

АНОТАЦІЯ

Корчинський Б.Р. ЕМ-19м Підвищення ефективності конденсаторних установок в системі електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Калинівський молокозавод» Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма – «Енергетичний менеджмент». – Вінниця, ВНТУ, 2020 – 92 с.

Іл.: 11 .

Табл.: 11 .

Бібліогр.: 16 .

В роботі проведено аналіз впливу конденсаторних установок на несиметрію електричного режиму в системі електропостачання. Виявлені можливості для підвищення ефективності їх роботи шляхом використання КУ одночасно для компенсації реактивної потужності та симетрування електричного режиму. Розроблено необхідне математичне забезпечення, реалізація якого орієнтована використання існуючих КУ і не потребує суттєвих капітальних витрат.

Ефективність впровадження виконаних розробок підтверджена розрахунками, що виконані для умов Калинівського молокозаводу.

Ключові слова: конденсаторна установка, оптимальне рішення, математична модель, критерій ефективності,.

ANNOTATION

Korczynski BR EM-19m Improving the efficiency of condenser units in the power supply system of the Limited Liability Company "Kalinovsky Dairy" Master's thesis in the specialty 141 "Electricity, Electrical Engineering and Electromechanics", educational program - "Energy Management". - Vinnytsia, VNTU, 2020 - 95 p.

Ill :: 11

Table:.11

Bibliogr .16:.

The analysis of the influence of capacitor installations on the asymmetry of the electric regime in the power supply system is carried out in the work. Possibilities for increase of efficiency of their work by use of KU at the same time for compensation of reactive power and balancing of an electric mode are revealed. The necessary mathematical software has been developed, the implementation of which is focused on the use of existing KU and does not require significant capital expenditures.

The effectiveness of the implementation of the performed developments is confirmed by the calculations performed for the conditions of the Kalinov dairy plant.

Keywords: capacitor installation, optimal solution, mathematical model, efficiency criterion

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про підприємство

1.2 Відомості про підприємство, що використані при виконанні магістерської роботи

РОЗДІЛ 2. РОБОТА КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК ПРИ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ

2.1 Компенсація реактивної потужності за допомогою конденсаторних установок (КУ)

2.2 Системні дослідження роботи КУ в системах електропостачання

2.3 Аналіз можливих впливів КУ несиметричного виконання на режим електричної мережі

2.4 Алгоритм оперативного управління КУ

2.5 Висновки до розділу 2

РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ КУ

3.1 Математична модель визначення вектору $X_1^{КУ}$

3.2 Математична модель визначення вектору $X_2^{КУ}$

3.3 Математична модель визначення вектору $X_3^{КУ}$

3.4 Методи аналізу математичних моделей управління КУ

3.5 Розрахунок вектора керування КУ для одного із часових перетинів в системі електропостачання Калинівського молокозаводу

3.6 Висновки до розділу 3

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ВИПУСКНОЇ РОБОТИ

4.1 Особливість економічного характеру, притаманна задачі, яка вирішена в роботі

4.2 Збитки, зумовлені несиметрією електричного режиму, як

критерій ефективності

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

5.2.2 Склад повітря робочої зони

5.2.3 Виробниче освітлення

5.2.4 Виробничий шум

5.2.5 Виробнича вібрація

5.3 Пожежна безпека

5.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи електропостачання в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

5.5 Дослідження стійкості роботи СЕП в умовах дії іонізуючих випромінювань

5.6 Дослідження стійкості роботи СЕП в умовах дії електромагнітного імпульсу

5.7 Висновки до розділу 5

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

Додаток А Технічне завдання до магістерської кваліфікаційної роботи

Додаток Б

ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ

Додаток В

ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ПО МАГІСТЕРСЬКІЙ ВИПУСКНІЙ РОБОТІ

ВСТУП

Актуальність теми. Для ТОВ «Калинівський молокозавод», як і для будь-якого іншого споживача електроенергії, актуальними є питання електробереження та підвищення якості електроенергії. Для зниження втрат електроенергії та підвищення її якості існує багато технічних рішень, що реалізовані в різноманітних пристроях [1,3,5,8]. Спільною ознакою багатьох з них є їх багатофункціональність (одночасний вплив на ряд параметрів режиму електропостачання) [8,11]. В таких умовах будь-яке проектне або керуюче рішення має прийматись із врахуванням всіх його наслідків. Якщо всі можливі наслідки використання таких пристроїв є достатньо добре вивченими, то питання розробки методів прийняття рішень, що дозволяють прийняти найбільш ефективне для таких випадків, розроблені не достатньо. Тому іноді з'являється можливість при експлуатації електротехнічних пристроїв підвищити їх ефективність, але для цього необхідно додатково провести аналіз задачі, вибрати необхідний математичний апарат (а можливі випадки, коли відомий математичний апарат треба адаптувати для конкретної задачі), математично поставити задачу та розробити алгоритм її вирішення.

Такі дослідницькі роботи, що передбачають використання існуючих потужностей, спрямовані на підвищення ефективності їх використання і тому є актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалася у ВНТУ в рамках наукових досліджень, які проводяться на кафедрі ЕСЕМ.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка методу підвищення ефективності конденсаторних установок шляхом одночасного використання їх потужностей для симетрування електричного режиму, який на відміну від існуючих дозволить забезпечити вимоги з компенсації реактивної потужності при максимально можливому симетруванні електричного режиму.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз потенційних можливостей конденсаторних установок при їх під'єднанні до вузла мережі з несиметричною напругою;
- виявити особливості електричного режиму, для якого можна забезпечити підвищення ефективності конденсаторних установок;
- розробити можливий підхід до вирішення задачі;
- розробити математичні моделі для прийняття рішення;
- провести тестові розрахунки, що підтверджують правильність отриманих результатів для умов ТОВ «Калинівський молокозавод».

Об'єкт дослідження – система електропостачання ТОВ «Калинівський молокозавод».

Предмет дослідження – елементи схеми та електричні режими в системі електропостачання.

Наукова новизна одержаних результатів.

Удосконалено закони керування потужністю конденсаторних установок в умовах несиметрії напруг у вузлі їх під'єднання, що дозволяє підвищити їх ефективність.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що практична реалізація отриманих рішень дозволить зменшити втрати електроенергії, та поліпшити її якість в мережах ТОВ «Калинівський молокозавод» за рахунок прийняття рішень з компенсації реактивної потужності із врахуванням впливу конденсаторних установок на параметри несиметрії режиму.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням математичних методів, строгим виведенням аналітичних співвідношень.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення та результати магістерської кваліфікаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором одноособово.

Апробація результатів роботи. Результати роботи на конференціях не доповідались, публікації по темі роботи відсутні.

Обсяг і структура випускної кваліфікаційної роботи. Випускна кваліфікаційна робота складається із вступу, 5 розділів, списку використаних джерел і додатків, загальний обсяг роботи 92 сторінки, з яких основний зміст викладений на 68 сторінках друкованого тексту, містить 11 рисунків, 11 таблиць, список використаних джерел із 16 найменувань.

РОЗДІЛ 1. ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про підприємство

Протягом 2019 року на ТОВ «Калинівський молокозавод» вироблено продукції на суму 188,2 млн. грн., а саме 532т масла вершкового, 1047т сметани, 538т сиру кисломолочного, 1079т кефіру, 250т сирної фруктових продукції та 8156т цільномолочної продукції.

Продукція підприємства вийшла переможцем Всеукраїнського конкурсу якості продукції (товарів, робіт, послуг) “100 кращих товарів України” в 2012 році у номінації «Продовольчі товари»

- з маслом селянським, в 2013 році;
- з сиром кисломолочним, в 2014 році;
- з сметаною жирністю 21% в 2017 році.

Досвідчений та кваліфікований колектив підприємства є запорукою високої якості виготовленої продукції, яка користується попитом населення не тільки Вінницької області. Продукцію підприємства можна зустріти на прилавках у всіх великих областях України. Про високу якість продукції свідчить попит населення і зростаюча реалізація.

За останні роки на підприємстві за рахунок власних коштів встановлено додатковий твердопаливний котел на суму 600,0 тис. грн.

Вся продукція сертифікована в системі УкрСЕПРО та відповідає діючій нормативній документації і потребам споживачів. Виробнича лабораторія заводу акредитована в системі Держспоживстандарту України та оснащена за останнім словом науки і техніки. Активно діє та розвивається дистрибуція підприємства, яка сьогодні охоплює такі міста як Київ, Львів, Харків та інші. Розширюється і мережа фірмової торгівлі у Вінницькій області.

Підприємство знаходиться в оточенні житлового мікрорайону, рис. 1.1, де електричне навантаження в основному несиметричного виконання, що позначається на якості електроенергії, яка споживається підприємством.

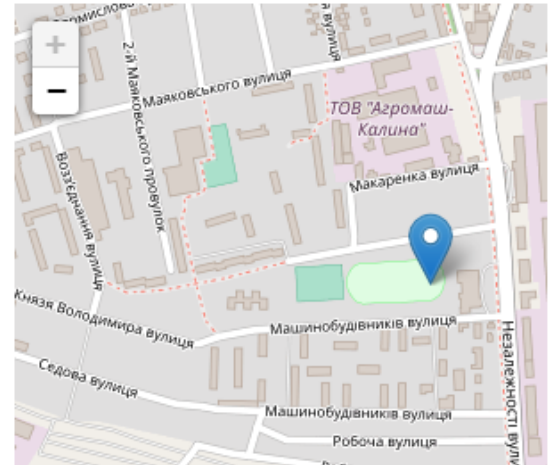
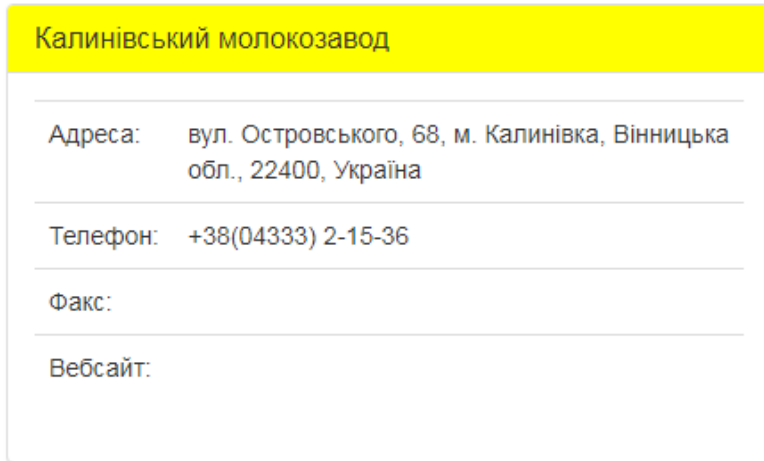


Рисунок 1.1 – Територіальне розміщення ТОВ «Калинівський молокозавод»

1.2 Короткий опис технологічного процесу

На завод надходить молоко від господарств Калинівського району. Крім того переробляються вершки, що надходять від інших молочних заводів.

Вся сировина перед прийманням перевіряється лабораторією заводу по таких якісних показниках: температура, щільність, кислотність, жирність, група чистоти. Один раз в декаду ставиться редуцтазна проба. На основі результатів визначається гатунок молока: перший, другий, негатункове молоко.

Молоко надходить в приймально-апаратний цех, де охолоджується до 8°C і при потребі резервується.

Основна маса молока направляється в апаратний цех, де в результаті сепарування на сепараторах ОСН-10 розділяється на вершки і відвійки (обрат).

Вершки надходять в маслоцех і на лінії П8-ОЛФ потужністю 1000 кг/год методом перетворення високожирних вершків перетворюються на масло селянське і шоколадне.

Відвійки надходять в танки вакуум-випарного відділення, де охолоджуються і резервуються. На 2^x вакуум-випарних установках «Віганд-4000 кг» молоко згущується до концентрації 45% сухих речовин і на розпилювальній сушильці ЦТ-500 висушується. Так виготовляється молоко сухе знежирене.

Частина молока в кількості 5т надходить в цех по виготовленню продукції із незбираного молока (цільномолочний), де виробляється продукція такого асортименту:

1. молоко пастерізоване 2,5%;
2. молоко пастерізоване 3,2%;
3. молоко пастерізоване 2,5% в поліетиленових пакетах 1л;
4. сир із знежиреного молока, 5% жирності, 9% жирності;
5. сметана 15% жирності фасована в полістиролові стаканчики місткістю 0,5кг і 0,25кг;
6. кефір 2,5% жирності в пакетах 1,0л;
7. ряжанка 2,5% жирності в пакетах 1,0л.

Холодом виробництво забезпечується від власної компресорної, де працюють 8 холодильних установок загальною потужністю 978 тис. ккал. Пар виробництво отримує від котельні птахокомбінату, потреба пару на годину 6 тон.

Миття автоцистерн здійснюється в типовому боксі механічно за допомогою миючої головки, дезинфекція гострим паром.

За надійністю електропостачання підприємство в цілому і споживачі сепараторного цеху відносяться до II категорії. Електроприводом технологічного обладнання є трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, що живляться напругою 380 В стандартної частоти і працюють в тривалому режимі.

1.2 Відомості про підприємство, що використані при виконанні магістерської роботи

1. Однолінійна схема електропостачання підприємства, рис 1.2.

2. До кожної секції збірних шин 0,4 кВ під'єднані керовані конденсаторні установки ККУ-0,4-30/6-5-21УЗ та ККУ-0,4-45/9-5-21УЗ загальною потужністю 75 квар. Перша установка має потужність 30 квар (шість секцій керування по 5 квар), а друга – 45 (дев'ять секцій керування по 5 квар).

3. Результати експериментальних досліджень, проведених на ввіді 0,4 кВ трансформаторної підстанції ТОВ «Калинівський молокозавод», що свідчать про наявність несиметрії режиму в мережах підприємства, рис. 1.3.

4. Графік реактивних навантажень (природний процес) по одному із живильних уводів трансформаторної підстанції ТОВ «Калинівський молокозавод», рис. 1.4.

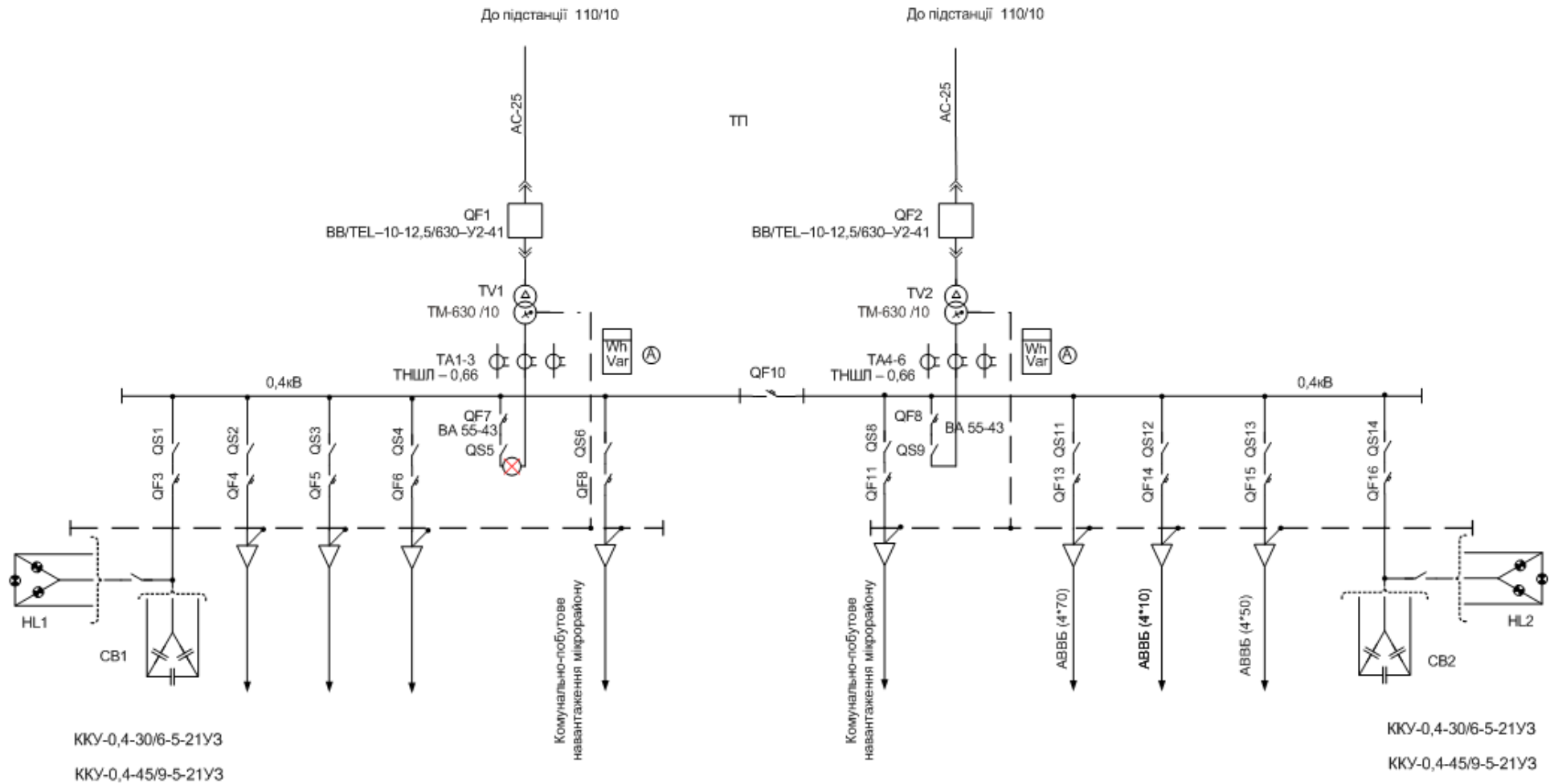
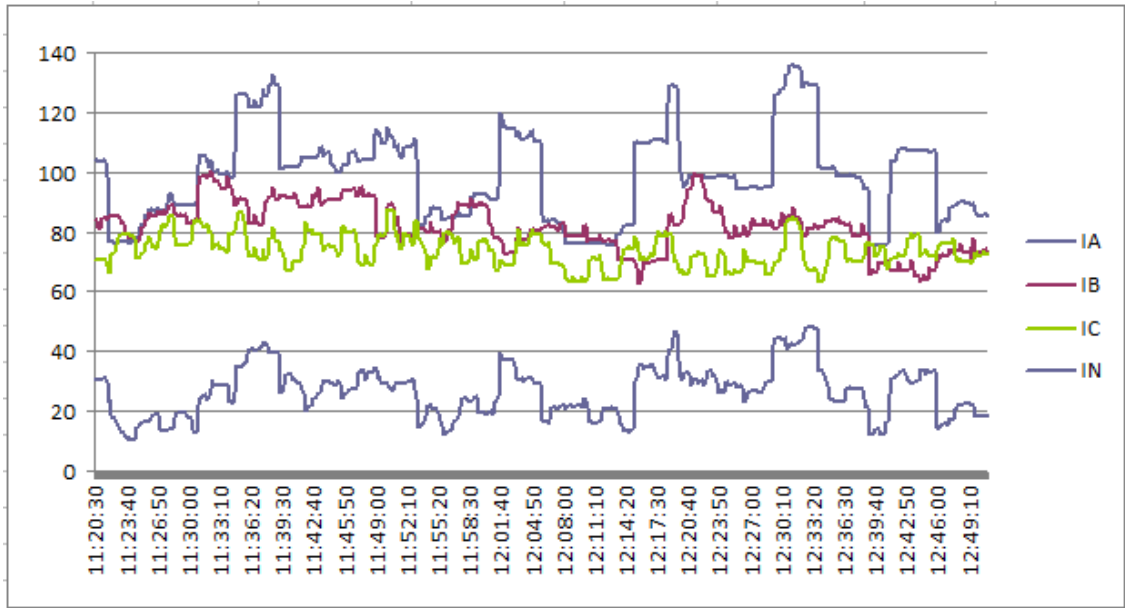
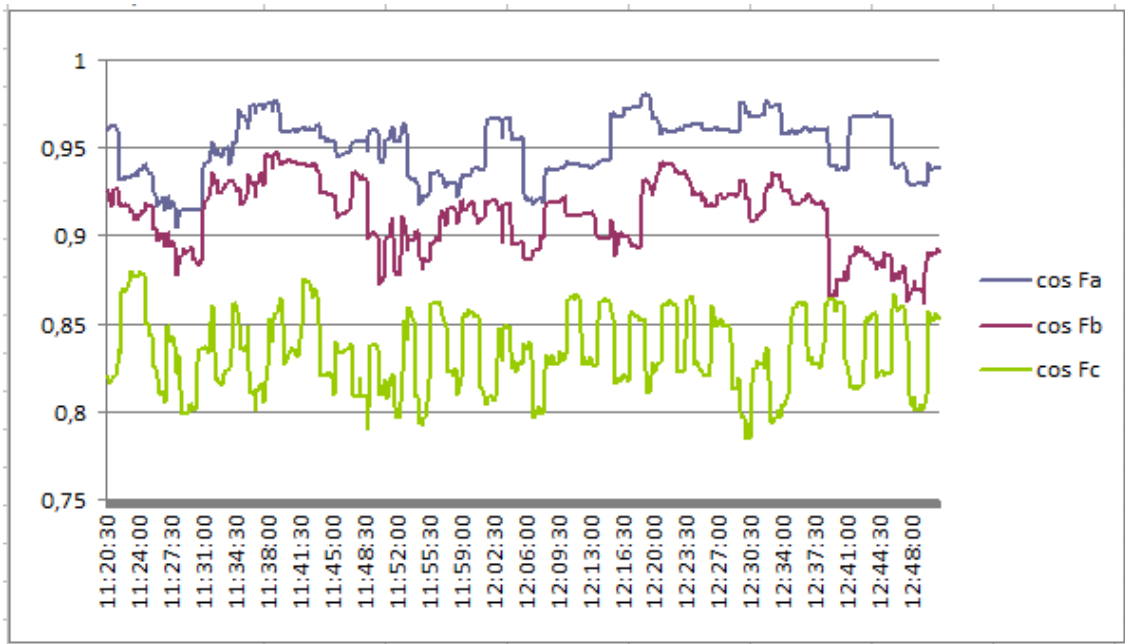


Рисунок 1.2 – Однолінійна схема електропостачання підприємства



а)



б)

Рисунок 1.3 – Результати експериментальних досліджень в системі електропостачання Калинівського молокозаводу:

а – динаміка фазних струмів;

б – динаміка зміни фазних коефіцієнтів потужності

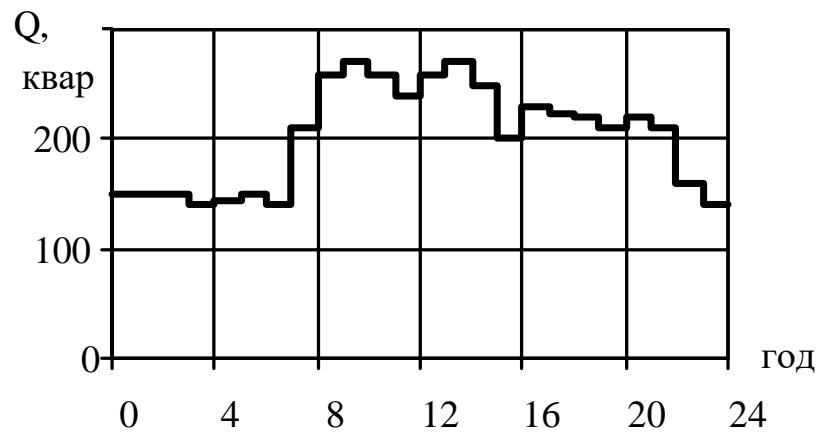


Рисунок 1.4 – Графік реактивних навантажень по живильному вводу

1.3 Висновки до розділу 1

1. В системі електропостачання Калинівського молокозаводу для компенсації реактивної потужності використовуються конденсаторні установки, ефективність яких може бути підвищеною якщо використовувати їх і для симетрування електричного режиму (при збереженні ефекту з компенсації реактивної потужності).

РОЗДІЛ 2. РОБОТА КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК ПРИ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ

2.1 Компенсація реактивної потужності за допомогою конденсаторних установок (КУ)

Приймачі і перетворювачі електроенергії, що мають в конструкції обмотки (електродвигуни, трансформатори та ін.), споживають не тільки активну потужність, але і реактивну. При її передачі в елементах системи електропостачання виникають втрати активної потужності, за які розплачується споживач.

Потреби в реактивній потужності можуть перевищувати можливості її покриття генераторами на електростанціях, оскільки більша частина промислових навантажень споживають крім активної також і реактивну потужність. Чим більша реактивна потужність при постійній активній, тим нижче коефіцієнт потужності. Заходи з підвищення коефіцієнта потужності в електроустановках можна розділити на дві групи [5,12,14]:

- при яких не потрібна установка компенсуючих пристроїв;
- при яких потребується установка компенсуючих пристроїв.

Компенсація реактивної потужності (КРП) є важливою складовою частиною комплексу організаційно-технічних заходів з регулювання режимів електроспоживання, зниження активних втрат на передачу електроенергії та обмеження максимумів навантаження на промислових підприємствах.

КРП у споживачів дозволяє:

- знизити плату постачальнику за спожиту електроенергію;
- знизити струм в елементах системи електропостачання, що призводить до зменшення поперечного розрізу проводів та підвищення їх пропускної здатності;

- зменшити повну потужність, що знижує потужність трансформаторів і їх число;
- зменшити втрати активної потужності, а відповідно, і потужності генераторів на електростанціях;
- покращити якість електроенергії за рахунок зменшення відхилень напруги від номінального значення.

Сутність будь-яких заходів із зниження споживання реактивної потужності полягає в обмеженні впливу електроприймача на мережу шляхом впливу на сам електроприймач [9,15].

КРП реалізується за допомогою таких технічних засобів як компенсуючі пристрої різного роду: синхронні двигуни (компенсатори), конденсаторні батареї, фільтрокомпенсуючі пристрої, статичні компенсатори, які розміщуються в тих чи інших вузлах мережі споживача. Одним із найважливіших показників економічності таких засобів є питомі витрати в них активної потужності на отримання реактивної потужності.

Сучасні КУ випускаються в трифазному та однофазному виконанні, мають вмонтовані розрядні опори та захист від перенапруг, який виникає в момент комутації, що забезпечує їх високу надійність. Розширено діапазон потужностей КУ: напругою 0,4 кВ від 2,5 квар і напругою 6,3 кВ від 25 квар. Використання сучасних матеріалів дозволило зменшити габаритні розміри. Розширено діапазон робочих температур від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ у виконанні для внутрішнього та зовнішнього встановлення (IP 42).

До основних їх недоліків слід віднести залежність генерованої потужності БСК від напруги та частоти; чутливість до спотворення живлячої напруги; недостатня надійність, особливо при коротких замиканнях та перенапругах [7,12]

Вибираючи потужність КУ необхідно слідкувати, щоб ця установка не генерувала реактивну потужність в мережу енергосистеми [3,10]. Така перекомпенсація приводить лише до збільшення втрат потужності, що зумовлені передачею від підприємства реактивної потужності. Оскільки таке явище має

місце при спадах графіка навантаження (вночі, у вихідні дні) необхідно, щоб потужність під'єднаних КУ використовувалась в залежності від зміни реактивного навантаження підприємства (рис. 2.1).

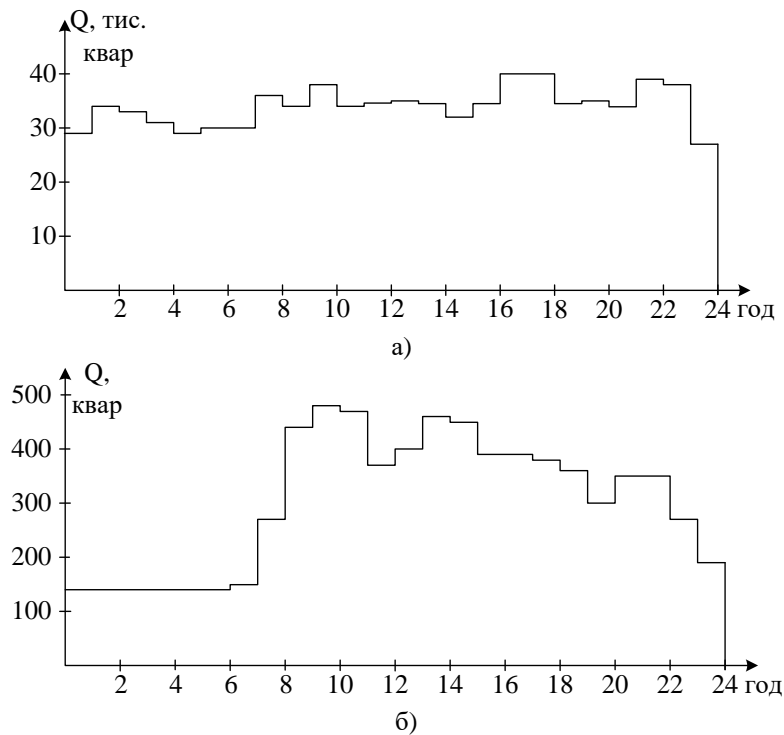


Рисунок 2.1 – Добові графіки реактивної потужності підприємств:
а – чорної металургії; б – машинобудування і металообробки

Керування генеруючої КУ реактивної енергії може здійснюватись ступенями шляхом ділення КУ на секції. Чим більша кількість таких секцій, тим якісніше керування. Вибір типу, потужності, місця встановлення і принципу керування КУ має забезпечувати найбільший ефект. При цьому слід враховувати, що:

- найбільший енергозберігаючий ефект досягається при розміщенні КУ безпосередньо біля електроприймача;
- КУ можуть встановлюватися поблизу окремого навантаження, з великим коефіцієнтом використання;
- індивідуальна компенсація найбільш ефективна і доцільна для потужних електроприймачів, але повинна супроводжуватись відключенням компенсуючого пристрою одночасно із відключенням електроприймача.

Характер зміни навантаження, є основним чинником, що впливає на вибір схеми КРП. На багатьох підприємствах не все устаткування працює одночасно, багато верстатів задіяно всього декілька годин в день. Тому індивідуальна компенсація стає дуже дорогим рішенням, при великій кількості устаткування і відповідно великому числі встановлюваних КУ. В такому випадку більшість цих КУ тривалий час залишається не задіяною.

Найбільш поширеним на практиці є централізована компенсація реактивної потужності. Вона реалізується за допомогою однієї КУ, що встановлюється на комплектній трансформаторній підстанції або на головному розподільному пристрої, рис. 1.2. Така КРП потребує менших витрат але не розвантажує цехові мережі та мережі індивідуальних споживачів.

Централізована компенсація застосовується там, де навантаження змінюється протягом дня. При цьому споживання реактивної потужності протягом дня теж змінюється, тому переважно використовується автоматично керовані КУ переважає.

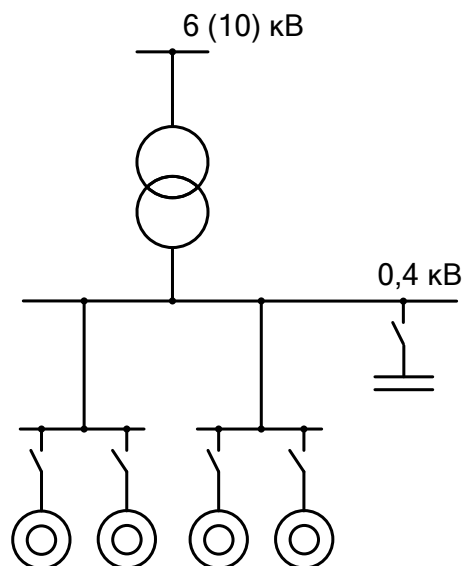


Рисунок 2.2 – Схема під'єднання КУ при централізованій КРП

Дослідження, проведені в роботі, стосуються випадку централізованої (групової) КРП. Саме такий характер електроспоживання характерний для

електроспоживачів ПАТ «Калинівський молокозавод», а також на підприємстві реалізована схема централізованого під'єднання КУ.

2.2 Системні дослідження роботи КУ в системах електропостачання

КУ – пристрої багатоцільової дії і їх використання пов'язано з такими ефектами.

1. Зменшення втрат активної потужності [11,14] в мережах живлення. Додаткові втрати активної потужності і енергії виникають у всіх елементах системи електропередач (СЕР) внаслідок завантаження їх реактивною потужністю. При передачі активної P і реактивної Q потужностей через елемент опору R втрати активної потужності складають:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p, \quad (2.1)$$

де ΔP_a - втрати активної потужності зумовлені передачею активної потужності;

ΔP_p - втрати активної потужності при передачі реактивної потужності.

Додаткові втрати активної потужності ΔP_p , викликані протіканням реактивної Q , пропорційні квадрату її величини. При ввімкненні КУ потужністю $Q_{\text{БСК}}$ значення втрат активної потужності зменшується (за умови $Q \geq Q_{\text{БСК}}$):

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_{\text{БСК}})^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{(Q - Q_{\text{БСК}})^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p. \quad (2.2)$$

Проведеними дослідженнями встановлено, що активні втрати ΔP_p можуть становити до 40% загальних втрат. Їх компенсація є актуальною технічною задачею.

2. Регулювання напруги [7, 10, 11]. Забезпечити необхідний рівень напруги на затискачах електроприймачів можна шляхом зміни напруги джерела живлення, коефіцієнта трансформації трансформаторів та втрат напруги в елементах СЕП. Зміна напруги на шинах джерела живлення призводить до її зміни на затискачах всіх електроприймачів, під'єднаних до них. Зменшення втрат напруги в елементах СЕП можна шляхом зменшення величини реактивної потужності, що протікає через той або інший елемент мережі.

Секція КУ ємністю C приводить до зміни напруги в точці її під'єднання на величину (%):

$$\Delta U_{КУ} = \frac{\omega \cdot C \cdot U \cdot X_C}{U_{ном}} \cdot 100\%, \quad (2.3)$$

де $\omega = 2\pi f$; f – частота змінного струму;

X_C - індуктивний опір зовнішньої мережі по відношенню до місця під'єднання БСК;

U - напруга в точці під'єднання БСК;

$U_{ном}$ - номінальна напруга.

Одночасне регулювання напруги на затискачах всіх електроприймачів доцільне лише в тому випадку, якщо вони однорідні. Якщо електроприймачі не однорідні, необхідно проводити аналіз їх графіків навантаження, а групування їх проводити із врахуванням однорідності їх графіків. Керовані КУ є найбільш простим та ефективним засобом місцевого регулювання напруги. Але при ступінчастому регулюванні потужності КУ в СЕП можливі випадки виникнення явища резонансу струму на частоті якої-небудь із гармонік джерела (у разі їх наявності).

3. Зниження розмаху коливання напруги за рахунок зниження розмаху коливання реактивного навантаження здійснюється з допомогою швидкодіючих КУ [7, 12]. Ефективність цього способу залежить від швидкодії системи керування.

4. Зниження рівня вищих гармонік досягається за допомогою фільтрів вищих гармонік, які являють собою послідовно з'єднані реактор і КУ (рис. 2.3) [7, 14, 19]. Параметри реактора і КУ підбирають таким чином, щоб їх результуючий опір на частоті відповідної гармоніки був рівним нулю. В загальному випадку на кожен гармоніку необхідно свій фільтр.

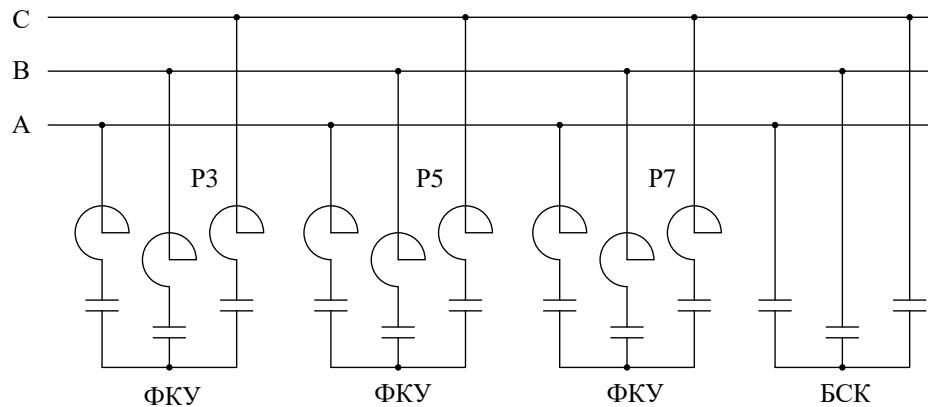


Рисунок 2.3 – Схема під'єднання ФКУ і БСК

Результуючий опір фільтра на ν -й гармоніці $X_{\phi\nu} = X_{L\nu} + X_{C\nu}$ буде дорівнювати нулю за умови $X_{L\nu} = -X_{C\nu}$. Так як, $X_{L\nu} = \nu X_L$, а $X_{C\nu} = X_C / \nu$, де X_L і X_C - опори реактора і КУ на основній частоті, то опір фільтра на основній частоті має ємнісний характер:

$$X_{\phi} = X_L + X_C = X_C \cdot \left(1 - \frac{1}{\nu^2}\right). \quad (2.4)$$

Потужність такої КУ дещо менша потужності конденсаторів, що використовуються в ній:

$$\frac{Q_{\phi}}{Q_{\kappa}} = \frac{U^2 \cdot X_C}{X_{\phi} \cdot U_C^2} = \frac{\nu^2 - 1}{\nu^2}. \quad (2.5)$$

Одночасно з генерацією реактивної потужності забезпечується зниження рівня вищих гармонік. Тому такі установки називають фільтрокомпенсаційними (ФКУ) [7].

Недоліком такої ФКУ в порівнянні зі звичайною КУ є нерегульованість її потужності.

5. Зниження несиметрії електричного режиму [1,7,12-17]. Несиметрію режиму, обумовлену несиметричними електроприймачами, можна обмежити до необхідних значень як за допомогою схемних рішень, так і шляхом використання спеціальних симетруючих пристроїв, що синтезовані на базі КУ.

Відомі дослідження, що стосуються технічних задач симетрування струмів і напруг [4,6]. Симетрування за допомогою симетруючих пристроїв зводиться до компенсації струму зворотної (або зворотної і нульової) послідовності несиметричного навантаження та, як наслідок, обумовленої ним напруги зворотної послідовності.

В залежності від місця установки симетруючих пристроїв розрізняють індивідуальний, груповий, централізований та комбінований способи симетрування. Індивідуальні симетруючі пристрої встановлюються безпосередньо біля електроприймачів несиметричного виконання. При груповому симетруванні в різних вузлах електромережі СЕП ставляться кілька симетруючих пристроїв, кожний із яких симетрує певну ділянку електромережі з під'єднаною до неї групою несиметричних електроприймачів. При централізованому симетруванні в розподільчих мережах СЕП ставиться один симетруючий пристрій. Комбінований спосіб симетрування передбачає поєднання двох чи трьох симетруючих способів.

Кожний із представлених способів має свої переваги. Так, індивідуальний спосіб дозволяє усунути несиметрію струмів та напруг безпосередньо біля електроприймача, але при цьому встановлена потужність таких пристроїв використовується нерационально. При централізованому способі необхідна менша встановлена потужність елементів пристроїв, але в електромережі СЕП із

несиметричними навантаженнями несиметрія струмів зберігається. Груповий спосіб симетрування поєднує переваги та недоліки індивідуального і централізованого способів.

Симетруючі пристрої виконуються як керованими, та і некерованими. Керовані симетруючі пристрої можуть мати як безперервне, так і ступінчасте (дискретне) керування. Симетруючі пристрої набираються з кількох груп, одна з яких підключається постійно, а інші – поперемінно.

Сумарна потужність симетричного пристрою вибирається з умови КРП. Вона перерозподіляється по фазах симетруючого пристрою таким чином, щоб струм зворотної послідовності несиметричної КУ компенсував струм зворотної послідовності несиметричного навантаження. У загальному випадку симетрування може бути здійснено за допомогою двох ємнісних елементів, під'єднаних на різні лінійні напруги (в залежності від фази струму зворотної послідовності).

На практиці, в залежності від особливостей технології, розглянуті ефекти при використанні КУ можуть мати місце в різноманітних комбінаціях. Подальший більш глибокий розгляд, характерний для Калинівського молокозаводу, сконцентруємо на випадку, коли на підприємстві має місце споживання реактивної потужності, яку доцільно компенсувати, та несиметрія електричного режиму, наслідком якої є збитки для підприємства.

2.3 Аналіз можливих впливів КУ несиметричного виконання на режим електричної мережі

Позитивний вплив КУ на несиметрію режиму мережі можливий у разі якщо сам пристрій має схему, рис. 2.4, яка дозволяє здійснювати кореговані впливи як на реактивну потужність, так і на параметри несиметрії [12].

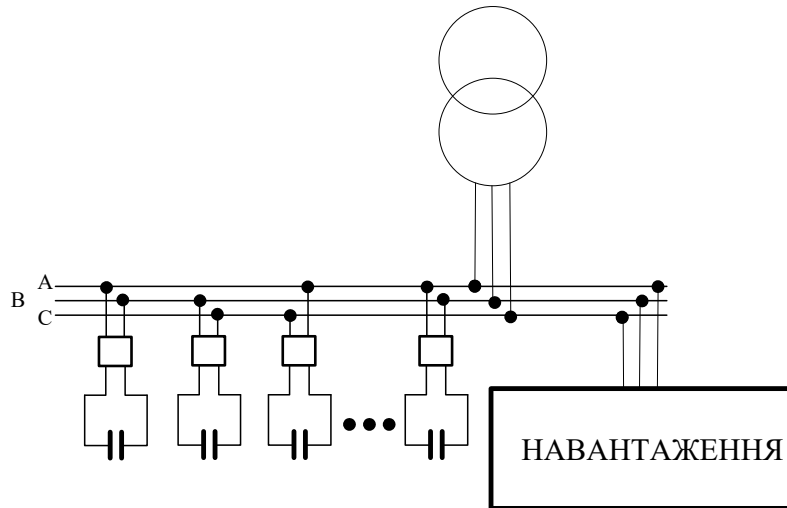


Рисунок 2.4 – Схема керуваної КУ несиметричного виконання

Відомі результати досліджень такої КУ свідчать про те, що ці пристрої, одночасно з симетруючим ефектом генерують реактивну потужність [8,9,11]. З цієї причини управління КУ необхідно здійснювати з урахуванням багатофункціональних властивостей цих пристроїв [5,18].

Відомі роботи, де розроблені принципи проектування таких пристроїв [5,11,12] і закони їх управління, наприклад, виходячи з того, що пристрій в години, характерні для навантаження енергосистеми, пріоритетно використовується для компенсації реактивної потужності, забезпечуючи вимоги енергосистеми до величини вхідної реактивної потужності. Для всіх інших моментів часу пріоритетним є завдання управління несиметрією режиму [5,9,14].

Для розробки алгоритму управління КУ, що забезпечує повне і ефективне його використання, необхідно виявити і проаналізувати всі можливі ситуації, які можуть виникнути на практиці. Виконаємо такий аналіз, взявши до уваги тільки втрати активної потужності в живлячій лінії [11].

Втрати активної потужності, викликані передачею по живлячій лінії реактивної потужності групового навантаження – Q , в припущенні, що $Q = 1$:

$$\Delta P_{Q^*} = \varepsilon(1 - Q^{KY})^2, \quad (2.6)$$

$$\text{де } \varepsilon = \frac{r}{U_H^2};$$

r – активний опір живлячої мережі;

U_H – номінальна напруга мережі;

Q^{KY} – реактивна потужність КУ.

Додаткові втрати активної потужності в тій же лінії від несиметрії режиму – ΔP_2 мають наступну функціональну залежність $\Delta P_2(Q^{KY})$:

$$\Delta P_2 = \alpha \varepsilon - 2\sqrt{3\alpha\varepsilon\eta}Q^{СП} + \varepsilon\eta^2(Q^{СП})^2 \quad (2.7)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{\Delta P_2^H}{\Delta P_Q};$$

ΔP_2^H - додаткові втрати активної потужності, обумовлені несиметрією режиму при відключеній КУ;

$\eta = 0,288 \div 0,577$ - коефіцієнт, який залежить від аргументу струму зворотної послідовності, що генерується груповим несиметричним навантаженням.

Залежності $\Delta P_{Q^*}(Q^{KY})$ і $\Delta P_2^*(Q^{KY})$ при різних значеннях ΔP_2^H , ($\alpha=2$ і $\alpha=0.4$), а також при $\varepsilon = 1$ зображені на рис. 2.5. Рівність нулю ΔP_{Q^*} відповідає повній компенсації реактивної потужності, а ΔP_2^* - повному симетруванню режиму.

З графіків, рис. 2.5, можна зробити висновки, про можливі ситуації, які можуть скластися при управлінні несиметрією режиму за допомогою КУ, рис 2.4.

1. Сумарна потужність КУ, необхідна для повного симетрування режиму, визначається величиною ΔP_2^H .

2. Можливі режими, повне симетрування яких за допомогою КУ, вимагає $Q^{СП} > Q$. Це приведе до появи зворотних перетоків реактивної потужності від вузла під'єднання КУ в мережі енергосистеми. У такому разі повне симетрування може бути або економічно не вигідним, або навіть технічно недопустимим у разі якщо енергосистема контролює зворотні перетоки реактивної потужності.

3. При незначній величині природної несиметрії режиму, яка може

скластися на момент прийняття керуючого рішення, необхідні невеликі потужності СП, при яких $Q^{СП} \ll Q$. При цьому може залишатися невикористаною частина потужностей КУ величиною $Q_{вст}^{СП} - Q^{СП}$, де $Q_{вст}^{СП}$ - встановлена потужність КУ.

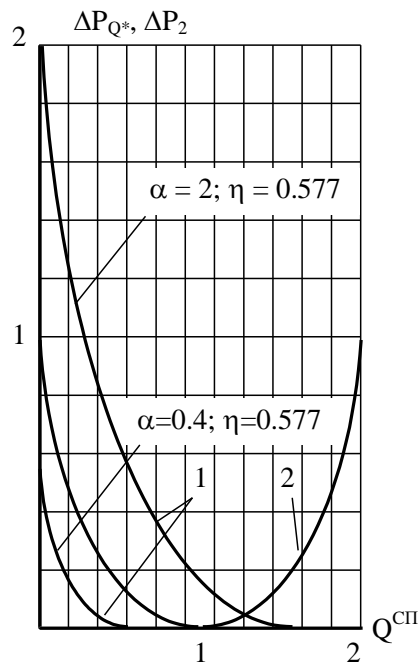


Рисунок 2.5 – Залежності втрат активної потужності $\Delta P_{Q^*}(Q^{КУ}), \Delta P_2(Q^{КУ})$ при $\varepsilon = 1$: 1 – $\Delta P_2(Q^{КУ})$; 2 – $\Delta P_{Q^*}(Q^{КУ})$

Розробки, що виконані в роботі, спрямовані на використання потужності $Q_{вст}^{СП} - Q^{СП}$, яка може залишатися за результатами прийняття рішення із симетрування режиму. Звернемо увагу, що секції КУ, які залишилися не реалізованими, можуть дозволити здійснювати включення за симетричною схемою. Умовимося ту частину КУ, яку можна включати за симетричною схемою, називати симетричним елементом.

В загальному випадку можливі ситуації:

а) секції КУ, що залишилися не включеними, утворюють керований симетричний елемент, використання якого дозволить отримати додатковий ефект з компенсації реактивних навантажень;

б) секції КУ, що залишились не включеними, не утворюють симетричний елемент, але їх включення дозволяє здійснити додаткову компенсацію реактивних навантажень при зменшенні ефекту, досягнутого по симетруванню режиму;

в) ситуація, що поєднує одночасно випадки а) і б).

2.4 Алгоритм оперативного управління КУ

Із графіка реактивних навантажень підприємства, рис. 1.4, та графіків зміни параметрів несиметрії режимів, рис. 1.3 видно, що в процесі оперативного управління КУ можуть скластися різноманітні ситуації, які вимагають визначення вектора управління по різних математичних моделях, що забезпечують ті або інші вимоги. Для впорядкування процесу оперативного управління КУ необхідно використати алгоритм, який би забезпечив максимальну ефективність використання потужностей КУ.

Під алгоритмом управління будемо розуміти послідовність правил, за якими на підставі інформації про стан системи електропостачання, про можливі керуючі впливи та про мету, яка має бути досягнута, визначається вектор керування.

Управління КУ необхідно здійснювати по алгоритму, який припускає проведення оцінки ситуації, що склалася, на момент прийняття рішення і звернення в залежності від цього до відповідних математичних моделей.

Із можливих підходів, що використовуються практично, зазначимо такі:

- пріоритетне використання потужності КУ для симетрування електричних режимів і одночасного контролю (забезпечення) величини його реактивної потужності;

- використання потужності КУ виключно для компенсації реактивних навантажень, забезпечуючи за цієї умови максимальне симетрування електричного режиму.

В роботі розроблено алгоритм визначення вектору керування, який забезпечує максимальну ефективність використання потужностей КУ. Алгоритм можна рекомендувати для користування у випадках, коли потужності КУ пріоритетно використовуються для компенсації реактивних навантажень. При цьому забезпечується генерація реактивної потужності необхідної величини і максимально можливий (за даних умов) ефект від симетрування електричного режиму. Основні ідеї алгоритму:

- 1) визначається вектор керування КУ, виходячи із міркувань симетрування навантажень – $\mathbf{X}_1^{КУ}$;
- 2) при наявності симетричних елементів КУ, визначається вектор керування для них – $\mathbf{X}_2^{КУ}$ (за умови реалізації $\mathbf{X}_1^{КУ}$), інакше виконується перехід до кроку 3;
- 3) розглядаються можливі увімкнення окремих секцій, рішення по яких не прийнято за кроками 1 і 2, для забезпечення основної вимоги – отримання необхідної реактивної потужності КУ. В результаті формується вектор $\mathbf{X}_3^{КУ}$.

Остаточний вектор, що приймається до реалізації – \mathbf{X} , визначається:

$$\mathbf{X}^{КУ} = \mathbf{X}_1^{КУ} + \mathbf{X}_2^{КУ} + \mathbf{X}_3^{КУ}. \quad (2.8)$$

Можливі ситуації, коли розрахунки вектора керування припиняються на проміжних кроках (першому або другому) в разі, якщо вимога по компенсації реактивної потужності забезпечена. Це вимагає наявності математичних моделей для знаходження рішення по симетруванню режиму, управлінню симетричним елементом КУ та увімкненню окремих секцій, рішення по яких не прийнято за кроками 1 і 2, для забезпечення основної вимоги – отримання необхідної реактивної потужності КУ. Блок – схема розробленого алгоритму представлена на рис. 2.6.

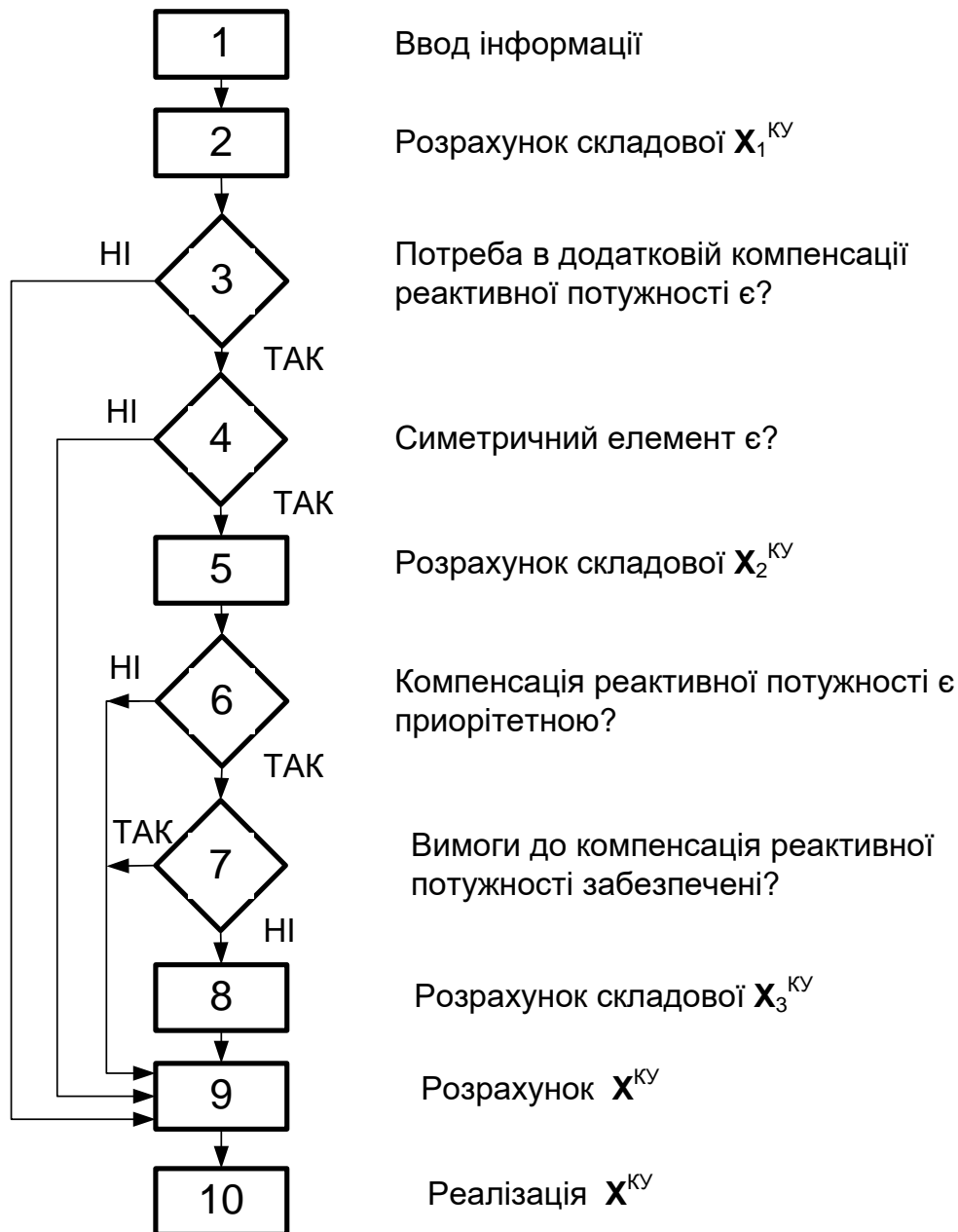


Рисунок 2.6 – Блок-схема алгоритму розрахунку вектора керування x^{KY}

2.5 Висновки до розділу 2

1. В умовах несиметрії електричного режиму, що є характерним для Калинівського молокозаводу, вектор керування несиметричною КУ може бути розрахованим як такий, що має три складові: перша – визначається із умови оптимального впливу на несиметрію режиму; друга – забезпечує використання, в разі необхідності, симетричні елементи КУ; третя – коректує оптимальний

розв'язок по симетруванню режиму, що здійснюється з метою забезпечення вимог до компенсації реактивної потужності.

2. Розроблений алгоритм розрахунку вектора керування, який передбачає в залежності від ситуації, що склалася, звернення до тих або інших математичних моделей, забезпечує ефективне використання КУ як в умовах пріоритетного використання КУ для симетрування навантажень, так і компенсації реактивної потужності. Такий закон керування підвищує ефективність використання КУ.

РОЗДІЛ 3.
МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО
УПРАВЛІННЯ КУ

3.1 Математична модель визначення вектору $\mathbf{X}_1^{КУ}$

Відомі математичні моделі управління КУ несиметричного виконання, рис. 2.4 [11], цільова функція яких описує модуль струму зворотної послідовності у живлячому вводі навантаження. Цілочисельні рішення, що отримуються в результаті, вказують, в якому стані повинен знаходитися кожен з вимикачів схеми КУ.

В модель необхідно ввести обмеження на величину реактивної потужності КУ [6], яке у функціональному вигляді можна записати в наступному вигляді:

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^3 Q_{ij} x_{ij} \leq Q_d \quad (3.1)$$

де Q_{ij} - реактивна потужність i -го ступеня j -го плеча КУ, $i=1, 2, \dots, L, j=1, 2, 3$;

x_{ij} - компонента вектора управління $\mathbf{X}_1^{КУ}$, якщо $x_{ij} = 1$, то i -у ступінь j -го плеча слід включити, а якщо $x_{ij} = 0$, то навпаки;

Q_d - допустима величина реактивної потужності КУ.

Обмеження (3.1) працюватиме якщо для симетрування потрібна потужність конденсаторних батарей КУ більша ніж Q_d . Величину Q_d можна встановлювати такою, що дорівнює реактивній потужності вузла навантаження або передбачати можливість генерації реактивної потужності в розподільчі мережі підприємства [8].

В цілому математична модель для КУ, рис. 2.4, має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \operatorname{Re} \dot{I}_2^H + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^3 a_{p1} x_{p1} + j(\operatorname{Im} \dot{I}_2^H + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^3 a_{p1} x_{p1}) \right| \rightarrow \min \\ x_{11} + \overset{\dots}{x_{11}} = 1 \\ x_{12} + \overset{\dots}{x_{12}} = 1 \\ \dots\dots\dots \\ x_{1L} + \overset{\dots}{x_{1L}} = 1 \\ \dots\dots\dots \\ x_{3L} + \overset{\dots}{x_{3L}} = 1 \\ x_{p1}; \overset{\dots}{x_{p1}} = 1 \forall 0 \\ \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^3 Q_{ij} x_{ij} \leq Q_d \quad , \end{array} \right. \quad (3.2)$$

де $x_{1p}, \overset{\dots}{x_{1p}}$ - змінні, що відповідають рішенню включити 1-ту ступінь р-го плеча КУ, якщо в результаті розв'язування $x_{p1} = 1$, а $\overset{\dots}{x_{p1}} = 0$, або не включати, якщо $x_{p1} = 0$, а $\overset{\dots}{x_{p1}} = 1$;

Q_{ij} - реактивна потужність і-го ступеня j-го плеча КУ, $i = 1, 2, \dots, L, j = 1, 2, 3$;

x_{ij} - компонента вектора управління $\mathbf{X}_1^{КУ}$, якщо $x_{ij} = 1$, то і-у ступінь j-го плеча слід включити, а якщо $x_{ij} = 0$, то навпаки;

Q_d - допустима величина реактивної потужності КУ.

3.2 Математична модель визначення вектору $\mathbf{X}_2^{КУ}$

Якщо несиметрія така, що для симетрування потрібні невеликі потужності конденсаторних батарей КУ, то їх частина залишається невикористаною за наслідками визначення керуючого рішення по симетруванню режиму. Ступені, які залишилися не включеними, можуть утворювати симетричний елемент (наприклад, якщо для КУ потужності ступенів n у всіх плечах однакові і жодна з них не використовується для симетрування режиму, то вони утворюють ступінь симетричного елементу КУ, який при необхідності можна включити).

Включення симетричного елемента КУ не позначається на несиметрії режиму (по всіх фазах включаються реактивні потужності однакової величини).

Знаходження керуючого рішення по симетричному елементу КУ, яке визначається шляхом аналізу відповідної математичної моделі, вимагає попереднього виділення цього елемента. Зробити це можна за наступним алгоритмом.

Крок 1. Переглянути стан вимикачів будь-якого плеча КУ.

Крок 2. Якщо всі ступені цього плеча необхідно включити по результатах, одержаних для симетрування режиму, то розрахунки припиняються. Додатковий ефект одержати не можна, не змінивши отриманий ефект по симетруванню режиму.

Крок 3. У довільній послідовності по черзі перебираються не включені ступені і виявляється наявність ступенів такої ж потужності в двох інших плечах КУ, які також не включені, і якщо такі є, то в множину K1 записується потужність такого ступеня – Q_n .

Реалізація елементів множини K1 не позначиться на режимі зворотної послідовності, але здійснить вплив на величину реактивної потужності, забезпечуючи при цьому додатковий ефект. Визначити вектор включення симетричних елементів - \bar{Y} , можна за допомогою математичної моделі:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_H - 3 \sum_{n=1}^m Q_n y_n \rightarrow \min \\ y_n + \bar{y}_n = 1, \quad n = 1, 2, \dots, m \\ Q_H - 3 \sum_{n=1}^m Q_n y_n \geq Q_{dop} \\ y_n, \bar{y}_n = 1 \forall 0, \end{array} \right. \quad (3.3)$$

де Q_H - споживання реактивної потужності груповим несиметричним навантаженням з урахуванням компенсуючого ефекту по реактивній потужності вектора X_1^{KY} ;

Q_n - елемент множини K1;

$N = 1, 2, \dots, m$, де m - загальна кількість елементів множини K1;

y_n - елемент вектора управління для потужностей ступенів множини $K1 - Y$, якщо $y_n = 1$, то відповідні ступені СП по всіх його плечах необхідно включити, а якщо $y_n = 0$, то навпаки;

\bar{y}_n - змінна, пов'язана з y_n так, що якщо $y_n = 1$, то $\bar{y}_n = 0$ і навпаки;

Q_{dop} - допустима реактивна потужність споживання по вузлу несиметричного навантаження.

Математична модель (3.3) забезпечує компенсацію реактивної потужності шляхом включення ступенів симетричного елемента КУ до величини Q_{dop} . Математична модель (3.3) - модель дискретного програмування, необхідність в чому диктується технічним виконанням КУ, див. рис. 2.4. Перше з обмежень описує можливі стани кожного симетричного елемента КУ (може бути „включеним” або „відключеним”). Друге обмеження контролює величину реактивної потужності в живлячій лінії.

За результатами розрахунку векторів X_1^{KY} і Y формується вектор управління для симетричного елемента СП – X_2^{KY} розмірністю $1 \times 3L$ по наступному алгоритму.

Крок 1. Кожен елемент j , який у векторі X_1^{KY} рівний 1, у векторі X_2^{KY} прирівнюється до нуля.

Крок 2. Компоненти вектора X_2^{KY} , що описують стан ступенів СП, які утворюють його симетричний елемент, відповідно до значень елементів вектора Y прирівнюються 0 або 1.

Крок 3. Всі інші елементи вектора X_2^{KY} прирівнюються 0.

3.3 Математична модель визначення вектору X_3^{KY}

Можна провести додаткову компенсацію реактивної потужності, За умови мінімального погіршення досягнутого стану симетрії режиму, який забезпечується при реалізації X_1^{KY} .

Для схеми з'єднання КУ, рис. 2.4, розроблено математичну модель, що дозволяє розрахувати вектор X_3^{KY} :

$$\begin{cases}
 I_2^k = \left| \operatorname{Re} \dot{I}_2(\mathbf{x}_1^{\text{KY}}) + \sum_{i=1}^{2\tau} a_i z_i + j \left[\operatorname{Im} \dot{I}_2(\mathbf{x}_1^{\text{KY}}) + \sum_{i=1}^{2\tau} b_i z_i \right] \right| \longrightarrow \min \\
 z_{(2i-1)} + z_{2i} + \bar{z}_i = 1 \\
 \sum_{i=1}^{\tau} Q_i(z_{(2i-1)} + z_{2i}) \geq Q_d - Q^{\text{KY}}(\mathbf{x}_1^{\text{KY}} + \mathbf{x}_2^{\text{KY}}) \\
 z_i; \bar{z}_i = 1 \forall 0
 \end{cases} \quad (3.4)$$

де $\dot{I}_2(\mathbf{x}^{\text{KY}})$ - струм зворотної послідовності за умови реалізації вектора \mathbf{x}_1^{KY} ;

τ - загальна кількість симетруючих елементів, можливих для включення;

$Q^{\text{KY}}(\mathbf{x}_1^{\text{KY}} + \mathbf{x}_2^{\text{KY}})$ - потужність СП, що відповідає реалізованому вектору $\mathbf{x}_1^{\text{KY}} + \mathbf{x}_2^{\text{KY}}$;

Q_d - реактивна потужність, яку повинен мати СП для забезпечення необхідного ефекту з компенсації реактивних навантажень;

$z_{(2i-1)}; z_{2i}$ - елементи вектора z , що описують стан відповідного вимикача СП, що залишилися не включеними за результатами розрахунку векторів \mathbf{x}_1^{KY} та \mathbf{x}_2^{KY} ;

\bar{z}_i - елемент вектора \bar{z} , що описує стан відповідного симетрувального елемента КУ, рішення про включення якого не прийнято в процесі розрахунку \mathbf{x}_1^{KY} та \mathbf{x}_2^{KY} ;

Q_i - реактивна потужність, що відповідає прийнятому рішення по відповідним вимикачам КУ.

Для реалізації цієї математичної моделі необхідно провести правильне формування векторів z та \bar{z} . Вектор z буде містити тільки такі компоненти, індекси яких відповідають номерам вимикачів КУ, які можна включити. Процес формування цих векторів може бути алгоритмізовано.

3.4 Методи аналізу математичних моделей управління КУ

Цільова функція математичних моделей (3.2), (3.4) - не скалярна функція дійсної змінної [9,13,15]. Аналіз таких моделей можна виконати, використавши ідеї симплекс-алгоритму лінійного програмування [9], або методами багатократних перетинів, перетинів і імітації або узагальненим методом динамічного програмування для оптимізації не скалярних функціоналів [13,15].

Узагальнений метод динамічного програмування застосовний для не скалярних задач, рішення яких можна розбити на послідовність етапів. Для задач симетрування електричного режиму за допомогою КУ за етап рішення можна прийняти знаходження рішення про включення чергового його ступеня [50]. На кожному етапі рішення вибирається тільки з множини допустимих, які забезпечують вимоги технічних обмежень (це дає можливість використовувати метод динамічного програмування для вирішення задач з обмеженнями). З цією метою для k -го етапу вирішення заздалегідь формується множина D_k , куди включаються величини a_i і b_i тільки тих ступенів КУ, включення яких допустимо. Вибір з множини D_k пари a_i , b_i , яка робить найбільш ефективний вплив на стан системи, однозначно реалізується включенням вимикача i ($x_i = 1$). Оптимальне рішення досягається на етапі τ , коли поліпшити стан системи наявними елементами множини D_k неможливо.

Формування множини D_k стосовно рішення задачі за допомогою математичної моделі (3.2) здійснюється за наступним алгоритмом.

Крок 1. По черзі переглядаємо стан всіх ступенів КУ, який описується змінними \bar{x}_i , $i = 1, 2, \dots, K$.

Крок 2. Обираються ступені, рішення про включення яких ще не ухвалене, $\bar{x}_i = 1$. Вимикачі $(2i - 1)$ і $2i$ відключені, $x_{(2i-1)} = 0$, $x_{2i} = 0$.

Крок 3. Якщо $Q_{\sum(k-1)} + Q_i \leq Q_d$, де $Q_{\sum(k-1)}$ - сумарна реактивна потужність ступенів КУ, рішення про включення яких ухвалене на попередніх $(k - 1)$ етапах розв'язування задачі, то в множину D_k вводяться елементи $a_{(2i-1)}$, a_{2i} і $b_{(2i-1)}$, b_{2i} .

Процес пошуку оптимального вектора управління $\mathbf{X}_1^{КУ}$ за допомогою математичних моделей (3.2), (3.4), можна здійснювати відповідно до рекурентних співвідношень Р. Беллмана, які для даного випадку мають вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 = \min_{\text{повсім } a_{1i}, b_{1i}} \left\{ \left| \left(\operatorname{Re} \dot{I}_2^H + a_{1i} \right) + j \left(\operatorname{Im} \dot{I}_2^H + b_{1i} \right) \right| \right\} = \\ \quad = \left| \left(\operatorname{Re} \dot{I}_2^H + a_{\lambda}^{(1)} \right) + j \left(\operatorname{Im} \dot{I}_2^H + b_{\lambda}^{(1)} \right) \right| = \left| \dot{f}_1 \right| \\ \quad \dots\dots\dots \\ f_k = \min_{\text{повсім } a_{ki}, b_{ki}} \left\{ \left| \left(\operatorname{Re} \dot{f}_{(k-1)} + a_{ki} \right) + j \left(\operatorname{Im} \dot{f}_{(k-1)} + b_{ki} \right) \right| \right\} = \\ \quad = \left| \left(\operatorname{Re} \dot{f}_{(k-1)} + a_{\lambda}^{(k)} \right) + j \left(\operatorname{Im} \dot{f}_{(k-1)} + b_{\lambda}^{(k)} \right) \right| = \left| \dot{f}_k \right|, \quad k=2,3,\dots,\tau, \end{array} \right. \quad (3.5)$$

де f_k – оцінка стану системи за результатами k -го етапу, $k = 1, 2, \dots, \tau$;

a_{ki}, b_{ki} – елементи множини D_k ;

$a_{\lambda}^{(k)}, b_{\lambda}^{(k)}$ – дійсна і уявна частини вектора струму зворотної послідовності із тих, які можуть генеруватися ступенями КУ, і реалізація якого найбільш ефективна на k -ому етапі вирішення задачі, $a_{\lambda}^{(k)}, b_{\lambda}^{(k)} \in D_k$.

Розрахунок вектора $\mathbf{X}_1^{КУ}$ узагальненим методом динамічного програмування відповідно до математичної моделі (3.2) виконується за алгоритмом.

Крок 1. Розраховуються величини a_i і b_i , $i = 1, 2, \dots, 2K$, що відповідають включенню відповідних вимикачів.

Крок 2. Формується множина D_k . Якщо множина D_k порожня, то перехід до п.5.

Крок 3. Відповідно до рекурентних співвідношень (3.5) знаходиться рішення для k -го етапу.

Крок 4. Якщо $f_k < f_{(k-1)}$, елемент x_{λ} вектора $\mathbf{X}_1^{КУ}$ прирівнюється до одиниці,

а змінна \bar{x}_{ξ} прирівнюється до нуля, де $\xi = \frac{\lambda+1}{2}$, якщо λ число непарне, і, якщо

$\xi = \frac{\lambda}{2}$ парне, номер етапу k збільшується на одиницю, $k = k+1$, і здійснюється

перехід до кроку 2. Якщо $f_k \geq f_{(k-1)}$, то перехід до кроку 5.

Крок 5. Оптимальний вектор одержаний на кроці $(k-1), \tau = k-1$.

Для вибору алгоритму аналізу математичної моделі визначимо для якого класу моделей вона відноситься. Математична модель (3.4) відноситься до класу нескаларних, оскільки її обмеження лінійні, а цільова функція є нескаларною функцією нескаларного змінного. Тому до вирішення задачі виростаємо методи нескаларної оптимізації.

За перший пробний розв'язок можна прийняти нульові значення компонент вектора Z (результат, отриманий визначенням X_1^{KY}, X_2^{KY}), тоді обмеження – нерівність не буде забезпечено. В такому випадку наступні кроки в розв'язку задачі будуть спрямовані на пошук опорного розв'язку.

Відмітимо таку обставину, що пошук опорного розв'язку буде супроводжуватися відходом від оптимального вирішення задачі з позицій симетрування навантажень. Тому обчислення необхідно припинити, визначивши опорний розв'язок.

На відміну від стандартних алгоритмів пошуку опорного розв'язку, що використовується, наприклад, в симплекс – методі, використовуємо алгоритм, ідеї якого будуть полягати в наступному:

- пошук опорного розв'язку являє собою ітераційний процес;
- на кожній ітерації вибирається до включення найбільш потужна секція СП із числа допустимих (саме таке включення буде найбільш ефективним);
- якщо є декілька варіантів для такого вибору (для КУ, рис.2.4, навіть якщо відібрана лише одна секція, то є два варіанта її включення), то реалізується

такий, якому буде відповідати найменший струм $\left| \dot{\mathbf{I}}_2 \right|$.

Якщо симетрування режиму необхідно виконати за допомогою несиметричної КУ з мінімальною кількістю симетрувальних елементів, рис.2.4, то розрахунки на кожній ітерації виконуються за такою схемою:

Крок 1. Формується множина потужностей секцій СП – В, що відповідають нульовим значенням пари змінних $Z_{(2i-1)}$ та Z_{2i} (або те ж саме $\bar{Z}_i = 1$).

Крок 2. Із сформованої множини B вибирається така секція (або декілька секцій), щоб $|Q_d - Q^{ky}(\mathbf{X}_1^{ky} + \mathbf{X}_2^{ky}) - Q^{ky}(\mathbf{X}_3^{ky})|$ було мінімальним, де $Q^{ky}(\mathbf{X}_3^{ky})$ - сумарна потужність секцій, прийнятих до включення на даному і на всіх попередніх ітераціях аналізу математичної моделі (2.13). Саме такий вибір забезпечує максимально швидке наближення до опорного розв'язку.

Крок 3. Розглядаються варіанти включення відібраних секцій і здійснюється оцінка рівня несиметрії навантажень. До реалізації приймається варіант, якому відповідає найменший рівень несиметрії.

Крок 4. З масиву B вилучається потужність секції, що прийнята до реалізації. Відповідна змінна вектора Z прирівнюється до одиниці.

Крок 5. Якщо $|Q_d - Q^{ky}(\mathbf{X}_1^{ky} + \mathbf{X}_2^{ky}) - Q^{ky}(\mathbf{X}_3^{ky})| \leq 0$, то опорний розв'язок знайдено. Розрахунки припиняються. Інакше перехід до кроку 2.

Розрахувавши вектор Z , можна здійснити перехід до вектору $\mathbf{X}_3^{СП}$.

Можливим є варіант, коли на кроці 4 множина B виявиться пустою, а опорний розв'язок ще не знайдено. Це означає, що СП має такі параметри, що забезпечити встановлену вимогу по реактивній потужності неможливо. В такому випадку необхідно включити всі секції СП.

Обчислення, які виконуються на кроці 3 можна проводити за рекурентними співвідношеннями Р. Беллмана методу динамічного програмування, але зміст деяких компонент стає іншим:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 = \min_{\text{повсім } a_{1i}, b_{1i}} \left\{ \left| \left(\text{Re} \dot{I}_2(x_1^{СП}) + a_{1i} \right) + j \left(\text{Im} \dot{I}_2(x_1^{СП}) + b_{1i} \right) \right| \right\} = \\ \quad = \left| \left(\text{Re} \dot{I}_2(x_1^{СП}) + a_{\lambda}^{(1)} \right) + j \left(\text{Im} \dot{I}_2(x_1^{СП}) + b_{\lambda}^{(1)} \right) \right| = |\dot{f}_1| \\ \quad \dots\dots\dots \\ f_k = \min_{\text{повсім } a_{ki}, b_{ki}} \left\{ \left| \left(\text{Re} \dot{I}_{(k-1)} + a_{ki} \right) + j \left(\text{Im} \dot{I}_{(k-1)} + b_{ki} \right) \right| \right\} = \\ \quad = \left| \left(\text{Re} \dot{I}_{(k-1)} + a_{\lambda}^{(k)} \right) + j \left(\text{Im} \dot{I}_{(k-1)} + b_{\lambda}^{(k)} \right) \right| = |\dot{f}_k|, \quad k=2,3,\dots,\tau, \end{array} \right. \quad (3.6)$$

де f_k – оцінка стану системи по результатах k -го етапу, $k = 1, 2, \dots, \tau$;

a_{ki}, b_{ki} – елементи множини B ;

$a_{\lambda}^{(k)}, b_{\lambda}^{(k)}$ – дійсна і уявна частини вектора струму зворотної послідовності з числа тих, які можуть генеруватися ступенями СП, і реалізація якого найбільш ефективна на k -ому етапі вирішення задачі, $a_{\lambda}^{(k)}, b_{\lambda}^{(k)} \in B$.

3.5 Розрахунок вектора керування КУ для одного із часових перетинів в системі електропостачання Калинівського молокозаводу

Вихідними даними для розрахунку є такі параметри режиму в лінії 0,4кВ, до якої під'єднані збірні шини трансформаторної підстанції:

$$I_A = 127,8 \text{ A}; \cos\varphi_A = 0,756;$$

$$I_B = 146,7 \text{ A}; \cos\varphi_B = 0,578;$$

$$I_C = 189,3 \text{ A}; \cos\varphi_C = 0,845.$$

До збірних шин приєднано кероване КУ, рис 2.4, з такими параметрами секцій по напругах трифазної системи, табл. 3.1.

Даний режим характеризується споживанням реактивної потужності, $Q' = 66,89$ квар, і струмами в координатах симетричних складових:

– струм прямої послідовності, $\dot{I}_1 = 150e^{-j45^\circ} \text{ A};$

– струм зворотної послідовності, $\dot{I}_2 = 18e^{-j75^\circ} \text{ A};$

– струм нульової послідовності, $\dot{I}_0 = 42e^{-j109,5^\circ} \text{ A}.$

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики КУ

Параметри секцій, які під'єднуються до напруги U_{AB}		Параметри секцій, які під'єднуються до напруги U_{BC}		Параметри секцій, які під'єднуються до напруги U_{CA}	
№ секції, i	ΔQ_i , квар	№ секції, i	ΔQ_i , квар	№ секції, i	ΔQ_i , квар
1	5	6	5	11	5
2	5	7	5	12	5

3	5	8	5	13	5
4	5	9	5	14	5
5	5	10	5	15	5

Знайдемо вектор керування для КУ, який забезпечує мінімальне значення струму зворотної послідовності в лінії живлення та обов'язкову компенсацію реактивних навантажень 65 квар. (Задача впливу на струм нульової послідовності не ставиться тому, що даний пристрій вплив на цей параметр режиму не здійснює).

I Розрахунок вектора \mathbf{X}_1^{KY} .

Математична модель (3.2) в числовому вигляді для умов даного прикладу може бути записаною:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \begin{array}{l} 4,66 + (-6,58 \ -6,58 \ -6,58 \ -6,58 \ -6,58 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \\ 6,58 \ 6,58 \ 6,58 \ 6,58 \ 6,58 \end{array} \right) \mathbf{X}_1^{KY} + j[-17,39 + (3,92 \ 3,92 \ 3,92 \\ 3,92 \ 3,92 \ -7,83 \ -7,83 \ -7,83 \ -7,83 \ -7,83 \ 3,92 \ 3,92 \ 3,92 \\ 3,92 \ 3,92) \mathbf{X}_1^{KY}] \right| \rightarrow \min \\ 66,89 - (5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5) \mathbf{X}_1^{KY} \geq 0 \\ \mathbf{X}_1^{KY} + \bar{\mathbf{X}}_1^{KY} = \mathbf{n} \\ x_i; \bar{x}_i \in \{1, 0\}, \end{array} \right.$$

$$\text{де } (\mathbf{X}_1^{KY})^T = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7 \ x_8 \ x_9 \ x_{10} \ x_{11} \ x_{12} \ x_{13} \ x_{14} \ x_{15});$$

$$(\bar{\mathbf{X}}_1^{KY})^T = (\bar{x}_1 \ \bar{x}_2 \ \bar{x}_3 \ \bar{x}_4 \ \bar{x}_5 \ \bar{x}_6 \ \bar{x}_7 \ \bar{x}_8 \ \bar{x}_9 \ \bar{x}_{10} \ \bar{x}_{11} \ \bar{x}_{12} \ \bar{x}_{13} \ \bar{x}_{14} \ \bar{x}_{15});$$

\mathbf{n} - одинична матриця вимірністю (15×1) .

Ітерація 1

Всі елементи вектора \mathbf{X}_1^{KY} прирівнюємо до нуля:

$$\left(\mathbf{X}_1^{KY}\right)_0^T = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0),$$

де нижній індекс (за дужками) позначає номер ітерації, за якою знайдено вектор керування; 0 – відповідає вихідному значенню вектора.

Подальші розрахунки проведемо за алгоритмом, [3].

1. Відберемо секції СП, ввімкнення яких допустимо відповідно до технічного обмеження на реактивну потужність, та сформуємо множини M_1 :

$$M_1 = \{5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5 \ 5\}.$$

2. Оскільки множина M_1 не порожня, то розрахуємо множину струмів зворотної послідовності в лінії живлення, що будуть мати місце за умови ввімкнення кожної із секцій КУ, які є елементами масиву M_1 :

$$N_1 = \left\{ \begin{array}{cccccc} 13,6 e^{-j98,12} & 13,6 e^{-j98,12} & 13,6 e^{-j98,12} & 13,6 e^{-j98,12} & 13,6 e^{-j98,12} & \\ 25,65 e^{-j79,53} & 25,65 e^{-j79,53} & 25,65 e^{-j79,53} & 25,65 e^{-j79,53} & 25,65 e^{-j79,53} & \\ 17,54 e^{-j50,15} & 17,54 e^{-j50,15} & 17,54 e^{-j50,15} & 17,54 e^{-j50,15} & 17,54 e^{-j50,15} & \end{array} \right\}.$$

3. Знайдемо $I_{2v \min}$:

$$I_{2v \min} = \min\{13,6 \ 13,6 \ 13,6 \ 13,6 \ 13,6 \ 25,65 \ 25,65 \ 25,65 \ 25,65 \ 25,65 \ 17,54 \ 17,54 \ 17,54 \ 17,54 \ 17,54 \ 17,54\} = 13,6 \text{ А}.$$

4. Приймаємо рішення про ввімкнення секції $i = 1$.

5. Елемент $i = 1$ вектора керування $\left(\mathbf{X}_1^{KY}\right)_0$ прирівнюємо до одиниці і отримаємо вектор керування за результатами першої ітерації:

$$\left(\mathbf{X}_1^{KY}\right)_1^T = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0).$$

Результати розрахунків із визначення вектора керування $\mathbf{X}_1^{КУ}$ за ітераціями наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати, отримані за окремими ітераціями

Ітерація	Вектор керування $\mathbf{X}_1^{КУ}$	Струм I_2 в лінії живлення, А	Реактивна потужність, що споживається, квар
Вихідний режим	$(\mathbf{X}_1^{КУ})_0^T = (0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0)$,	18,0	66,89
1	$(\mathbf{X}_1^{КУ})_1^T = (1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0)$	13,6	61,89
2	$(\mathbf{X}_1^{КУ})_2^T = (1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0)$	10,62	56,89
3	$(\mathbf{X}_1^{КУ})_3^T = (1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0)$	5,94	51,89
4	$(\mathbf{X}_1^{КУ})_4^T = (1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0)$	4,96	46,89
5	$(\mathbf{X}_1^{КУ})_5^T = (1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0)$	2,92	41,89

Отримані результати свідчать, що для умов наведеного прикладу, маючи КУ зазначених параметрів, можна досягти ефективного симетрування струмів (за умови відсутності вимог до реактивної потужності КУ).

Оскільки результати розрахунку $\mathbf{X}_1^{КУ}$ не забезпечують необхідних умов з компенсації реактивних навантажень, яка є пріоритетною задачею, у відповідності до алгоритму, рис. 2.6, виконаємо розрахунок $\mathbf{X}_2^{КУ}$.

II Розрахунок $\mathbf{X}_2^{КУ}$

.

За результатами розрахунку $\mathbf{X}_1^{КУ}$ залишаються незадіяними два симетричних елемента КУ, ввімкнення яких не позначиться на досягнутому

ефекті із симетрування режиму. Перший симетричний елемент утворюють секції № 4; №9 та №14, а другий – № 5; №10 та №15.

Математична модель для прийняття технічного рішення щодо ввімкнення симетричних елементів (аналіз якої дозволить визначити вектор $\mathbf{X}_2^{\text{КУ}}$) в числовому вигляді може бути записаною:

$$\begin{cases} 41,89 - 3(5 \ 5)\mathbf{Y} \rightarrow \min \\ \mathbf{Y} + \bar{\mathbf{Y}} = \mathbf{n} \\ 41,89 - 3(5 \ 5)\mathbf{Y} \geq 0 \\ y_i; \bar{y}_i \in \{1, 0\}, \end{cases}$$

де $\mathbf{Y}^T = (y_1 \ y_2)$ - вектор керування симетричними елементами КУ;

\mathbf{n} – одинична матриця вимірністю (2×1) .

Розв'язком задачі є вектор $\mathbf{Y}^T = (1 \ 1)$, реалізація якого забезпечить реактивну потужність споживання 11,89 квар.

Вектор керування \mathbf{Y} знаходиться у певній відповідності з вектором $\mathbf{X}_2^{\text{КУ}}$, скориставшись якою можна вказати на значення вектора $\mathbf{X}_2^{\text{КУ}}$:

$$\left(\mathbf{X}_2^{\text{КУ}}\right)^T = (0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1)$$

Використання симетричних елементів КУ не дозволяє забезпечити вимогу із компенсації реактивних навантажень.

III Розрахунок $\mathbf{X}_3^{\text{КУ}}$.

Для запису математичної моделі (3.5) в числовому вигляді знайдемо $\mathbf{X}_1^{\text{КУ}} + \mathbf{X}_2^{\text{КУ}}$,

$$\left(\mathbf{X}_1^{\text{КУ}} + \mathbf{X}_2^{\text{КУ}}\right)^T = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1),$$

та сформуємо за алгоритмом вектор \mathbf{Z} :

$$\mathbf{Z}^T = (z_6 \ z_7 \ z_8 \ z_{13}).$$

Математична модель (3.5) в числовому вигляді запишеться:

$$\left\{ \begin{array}{l} |-1,92 + (0 \ 0 \ 0 \ 6,58)\mathbf{Z} + j[2,21 + (-7,83 \ -7,83 \ -7,83 \ 9,92)\mathbf{Z}] \rightarrow \min \\ (5 \ 5 \ 5 \ 5)\mathbf{Z} \geq 65 - 55 \\ \mathbf{Z} + \bar{\mathbf{Z}} = \mathbf{n} \\ z_i; \bar{z}_i \in \{1, 0\}. \end{array} \right.$$

Прирівняємо всі елементи \mathbf{X}_3^{KY} до нуля.

Ітерація 1

1. Розрахуємо елементи масиву $U = \{5,93 \ 5,93 \ 5,93 \ 7,7\}$.

2. Знайдемо:

$$\min\{5,93 \ 5,93 \ 5,93 \ 7,7\} = 5,93.$$

Елемент z_6 прирівняємо до одиниці і за результатами першої ітерації отримуємо:

$$\mathbf{Z}_1^T = (1 \ 0 \ 0 \ 0).$$

3. За алгоритмом, сформуємо вектор \mathbf{X}_3^{KY} за результатами першої ітерації:

$$\left(\mathbf{X}_3^{\text{KY}}\right)_1^T = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0).$$

Реалізація вектора $\left(\mathbf{X}_3^{KY}\right)_1$ одночасно із \mathbf{X}_1^{KY} та \mathbf{X}_2^{KY} забезпечує компенсацію 60 квар реактивних навантажень. Реактивна потужність, що буде споживатись по лінії живлення становить 6,89 квар. Струм зворотної послідовності зростає і становить 5,93А.

Вектор керування, який забезпечує необхідну степінь компенсації реактивної потужності при мінімальному (за цієї умови) струмі зворотної послідовності в лінії живлення, становить:

$$\mathbf{X}^{KY} = \mathbf{X}_1^{KY} + \mathbf{X}_2^{KY} + \mathbf{X}_3^{KY} = (1111111001111111)$$

Остаточне та проміжні значення для вектора \mathbf{X}_3^{KY} , отримані на окремих ітераціях, подані в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку \mathbf{X}_3^{KY} , отримані за окремими ітераціями

Ітерація	Вектор керування \mathbf{X}_3^{KY}	Струм I_2 в лінії живлення, А	Реактивна потужність, що споживається, квар
Вихідний режим	$\left(\mathbf{X}_3^{KY}\right)_0^T = (0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0)$	2,92	11,89
1	$\left(\mathbf{X}_3^{KY}\right)_1^T = (0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0)$	5,93	6,89
2	$\left(\mathbf{X}_3^{KY}\right)_2^T = (0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0)$	4,96	1,89

Для порівняння в табл. 3.4 наведені результати, отримані для умов розглянутого прикладу за відомим підходом до вирішення даної задачі [9].

Таблиця 3.4 – Варіанти керування режимом за розробленим і відомим підходами та результати їх реалізації

Метод розрахунку	Вектор керування $X^{КУ}$	Струм I_2 в лінії живлення, А	Реактивна потужність, що компенсується, квар
Розроблений	(1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1)	4,96	65
Відомий	(1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0)	25,64	65

3.6 Висновки до розділу 3

1. Потужності несиметричної КУ можуть пріоритетно використовуватись як для симетрування електричного режиму, так і для компенсації реактивних навантажень. Розв'язки таких задач можуть бути суперечливими: мінімальне значення для показників, які оцінюють несиметрію режиму, не завжди забезпечують оптимальну степінь компенсації реактивної потужності.

2. У випадку пріоритетного використання потужності КУ для компенсації реактивних навантажень вектор керування можна розрахувати як такий, що має три складові. Перша складова $X_1^{КУ}$ забезпечує оптимальне симетрування електричного режиму, друга $X_2^{КУ}$ передбачає використання симетричних елементів КУ для компенсації реактивної потужності, третя забезпечує вимогу з компенсації реактивних навантажень, але при цьому має місце відхід від оптимуму, досягнутого при визначенні $X_1^{КУ}$. В часткових випадках вирішення задачі може обмежуватись як розрахунком $X_1^{КУ}$, так і $X_1^{КУ}$ та $X_2^{КУ}$.

3. Вектор $X_3^{КУ}$ можна знаходити використавши розроблені математичні моделі, а їх аналіз виконувати обчислювальним методом, який розроблений для даної задачі.

4. Розрахунок, проведений для одного із реальних режимів на трансформаторній підстанції Калинівського молокозаводу, підтвердив ефективність запропонованого підходу до визначення вектора керування та працездатність розробленого обчислювального методу.

РОЗДІЛ 4.

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ВИПУСКНОЇ РОБОТИ

4.1 Особливість економічного характеру, притаманна задачі, яка вирішена в роботі

Практична реалізація будь-якої наукової роботи потребує її економічного обґрунтування, яке полягає в тому, що проводиться порівняння капітальних затрат на реалізацію деякого проекту і економічної вигоди від отриманих результатів.

Характерною особливістю даної роботи є те, що для своєї реалізації вона потребує мінімум капітальних вкладень, якими іноді можна навіть і знехтувати. Адже, використовується вже діюче обладнання. У випадку вирішеної в роботі технічної задачі це КУ, пристрої їх захисту та системи керування. Для реалізації потрібно лише щоб керуючі рішення приймалися за іншими алгоритмами, що можливо у разі перепрограмування мікропроцесорної системи.

Виконану наукову розробку доцільно впроваджувати незалежно від суми економічного ефекту, оскільки її реалізація не потребує суттєвих капітальних вкладень.

4.2 Збитки, зумовлені несиметрією електричного режиму, як критерій ефективності

Природа задачі, що вирішувалась, така, що може існувати декілька варіантів її розв'язування. Такі задачі в математиці відносяться до оптимізаційних і вирішувати їх можна лише за умови наявності кількісного критерія ефективності. Оскільки несиметричні режими супроводжуються появою збитків і технічні засоби, що впливають на несиметрію, зменшують значення її параметрів, то за критерій можна прийняти збитки. Природа збитків зумовлених

несиметрією режиму та можливості їх кількісного оцінювання вивчались багатьма науковими установами [1, 7].

Збитки від несиметрії режиму складаються з ряду складових, кожна з яких знаходиться в квадратичної або лінійній і квадратичній залежності від коефіцієнту несиметрії напруг.

$$Y_{\Sigma} = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 \quad (4.1)$$

де Y_1 - збиток від додаткових втрат електроенергії,

$$Y_1 = \sum_{i=1}^c y_{1i}(\alpha_{uj}^2);$$

Y_2 - збитки, пов'язані з відносним збільшенням відрахувань на реновацію,

$$Y_2 = \sum_{i=1}^c y_{2i}(\alpha_{uj}^2);$$

Y_3 - технічний збиток, якщо Y_3 викликаний, наприклад, зменшенням корисного моменту асинхронних двигунів, то $Y_3 = \sum_{i=1}^c y_{3i}(\alpha_{uj}^2)$, а в ряді випадків

$Y_3 = (\alpha_{uj}^2)$ неформалізованим.

Y_4 - збиток, обумовлений зниженням світлового потоку ламп, встановлених у фазах з пониженою напругою і скороченням терміну служби ламп, встановлених у фазах з підвищеною напругою $Y_4 = \sum_{i=1}^c y_{4i}(\alpha_{uj}^2, \alpha_{uj})$;

Y_5 - збиток, обумовлений недовиробітком реактивної потужності батареями конденсаторів і синхронними електродвигунами $Y_5 = \sum_{i=1}^c y_{5i}(\alpha_{uj}^2, \alpha_{uj})$;

α_{uj} - коефіцієнт несиметрії напруг в вузлі підключення відповідного електрообладнання/

Таким чином, збитки від несиметрії режиму хоча і відображають мету симетрування режиму але є складною функцією керованих змінних з таких причин:

- для системи електропостачання промислового підприємства характерно велика кількість одиниць електрообладнання, що становить складність в оцінці збитків;
- значення α_{ij} в різних вузлах електричної мережі різні і змінюються в часі;
- в процесі експлуатація конфігурація електричної мережі та її параметрів постійно змінюється, що приводить до зміни співвідношення між α_{ij} ;
- для деяких елементів навіть відсутні аналітичні залежності, що встановлюють співвідношення між технологічними збитками та несиметрією режиму

Критерій має бути простим, вимірюваним і дозволяти оцінювати вплив різноманітних явищ на ефективність системи. Тому зручніше в якості критерія прийняти один із параметрів режиму зворотної послідовності, який функціонально пов'язаний із збитками. Такі функціональні залежності встановлені багатьма дослідниками і наведені в технічній літературі [7]. Коефіцієнт несиметрії напруги, модуль напруги U_{II} і струму I_{II} зворотної послідовності зв'язані наступними лінійними співвідношеннями:

$$\alpha_u = \frac{U_{II}}{U_n} = \frac{I_{II} Z_{II}}{U_n}, \quad (4.2)$$

де Z_{II} - опір для струмів зворотної послідовності.

При будь-якому рівні несиметрії струм I_{II} має більші значення, ніж U_{II} , і тому може бути більш точно розрахованим по замірах фазних величин I якщо в результаті деякого впливу $I_{II} = 0$, то і $U = 0$, а якщо ніяких впливів на

здійснюється, то і збитки залишаються незмінними. На підставі цього цільовою функцією математичних моделей (3.2) та (3.4) вибрані струми зворотної послідовності

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В цехах ТОВ «Калинівський молокозавод» передбачається створення належного температурного режиму, який забезпечує необхідні санітарно-гігієнічні норми праці при переробці і зберіганні сировини продовольчих товарів. Усі металеві неструмоведучі частини (корпуса електродвигунів, шаф, світильників, тощо), які можуть опинитися під напругою у наслідок пошкодження ізоляції, заземлюються шляхом приєднання до нульового захисного проводу живлячої мережі.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на електромонтерів, що обслуговують технологічне обладнання [15]:

1. фізичні:

- підвищена чи понижена температура повітря робочої зони;
 - рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
 - підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
 - недостатнє освітлення робочої зони;
 - недостатність природного освітлення;
 - небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якої може відбутися через тіло людини;
 - підвищений рівень шуму на робочому місці;
 - підвищений рівень вібрації;
 - підвищена вологість повітря;
2. психофізіологічні небезпечних та шкідливих виробничих фактори:
- фізичні перевантаження (динамічні);
 - нервово - психічні перевантаження (монотонність праці).

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості.

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин електродвигуна або до обертових частин електродвигуна, який приводить в рух механізм, необхідно зупинити електродвигун та на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

При роботах за межами КРУ на відхідних ПЛ або КЛ на підключеному до них обладнанні візок з вимикачем необхідно викотити з шафи; верхню заслінку або дверці закрити на замок та вивісити плакати "НЕ ВМИКАТИ!" або "НЕ ВМИКАТИ! РОБОТА НА ЛІНІЇ". Якщо дозволяє конструктивне виконання апаратів та характер роботи, перераховані вище міри можуть бути замінені розшиновкою або від'єднанням кінців кабелю проводів від комутаційного апарату або обладнання, на якому повинна проводитись робота.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності такого фактору, як можливість одночасного дотику обслуговуючого персоналу з металевими корпусами електрообладнання та механізмами, які мають зв'язок з «землею», приміщення можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з

обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

- використовувати електрозахисні засоби індивідуального захисту.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [15] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 - Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [15].

При експлуатації обладнання елеватора можливим забруднювачами повітря може бути зерновий пил, його ГДК відповідно до [15] наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери в робочій зоні шокової дробарки

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил	4	4	4

Для забезпечення окладу повітря робочої зони необхідне постійне провітрювання робочих місць, встановлення пиловловлюючих засобів.

5.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення.

Характеристика зорової роботи - роботи середньої точності;

Розряд - IV;

Підрозряд зорової роботи - г;

Бокове КЕО, %: природне 1,5; суміщене 0,9.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Нормоване значення КПО для даного виробничого приміщення розраховуємо за формулою[17]:

$$eN = e_n \cdot mN, mN - \text{коефіцієнт світлового клімату, } mN = 0,9.$$

$$eN = 1,5 \cdot 0,9 = 1,4\%.$$

Штучне освітлення: загальне - 150лк, комбіноване – 300 лк.

5.2.4 Виробничий шум

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки». Допустимі рівні звукового тиску наведені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах середньгеометричними частотами, ц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

5.2.5 Виробнича вібрація

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань. Основні параметри вібрації: середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 5.4 - Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		м·с ⁻²	ДБ	м·с ⁻² ·10 ⁻²	ДБ
Загальна	Zo, Yo, Xo	0,1	100	0,2	92

5.3 Пожежна безпека

Приміщення ТОВ «Вінницямлин», система електропостачання якого

проектується, відносять до категорії В з вибухонебезпечними зонами класу 22 – простір, в якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з'являтися нечасто і існувати недовго (у разі аварії). Відповідно, будівля елеватора відповідає III ступеню вогнестійкості.

До III ступенем вогнестійкості відносяться будівлі з штучними та захисними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриття допускається застосування дерев'яних інструкцій, захищених штукатуркою або важкогорючими листовими, а також нитковими матеріалами. До елементів покриття висуваються вимога по межах вогнестійкості та межах розповсюдження полум'я; при цьому елементи укриття з деревини піддаються вогнезахисній обробці. Межі вогнестійкості зведені у таблицю 5.5. У чисельнику – межа вогнестійкості будівельних конструкцій; у знаменнику – межі розповсюдження полум'я по них.

Таблиця 5.5 - Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні межі розповсюдження полум'я по них

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Сходові площадки, балки, косоури, марші сходових кліток	Плити, настили (з утеплювачем), несучі конструкції перекриття	Елементи перекриття	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі (перегородки)				Плити, настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами
III	/0	5/0	0,2/40	0,2/40	0,25/	1/0	0,25/0	0,25/25	0,25/0

Допустима кількість поверхів – 1, його площа у межах протипожежного відсіку будівлі – 5200 відповідно до ступеня вогнестійкості III. Мінімальні відстані між будівлями і спорудами відповідно до III ступеня вогнестійкості становлять 12 м.

Елеватор обладнаний системою протипожежної сигналізації і спеціальним

водогоном. Площа цеху становить 942 м², необхідно встановити біля входу 1 пожежний щит (стенд). До комплексу засобів пожежогашіння, які розміщені на ньому, включенні: вогнегасники ВП-5 – 3 шт., ящик з піском - 1 шт., покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу або повсті розміром 2м x 2м - 1 шт., гаки – 3 шт., лопати – 2 шт., ломи – 2 шт., сокири – 2 шт. Ящик для піску повинен має місткість 3.0 м³ та укомплектований совковою лопатою. Конструкція ящика повинна забезпечувати зручність діставання піску та виключати попадання опадів.

5.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи електропостачання в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Всі системи електропостачання є досить вразливими до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних ситуаціях. Перебої в енергопостачанні підприємств можуть спричинити низку негативних факторів у економіці і життєзабезпеченні населення, тому важливим питанням є забезпечення високої стійкості роботи його СЕП.

Дія радіації на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання є електронне обладнання систем управління СЕП. Серед елементів є напівпровідники, блок живлення, блок керування та силові елементи, транзистори, діоди. Через впливи на ізоляцію в трансформаторах можливі замикання обмоток, а відповідно і загорання трансформаторів.

В результаті опромінення системи в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понизиться напруга пробною і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність.

Серед загрозливих чинників надзвичайних ситуацій особливо великий вплив на СЕП має вплив електромагнітного імпульсу. Він може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, зокрема транзисторів КТ-646, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Ці наслідки в подальшому призводять до пожеж на підприємстві, а в подальшому розвитку можливі і вибухи. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання.

5.5 Дослідження стійкості роботи СЕП в умовах дії іонізуючих випромінювань

Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{грi}$, для елементної бази системи, при яких виникають незворотні зміни [15]. Отримані дані заносимо в таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Граничні значення експозиційних доз СЕП

№	Блоки (елементи)	Елементна база СЕП	$D_{грi}, P$	$D_{гр}, P$
1	Блок живлення	Мікросхема К 155 РЕЗ	10^5	10^4
2	Блок керування СВП-4	Транзистори КТ-646	10^4	
		Діоди Д220А	10^4	
		Конденсатори СП5-30	10^7	
		Резистори ПЭВ 100-150 Ом	10^7	
3	Силові елементи	Трансформатор ТМ-100/6	10^7	
		Тиристори Т171-320-1.6	10^5	
		Дросель РLM3216	10^5	
		Реактори ФРОС-125/0.5УЗ	10^5	

Проаналізувавши дані таблиці 5.8 визначили, що самим уразливим елементом системи з мінімальною дозою $D_{грi} = 10^4 P$ є транзистори та діоди а

також елементи блоку живлення. Блок живлення в разі дії на нього іонізуючих випромінювань можна перенести в підвальне приміщення, що збільшить його стійкість. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_M = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{\Pi}})}{K_{\text{осл}}}, \quad (5.1)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 4,37$ Р/год);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 131400$ год (5 років));

t_{Π} – час початку опромінення ($t_{\Pi} = 1$ год).

$K_{\text{осл}}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{\text{осл}} = 1$).

$$D_M = \frac{2 \cdot 4,37 (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{1} = 3159,43 \text{ (Р)}.$$

Оскільки $D_{\text{гр}} > D_M$, то дана система електропостачання стійка до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (5.2)$$

$$t_d = \left(\frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 4,37 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,37} \right)^2 = 1311402,1 \text{ (год)}.$$

Отже, можливо доза опромінення елементної бази $D_M = 3159,43$ Р, а допустима – 10^4 Р. Отже, система автоматики СЕП є стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи в заданих умовах становить 1311402,1 год., при рівні радіації 4,37 Р/год.

5.6 Дослідження стійкості роботи СЕП в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_r = E_b \cdot 10^{-3}, \text{ кВ/м},$$

$$E_r = 10,83 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 10,83 \text{ (В/м)}.$$

Визначаємо горизонтальну та вертикальну напругу наводки [15].

$$U_{ri} = E_B \cdot I_{ri}, \text{ В,}$$

$$U_{ri} = 10,83 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 5415 \text{ (В).}$$

$$U_{vi} = E_r \cdot I_B, \text{ В,}$$

$$U_{vi} = 10,83 \cdot 0,5 = 5,415 \text{ (В).}$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_d = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N, \quad (5.3)$$

де N – відсоток допуску.

$$U_d = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ (В),}$$

$$U_d = 24 + \frac{24}{100} \cdot 5 = 25,2 \text{ (В),}$$

$$U_{\ddot{a}} = 380 + \frac{380}{100} \cdot 5 = 399 \text{ (В).}$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кожної ділянки:

$$K_{\sigma} = 20 \cdot \lg \frac{U_d}{U_{r(v)}} \geq 40 \text{ [дБ],}$$

Горизонтальної:

$$K_{\sigma_{r1}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{5415} = -32,77 \text{ (дБ),}$$

$$K_{\sigma_{r2}} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{5415} = -46,56 \text{ (дБ),}$$

$$K_{\sigma_{r3}} = 20 \cdot \lg \frac{399}{5415} = -22,62 \text{ (дБ).}$$

Вертикальної:

$$K_{\sigma_{v1}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{5,415} = 7,35 \text{ (дБ),}$$

$$K_{\sigma_{v2}} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{5,415} = 13,35 \text{ (дБ),}$$

$$Kб_{вз} = 20 \cdot \lg \frac{399}{5,415} = 37,35 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7 – Значення коефіцієнтів безпеки блоків СЕП

№	Найменування блоків	$Kб_{Г}$, дБ	$Kб_{В}$, дБ	Результат дії
1	Блок живлення, 12 В	-32,77	7,35	Нестійкий
2	Блок управління, 24 В	-46,56	13,35	Нестійкий
3	Силові елементи, 380 В	-22,62	37,35	Нестійкі

Границя стійкості системи керування $Kб_{\min} = -46,56$ дБ, а $Kб_{\text{гр}} = 37,35$.

Отже, система є нестійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості необхідно використовувати екранування напівпровідникових елементів та горизонтальних струмопровідних елементів.

Перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі:

$$A = 40 + Kб_{\min}, \quad (5.4)$$

Для БЖ:

$$A_1 = 40 + 32,77 = 72,77 \text{ (дБ)};$$

Для БУ:

$$A_2 = 40 + 46,56 = 86,56 \text{ (дБ)};$$

Для СЕ:

$$A_3 = 40 + 22,62 = 62,62 \text{ (дБ)}.$$

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.5)$$

де f - найбільш характерна частота, ($f = 15$ кГц).

Для БЖ:

$$t_1 = \frac{72,77}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,11 \text{ (см)};$$

Для БУ:

$$t_2 = \frac{86,56}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,13 \text{ (см);}$$

Для СЕ:

$$t_3 = \frac{62,62}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,099 \text{ (см).}$$

Отже, при екрануванні блоку живлення та блоку керування з використанням екрану товщиною 0,13 см зі сталі, система керування буде стійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу, при екрануванні силових елементів з використанням екрану товщиною 0,099 см, силові елементи будуть стійкими в умовах дії електромагнітного імпульсу.

5.7 Висновки до розділу 5

1. В даній частині дипломної роботи був проведений аналіз безпеки життєдіяльності на підприємстві, проаналізовані небезпечні та шкідливі фактори, які впливають на робочий персонал цеху. Встановленні технічні рішення що до безпечної експлуатації об'єкта, системи запобігання пожежі, гігієни праці та виробничої санітарії.

2. В умовах дії іонізуючого випромінювання система електропостачання залишається стійкою. Тому іонізуюче випромінювання для обладнання не є таким небезпечним, як для обслуговуючого персоналу. Для нормальної роботи об'єкта під час аварій з такими наслідками, як іонізуюче випромінювання, потрібно розраховувати робочі зміни для обслуговуючого персоналу з врахуванням їх допустимої дози опромінення.

3. Проведеними розрахунками визначено, що робота системи автоматики стійка при заданому рівні радіації 4,37 Р/год. До дії ЕМІ система управління і автоматики СЕП виявилась нестійкою. Застосування екранування систем управління і автоматики СЕП суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

4. В результаті застосування екранів система буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 10,83 кВ/м. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії ЕМІ є зменшення струмопровідних провідників (їх довжини) шляхом вдосконалення схемокомпоновки елементів управління та автоматики СЕП. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення, а також застосувати прилади, які б вимикали електронні схеми на період впливу ЕМІ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. В системі електропостачання Калинівського молокозаводу для компенсації реактивної потужності використовуються конденсаторні установки, ефективність яких може бути підвищеною якщо використовувати їх і для симетрування електричного режиму (при збереженні ефекту з компенсації реактивної потужності).

2. В умовах несиметрії електричного режиму, що є характерним для Калинівського молокозаводу, вектор керування несиметричною КУ може бути розрахованим як такий, що має три складові: перша – визначається із умови оптимального впливу на несиметрію режиму; друга – забезпечує використання, в разі необхідності, симетричні елементи КУ; третя – коректує оптимальний розв'язок по симетруванню режиму, що здійснюється з метою забезпечення вимог до компенсації реактивної потужності. Такий підхід дає можливість забезпечити максимальне симетрування електричного режиму за умови незмінного ефекту з компенсації реактивної потужності.

3. Розрахунок, проведений для одного із реальних режимів на трансформаторній підстанції Калинівського молокозаводу, підтвердив ефективність запропонованого підходу до визначення вектора керування та працездатність розробленого обчислювального методу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузнецов В.Г., Григорьев А.С., Данилюк В.Б. Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях. – К.: Наукова думка, 1992. – 240 с.
2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Взамен ГОСТ 13109-87; Введ. 01.01.00. – К.: Госстандарт Украины, 1999. – 31 с.
3. Терешкевич Л.Б. Оптимізація режимів електроспоживання. Навчальний посібник. Вінниця, ВНТУ, 2020 – 112.
4. Шидловский А.К., Музыченко О.Д. Симетруючі пристрої. К.: Техніка, 1970. – 164с.
5. Кузнецов В.Г., Москаленко Г.А., Григорьев А.С. Комплексное использование конденсаторов в электрических сетях с однофазными нагрузками // Проблемы технической электродинамики. – 1978. – Вып. 68, – С. 10-13.
6. Аввакумов В.Г. Симметрирование и компенсация реактивной мощности несимметричных промышленных нагрузок // Промышленная энергетика.– 1967.– №7. – С. 1 - 5.
7. Жежеленко И.В., Рабинович М.Л., Боженко В.М. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – К.: Техніка, 1981. – 160 с.
8. Кузнецов В.Г., Григорьев А.С., Лысенко А.Г., Кошашвили В.Г., Штейнберг Э.А. Симметрирование и компенсация реактивной мощности в промышленных системах электроснабжения с групповыми несимметричными нагрузками // Промышленная энергетика. – 1986. – №7. – С. 43–45.
9. Терешкевич Л.Б. АСУ в електроспоживанні. Навчальний посібник. Вінниця, ВНТУ, 2016. – 129 с.

10. Винославский В.Н., Терешкевич Л.Б. Управление несимметричным режимом сети на основе принципов системного подхода // Известия вузов СССР. Электромеханика. – 1983. – №12. – С. 18–20.
11. Pirog S. : Kompensacia mocy bierneyj i symetryzacja cheiazeia odbioznikow tzojfazowych. Zeszyty Naukowe Akademia Gorniczo-Hutnicza im. Stanislawia Staszica, №784, pp. 97–114, 1980.
12. Кузнецов В.Г. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях с несимметричными нагрузками // Электричество. – 1983. – №2. – С. 64–67.
13. Аввакумов В.Г. Постановка и решение электроэнергетических задач исследования операций. – К.: Вища школа, 1983. – 224 с.
14. Рогальський Б.С., Демов А.Д., Иванков В.О., Дмитраш А.В., Непейвода В.М. Управление мощностью конденсаторных батарей для потребителя с несимметричными нагрузками // Известия вузов СССР. Электромеханика. – 1989. – №7. – С. 99–102.
15. Аввакумов В.Г. Методы нескалярной оптимизации и их приложения. – К.: Вища школа, 1990. – 188 с.
16. Аввакумов В.Г. Решение задачи с нескалярным целевым функционалом при расчете электроэнергетических систем // Электричество. – 1982. – №9. – С. 5-10.

ДОДАТКИ

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

“ ___ ” _____ 2020 р.ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри ЕСЕЕМд.т.н., проф. Бурбело М.Й. _____
“ ___ ” _____ 2020 р.**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

Підвищення ефективності конденсаторних установок в системі
електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Калинівський
молокозавод»
08-17.МКР.004.03.100 ТЗ

Науковий керівник:

проф. Терешкевич Л.Б. _____
(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕМ-19м

Корчинський Б.Р. _____
(підпис)

Вінниця 2020 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № 76 від 06.03.2020 р.

Дата початку роботи 25 вересня 2020 р.

Дата закінчення роботи 10 грудня 2020 р.

2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

а) *мета* – розробка методу підвищення ефективності конденсаторних установок шляхом одночасного використання їх потужностей для симетрування електричного режиму, який на відміну від існуючих дозволить забезпечити вимоги з компенсації реактивної потужності при максимально можливому симетруванні електричного режиму.

б) *призначення розробки* – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) *вихідні дані для виконання МКР*: результати експериментальних досліджень в системі електропостачання ТОВ «Калинівський молокозавод», відомості про електричні навантаження підприємства, однолінійна схема системи електропостачання, інформація про встановлене електрообладнання, основні техніко-економічні показники.

3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студентами спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад. Л. Б. Терешкевич, О. Д. Демов, Ю. А. Шулле. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 28 с.

3.2 Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - X .: Міненерговугілля України, 2014.

3.3. М.Й. Бурбело «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків».- Вінниця: ВНТУ, 2005р.

3.4. Демов О. Д. «Економія електроенергії на промислових підприємствах». – Вінниця: ВНТУ, 2006р.

4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Відомості про підприємство та характеристики електроприймачів.	10.10.2020
2	Робота конденсаторних установок при несиметрії напруги	25.10.2020
3	Математичні моделі оперативного управління КУ	15.11.2020
4	Економічна частина роботи	20.11.2020
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.11.2020
6	Написання пояснювальної записки	10.12.2020

5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ДЕК.

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ Не передбачається

Додаток Б

ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ
ВИПУСКНОЇ РОБОТИ

1. Однолінійна схема електропостачання підприємства, рис Б.1.

2. До кожної секції збірних шин 0,4 кВ під'єднані керовані конденсаторні установки ККУ-0,4-30/6-5-21УЗ та ККУ-0,4-45/9-5-21УЗ загальною потужністю 75 квар. Перша установка має потужність 30 квар (шість секцій керування по 5 квар), а друга – 45 (дев'ять секцій керування по 5 квар).

3. Результати експериментальних досліджень, проведених на ввіді 0,4 кВ трансформаторної підстанції ТОВ «Калинівський молокозавод», що свідчать про наявність несиметрії режиму в мережах підприємства, рис. Б.2.

4. Графік реактивних навантажень (природний процес) по одному із живильних уводів трансформаторної підстанції ТОВ «Калинівський молокозавод», рис. Б.3.

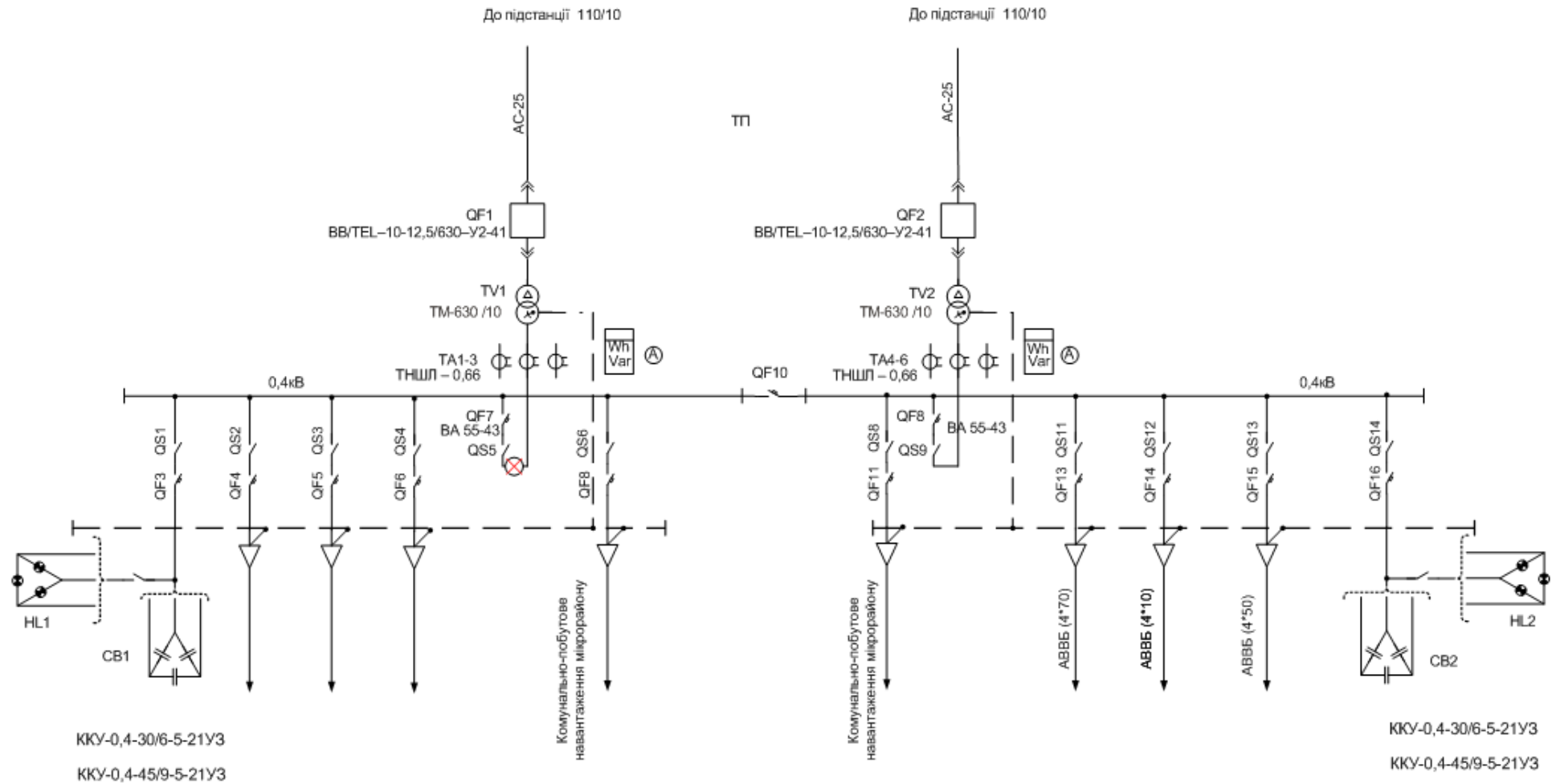
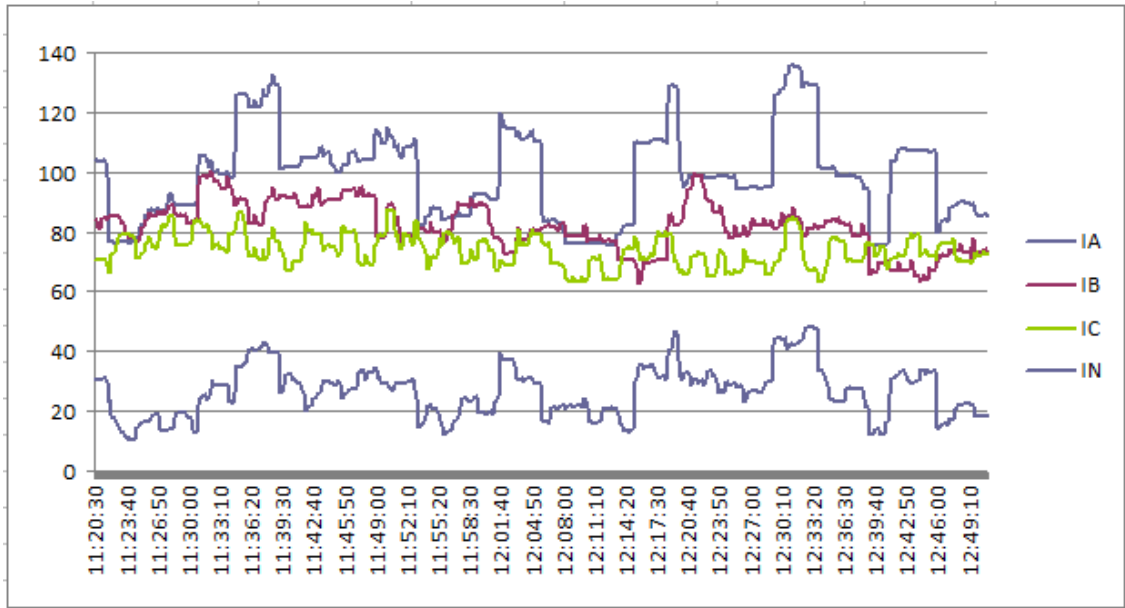
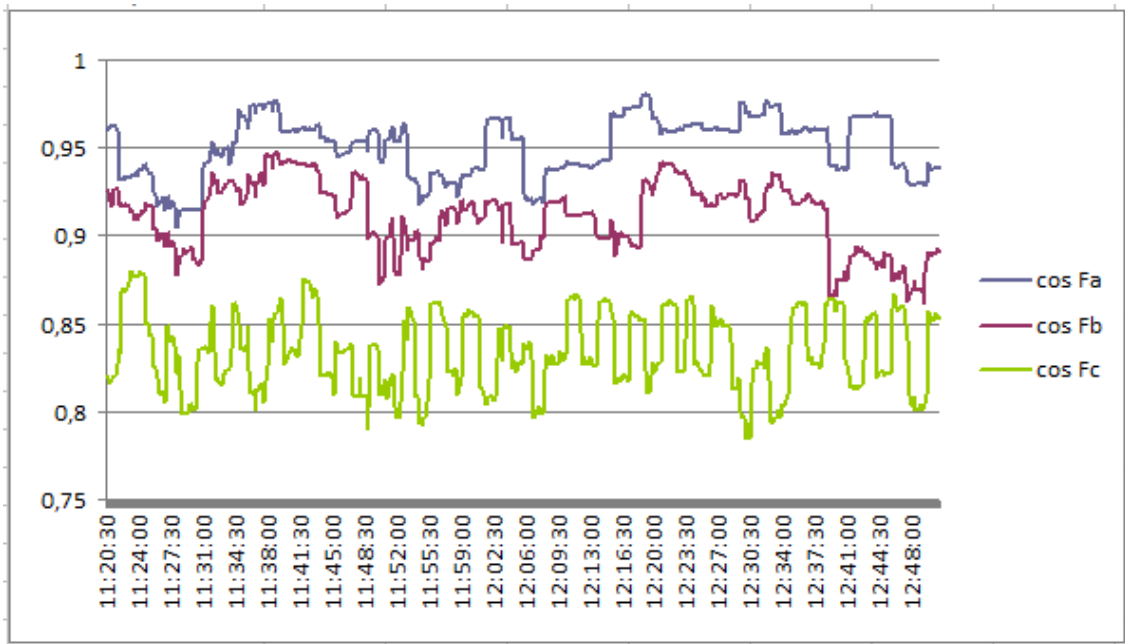


Рисунок Б.1 – Однолінійна схема електропостачання підприємства



а)



б)

Рисунок Б.2 – Результати експериментальних досліджень в системі електропостачання Калинівського молокозаводу:

а – динаміка фазних струмів;

б – динаміка зміни фазних коефіцієнтів потужності

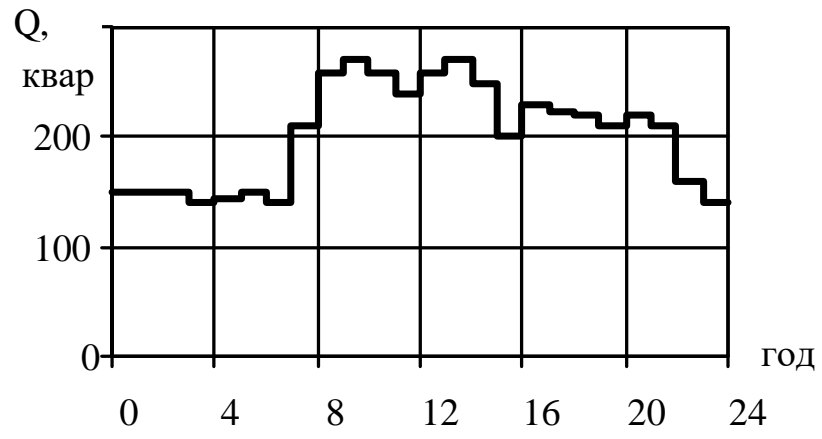


Рисунок Б.3 – Графік реактивних навантажень по живильному уводу

Додаток В
ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ПО МАГІСТЕРСЬКІЙ
ВИПУСКНІЙ РОБОТІ

Актуальність теми.

1

Для ТОВ «Калинівський молокозавод», як і для будь-якого іншого споживача електроенергії, актуальними є питання електрозбереження та підвищення якості електроенергії. Для зниження втрат електроенергії та підвищення її якості існує багато технічних рішень, що реалізовані в різноманітних пристроях. Спільною ознакою багатьох з них є їх багатофункціональність. В таких умовах будь-яке проектне або керуюче рішення має прийматись із врахуванням всіх його наслідків. Якщо всі можливі наслідки використання таких пристроїв є достатньо добре вивченими, то питання розробки методів прийняття рішень, що дозволяють прийняти найбільш ефективно для таких випадків, розроблені не достатньо. Тому іноді з'являється можливість при експлуатації електротехнічних пристроїв підвищити їх ефективність, але для цього необхідно додатково провести аналіз задачі, вибрати необхідний математичний апарат (а можливі випадки, коли відомий математичний апарат треба адаптувати для конкретної задачі), математично поставити задачу та розробити алгоритм її вирішення.

Такі дослідницькі роботи, що передбачають використання існуючих потужностей, спрямовані на підвищення ефективності їх використання і тому є актуальними.

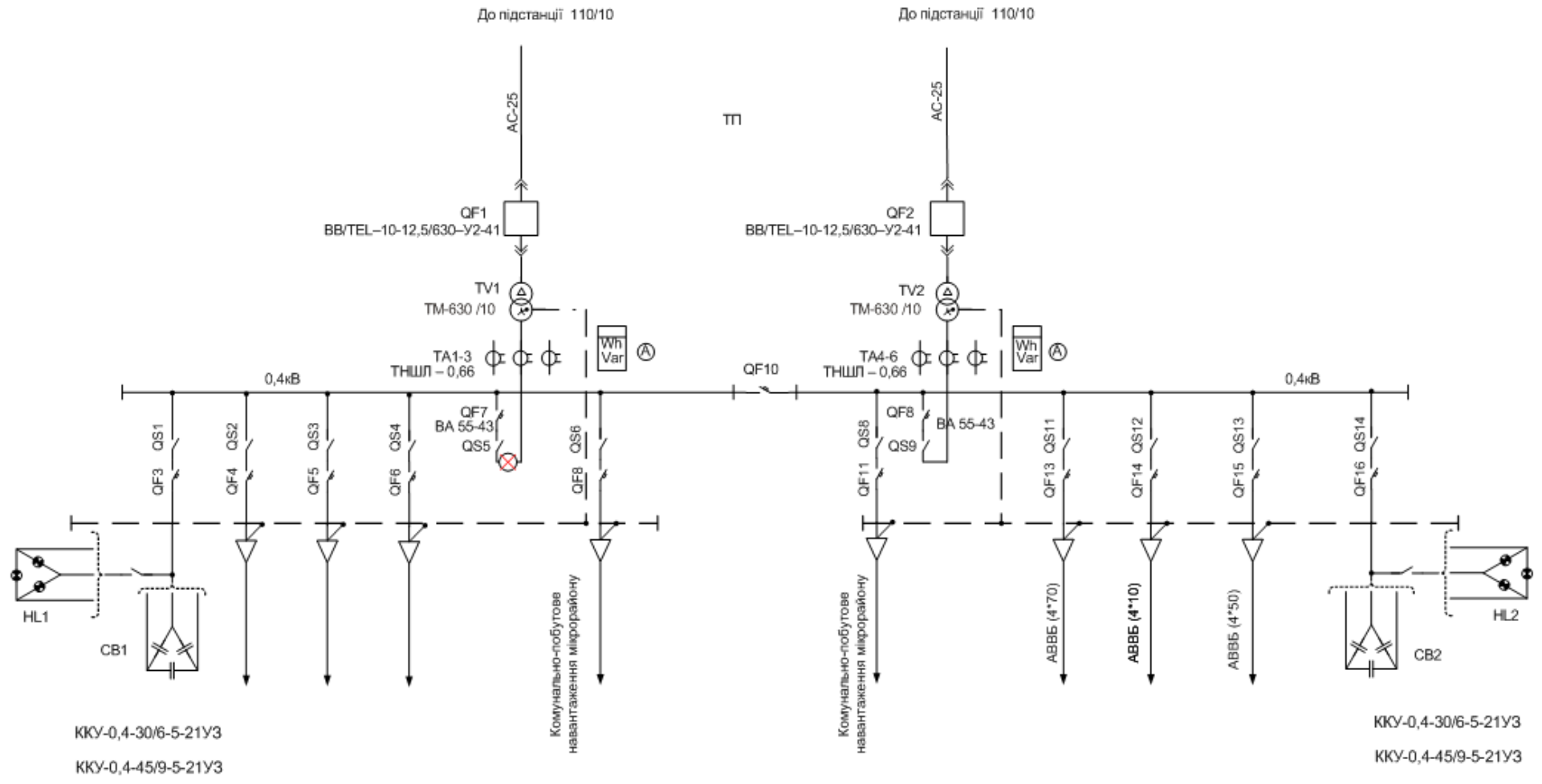
Об'єкт дослідження – система електропостачання ТОВ «Калинівський молокозавод».

Предмет дослідження – елементи схеми та електричні режими в системі електропостачання.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка методу підвищення ефективності конденсаторних установок шляхом одночасного використання їх потужностей для симетрування електричного режиму, який на відміну від існуючих дозволить забезпечити вимоги з компенсації реактивної потужності при максимально можливому симетруванні електричного режиму.

Однолінійна схема електропостачання підприємства

(з позначенням місця експериментального дослідження)



Результати експериментальних досліджень в системі електропостачання Калинівського молокозаводу

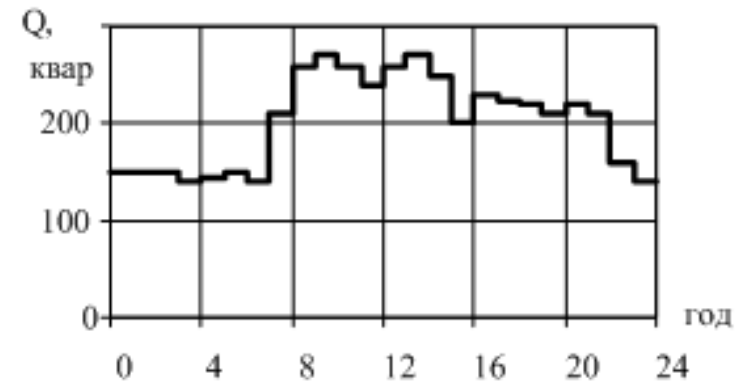
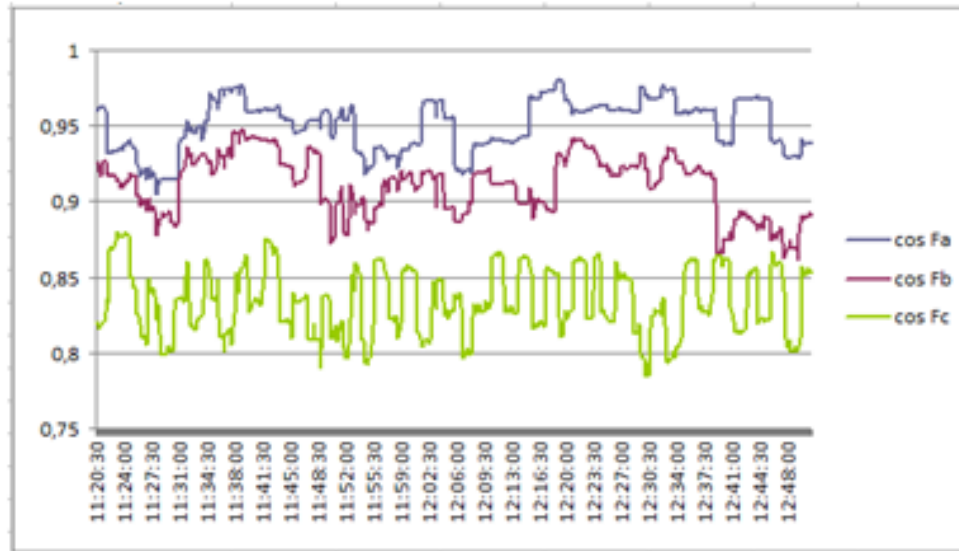
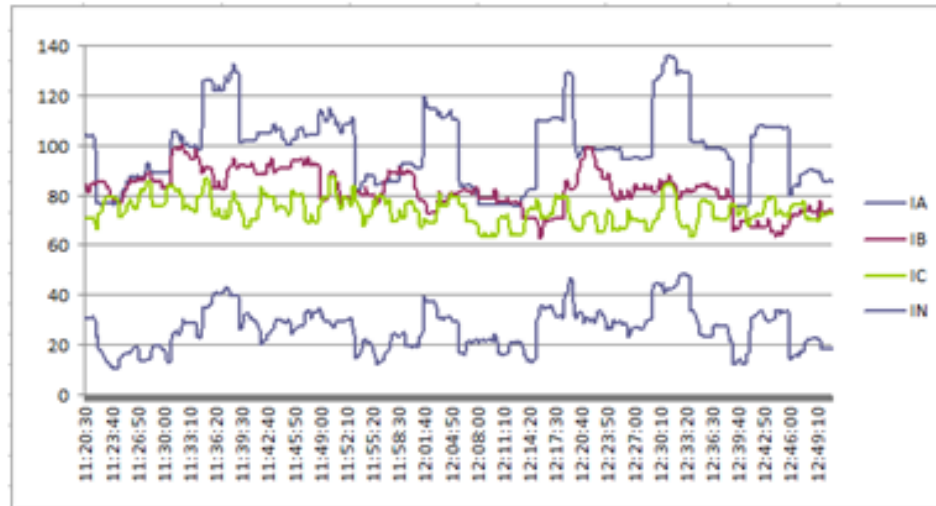
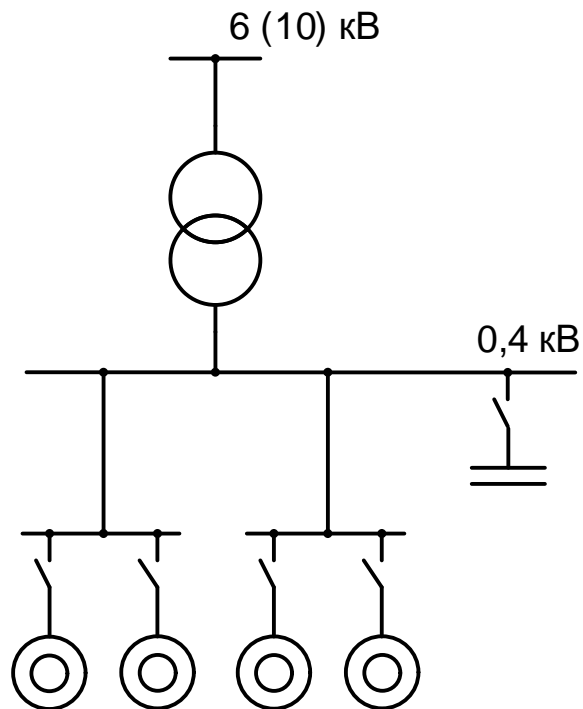


Схема під'єднання КУ при централізованій КРП



Дослідження, проведені в роботі, стосуються випадку централізованої (групової) КРП. Характер електроспоживання електроприймачів на ПАТ «Калинівський молокозавод» такий, що найбільш доцільною є схема централізованого під'єднання КУ, яка і реалізована на підприємстві.

Системні дослідження роботи КУ в системах електропостачання

1. Зменшення втрат активної потужності

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p$$

2. Регулювання напруги

$$\Delta U_{КУ} = \frac{\omega \cdot C \cdot U \cdot X_C}{U_{ном}} \cdot 100\%$$

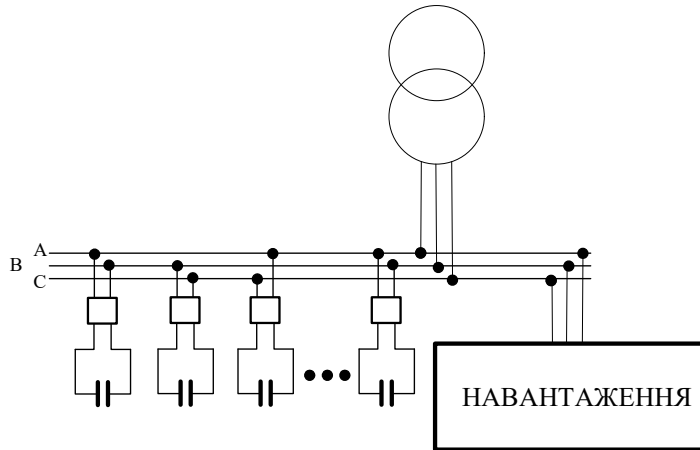
3. Зниження розмаху коливання напруги

4. Зниження рівня вищих гармонік

$$X_\phi = X_L + X_C = X_C \cdot \left(1 - \frac{1}{\nu^2}\right)$$

5. Зниження несиметрії електричного режиму

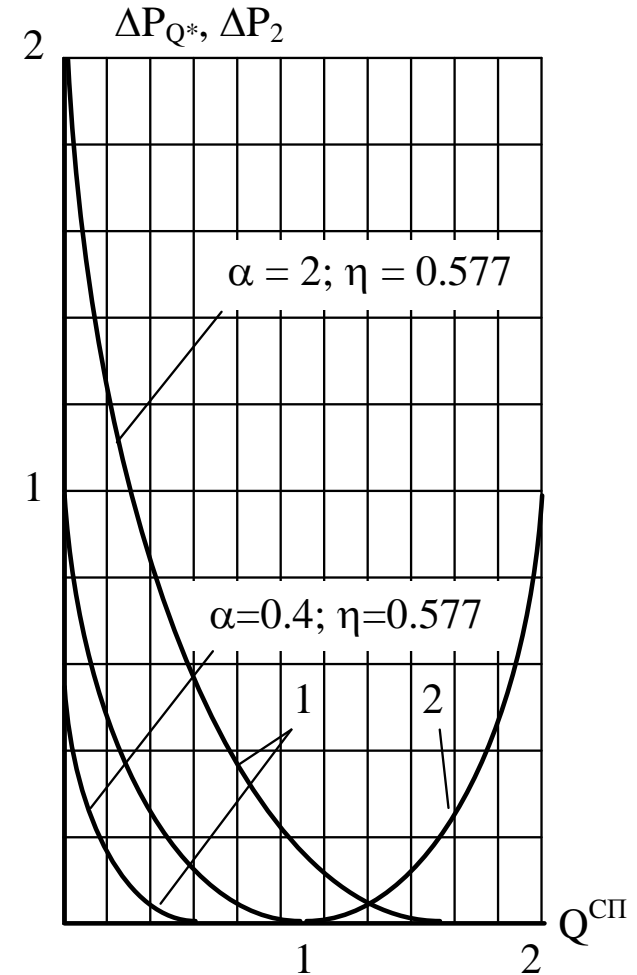
Аналіз можливих ситуацій, що можуть виникнути на практиці



а) секції КУ, що залишилися не включеними, утворюють керований симетричний елемент, використання якого дозволить отримати додатковий ефект з компенсації реактивних навантажень;

б) секції КУ, що залишились не включеними, не утворюють симетричний елемент, але їх включення дозволяє здійснити додаткову компенсацію реактивних навантажень при зменшенні ефекту, досягнутого по симетруванню режиму;

в) ситуація, що поєднує одночасно випадки а) і б).

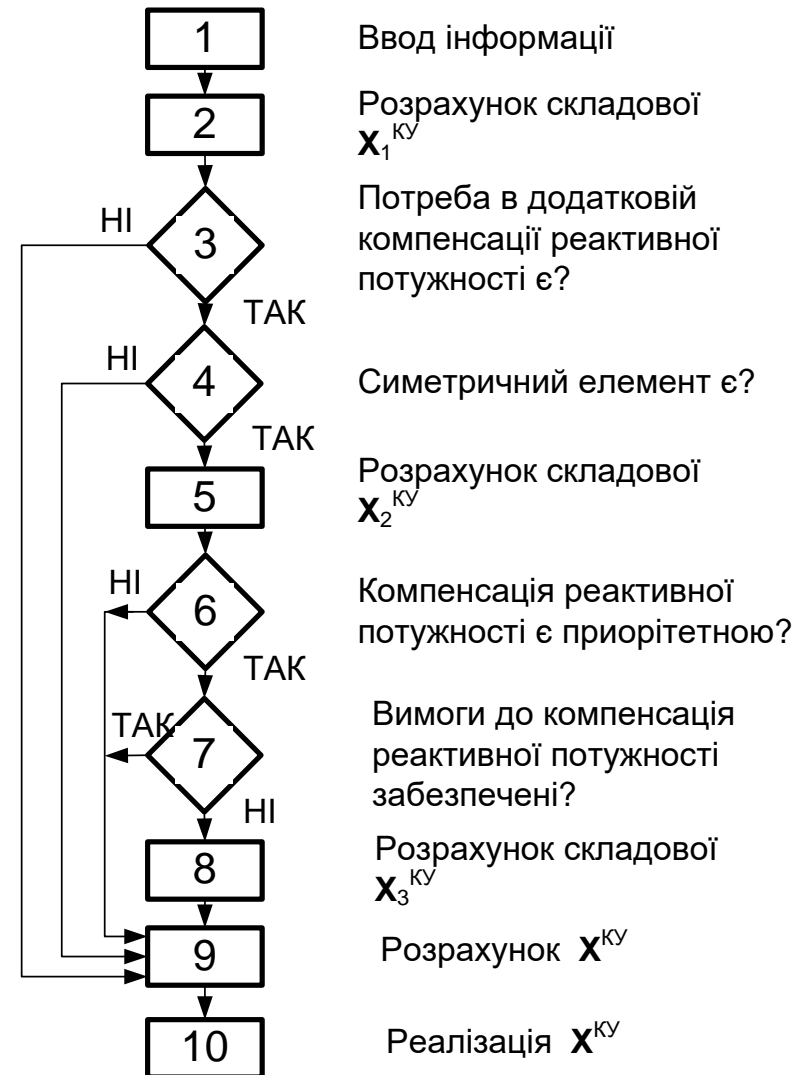


Алгоритм оперативного управління КУ

Остаточний вектор, що приймається до реалізації
– \mathbf{X} , визначається

$$\mathbf{X}^{\text{КУ}} = \mathbf{X}_1^{\text{КУ}} + \mathbf{X}_2^{\text{КУ}} + \mathbf{X}_3^{\text{КУ}}$$

Можливі ситуації, коли розрахунки вектора керування припиняються на проміжних кроках (першому або другому) в разі, якщо вимога по компенсації реактивної потужності забезпечена.



Математична модель визначення вектору $X_1^{КУ}$

$$\left| \operatorname{Re} \dot{I}_2^H + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^3 a_{p1} x_{p1} + j(\operatorname{Im} \dot{I}_2^H + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^3 a_{p1} x_{p1}) \right| \rightarrow \min$$

$$x_{11} + x_{11}^{\dots} = 1$$

$$x_{12} + x_{12}^{\dots} = 1$$

.....

$$x_{1L} + x_{1L}^{\dots} = 1$$

.....

$$x_{3L} + x_{3L}^{\dots} = 1$$

$$x_{p1}; x_{p1}^{\dots} = 1 \forall 0$$

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^3 Q_{ij} x_{ij} \leq Q_d \quad ,$$

Цільова функція – струм зворотної послідовності

Система обмежень, що встановлюють вимогу на можливий стан кожної секції КУ (включена або виключена)

Обмеження на допустиме значення реактивної потужності КУ

Математична модель визначення вектору $X_2^{КУ}$

10

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_H - 3 \sum_{n=1}^m Q_n y_n \rightarrow \min \\ y_n + \bar{y}_n = 1, \quad n = 1, 2, \dots, m \\ Q_H - 3 \sum_{n=1}^m Q_n y_n \geq Q_{dop} \\ y_n, \bar{y}_n = 1 \forall 0, \end{array} \right.$$

Цільова функція – реактивна потужність по вводу живлення

Система обмежень, що встановлюють вимогу на можливий стан кожного симетричного елемента (включена або виключена)

Обмеження на допустиме значення реактивної потужності КУ

Математична модель визначення вектору X_3^{KY}

$$\left\{ \begin{array}{l} I_2^k = \left| \operatorname{Re} \dot{I}_2 (X_1^{KY}) + \sum_{i=1}^{2\tau} a_i z_i + j \left[\operatorname{Im} \dot{I}_2 (X_1^{KY}) + \sum_{i=1}^{2\tau} b_i z_i \right] \right| \longrightarrow \min \\ z_{(2i-1)} + z_{2i} + \bar{z}_i = 1 \\ \sum_{i=1}^{\tau} Q_i (z_{(2i-1)} + z_{2i}) \geq Q_d - Q^{KY} (X_1^{KY} + X_2^{KY}) \\ z_i; \bar{z}_i = 1 \forall 0 \end{array} \right.$$

Цільова функція – струм зворотної послідовності

Система обмежень, що встановлюють вимогу на можливий стан кожного симетруючого елемента із тих, що не використані на попередніх етапах вирішення задачі (включений або виключений)

Обмеження на допустиме значення реактивної потужності КУ

Розрахунок вектора керування КУ для одного із часових перетинів в системі електропостачання Калинівського молокозаводу

Вихідними даними для розрахунку є такі параметри режиму в лінії 0,4кВ, до якої під'єднані збірні шини трансформаторної підстанції

$$I_A = 127,8 \text{ A}; \cos\varphi_A = 0,756;$$

$$I_B = 146,7 \text{ A}; \cos\varphi_B = 0,578;$$

$$I_C = 189,3 \text{ A}; \cos\varphi_C = 0,845.$$

Технічні характеристики КУ

Параметри секцій, які під'єднуються до напруги U_{AB}		Параметри секцій, які під'єднуються до напруги U_{BC}		Параметри секцій, які під'єднуються до напруги U_{CA}	
№ секції, i	ΔQ_i , квар	№ секції, i	ΔQ_i , квар	№ секції, i	ΔQ_i , квар
1	5	6	5	11	5
2	5	7	5	12	5
3	5	8	5	13	5
4	5	9	5	14	5
5	5	10	5	15	5

Розв'язування

Розрахунок вектора \mathbf{X}_1^{KY}

$$\left(\mathbf{X}_1^{KY}\right)_5^T = (1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0)$$

Розрахунок вектора \mathbf{X}_2^{KY}

$$\left(\mathbf{X}_2^{KY}\right)^T = (0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1)$$

Розрахунок вектора \mathbf{X}_3^{KY}

$$\left(\mathbf{X}_3^{KY}\right)_2^T = (0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0)$$

Розрахунок вектора \mathbf{X}^{KY}

$$\mathbf{X}^{KY} = \mathbf{X}_1^{KY} + \mathbf{X}_2^{KY} + \mathbf{X}_3^{KY} = (1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1)$$

Варіанти керування режимом за розробленим і відомим підходами та результати їх реалізації

Метод розрахунку	Вектор керування $X^{ку}$	Струм I_2 в лінії живлення, А	Реактивна потужність, що компенсується, квар
Розроблений	(1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1)	4,96	65
Відомий	(1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0)	25,64	65

Наукова новизна одержаних результатів.

Удосконалено закони керування потужністю конденсаторних установок в умовах несиметрії напруг у вузлі їх під'єднання, що дозволяє підвищити їх ефективність

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що практична реалізація отриманих рішень дозволить зменшити втрати електроенергії, та поліпшити її якість в мережах ТОВ «Калинівський молокозавод» за рахунок прийняття рішень з компенсації реактивної потужності із врахуванням впливу конденсаторних установок на параметри несиметрії режиму

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. В системі електропостачання Калинівського молокозаводу для компенсації реактивної потужності використовуються конденсаторні установки, ефективність яких може бути підвищеною якщо використовувати їх і для симетрування електричного режиму (при збереженні ефекту з компенсації реактивної потужності).

2. В умовах несиметрії електричного режиму, що є характерним для Калинівського молокозаводу, вектор керування несиметричною КУ може бути розрахованим як такий, що має три складові: перша – визначається із умови оптимального впливу на несиметрію режиму; друга – забезпечує використання, в разі необхідності, симетричні елементи КУ; третя – коректує оптимальний розв'язок по симетруванню режиму, що здійснюється з метою забезпечення вимог до компенсації реактивної потужності. Такий підхід дає можливість забезпечити максимальне симетрування електричного режиму за умови незмінного ефекту з компенсації реактивної потужності.

3. Розрахунок, проведений для одного із реальних режимів на трансформаторній підстанції Калинівського молокозаводу, підтвердив ефективність запропонованого підходу до визначення вектора керування та працездатність розробленого обчислювального методу.