керування називається дискретним в часі.

2.3 Алгоритм завдяки якому буде вирішення задачі внутрішнього симетрування

Завдання внутрішнього симетрування електричних навантажень може вирішуватися як багатоетапне. Спочатку стан системи приймаємо при будь-якому приєднанні електроспоживачів до системи електропостачання. Потім на кожному етапі визначається електроспоживач, для якого необхідно змінити його приєднання, тобто переключити його на іншу фазу мережі.

Є і інший підхід до вирішення задачі [26], коли до будь-якої фази мережі приєднується найбільш потужний електроспоживач, а потім потрібно визначити як приєднати наступний за потужністю електроприймач, щоб несиметрія, яка створиться в мережі була найменшою і так по такому принципу приєднуємо інші електроспоживачі. Але цей обчислювальний метод розроблено для однофазних електроспоживачів, які під'єднуються до фазних напруг.

Щоб вирішувати багатоетапні оптимізаційні задачі ефективним доцільно використовувати метод динамічного програмування. Одна і та ж сама

задача, для вирішення методом динамічного програмування потребує меншої кількості арифметичних операцій [8].

Такий розроблений обчислювальний метод забезпечує здійснення попередньої оцінки вихідного стану системи електропостачання в тому випадку, коли всі електроспоживачі приєднані до мережі напруги \dot{U}_A . Вектор керування, що цьому відповідає:

$$X^T = (1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ \dots). \quad (2.9)$$

Розраховується вектор струмів \dot{I}_{2im} та \dot{I}_{0im} для кожного електроприймача, \dot{I}_0 і \dot{I}_2 та сумарні додаткові втрати активної потужності в мережі живлення, зумовлені несиметрією режиму – ΔP_Σ .

Для будь-якого k-го етапу вирішення завдання можна запропонувати такий алгоритм, оснований на методі динамічного програмування. В загальних рисах для деякого k-го етапу логарифм полягає в наступному.

По перше. Оцінюються варіанти почергового переключення кожного із навантажень на іншу фазу мережі, визначаються сумарні додаткові втрати потужності ΔP_Σ .

По друге. Із всіх розглянутих варіантів вибирається той, де будемо мати найменші додаткові втрати потужності – $\Delta P_{\Sigma k}$.

По третє. Порівнюється значення $\Delta P_{\Sigma k}$ із $\Delta P_{\Sigma(k-1)}$, отриманим на попередньому етапі.

По четверте. Якщо $\Delta P_{\Sigma k} < \Delta P_{\Sigma(k-1)}$, то отримане рішення реалізується (відповідна компонента вектора керування $X_{(k-1)}$ прирівнюється до одиниці, а компонента, що відповідала попередньому під'єднанню цього електроспоживача, прирівнюється до нуля) та виконується перехід до першого кроку. Інакше рішення, отримане за результатами попереднього (k-1) етапу оптимальне і розрахунки припиняються.

Вирішення задачі можна зобразити у вигляді блок-схеми, рис. 2.1 додаток Б.

2.4 Ефективність проведення досліджень в тестовому прикладі

Ефективність та адекватність розробленої математичної моделі та її спроможність перевірити на тестовому прикладі.

Від вузла чотирипровідної електричної мережі живляться несиметричні однофазні електроспоживачі, які під'єднані на фазну напругу. Вихідні дані для вирішення тестового прикладу, наведені на рисунку 2.2 додаток В.

Завдання. Знайти оптимальне рішення із під'єднання однофазних електроспоживачів до чотирипровідної мережі, яке забезпечує мінімум додаткових втрат активної потужності, зумовлених несиметрією режиму.

Розв'язування. Згідно рис.2 складаємо схему заміщення електричної мережі у вигляді активних і реактивних електричних опорів та виконаємо розрахунок її параметрів в іменованих одиницях, приведених до напруги 0,4 кВ наведено в додатку В.

Згідно розробленого алгоритму аналізу математичної моделі для розподілу однофазних навантажень, проведемо тестовий приклад.

Спочатку алгоритму оцінимо варіанти почергового перемикання кожного із навантажень на іншу фазу трифазної мережі. Для цього визначимо значення струмів зворотної і нульової послідовностей, що генерується однофазними навантаженням №1, при підключенні його до кожної з трьох фаз: наведено в додатку В.

Дану задачу розглянемо двома способами. В першому способі покажемо без використання вагового коефіцієнта, а в другому – з ним, і приймемо його рівним 1,5. На завершення проаналізуємо їх результати. Розрахунки та їх результати наводимо в додатку Г.

Виконаємо наступні ітерації за аналогією з першою.

На кроці 3 порівнюємо значення сумарних втрат активної потужності на першій ітерації з вихідним станом вектора керування. Як видно із таблиці 2.3 значення втрат на першій ітерації менші ніж при вихідному стані, тому на кроці 4 ми реалізуємо вектор керування, який забезпечує зменшення додаткових втрат активної потужності.

Після цього виконуємо перехід до кроку 1 алгоритму рис. 2.1 і продовжуємо пошук оптимального розподілу однофазних електроприймачів між фазами чотирипровідної електричної мережі.

Результати розрахунку на етапах вирішення задачі звожу в таблицю 2.3 і виношу в додаток Г

Як видно із таблиці 2.3 на четвертій ітерації сумарні втрати активної потужності від протікання струмів зворотної і нульової послідовностей збільшилися, це свідчить про те, що оптимальний розв'язок даної задачі знайдено на третій ітерації. Розрахунки на кроці 4 припиняються, оптимальне рішення знайдено.

Далі розраховуємо все аналогічно попереднім розрахункам, але вже враховуємо ваговий коефіцієнт результати з таблицями 2,4 і 2,5 наводиться в додатку Г

Отже, оптимальні результати розрахунків на кожній ітерації зведемо в таблицю 2.5.

Як видно із таблиці 2.5 на третій ітерації цільова функція почала збільшуватися, це свідчить про те, що оптимальний розв'язок даної задачі знайдено на другій ітерації. Розрахунки на кроці 4 припиняються, оптимальне рішення знайдено.

2.5 Переваги у вирішенні задачі внутрішнього симетрування навантажень

При вирішенні завдання внутрішнього симетрування навантажень під час розрахунків надають перевагу тій чи іншій складовій, яка є більш вагомішою. Наприклад при розрахунку асинхронних двигунів, які мають

суттєвий додатковий нагрів від струмів зворотної послідовності, що призводить до скорішого старіння ізоляції і відповідно зменшення терміну служби двигуна, перевагу надають ΔP_2 . Цю складову вводять з ваговим коефіцієнтом k , який приймають більше 1.

В попередньому розділі ми розглядали розрахунок двох варіантів. Порівнявши обидва варіанти видно, що ваговий коефіцієнт впливає на варіанти підключення електроспоживачів. В першому варіанті сумарні втрати складають 8,534 кВт, а в другому – 10,96 кВт. Хоча в другому варіанті втрати більші, але для такого підключення вони є оптимальними.

В наведеному прикладі $k=1,5$. Даний коефіцієнт повинен обґрунтовуватися додатковим дослідженням, але у нас задача полягає в тому, щоб показати, що наша математична модель підходить до двох варіантів- як для розрахунку без вагового коефіцієнта так і з ним.

Подальший розрахунок проводиться за алгоритмом який надається в пункті 2.3.

Можна зробити висновок, що спосіб внутрішнього симетрування є універсальним і він не потребує додаткових затрат на встановлення додаткового обладнання, що робить його ефективним і економічним.

2.6. Розробка структурної схеми системи для внутрішнього симетрування однофазних електроприймачів

Практична реалізація виконаних наукових розробок може реалізовуватися в пристрої для симетрування навантажень, розроблена структурна схема якого зображена на рисунку 2.4 наводиться в додатку Д.

Принцип роботи структурної системи слідує наступний: за допомогою вимірювальних датчиків (ВД) інформація про параметри електричного режиму та параметри однофазних споживачів електроенергії поступає в систему керування, яка може бути реалізована на базі електронно-обчислювальної машини. Система керування працює за побудованим алгоритмом управління математичною моделлю. Ця система у випадку, коли

потрібно забезпечити перерозподіл однофазних електроприймачів між фазами чотирипровідної електричної мережі, подає сигнал на автоматичний вимикач (АВ), який від'єднує навантаження від мережі живлення. Потім від системи керування подається сигнал на перемикачі, які безпосередньо реалізують розрахований вектор керування оптимального розподілу однофазних навантажень. Після цього знов подається сигнал на ввімкнення автоматичного вимикача.

Висновок до другого розділу

1. Завдання внутрішнього симетрування однофазних навантажень оптимізаційна і багатокритеріальна. Вирішувати його можна методами дослідження операцій. За критерієм мінімуму сумарних додаткових втрат активної потужності.

2. Для вирішення завдання оптимального розподілу однофазних навантажень розроблена математична модель, яка відноситься до класу квадратичних, не скалярних та цілочислових, і тому для її аналізу розроблено обчислювальний метод, який базується на методі динамічного програмування.

3. Для демонстрації ефективності роботи розробленої математичної моделі та обчислювального методу розрахований тестовий приклад. Отримані результати свідчать, що додаткові втрати активної потужності при оптимальному фазуванні однофазних електроспоживачів зменшились в декілька разів.

4. Розроблено структурну схему системи оптимального розподілення однофазних навантажень, та описано принцип її роботи.

Рисунки і таблиці знаходяться в додатках.

РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Однією із основних вимог до систем електропостачання являється передача якісної електроенергії від виробників до споживачів електроенергії.

Основними негативними факторами, що впливають на якість електроенергії в системах електропостачання являються: зростання потужностей електроспоживачів трифазних і однофазних електроспоживачів, використання побутової техніки, нерівномірність завантаження фаз в електричних мережах.

Разом з цим збільшується кількість і установлена потужність однофазних електроспоживачів.

Це сприяє зниженню надійності електропостачання, збільшення втрат електроенергії, погіршення роботи систем автоматизації керування технологічними процесами.

Однією з важливих показників якості електроенергії (ЯЕ), являється реактивна енергія. Вона характеризується тим, що втрачається на створення електромагнітних полів для споживачів які мають індуктивність.

Визначається реактивна потужність за формулою

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi, \quad (3.1)$$

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності є показником споживання реактивної енергії (потужності), який показує співвідношення активної потужності P і S повної потужності, яка споживається електромережі:

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad (3.2)$$

Реактивна потужність в вольт-амперах реактивний (ВАр). Повна потужність має співвідношення

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (3.3)$$

Реактивні навантаження підприємств змінюються протягом однієї виробничої зміни, доби, місяця, року, але й протягом. Ці навантаження змінюються залежно від окремих електроспоживачів, від їхнього завантаження і режиму роботи, від зміни напруги в мережі електропостачання.

Дослідження та аналіз показали, що компенсація реактивної потужності позитивно впливає на якість електроенергії в системах електропостачання.

3.1 Дослідження та аналіз компенсації реактивної потужності.

Дослідження та аналіз систем електропостачання показують, що реактивний струм додатково завантажує мережі електропередач, і в результаті чого виникає потреба до збільшення перерізів кабельно провідникових матеріалів, що приєде до погіршення техніко економічних показників.

Крім того реактивна потужність разом з активною потужністю враховується постачальниками електроенергії, тобто, підлягає оплаті по тарифах, що діють.

Простим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є впровадження установок компенсації реактивній потужності.

3.2 Компенсація реактивної потужності

Заходи, які зменшують споживання реактивної електроенергії можна розділити на дві групи :

– До заходів першої групи належать:

1. Підвищення завантаження асинхронних двигунів до номінального;
2. Обмеження роботи асинхронних двигунів з малим навантаженням і на холостому ході.
3. Застосування регульованих електроприводів .

– До другої групи компенсації реактивної потужності відноситься розрахунок, підбір і монтаж компенсуючих пристроїв.[31]

3.3 Варіанти компенсації реактивної потужності.

Першим варіантом компенсації реактивної потужності є використання компенсуючих установок, що складаються з конденсаторних батарей. Позитивну дію якого видно з формули:

$$Z = \sqrt{r^2 + (x_l - x_c)^2}. \quad (3.4)$$

Коли в електричній мережі переважає індуктивність x_l , шляхом штучно створеної ємності x_c за рахунок конденсаторів ми зрівноважуємо їх, після чого в мережі $\cos \varphi$ наближається до 1 і залишається тільки активна складова. Щоб досягти поставленої мети потрібно:

- Контролювати $\cos \varphi$ в мережі кожні 30 хв.
- Коли рівень його більший чим потрібно подавати сигнал на включення компенсатора реактивної потужності.
- Повторювати контролювати $\cos \varphi$, якщо рівень зменшився вимикати конденсаторну установку

Схема системи компенсації реактивної потужності зображена на рис. 3.1.

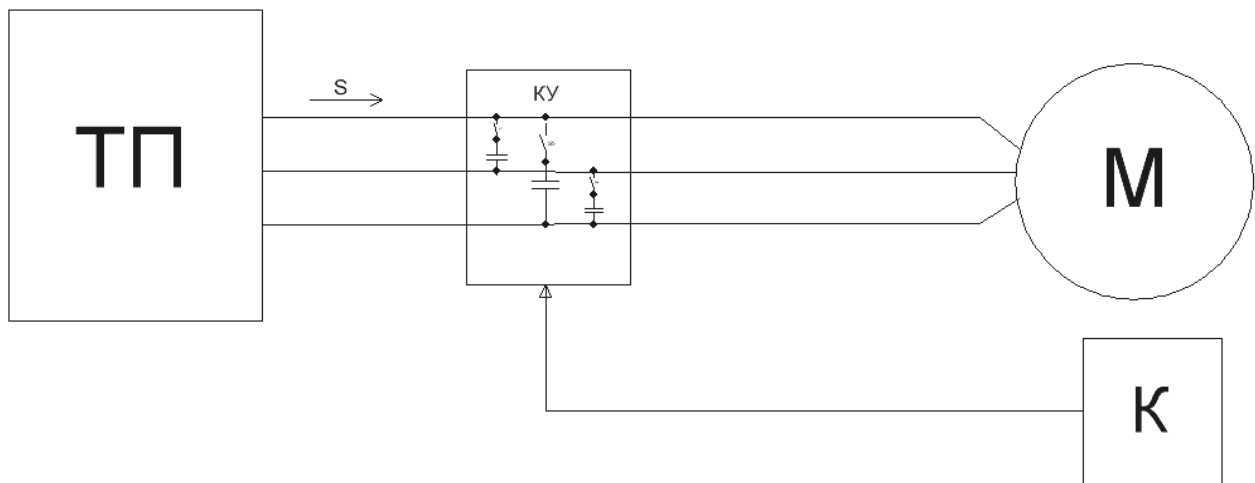


Рис. 3.1 Схема автоматично-керованої системи для зменшення реактивної потужності,

де К-установка для контролю $\cos \varphi$;

КУ- компенсатор реактивної потужності;

М- електродвигун привода;

ТП- трансформаторна підстанція;

Режим роботи компенсуючих установок повинен виключати можливість роботи електроспоживачів із випереджальним коефіцієнтом потужності.

Другий спосіб це спосіб підвищення $\cos \varphi$ шляхом оптимізації виробництва. Якщо при вимірюванні коефіцієнта потужності він знаходиться на низькому рівні то потрібна оптимізація шляхом підвищення його до номінального значення. Це можливо здійснити за допомогою:

1. Керування часом включення двигунів;
2. Заміна двигунів на менш потужні;
3. Застосування частотно-регульованого привода ;
4. Контроль за постійним завантаженням двигуна на 100%;
5. Керування схемами підключення двигуна (зірка, трикутник);
6. Регулювання напруги на вхід до двигуна.

Є багато способів підвищення $\cos \varphi$, але проаналізувавши ряд способів я пропоную користуватися найефективнішим способом, а це використання частотно-регульованих електроприводів з використанням перетворювача частоти, який виконує роль регулятора швидкості обертання ротора асинхронного електродвигуна.

3.4 Застосування частотно-регульованого приводу.

Якщо застосовувати частотно-регульований електропривід то він дасть змогу зменшити швидкість двигуна а отже збільшиться навантаження, після чого і $\cos \varphi$ також збільшиться що призведе до менших затрат на оплату реактивної енергії.

Ефективність впровадження частотно-регульованого приводу:

- економія електроенергії (25 – 50 %);
- зниження пускових струмів двигуна;
- економія тепла (5 – 10 %);
- економія палива (до 15%);
- можливість точного налаштування режиму роботи технологічної системи;

- економія ресурсів, наприклад, води (до 25%);
- уникнення гідравлічних ударів у системах водопостачання і як наслідок: зниження ймовірності аварійних ситуацій.

3.5 Економічна ефективність зменшення споживання реактивної енергії з мережі.

Економічна ефективність була і є однією з головних характеристик діяльності людини, виробничих процесів. Вона має багатогранний та багаторівневий характер і визначає як доцільність виробництва в цілому, так і на рівні його оптимізації.

Для прикладу покажу дані споживання приватного підприємства «ПП» на якому є велика кількість асинхронних двигунів.

За місяць підприємство використало електроенергії:

Активної енергії $P = 8000$ кВт · год. реактивної енергії $Q=10000$ кВАр · год.

Розрахуємо середньомісячний коефіцієнт потужності. Для цього використаємо формулу :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = S = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = 0,62 \quad (3.5)$$

Отже ,середньомісячний $\cos \varphi= 0,62$.

Вартість електроенергії для підприємств становить :

$P = 2,36$ грн. за 1 кВт · год. ; $Q = 7$ коп. за 1 кВАр. · год.

За місяць сплачено підприємством $P = 2,36 \cdot 8000 = 1888$ грн;

$Q = 0,07 \cdot 10000 = 700$ грн.

Розрахунок впровадження ефективності компенсаторної установки.

Припустимо, що на підприємстві виконують роботу асинхронні двигуни з номінальним коефіцієнтом потужності 0,85. Якщо на підприємстві підключена компенсаторна установка, а $\cos \varphi$ з 0,62 збільшився до 0,85 то можна вирахувати наскільки зменшився рівень споживання реактивної енергії:

$$\text{Знаючи, що } \varphi = \frac{P}{S}; S = \frac{P}{\cos \varphi} = 9411.764$$

$$Q^2 = S^2 - P^2 = 9411.764^2 - 8000^2 = 24581314, 878$$

Звідки $Q = 4957,95$ кВАр.

Як видно з результату зменшилося на половину споживання реактивної енергії з мережі, що дає нам не тільки покращення якості електроенергії але і економічний результат який показує, що за місяць сплатимо 347,05 грн., що на 352,94 грн. менше ніж до оптимізації.

Висновки до третього розділу

Проаналізувавши третій розділ можна зробити висновок, що застосування пристроїв компенсації реактивної потужності є досить ефективним і дозволяє:

- зменшити навантаження елементів розподільчої мережі, тим самим продовжуючи їх термін служби;
- знизити загальні витрати на електроенергію;
- знизити теплові втрати струму і витрати на електроенергію;
- домогтися більшої надійності і економічності розподільних мереж.
- знизити витрати на ремонт і оновлення парку електрообладнання;
- збільшити пропускну здатність системи електропостачання споживача, що дозволить підключити додаткові навантаження без збільшення вартості мереж;
- зменшити потужність підстанцій і поперечного перерізу жил проводів кабельних ліній, що знизить їх вартість при монтажі.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто проблему несиметричних режимів в електричних мережах і якості електричної енергії.

Також були виконані теоретичні та експериментальні дослідження, які можуть бути узагальнені такими висновками:

1. В результаті роботи було побудовано алгоритм який у відповідності до заданого критерію ефективності дає змогу аналізувати розроблену математичну модель керування несиметрією режиму методом внутрішнього симетрування.
2. Виконане на тестовому прикладі обчислення дасть змогу легко застосувати метод аналізу математичної моделі внутрішнього симетрування на практиці.
3. Для зменшення додаткових втрат активної потужності, зумовлених режимами зворотної та нульової послідовності було розроблено математичну модель внутрішнього симетрування однофазних електроспоживачів.
4. Було доказано, що існує залежність несиметрії режиму від розподілу однофазних навантажень між напругами трифазної чотиріпровідної мережі.
5. При дослідженні якості електроенергії було доведено, що вона також залежить від споживання реактивної енергії яка впливає на енергозбереження так як підлягає оплаті по тарифах і приносить збитки енергопостачальним компаніям.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Свенчанский А.Д. Электро-технологичные промышленные установки / Свенчанского А.Д.– М.: Энергоиздат, 1982. – 400 с.
2. Терешкевич Л. Б. АСУ режимами систем электропоставання. Навчальний посібник / Вінниця:ВДТУ, 1998. – 119 с.
3. Милосердов В.О. Алгоритмізація оптимізаційних задач енергетики. Навчальний посібник / . Милосердов В.О., Терешкевич Л.Б.– Вінниця: ВНТУ, 2004. – 120 с.
4. Кнорринг Г.М. Осветительные установки. / Л.: Энергоиздат, 1981.– 136 с.
5. Гитчарц Д. А. Симметрокомпенсирующие устройство для однофазних электротермических установок. / Гитчарц Д. А., Мнухин Л. А.– М.: Энергия, 1974. – 119 с.
6. Кузнецов В. Г. Комплексное использование конденсаторов в электрических сетях с однофазными нагрузками. Проблемы технической электродинамики. /Кузнецов В. Г., Москаленко Г. А., Григорьев А. С.– 1978. – Вып. 68, – с. 10-13.
7. Каневский Я. М. Уменьшение несимметрии электрической системы комбинированием схем параллельной работы тяговых подстанций переменного тока / Каневский Я. М. // Энергетика и электрификация. – 1966, – № 6. – с. 65-68.
8. Сакович В. А. Исследование операций: детерминированные методы и модели: [Справочник] / Сакович В. А. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 256 с.
9. Божко В. М. Эффективные режимы работы электротехнологических установок / Божко В. М., Вагин Г. Я., Рабинович М. Л.– К.: Тэхніка, 1987. – 183с.

10. Жежеленко И. В. Качество электроэнергетики на промышленных предприятиях / Жежеленко И. В., Рабинович М. Л., Божко В. М. – К.: Техніка, 1981. – 160 с.

11. Винославский, В. Н. Переходные процессы в системах электроснабжения: Учебник / Винославский В. Н., Пивняк Г. Г., Несен Л. Н. – К.: Вища школа, 1989. – 422 с.

12. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: навчальний посібник для студентів вузів / Попович М. Г., Ковальчук О. В. – К.: Либідь, 2007. – 556 с.

13. Аввакумов В. Г. Модели многоцелевой оптимизации качества электроэнергии в трехфазной четырехпроводной системе / Аввакумов В. Г., Рыбинник А. И. // Изв. ВУЗов СССР. Энергетика, 1975, № 8, – С. 42-47.

14. Аввакумов В. Г. Уравновешивание электрической нагрузки в трехфазной четырехпроводной системе / Аввакумов В. Г. // Изв. ВУЗов СССР. Энергетика, 1970, № 5, – С. 94-99.

15. Аввакумов В. Г. Постановка и решение электроэнергетических задач исследования операций / Аввакумов В. Г. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 230 с.

16. Барчук В. А. Аналіз стійкості оптимальних розв'язків при вирішенні задач оптимізації якості електроенергії / ВНТУ. – 2008. – С. 51.