

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Л.Б.Терешкевич

***АСУ РЕЖИМАМИ СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ***

переклад з російської Т.Л.Терешкевич

Затверджено Ученою радою Вінницького державного
технічного університету як навчальний посібник для
студентів енергетичних спеціальностей

Вінниця ВДТУ 1998

УДК 621.311

АСУ режимами систем електропостачання. Навч. посібник
/Л.Б.Терешкевич. - Вінниця: ВДТУ, 1998. -119 с. Укр. мовою/

В навчальному посібнику дається загальна характеристика систем автоматизованого управління нормальними режимами промислових електричних мереж. Детально розглядається математична постановка та моделювання задач управління якістю електричної енергії, компенсації реактивних навантажень та електроспоживання в умовах дефіциту потужності в енергосистемах. Наводяться чисельні приклади розв'язування цих задач.

Для студентів енергетичних спеціальностей вищих навчальних закладів, що вивчають дисципліну “Енергетичні підсистеми АСУТП промпідприємств” та інші дисципліни, які відображають використання інформаційних технологій в енергетиці.

Іл. 12 Табл. 4. Бібл.: 5 назв.

Рецензенти: П.Д.Лежнюк, д.т.н.

В.О.Поджаренко, д.т.н.

Л.Р.Пауткіна, к.т.н.

Зміст

	Стор.
Список скорочень	5
Передмова	6
Розділ 1. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ АСУ ТА СКЛАД ЗАДАЧ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ РЕЖИМАМИ.....	8
1.1. Система та її властивості	8
1.2. Управління	11
1.3. Інформація в АСУ	15
1.4. Характерні алгоритми оптимального управління електричними режимами	17
1.5. Системний підхід при управлінні технічними системами	24
1.6. Загальна характеристика задач управління нормальними режимами систем електропостачання	26
Контрольні завдання для самопідготовки	30
Література до розділу 1	32
Розділ 2. ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	33
2.1. Загальні положення	33
2.2. Несиметричний режим системи електропостачання як об'єкт управління	34
2.3. Критерії управління несиметричним режимом електрич- ної мережі	39
2.4. Управління рівнем несиметрії в динамічних режимах мережі як задача оптимального управління	42
2.5. Особливості постановки та розв'язування задач оптимі- зації несиметричних режимів електромережі	44
2.6. Математична модель управління при внутрішньому симетруванні навантажень.....	47
2.7. Математична модель для управління СП	53

Контрольні завдання для самопідготовки	58
Література до розділу 2	59
Розділ 3. ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	60
3.1. Загальні положення	60
3.2. Формулювання задачі управління БСК як задачі оптимального управління	62
3.3. Математичні моделі оптимальної компенсації реактивних навантажень	66
3.4. Підвищення ефективності роботи діючих БСК	69
Контрольні завдання для самопідготовки	75
Література до розділу 3	76
Розділ 4. ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ В УМОВАХ ДЕФІЦИТУ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ	77
4.1. Загальні положення	77
4.2. Синтез оптимального групового графіка навантажень	79
4.3. Обмеження навантаження несиметричних споживачів при дефіциті потужності в енергосистемі	86
Контрольні завдання для самопідготовки	88
Література до розділу 4	89
ДОДАТОК Д. 1. Стислий словник термінів, що часто вживаються при розробці та експлуатації АСУ систем електропостачання.....	90
ДОДАТОК Д. 2. Українсько-російський словник термінів з АСУ систем електропостачання.....	108
Література.....	118

Список скорочень

АСУ	- автоматизована система управління
БСК	- батарея статичних конденсаторів
ГПП	- головна понижувальна підстанція
ЕОМ	- електронно-обчислювальна машина
ПБЗ	- переключення відгалужень без збудження
РПН	- регулятор під навантаженням
СП	- симетруючий пристрій
СУБД	- система управління базою даних
ТЕЦ	- теплоелектроцентрально
ТП	- трансформаторна підстанція
ЦРП	- центральний розподільчий пункт

Передмова

Комп'ютерні технології знаходять все більше поширення в будь-якій галузі економіки країни в тому числі і енергетичній, при цьому суттєво полегшується процес отримання та переробки інформації, з'являється змога отримувати розв'язки складних, в тому числі оптимізаційних, задач управління та проектування. Тому сучасний інженер повинен вільно володіти обчислювальною технікою, вміти самостійно ставити та алгоритмізувати задачі, які йому доводиться вирішувати в своїй практичній діяльності, експлуатувати впроваджені програмні комплекси або пакети прикладних задач, що автоматизують ті або інші виробничі функції, давати критичну оцінку новим розробкам та вже діючим системам. Для досягнення цих цілей в навчальних планах учбових закладів передбачено цілий ряд дисциплін, що забезпечують безперервну комп'ютерну підготовку студентів. Серед таких дисциплін, що вивчаються на останньому році підготовки інженерів, є дисципліна "Енергетичні підсистеми АСУТП пром-підприємств", яка повинна сформувати світогляд майбутнього спеціаліста - інженера-електрика, пов'язаний з використанням обчислювальної техніки для управління електроспоживанням та електрогосподарством підприємства.

Успішне вивчення предмета припускає добрі знання технології, організації, планування та економіки енергетичного виробництва з однієї сторони, а з іншої - вміння математично поставити прикладну задачу, алгоритмізувати процес її розв'язку, написати та налагодити програму. Отримавши саме такий комплекс знань та навичок, можна виконувати одну із найбільш інтелектуальних робіт - розробку прикладних задач АСУ. До речі, виконання цієї роботи, яка потребує глибоких знань енергетичної проблеми, що автоматизується, найкращим чином може бути здійснено лише спеціалістами в галузі електропостачання промислових підприємств.

В навчальному посібнику центральне місце приділено складному творчому процесу - розробці прикладних задач управління електричними режимами в системах електропостачання, а саме таким його етапам:

- вербальному (словесному) формулюванні задачі;
- математичній постановці задачі;
- виборі, а іноді і розробці методу розв'язування задачі;

алгоритмізації розв'язування задачі.

Основна мета навчального посібника - допомога студентам в засвоєнні технології постановки енергетичних задач, як задач АСУ та їх інформаційного забезпечення. У відповідності до цього перший розділ присвячений вивченню основних визначень теорії управління: система, інформація, управління, алгоритм. В другому, третьому та четвертому розділах на конкретних прикладах, що мають практичний зміст, розглядаються задачі управління нормальними режимами в системах електропостачання (якістю електроенергії, реактивною потужністю та електроспоживанням при дефіциті потужності в енергосистемі). Деякі задачі хоча не є характерними для будь-якого виробництва, але вони повчальні з точки зору поставленої мети. Основна увага приділяється задачам оптимізації, як найбільш ефективним, а також задачам, що не потребують додаткових капітальних вкладень для їх реалізації або ці вкладення не значні.

Кожний розділ супроводжується списком літератури, вивчаючи яку можна поглибити свої знання, що отримані при роботі з навчальним посібником, та контрольними завданнями для самопідготовки. З метою полегшення вивчення та засвоєння матеріалу в кінці приведено короткий тлумачний словник основних термінів та понять.

Книга може бути рекомендована для студентів спеціальності 7.090603 “Електропостачання та електрозбереження” при вивченні курсу “Енергетичні підсистеми АСУТП пром підприємств” та інших курсів, що вивчають впровадження інформаційних технологій в енергетичне виробництво.

Автор щиро вдячний д.т.н., проф. Лежнюку П.Д., д.т.н., проф. Поджаренко В.О. та к.т.н., доц. Пауткіній Л.Р. за роботу по рецензуванню навчального посібника та за зауваження, які безперечно покращили його зміст, а також Терешкевич Т.Л. за допомогу в перекладі рукопису на українську мову.

Розділ 1. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ АСУ ТА СКЛАД ЗАДАЧ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ РЕЖИМАМИ

1.1 Система та її властивості

Одним із основних понять АСУ є широко вживане в звичайній мові слово система. Ми часто вживаємо словосполучення “система знань”, “система методів”, “система електропостачання”, “електрое-нергетична система”, “система генератор-двигун”, “система управ-ління”, розуміючи кожним разом, що *система - це обмежена множина взаємопов’язаних елементів*. Подібні приклади можна приводити з інших сфер діяльності людини.

Зрозуміти суть тієї або іншої системи можна тільки тоді, коли досліджені всі зв’язки між її елементами і окремими частинами та динамічні властивості всієї множини елементів.

Визначення системи може бути довільним. Наприклад, окремо взятий генератор цілком обґрунтовано можна вважати системою. Одначе, більш складна сукупність - турбіна, генератор, збуджувач - є також системою, в якій окремо взятий генератор є підсистемою більш низького рівня. В свою чергу можна визначити більш крупну систему, де окремим елементом є енергоблок, наприклад, електрична частина ТЕЦ. Для детального вивчення перехідного процесу в синхронному генераторі (або для його управління) ми маємо дослідити систему турбіна - генератор - збуджувач, а сталий електричний режим може досліджуватись в системі з одним генератором . Включення до системи нових елементів надає їй інших або додаткових властивостей. Тобто, визначення системи залежить від мети дослідження і, як правило, є складною задачею. Визначивши множину елементів, що утворюють систему, ми умовно проводимо замкнуту границю, за межами якої залишаються інші елементи, що не увійшли в систему, тобто система існує не лише сама по собі, а в оточенні інших елементів, що утворюють зовнішнє середовище. Зовнішнє середовище здійснює

вплив на систему, а в свою чергу система впливає на зовнішнє середовище. Число таких впливів безмежне, але враховувати слід тільки ті, від яких суттєво залежить стан системи.

Промислову електричну мережу часто виділяють в окрему систему електропостачання. Границя між нею та зовнішнім середовищем (електроенергетичною системою) чітко встановлюється в кожному конкретному випадку. Іноді вона може проходити через роз'єднувач, що встановлений на живильному вводі. Регулювання збудження на генераторах електростанцій, комутації ліній електропередач живильних мереж позначаються на рівнях напруги в вузлах систем електропостачання, що слід розглядати, як впливи зовнішнього середовища. З іншої сторони наявність, наприклад, в системі електропостачання споживачів, які мають нелінійну вольт-амперну характеристику, спричиняє появу вищих гармонік в мережах енергосистеми, що можна розглядати як вплив системи на зовнішнє середовище. Таке явище привертає увагу лише тоді, коли воно супроводжується відхиленнями від норм показників якості електроенергії або перебоями в роботі систем автоматики, суттєвими втратами потужності і т.д.

Стан системи оцінюється параметрами стану, що утворюють вектор параметрів стану. Вплив зовнішнього середовища на систему називається входами системи та характеризується параметрами входу. Вони бувають такими, що управляють, утворюючи вектор управління, та такими, що збуджують. Вплив системи на зовнішнє середовище називається виходами системи і відповідно характеризується параметрами виходу.

Параметрами стану системи електропостачання можуть бути параметри її режиму: струми ліній, напруги в вузлах, потужності, коефіцієнти потужності, а також параметри схеми: коефіцієнти трансформації цехових ТП, параметри надійності окремих елементів електричної мережі. Цілеспрямовані впливи зовнішнього середовища (управління) - це регулювання відпайок на трансформаторах центрів живлення, в результаті чого цілеспрямовано змінюється напруга в промисловій мережі. Прикладом збурення є аварійні пошкодження в живильних мережах, в результаті яких

змінюються напруги в вузлах системи електропостачання, потужності, що споживаються окремими навантаженнями.

Спрощене уявлення про систему можна зобразити рисунком, рис. 1.1.

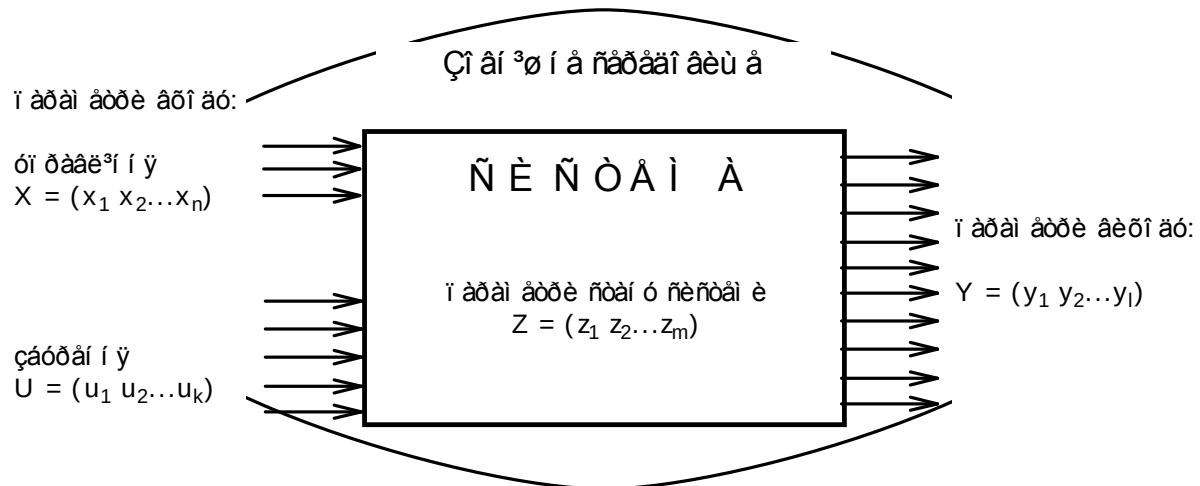


Рис. 1.1. Взаємодія системи та зовнішнього середовища

Існує сучасний науковий метод дослідження систем - системний аналіз, який використовується для дослідження систем енергетики. Під системним аналізом розуміється всестороннє, систематизоване (побудоване на основі певного набору правил) вивчення складного об'єкта в цілому разом із всією сукупністю його складних зовнішніх та внутрішніх зв'язків, яке проводиться для виявлення можливостей покращення функціонування цього об'єкта.

Можна виділити такі основні етапи системного аналізу:

- постановка задачі: формулювання мети дослідження;
- структуризація системи: локалізація системи та визначення її зовнішнього середовища;
- побудова моделі;
- дослідження моделі, в результаті якого виявляється поведінка об'єкта, що моделюється, в різних умовах та при різних станах зовнішнього середовища та самого об'єкта.

1.2. Управління

Управління - це цілеспрямований вплив однієї системи на іншу, який направлений на зміну поведінки останньої в потрібному напрямку. Таким чином, процес управління реалізується шляхом взаємодії двох систем: тієї, що управляється (об'єкт управління), та тієї, яка керує (суб'єкт управління або пристрій управління). Сукупність цих систем і є системою управління.

Об'єктом управління може бути система будь-якої природи: соціальна (трудовий колектив підприємства, кадри служби головного енергетика), технічна (складна технологічна установка , окремий механізм), біологічна (живий організм або його частина). Незважаючи на їх різноманітний характер, існують загальні принципи управління цими об'єктами. Ця обставина дозволила Р.Вінеру в 1947 році визначити кібернетику як науку про управління. Предметом цієї науки стала загальна теорія управління не пов'язана безпосередньо ні з однією прикладною галуззю, але в той же час вона може бути застосована до будь-якої з них.

Найбільш поширені види управління це:

- координація - управління, мета якого в узгодженні процесів в різних елементах (підсистемах) об'єкта управління;
- регулювання - управління, мета якого в забезпеченні близькості поточних значень однієї або декількох координат об'єкта управління до їх заданих значень;
- стабілізація - регулювання, мета якого в забезпеченні постійності значень координат, що управляються, на заданому проміжку часу;
- екстремальне управління - управління, мета якого в досягненні екстремуму заданого показника якості функціонування об'єкту управління;
- оптимальне управління - управління, мета якого в забезпеченні екстремального значення показника якості управління (кількісної оцінки якості управління).

Оптимальне управління може здійснюватись лише в умовах, коли можливий альтернативний вибір рішень. Природно в цьому випадку бажати, щоб управління виконувалось найкращим чином. Необхідною умовою реалізації оптимального управління є наявність мети управління. Вона по-

винна мати кількісну оцінку у вигляді критерію управління, за яким можна порівнювати різні варіанти управління.

За критерії управління режимами в електричній мережі можуть бути прийняті різні, іноді навіть і суперечливі, показники, що мають як технічний так і економічний зміст, наприклад:

- втрати активної потужності та енергії;
- надійність електропостачання окремих споживачів електроенергії;
- збиток від низької якості електроенергії;
- потужність, що споживається в години максимальних навантажень енергосистеми;
- реактивна потужність та енергія, що споживаються.

Критерій управління повинен бути формалізований у вигляді функціональної залежності, що називається цільовим функціоналом, а в теорії оптимального управління більш поширеним є термін показник якості управління.

Для динамічних об'єктів, де потрібно забезпечити певний хід траєкторії процесу, показник якості управління є функціоналом виду:

$$J = \int_{t_1}^{t_2} F[X(t), Z(t), t] dt, \quad (1-1)$$

де X - n -мірний вектор управління; Z - m -мірний вектор параметрів стану системи; t - час; F - скалярна функція; t_1 - початковий момент часу; t_2 - кінцевий (для задач управління електричним режимом - не фіксований) момент часу.

Показник якості повинен мати фізичний зміст, який для кожної конкретної задачі різний.

Виконання управління можливе при наявності відомостей, які подаються системою рівнянь стану. Виходячи з того, що енергетичні об'єкти мають динамічний характер, стан об'єкта управління описується системою диференціальних рівнянь виду:

$$\frac{\partial x_i(t)}{\partial t} = f_i[X(t), Z(t), t], \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1-2)$$

де x_i - компонента вектора X .

В реальних задачах на компоненти векторів управління X та стану Z накладаються обмеження. Тому управління повинно виконуватись в межах допустимих значень X та Z .

В загальному випадку задача оптимального управління формулюється таким чином. Дано:

- 1) рівняння стану об'єкта управління;
- 2) система обмежень, що встановлена на змінні стану та управління.

Потрібно знайти такі залежності $X(t)$, при яких показник якості управління досягає максимального або мінімального значення.

Розв'язки задачі оптимального управління можуть бути знайдені такими математичними методами:

- 1) варіаційним численням;
- 2) принципом максимуму Понтрягіна;
- 3) динамічним програмуванням;
- 4) математичним програмуванням.

Якщо технічна система потребує управління за багатьма критеріями, то таку оптимізаційну задачу слід віднести до багатокритеріальних.

Системи управління можуть будуватися за принципами:

централізованої управляючої системи (система з однією підсистемою, що виконує функцію прийняття рішень);

децентралізованої управляючої системи (системи з декількома незалежними системами, що виконують функцію прийняття рішень);

ієрархічної управляючої системи (підсистема прийняття рішень цієї системи розподілена за декількома підпорядкованими рівнями, кожний з яких виконує частину функцій прийняття рішень).

Вибір тієї чи іншої системи управління виконується на етапі проектування АСУ.

За технічною реалізацією управління може виконуватись як автоматизоване та і автоматичне.

В системах автоматичного управління - управління виконується виключно технічними засобами без безпосередньої участі людини. Роль лю-

дини зводиться до того, щоб спроектувати систему управління, змонтувати та налагодити її, виконувати регламентні та ремонтні роботи.

Автоматизовані системи управління - людино-машинні системи, в яких людина бере безпосередню участь в процесі управління. Функції управління певним чином розподіляються між людиною та ЕОМ.

ГОСТ 34.003-90 дає таке визначення автоматизованим системам. *Автоматизована система - це система, що складається з персоналу та комплексу засобів автоматизації його діяльності, яка реалізує інформаційну технологію виконання установлених функцій. Якщо система автоматизує функції управління, то це автоматизована система управління.*

1.3 Інформація в АСУ

Прийняття рішень з управління можливе лише на основі інформації про стан об'єкта управління та зовнішнього середовища. Для динамічних систем інформація є функцією часу і тому потрібно періодично аналізувати стан об'єкта управління та коректувати вектор управління.

Слід відмітити, що є інформація яка має властивості до швидкої зміни, наприклад, величини потужностей та струми в лініях, значення напруг у вузлах і таке інше. Це відбувається, наприклад, відповідно до зміни навантаження споживачів електричної енергії внаслідок вимог технологічного процесу. Якщо для розв'язування задачі управління необхідна саме ця інформація, то вона повинна кожного разу поновлюватись і відповідати значенням параметрів, що встановились на момент прийняття рішення. Така інформація іноді називається оперативною.

Інша частина інформації, навпаки, має властивості незмінності протягом тривалого проміжку часу та називається неоперативною. Наприклад, з необхідної інформації для управління електричним режимом, та її частина, що стосується параметрів схеми (схема електричних з'єднань, технічні характеристики встановленого електрообладнання), залишається незмінною на протязі тривалого часу. Тому не логічно вводити її кожного разу заново, коли знаходиться цілеспрямоване рішення, а слід скористатися можливістю ЕОМ до зберігання інформації. Така інформація вводиться лише один раз та зберігається в спеціально організованих файлах, до яких в разі потреби можна завжди звернутись і отримати необхідну інформацію. Вся множина таких файлів називається базою даних.

В АСУ існує поняття інформації та даних. *Інформація - це відомості, які в даний момент можуть позначитись на прийнятому рішенні і тим самим на поведінці системи. Дані - сукупність відомостей, що зберігаються в пам'яті ЕОМ, і які в даний момент не використовуються. Дані можуть стати інформацією при безпосередньому їх використанні в алгоритмі управління.*

Очевидно, що змін можуть зазнавати також і дані. Наприклад, час від часу в результаті розвитку мережі може змінюватись схема, в результаті зміни струму короткого замикання, може встановлюватись інше комутаційне обладнання, в залежності від зміни технологічного процесу, можуть змінюватись перерізи провідників на окремих лініях електромережі і т.д. В таких випадках виникає потреба провести відповідні виправлення в базі даних. Така дія, що направлена на виконання виправлень в базі даних, доповнення її додатковими відомостями, вилучення застарілих, називається веденням бази даних. Робота по наповненню бази даних потрібною інформацією називається створенням бази даних. Цими функціями наділені сучасні системи управління базою даних (СУБД) для персональних ЕОМ найбільш відомими є такі: dBASE III PLUS, FOXBASE, CLIPPER, Fox-Pro.

Інформацію, що використовується для розв'язування задачі управління, можна розглядати також з точки зору її достовірності. Іноді вся інформація або її частина подається в детермінованому вигляді. Деякі компоненти інформації за своєю природою можуть мати стохастичний характер і отримуються у вигляді, наприклад, законів розподілу або окремих його характеристик. Серед таких є характеристики надійності електропостачання. Інформація, що стосується, наприклад, перспективи розвитку електричної мережі має елемент невизначеності.

Крім інформації первинної, яка одержується безпосередньо від датчиків або знімається з вимірювальних приладів, ще є вторинна, яку отримують шляхом переробки первинної. Такою інформацією є параметри розподілу випадкових величин, які отримують обробкою статистичного матеріалу.

1.4 Характерні алгоритми оптимального управління електричними режимами

Алгоритм управління - це сукупність правил, за якими на основі інформації про мету управління, про стан об'єкта управління, про збурюючі впливи зі сторони зовнішнього середовища визначається рішення з управління або послідовність таких рішень.

Розглянемо можливі алгоритми управління, що мають різну технічну реалізацію та потребують різну за характером інформацію.

Алгоритм однокрокового детермінованого управління

Алгоритм дозволяє визначити вектор управління для відомого процесу. Цільовий функціонал формується таким чином, що описує весь процес в цілому. Результатом розв'язку задачі є детермінований вектор, реалізація якого поліпшує режим в цілому. Робота алгоритму показана на рис. 1.2. Суттєва перевага алгоритму в тому, що він реалізується у вигляді некерованого пристрою, який конструктивно завжди простіший від керованого. Ефективним алгоритм виявляється в тих випадках, коли параметр (параметри), що управляються, змінюються в незначних межах.

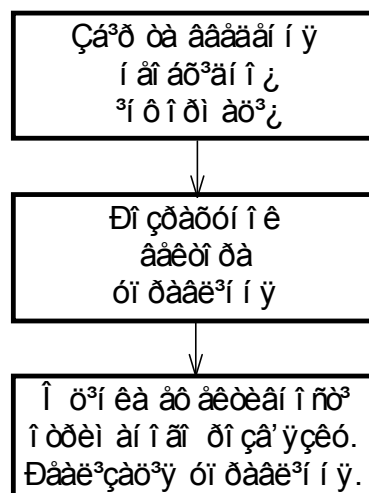


Рис. 1.2. Блок-схема алгоритму однокрокового детермінованого алгоритму

Прикладом управління за даним алгоритмом є управління режимом напруги в електричній мережі шляхом установки відповідної

регулювальної відпайки цехової ТП. Як відомо, цехові ТП споряджені системою переключення відгалужень без збудження (ПБЗ) і зміна положення регулювальної відпайки може відбуватися лише при знятті навантаження трансформатора. Тому такий спосіб управління напругою в мережі використовується, коли зміна параметрів режиму відбувається в невеликих межах, і полягає він в тому, що вибирається, а потім реалізується певна регулювальна відпайка на трансформаторах, яка забезпечує потрібний рівень напруги в усіх вузлах мережі для всіх перетинів часу.

Алгоритм багатокрокового детермінованого управління

Алгоритм багатокрокового детермінованого управління передбачає виконання в певні моменти часу корекції вектора управління в зв'язку з тим, що керовані параметри є функцією часу. Корекція цілеспрямованого впливу потрібна при управлінні в динамічних системах з великим діапазоном зміни параметрів режиму. При цьому процес функціонування об'єкта управління розглядається як послідовність статичних станів. Алгоритм може реалізовуватись, коли є технічна можливість для корекції вектора управління.

Алгоритм реалізується на інформації, що з'являється в результаті спостережень за конкретною реалізацією параметрів умови задачі. Він полягає в знаходженні та реалізації послідовності векторів управління для дискретних моментів часу. В проміжках між цими моментами часу на об'єкт діє управління, що обчислене за режимом початку інтервалу. Тривалість інтервалів може бути отриманою шляхом розбиття на рівні проміжки часу всієї траєкторії динамічної системи та визначається швидкістю зміни параметрів режиму. Можливий також варіант, коли часом наступного впливу є момент досягнення критеріальною функцією порогового значення, через яке оцінюється якість управління.

Алгоритм багатокрокового детермінованого управління дозволяє більш гнучко використовувати арсенал моделей управління. Зробивши оцінку ситуації, що склалася в момент розрахунку вектора управління, можна використати найбільш ефективну модель управління. Блок-схема алгоритму зображена на рис. 1.3.

За алгоритмом багатокрокового детермінованого управління, наприклад, виконуються дії з регулятором під навантаженням (РПН) трансформаторів головної понижувальної підстанції (ГПП) підприємства. Такі регулятори за своєю конструкцією дозволяють змінювати коефіцієнти трансформації не вимикаючи навантаження.

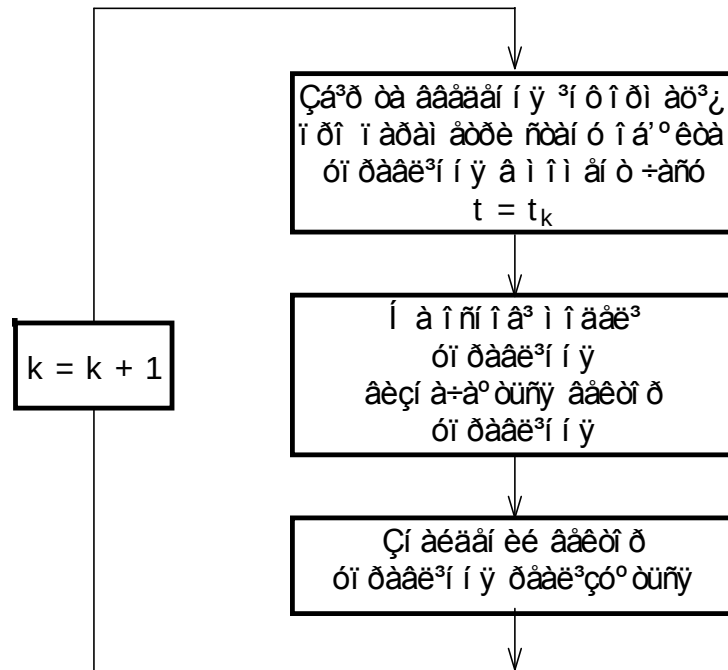


Рис. 1.3. Блок-схема алгоритму багатокрокового детермінованого управління. Це дає можливість в певні моменти часу збирати необхідну інформацію, приймати рішення про реалізацію оптимальної відпайки РПН, а потім виконувати переключення. Через певний проміжок часу все повторюється.

Алгоритм одноетапного стохастичного управління

Алгоритм реалізується на основі відомих числових характеристик випадкових значень вихідних даних до спостереження реалізації їх поточних значень. Він дозволяє визначити оптимальний вектор управління для всієї траєкторії випадкового процесу та не передбачає його корекції в процесі накопичення інформації. Розв'язками тут є детерміновані вектори. Вони визначаються на основі відомих статистичних характеристик розподілу випадкових значень можливих вихідних даних.

Найбільш поширеними є такі постановки задач одноетапного стохастичного управління.

1. За цільовий функціонал задачі управління прийнято математичне сподівання лінійної залежності - $M(CX)$, де M - математичне сподівання; C - рядкова матриця коефіцієнтів цільової функції; X - вектор управління. Для прикладу можна привести задачі зниження втрат потужності, в яких цільовий функціонал вимагає знаходження умов мінімуму їх математичного сподівання, управління несиметричними та несинусоїдальними режимами, де цільовий функціонал вимагає мінімуму математичного сподівання коефіцієнтів зворотньої послідовності напруги або спотворення форми кривої напруги.

Математичні моделі, що використовуються в даному випадку, називаються M -моделями.

2. Задачі, в яких слід знайти мінімум дисперсії лінійної залежності $M\{CX - M(CX)\}^2$. В такій постановці можуть вирішуватись задачі регулювання напруги, мета яких знайти розв'язки, що забезпечують мінімальний діапазон відхилень напруги від номінальних значень. Математичні моделі в цьому випадку називаються V -моделями.

3. Задачі, в яких оптимізується ймовірність перевищення лінійної залежності деякої межі $A - P\{CX \geq A\}$, де P - ймовірність. Для прикладу наведемо задачу управління якістю електроенергії, суть якої забезпечення вимоги ГОСТ 13109-87, щодо інтегральної ймовірності на виконання норм показників якості. В цих задачах математичні моделі називаються P - моделями.

Алгоритм одноетапного стохастичного управління потребує перевірки ефективності розрахованого вектора управління для конкретного процесу. Несуттєва ефективність алгоритму має місце при процесах з великим діапазоном зміни параметрів, що управляються.

Алгоритм багатоетапного стохастичного управління

За алгоритмом знаходиться вектор управління для певних моментів часу. Процес визначення вектора управління X розділений на дві частини. Спочатку визначається попередній розв'язок X_1 на основі детермінованої інформації про стан системи на момент визначення вектора управління. Потім вирішується задача прогнозу та за отриманими результатами

виконується корекція попереднього розв'язку визначенням X_2 , наприклад, з врахуванням траєкторії розвитку процесу, що очікується. Таким чином, остаточний вектор управління має вигляд:

$$X = X_1 + X_2 , \quad (1.1)$$

де X_1 - вектор попереднього розв'язку; X_2 - вектор корекції.

Якщо очікувана траєкторія динаміки електричних режимів подана аналітичними залежностями, можна визначити час наступного управління з умови порогових значень на параметри, що управляються.

Управління за даним алгоритмом можна подати у вигляді блок-схеми, рис. 1.4.

Розглянемо можливий підхід до управління потужністю конденсаторних батарей з метою компенсації реактивних навантажень за даним алгоритмом. Попередній розв'язок можна знайти на основі інформації про параметри стану на даний момент часу (реактивна потужність, що споживається), про можливий вплив на систему (потужності ступенів конденсаторних батарей та їх стан). Для визначення вектора управління можна скористатися, наприклад, математичною моделлю (1.2), що записана в символічному вигляді

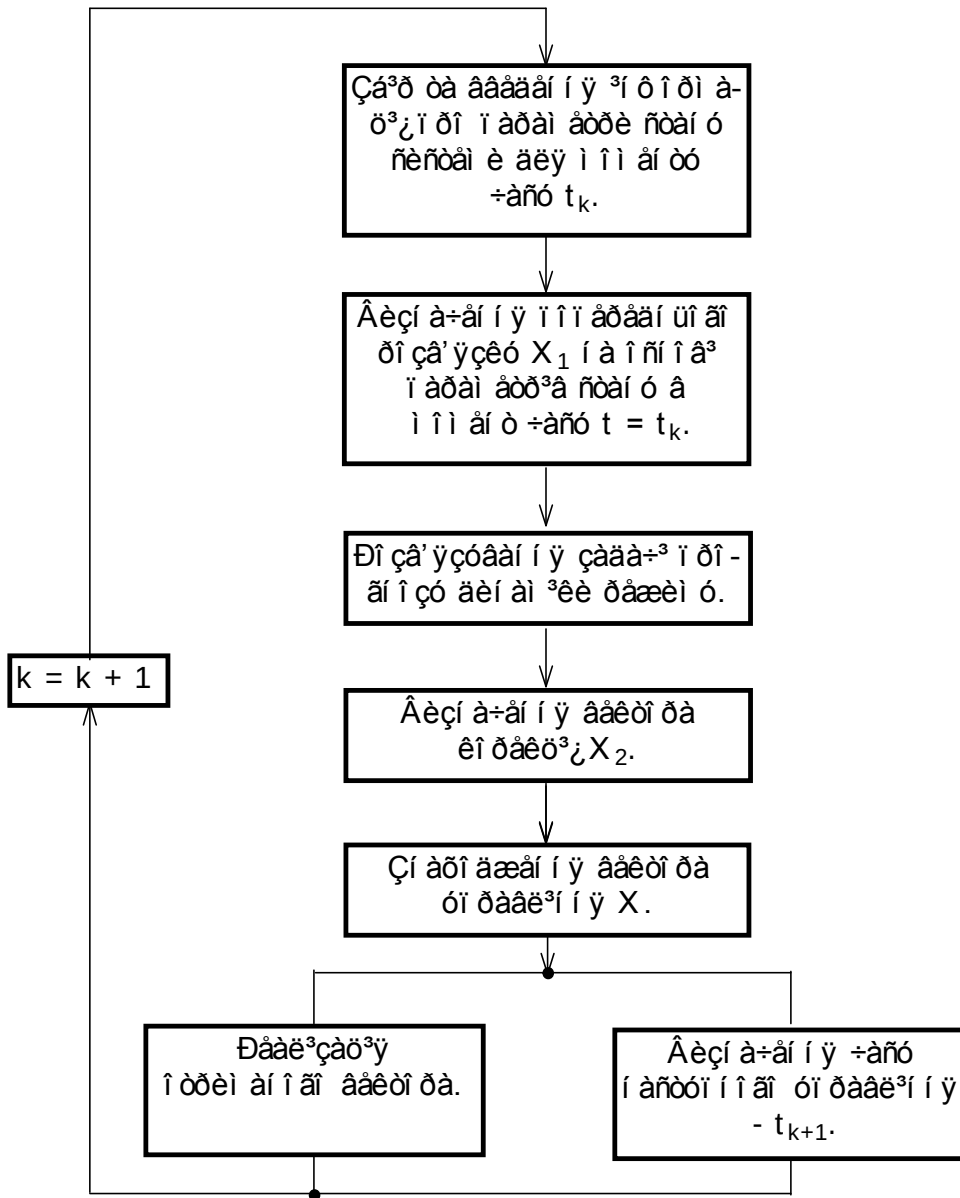


Рис.1.4. Блок-схема алгоритму багатостадійного стохастичного управління

$$\begin{cases} \Delta P_Q(X_1) \rightarrow \min \\ A_1 \leq Q(X_1) \leq A_2 \end{cases}, \quad (1.2)$$

де ΔP_Q - додаткові втрати активної потужності в мережі, що пов'язані з передачею реактивної; Q - реактивна потужність, що споживається від енергосистеми; A_1 , A_2 - межі споживання реактивної потужності, що встановлені енергосистемою.

Оптимізаційна модель (1.2) передбачає знаходження такого вектора управління, якому відповідає мінімум втрат активної потужності в мережі

і одночасно виконуються вимоги енергосистеми щодо споживання реактивної потужності.

Розв'язок, що отримується при цьому, є найкращим для умов, які склалися на даний момент часу. Але якщо врахувати розвиток процесу, то знайдений розв'язок можна поліпшити. Виконання корекції знайденого вектора управління з урахуванням параметрів процесу, що очікується, передбачається саме в наступній частині алгоритму. Для цього потрібно скористатися математичними методами прогнозу. Наприклад, така задача прогнозу вирішена і реалізації вектора управління X_1 буде відповідати траєкторія 2, рис. 1.5, для якої отримано аналітичний опис, що поданий у вигляді лінійної апроксимуючої залежності. Вектор X_2 , що уточнює попередній розв'язок, може бути знайденим за допомогою математичної моделі 1.3.

$$\begin{cases} \Delta \dot{Y}_Q(X_2) \rightarrow \min \\ \hat{A}_1 \leq Q(X_1) + Q(X_2) \leq \hat{A}_2, \end{cases} \quad (1.3)$$

де $\Delta \dot{Y}_Q$ - додаткові втрати активної енергії в мережі, що пов'язані з потоками реактивної потужності; B_1 та B_2 - числа, що визначають нові межі на допустиму величину реактивної потужності.

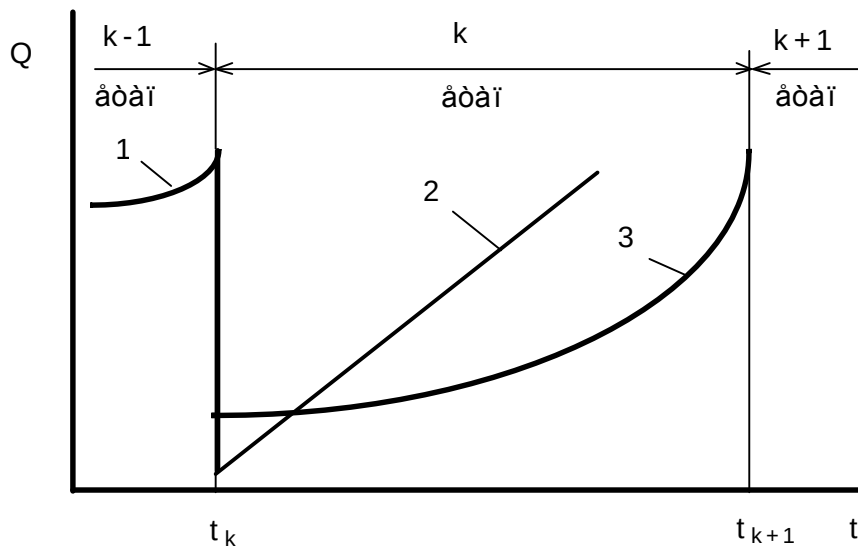


Рис.1.5. Результати управління за алгоритмом багатоетапного стохастичного управління:

- 1 - залежність $Q(t)$, що отримана на $(k-1)$ етапі управління;
- 2 - те ж для k -го етапу, якщо реалізувати X_1 ;
- 3 - те ж для k -го етапу, якщо реалізувати X

Математична модель дозволяє знайти компоненти вектора X_2 з вимог мінімуму додаткових втрат активної енергії, що супроводять передачу реактивної потужності при одночасному забезпеченні вимог енергосистеми.

Результуючий вектор управління, що потрібно реалізувати, знаходиться як $X_1 + X_2$. Цей вектор забезпечить хід процесу, як зображено на рис. 1.5.

Порівняємо криві 2 і 3 за величинами реактивної енергії які відповідають їм на проміжку часу $t_k - t_{k+1}$. Реактивна енергія, плата за яку за діючими тарифами є частиною плати за електроенергію, дорівнює площі під відповідною залежністю $Q(t)$. Таким чином, йдучи на деяке погіршення результату в момент прийняття рішення, отримуємо виграш на інтервалі часу $t_k - t_{k+1}$.

1.5 Системний підхід при управлінні технічними системами

Технічні рішення повинні прийматися з урахуванням вимог системного підходу. Системний підхід опирається на закон діалектики про взаємозв'язок та взаємообумовленість явищ в природі. Він вимагає розглядати явища та об'єкти не тільки як самостійну систему, але і як підсистему деякої більшої системи, та при цьому простежити якомога більшу кількість зв'язків - не тільки внутрішніх, але і зовнішніх - для того, щоб не пропустити найбільш суттєві, та оцінити їх ефекти.

Звернемося до ситуації, коли здійснюється перехід на схему післяаварійного електропостачання. При цьому виконуються цілеспрямовані дії в схемі електропостачання для поновлення живлення споживачів, які втратили його внаслідок аварії в промисловій електричній мережі, використовуючи для цього наявні можливості. Людина, що виконує цю роботу, повинна знати про можливі наслідки, які можуть бути такими:

- зміна показників надійності електропостачання;

- перерозподіл навантажень в електричній мережі і, як наслідок, встановлюються інші втрати потужності та енергії;
- зміна відхилень напруг в окремих вузлах мережі та інших показників якості електроенергії;
- зміна завантаження окремих елементів системи електропостачання;
- зміна рівнів струмів короткого замикання, в результаті чого комутаційні апарати будуть працювати в інших умовах та може встановитись невідповідність уставок релейного захисту параметрам аварійного режиму;
- зміна характеристик стійкості вузлів навантаження.

Очевидним є те, що перелічені наслідки можуть змінюватись в напрямку поліпшення відповідних характеристик, чи погіршуючи їх, або даний параметр може лишатися без змін. Ступінь зміни характеристики також може бути різним. Іноді досягнутий стан є недопустимим з тих або інших причин, наприклад, виникає перевантаження певних елементів системи електропостачання, що виходить за допустимі межі. В таких випадках природно не слід виконувати дію, що спричиняє такі наслідки.

У відповідності до нашого визначення, що дано вище, таку дію, яка має певну мету (забезпечення живлення відключених приймачів), можна розцінювати як управління. Наслідки, які пов'язані з цим, надалі будемо називати взаємозв'язками з іншими задачами управління.

Таким чином, ми підійшли до однієї з основних вимог системного підходу - недостатність та шкідливість локальних рішень, що приймаються на основі охоплення невеликої кількості факторів.

Укажемо ще і на таку обставину, що слід простежувати взаємозв'язки не тільки внутрішні (всередині системи) але і зовнішні (що проявляються в зовнішньому середовищі). Наприклад, зміна схеми живлення споживачів системи електропостачання може створити умови для посилення вищих гармонічних складових струму та напруги, збитки від яких проявляються в мережах енергосистеми та підприємств, що знаходяться поблизу. В свою чергу на цих підприємствах можуть використовувати

ватись технологічні процеси, які чутливі до їх впливу. Тому в цьому випадку рішення потрібно приймати, враховуючи це явище.

Маючи добрі професійні знання, можна здебільшого завжди вказати на взаємопов'язані фактори. Але іноді виникає потреба в проведенні дослідження, що направлене на додаткове вивчення об'єкта управління.

В згаданому прикладі в залежності від конкретної ситуації частина із взаємопов'язаних задач принципово мають місце, але в кількісній оцінці вони можуть виявитись несуттєвими. За аналогією те саме відбувається і в інших задачах управління. Тому, приймаючи цілеспрямоване рішення, потрібно виявити найбільш суттєві фактори, а розрахунок вектора управління слід виконувати з врахуванням цих фактів, нехтуючи незначними.

Виникає природне запитання, як практично прийняти рішення для управління з урахуванням всього комплексу взаємозв'язків. Зробити це можна, використавши методи дослідження операцій. Моделі управління, побудова яких передбачається методологією дослідження операцій, повинні відображувати суть проблеми управління, в той же час модель повинна бути достатньо вільною від несуттєвих деталей, що дозволяє знайти найбільш ефективний розв'язок.

1.6 Загальна характеристика задач управління нормальними режимами систем електропостачання

Розглянемо задачі управління електричними режимами, що виникають в системі електропостачання і які потребують їх реалізації в реальному масштабі часу. Характерними ознаками цих задач є:

- потреби в оперативній інформації;
- обмежений проміжок часу на відпрацювання та реалізацію вектора управління.

Остання особливість продиктована динамічними властивостями об'єкта управління. Очевидно, що за час, потрібний для розрахунку та на реалізацію рішення, параметри режиму об'єкта управління повинні мати

незначні зміни. До речі, ця обставина може стати вирішальним фактором при виборі технічних засобів для управління об'єктом.

Оперативна інформація може знадобитися, якщо деякі параметри вектора стану мають відхилення від норм. Для цього організовують або неперервний їх контроль, або дискретний - через деякий проміжок часу. Оперативна інформація має малий об'єм (в порівнянні з неоперативною), а також може бути отримана та перероблена за малий проміжок часу.

Перерахуємо деякі задачі управління нормальними режимами в системі електропостачання промислового підприємства, які доцільно реалізувати в системі АСУ електроенергетики, та коротко розкриємо їх зміст.

1. Постійний контроль положення комутаційних апаратів в силових колах живлення. Це дає змогу відтворювати на екрані дисплея ЕОМ оперативну інформацію про стан апаратів, про ділянки схеми, що знаходяться під напругою, і по яких передається електрична енергія. Таку задачу доцільно мати в складі АСУ, коли на підприємстві складна схема електропостачання. Маючи інформацію про стан схеми, можна зменшити ймовірність невірних дій при виконанні оперативних переключень. Задача потребує датчиків положення комутаційних апаратів, що зістиковані з ЕОМ, і функціонує в режимі розімкнутої системи управління (в режимі інформатора): автоматизований збір оперативної інформації, її обробка і видача на екран дисплея або на друк.

2. Вимір поточних значень параметрів режиму в системі живлення (активні та реактивні потужності, напруги, струми, коефіцієнти потужності), що дозволяє одержати добові графіки навантаження, графіки навантажень за тривалістю, оцінити нерівномірність графіків, слідкувати за перевантаженням деяких ділянок електромережі, отримати та обробити статистичний матеріал різного змісту про режими живлення. Обробка одержаної інформації виконується автоматизовано. Інформація, яку можна отримати, корисна для будь-якої системи електропостачання, а розглянута задача може мати найширше використання.

3. Виконання оперативних переключень в мережах, або контроль за їх виконанням. В першому випадку автоматично, за командами ЕОМ, виконується указане оперативне переключення на основі інформації про стан схеми електроживлення. Система функціонує в замкнутому режимі: автоматизований збір інформації, її обробка та автоматизований вплив на об'єкт управління. В іншому випадку система працює в режимі радника, а переключення виконує черговий диспетчер. Іноді задача функціонує як тренажер для відпрацювання навиків оперативного персоналу.

4. Постійний контроль графіка навантаження підприємства та його вирівнювання не дасть змоги споживати електроенергію більше заявленого максимуму потужності. Найбільшого ефекту можна досягнути, якщо є змога одночасно з контролем вирішувати задачу прогнозу динаміки потужності на основі інформації, що накопичена за час попередніх спостережень. В цьому випадку видається інформація про потужність, що очікується, наприклад, через 10 або 20 хвилин і енергодиспетчер, при потребі, вирішує, які потужності на підприємстві слід відключити і вчасно відключає їх. Задача корисна, якщо підприємство працює в умовах жорстких обмежень з боку енергосистеми.

5. Оцінка навантаження деяких елементів системи живлення і накопичення відповідного статистичного матеріалу з метою обґрунтування перевантажень, що можуть трапитись як в нормальному, так і в післяаварійному режимах. Таку задачу доцільно мати в складі АСУ, якщо в системі живлення підприємства є елементи гранично завантажені.

Характерним для позначених задач є те, що автоматизовано визначається вектор управління в умовах безальтернативності. Однак, існує багато задач управління нормальними режимами в системі електропостачання, які мають альтернативні розв'язки, і потрібно знайти найкраще із множини допустимих. Наприклад, коли за вимогою енергосистеми треба знизити потужність підприємства на задану величину ΔP , кВт. Можна зазначити багато варіантів для виконання цієї вимоги. Всі вони забезпечать зниження потужності - ΔP , що вимагається, але збиток для підприємства може бути нанесений різний. Такі задачі відносяться до кла-

су оптимізаційних і викликають найбільший інтерес як з точки зору їх математичної постановки, так і технічної реалізації. Задачі оптимізації характерні тим, що іноді це специфічні задачі для певного підприємства, мають складну математичну постановку, але їх використання дає велику ефективність. Слід відмітити, що доля оптимізаційних задач управління в складі діючих АСУ незначна, хоча їх реалізація має малий термін окупності.

Параметри електричного режиму є динамічними, тобто зазнають змін в часі. Якщо параметри нормального режиму в системі змінюються в незначних межах, достатньо одного вектора управління. Задачі управління з такою реалізацією мають певний інтерес, оскільки потребують менших коштів, але вони є проектними і тому розглядатися не будуть. А якщо межі зміни параметрів нормального режиму значні, то ефективного управління можна досягти тільки за рахунок постійної корекції вектора управління, яка проводиться час за часом.

При умові багатоальтернативності рішень потрібно кожним разом при визначенні вектора управління вирішувати оптимізаційну задачу. Таке управління, що зводиться до вирішення цілої послідовності оптимізаційних задач, називається оптимальним управлінням, а відповідний вектор управління - оптимальним. Вибір оптимального вектора управління слід проводити в межах параметрів пристроїв, що управляють системою.

Найбільш типовими задачами оптимального управління нормальними режимами є регулювання графіків активного та реактивного навантажень підприємства, розподіл потужності між агрегатами, вибір числа та складу енергообладнання, управління якістю електроенергії. Загальна задача оптимального управління нормальними режимами в системі електропостачання може бути сформульована таким чином: використовуючи всі наявні можливості, слід забезпечити такий сталий режим роботи всіх енергооб'єктів, при якому досягається задоволення потреб електроенергією належної якості та надійності з мінімальними затратами на її отримання, перетворення та передачу. Звичайно, така постановка

задачі оптимального управління нормальними режимами надзвичайно складна і вирішена бути не може. Тому для вирішення задачі звертаються до принципу декомпозиції, коли замість складної задачі вирішують послідовність локальних задач.

Оптимальне управління може мати різний ступінь автоматизації. Це може бути розімкнута система управління: коли збір інформації, її введення в ЕОМ, реалізація отриманого вектора управління виконується людиною або коли людина виконує тільки збір та введення інформації чи реалізацію вектора управління. Для замкнених систем характерно, що всі зазначені функції реалізуються автоматизовано.

Контрольні завдання для самопідготовки

1. Виконується управління конденсаторними батареями на ТП. Для даного випадку сформулюйте та обґрунтуйте:

- яка множина елементів утворює систему?
- що є зовнішнім середовищем по відношенню до виділеної системи?
- які параметри утворюють вектор стану системи?
- що є збуреннями, а що треба розглядати як управління?
- яка інформація та які дані потрібні для цього?

2. Те саме, але для задачі управління положенням перемикача РПН на трансформаторах ГПП.

3. Те саме, але для задач управління кадрами служби головного енергетика.

4. Запропонуйте та обґрунтуйте критерії управління:

- положенням перемикача РПН на трансформаторах ГПП;
- несиметрією режиму з допомогою СП.

5. Які із перелічених нижче задач можна віднести до задач оптимального управління і чому?

- управління положенням перемикача РПН;
- управління кадрами служби головного енергетика;

- управління оперативними переключеннями в розподільчому пристрої ГПП;

- управління потужністю конденсаторної батареї на цеховій ТП;

- управління виконанням ремонтних робіт електрообладнання;

- управління базою даних;

- управління рівнем струмів короткого замикання.

6. Запропонуйте, як обґрунтувати вимоги до точності інформації для задачі управління конденсаторними батареями. Чим визначається необхідна степінь точності?

7. Приведіть найбільш повний перелік взаємопов'язаних задач управління, що мають місце:

- при управлінні батареями статичних конденсаторів;

- при управлінні рівнем напруги;

- при управлінні несинусоїдальністю режимів.

Література до розділу 1

1. Арзамасцев Д.А., Бартоломей П.И., Холян А.М. АСУ и оптимизация режимов энергосистем. -М.: Высшая школа, 1983.
2. Мамиконов А.Г. Основы построения АСУ. - М.: Высшая школа, 1981.
3. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике. -М.: Наука, 1979.
4. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. -М.: Наука, 1978.
5. Федоренко Р.П. Приближенное решение задач оптимального управления. -М.: Наука, 1978.
6. Табак Д., Куо Б. Оптимальное управление и математическое программирование. -М.: Наука, 1975.
7. Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации. -М.: Советское радио, 1974.

Розділ 2. ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

2.1. Загальні положення

Якість електроенергії нормується ГОСТ 13109-87 і в цілому по країні залишається незадовільною. Гострота проблеми пояснюється тим, що сучасний етап розвитку електроенергетики характеризується ростом числа та потужності енергоємних споживачів, робота яких спричиняє істотні погіршення параметрів якості електричної енергії. Це електроспоживачі з різкозмінною потужністю, з нелінійною вольт-амперною характеристикою або несиметричні за своїм конструктивним виконанням.

Для прикладу детально розглянемо задачі управління несиметричними режимами в електромережі (режимом зворотної послідовності), що спричиняються живленням приймачів несиметричного виконання. З навчальної точки зору для задач управління несиметрією режиму детально зупинимось на всіх етапах їх розробки: вивчення об'єкта управління; обґрунтування критерію; постановка задачі оптимального управління; математичне моделювання задачі; вибір алгоритму аналізу математичної моделі. Більш підготовлений читач вивчення перших етапів може опустити.

В даному випадку під управлінням розуміється вплив на систему електроживлення з метою усунення несиметрії її режиму. При цьому об'єктом управління є сама система електроживлення або її частина, що спостерігається (наприклад, вузол живлення несиметричних споживачів електроенергії). Об'єкт управління характеризується вектором стану один із компонентів якого є коефіцієнт зворотної послідовності напруг.

Нормативні вимоги з несиметрії напруг забезпечуються за допомогою місцевих пристроїв, які споряджені регуляторами, але зменшити рівень несиметрії в деяких випадках можна також шляхом більш раціонального використання технологічного обладнання. Цей шлях має бути повністю використаним при управлінні несиметрією режиму мережі незалежно від того, чи забезпечить він нормативні вимоги з таких причин:

- для своєї реалізації такі заходи не потребують зовсім або потребують незначних капітальних вкладень;
- збільшується ефективність використання діючого техноло-гічного обладнання;
- потрібна буде менша сумарна установлена потужність пристроїв для остаточного симетрування режиму.

Режими в системах електропостачання динамічні і тому для високоефективного управління може бути потрібною постійна корекція вектора управління. В таких випадках пошук оптимального вектора може виконувати ЕОМ. Використання ЕОМ дозволить здійснити управління несиметрією режиму на основі економіко-математичних методів, що дає можливість ще до прийняття рішення визначити його вплив на систему електропостачання, а також прогнозувати (якщо це потрібно) розвиток процесу в часі. Економіко-математичні методи дозволяють характеризувати якісні та кількісні взаємозв'язки всередині об'єкта та поза ним і, таким чином, приймати рішення з врахуванням цих взаємозв'язків.

2.2. Несиметричний режим системи електропостачання як об'єкт управління

Розробка та впровадження АСУ потребує попереднього аналізу, направленого на виявлення способів впливу на об'єкт управління, дієвих при цьому факторів, можливих підходів та кількісних оцінок результатів впливу.

Суть найбільш поширених способів управління полягає в тому, що для усунення несиметрії режиму мережі до вузла живлення підключається симетруючий пристрій (СП). Таке технічне рішення називається способом зовнішнього симетрування. Можна діяти на режим зворотної послідовності шляхом природного вирівнювання навантажень по фазах - спосіб внутрішнього симетрування, а також одночасно першим та другим способом - комбіноване управління. СП виконує функції управляючого пристрою, з допомогою якого здійснюється необхідний вплив на об'єкт управління (систему електропостачання). При внутрішньому симетруванні спеціального управ-ляючого пристрою не потрібно, а управління

здійснюється шляхом кращої організації роботи технологічного обладнання.

Як відомо, зменшити ступінь несиметрії як струму, так і напруги можна шляхом підключення до системи деякого джерела додаткового струму зворотної послідовності $\dot{I}_2^{\tilde{N}}$. Вибираючи модуль та аргумент цього струму таким чином, щоб на певній ділянці схеми при складанні його з струмом $\dot{I}_2^I$ зменшувався модуль сумарного струму, можливо зменшити ступінь несиметрії струмів, де $\dot{I}_2^I$ - вектор струму зворотної послідовності навантаження. Джерелом додаткового струму зворотної послідовності може стати несиметрична батарея конденсаторів, рис. 2.1. Такий СП має цілий ряд переваг в порівнянні з іншими схемами і завдяки цьому одержав найбільше поширення.

Струм зворотної послідовності такого пристрою при симетричній напрузі в вузлі його підключення (дане припущення близьке до дійсності) визначається співвідношенням:

$$\dot{I}_2^{\tilde{N}} = -\frac{j}{3} \left(a^2 I_{c_{AB}} + I_{c_{BC}} + a I_{c_{CA}} \right) = \frac{1}{3} \left[-1.5 I_{c_{AA}} + 1.5 I_{c_{NA}} + j \left(\frac{\sqrt{3}}{2} I_{c_{AA}} - \sqrt{3} I_{c_{AN}} + \frac{\sqrt{3}}{2} I_{c_{NA}} \right) \right], \quad (2.1)$$

де a - оператор повороту трифазної системи; $I_{c_{AB}}, I_{c_{BC}}, I_{c_{CA}}$ - конденсаторна потужність в плечах А-В, В-С та С-А СП, що виражена через струми.

Вираз (2.1) вірний, якщо комплексна площа зорієнтована таким чином, що додатній напрямок її дійсної осі суміщений з вектором фазної напруги $\dot{U}_A$. Із виразу (2.1) видно, що зміна струмів $I_{c_{AB}}, I_{c_{BC}}, I_{c_{CA}}$ приводить до зміни не тільки модуля, але і фази струму $\dot{I}_2^{\tilde{N}}$. Це свідчить про принципову можливість забезпечити необхідний вплив на систему електропостачання незалежно від

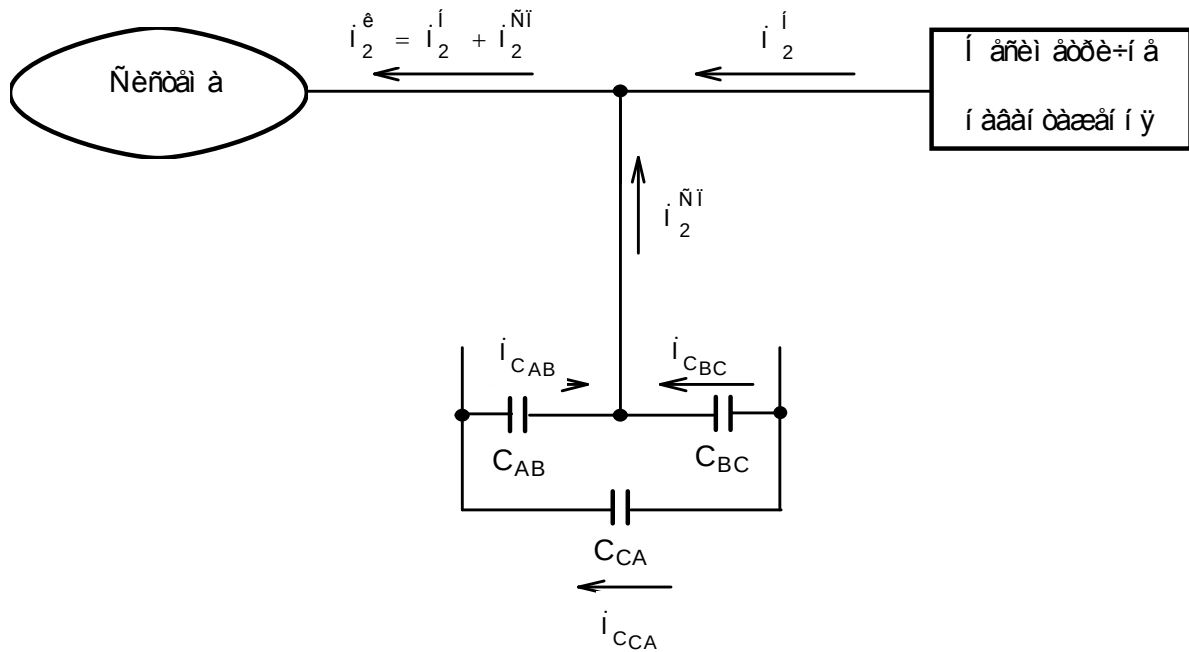


Рис 2.1 Принципова схема СП

того, який для цього необхідний струм $i_2^{\tilde{N}}$. Із більш поглибленого аналізу випливає, що для симетрування будь-якого режиму завжди достатньо конденсаторів як максимум в двох плечах пристрою.

Струм прямої послідовності СП, рис. 2.1, описується виразом:

$$i_1^{\tilde{N}} = \frac{j}{\sqrt{3}} (I_{C_{AB}} + I_{C_{BC}} + I_{C_{CA}}), \quad (2.2)$$

а потужність можна описати таким чином:

$$\hat{S}_1^{\tilde{N}} = -jQ_1^{\tilde{N}} = -j(Q_{C_{AB}} + Q_{C_{BC}} + Q_{C_{CA}}), \quad (2.3)$$

де $\hat{S}_1^{\tilde{N}}$ - комплекс повної потужності прямої послідовності СП; $Q_1^{\tilde{N}}$ - реактивна потужність СП; $Q_{C_{AB}}, Q_{C_{BC}}, Q_{C_{CA}}$ - потужність батарей конденсаторів, що підключені відповідно до напруги $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$.

Із співвідношень (2.2) та (2.3) випливає дуже важливий висновок, а саме: струм прямої послідовності СП, рис 2.1, ємнісний, а сам пристрій є джерелом реактивної потужності.

Зниження несиметрії напруг в мережі можна досягнути за рахунок раціонального розподілу електроприймачів між фазами. Вектор струму зворотної послідовності в лінії, що живить m однофазних приймачів $\dot{I}_2^i$, складається із суми струмів зворотної послідовності, що створюються кожним приймачем $\dot{I}_{2ni}$,

$$\dot{I}_2^i = \sum_{n=1}^m \dot{I}_{2ni}, \quad (2.4)$$

де $i = 1, 2, 3$ - індекс, що несе інформацію про реалізоване фазування електроприймача.

Підключенням однофазного приймача до лінійної напруги $\dot{U}_{AA}, \dot{U}_{AN}, \dot{U}_{NA}$ трифазної трипровідної електричної мережі утворюються струми зворотної послідовності, які описуються відповідними співвідношеннями:

$$\dot{I}_{2n2} = \frac{P_n}{3U_H \cos \varphi_n} \left[\exp j(30^\circ - \varphi_n) + \exp j(90^\circ - \varphi_n) \right]; \quad (2.5)$$

$$\dot{I}_{2n2} = \frac{P_n}{3U_H \cos \varphi_n} \left[\exp j(-210^\circ - \varphi_n) + \exp j(210^\circ - \varphi_n) \right]; \quad (2.6)$$

$$\dot{I}_{2n3} = \frac{P_n}{3U_H \cos \varphi_n} \left[\exp j(-30^\circ - \varphi_n) + \exp j(-90^\circ - \varphi_n) \right]. \quad (2.7)$$

де P_n - активна потужність n -го однофазного споживача; U_H - номінальна напруга приймача, яка з деяким допущенням приймається рівною фактичній; $\cos \varphi_n$ - коефіцієнт потужності n -го однофазного споживача.

Струми зворотної послідовності однофазного навантаження при різних його фазуваннях рівні за модулями та зсунуті на кут 120° , що впливає із виразу:

$$\dot{I}_{2n1} + \dot{I}_{2n2} + \dot{I}_{2n3} = 0. \quad (2.8) \quad \text{Отже,}$$

різним сполученням підключення однофазних навантажень до живильної мережі будуть відповідати різні струми зворотної послідовності в лінії, що відрізняються як модулем, так і фазою.

Струм прямої послідовності однофазного навантаження не залежить від його фазування та визначається виразом:

$$\dot{I}_{1n1} = \dot{I}_{1n2} = \dot{I}_{1n3} = \frac{P_n}{3U_n \cos \varphi_n} \left[\exp j(30^\circ - \varphi_n) + \exp j(-30^\circ - \varphi_n) \right]. \quad (2.9)$$

Узагальнюючи цей висновок на m споживачів, можна стверджувати, що будь-яка зміна фазування несиметричних навантажень не впливає на режим прямої послідовності.

Включення двох однофазних навантажень на різні напруги не завжди виявляється найкращим (якщо ці навантаження характеризуються різними параметрами). Тому внутрішнє симетрування навантажень навіть при $m=2$ не може виконуватися на основі простої рекомендації про достатність їх включення на різні напруги.

Таким чином, знайти оптимальне рішення для способу внутрішнього симетрування є непростою задачею. Число можливих варіантів підключення електроприймачів до мережі дорівнює 3^m , де m - кількість споживачів. Оптимальне рішення може бути визначене лише з допомогою математичних методів.

Управління несиметрією режиму має виконуватись на основі принципів системного підходу. Чисто локальні рішення, направлені тільки на компенсацію складових зворотної послідовності режиму мережі, отримані на основі охоплення невеликого числа важливих факторів, можуть виявитися не економічними, а іноді навіть недопустимими з технічних причин. Обмежимося лише переліком взаємопов'язаних задач управління нормальними режимами, які можуть виникати при несиметричних режимах електроспоживання.

1. СП, що виконані за схемою, рис. 2.1, одночасно генерують реактивну потужність, тобто задачі управління несиметрією режиму і графіком реактивної потужності мають вирішуватись одночасно. Неврахування цієї обставини може привести або до неекономічних рішень, або, наприклад, до появи зворотних потоків реактивної потужності із системи електроспоживання в мережі енергосистеми, що є недопустимим.

2. СП, рис. 2.1, одночасно впливає на рівень напруги системи прямої послідовності. Безконтрольна зміна параметрів СП може викликати появу перенапруг в системі живлення, особливо в часи мінімальних навантажень.

3. В чотирипровідних мережах мають місце неврівноважені режими, для яких характерна присутність симетричних складових зворотної та нульової послідовностей. Прийняття рішень з компенсації системи зворотної послідовності може викликати збільшення струмів та напруг нульової послідовності.

4. СП містять в схемі батареї статичних конденсаторів, і тому вони можуть викликати порушення статичної стійкості в вузлах навантаження.

В реальних умовах розглянуті взаємозв'язки між різними задачами оптимального управління нормальними режимами в системі електропостачання можуть проявлятися як в чистому вигляді, так і в різних сполученнях між собою.

2.3. Критерії управління несиметричним режимом електричної мережі

Постановка задачі управління деяким об'єктом передбачає наявність можливості тим чи іншим способом впливати на цей об'єкт, здійснюючи при цьому ціленаправлений вибір із ряду (принаймні із двох) альтернативних впливів. Науково обгрунтований вибір варіантів потребує наявності критеріїв оптимальності. В протилежному випадку такий вибір не можливий. Варіант, що задовольняє прийняті критерії оптимальності, вважається найбільш доцільним. Критерій оптимальності в задачах управління нормальним режимом електричних мереж носить, як правило, технічний характер. Він повинен бути адекватним меті, заради якої розв'язується задача, і бути функціонально зв'язаним із вектором управління. Як критерій оптимальності при управлінні несиметричним режимом електричної мережі в процесі її експлуатації може бути прийнята величина сумарних збитків - U_{Σ} від складових зворотної послідовності режиму. Сумарні збитки, пов'язані з несиметрією режиму, складаються з ряду доданків, кожний з яких знаходиться в квадратичній або лінійній та квадратичній залежності від коефіцієнта несиметрії напруг.

Даний критерій, хоча і чітко відображає мету організації АСУ несиметрією режиму, але зображається досить складною функцією вектора управління з таких причин:

- для системи електропостачання промислового підприємства характерна велика кількість одиниць електрообладнання, що становить труднощі в оцінці збитків;

- величини коефіцієнтів несиметрії напруг в різних вузлах системи різні і змінюються в часі;

- в процесі експлуатації схема електромережі та її параметри можуть змінюватися, що приводить до зміни співвідношень між коефіцієнтами несиметрії напруг в різних вузлах схеми;

- для деяких електроспоживачів не установлені аналітичні функції технологічних збитків від несиметрії режиму.

Обґрунтовуючи критерій оптимального управління, прагнуть до того, щоб він був простим, вимірювальним, а також таким, що дозволяє оцінювати вплив різних факторів на ефективність системи. Тому зручно перейти до оцінки будь-якого параметра режиму зворотної послідовності тільки в одному вузлі або лінії схеми електроживлення, зв'язаного функціональною залежністю з U_{Σ} . Коефіцієнт несиметрії напруг - α_U , модуль вектора напруги зворотної послідовності $-U_2$ та струму I_2 зворотної послідовності зв'язані між собою лінійними співвідношеннями:

$$\alpha_U = \frac{U_2}{U_H} = \frac{I_2 Z_2}{U_H}, \quad (2.10)$$

де Z_2 - опір для струму зворотної послідовності; U_H - номінальна напруга.

При одному і тому ж рівні несиметрії I_2 характеризується більшими значеннями, ніж U_2 , і внаслідок цього може бути більш точно визначеним шляхом замірів фазних величин за допомогою найбільш поширених в системах електроживлення пристроїв телевимірювань. Тому доцільно вибрати за критерій оптимальності модуль струму I_2 . При зменшенні величини I_2 в лінії, що живить групу несиметричних навантажень, пропорційно зменшаться струми зворотної послідовності в усіх лініях схеми та рівень α_U в усіх вузлах системи електроживлення незалежно від її конфігурації та параметрів схеми на даний час (при умові, що в системі електроживлення тільки один вузол з несиметричними навантаженнями). Якщо в результаті деякого впливу $I_2 = 0$ (режим симетричний), то $U_{\Sigma} = 0$, а якщо впливу на I_2 не чиниться, то U_{Σ} залишається незмінним.

В реальних промислових мережах струм I_2 змінюється в часі і в зв'язку з цим з'являється необхідність оцінювати симетруючий вплив на деякому інтервалі часу, а також давати кількісну оцінку якості оптимального управління несиметричним режимом в цілому. Мінімальні значення збитків, що пов'язані з несиметрією режиму, будуть мати місце на проміжку часу t_1 - t_2 , якщо виконати умову:

$$\int_{t_1}^{t_2} I_2^k(X, t) dt \rightarrow \min, \quad (2.11)$$

де I_2^k - компенсований (з врахуванням впливу пристрою керування) струм зворотної послідовності в лінії, що живить групу несиметричних електроприймачів; X - вектор управління.

Як було вказано вище, задача управління несиметрією режиму електричної мережі тісно взаємопов'язана з управлінням іншими характеристиками електроживлення та параметрами режиму. В системі електропостачання промислового підприємства, як складній системі кібернетичного типу, що має цілеспрямований розвиток та глибокі внутрішні часто стохастичні зв'язки, неможливо оцінити всі впливові фактори в грошовому виразі і, таким чином, здійснювати управління на основі єдиного критерію мінімуму приведених затрат. Тому управління режимами в промислових електричних мережах здійснюється не за одним, а за багатьма критеріями. Така задача управління відноситься до задач багатокритеріальної оптимізації. В той же час математично вірна постановка задачі оптимізації передбачає наявність лише одного критерію. Цілеспрямований вплив з симетрування режиму може бути знайдений способом, який широко використовується для такого класу задач. Полягає він в тому, що для оптимізації вибирається один із критеріїв, наприклад, оцінюючий рівень несиметрії режиму, а для інших встановлюються порогові значення із умови економічності роботи мережі, і вони виконують роль обмежень в моделі управління.

2.4. Управління рівнем несиметрії в динамічних режимах

мережі як задача оптимального управління

Розглянемо задачу оптимального управління динамічною системою з неперервним часом стосовно до управління несиметричним режимом електричної мережі. Зміна несиметрії режиму мережі в часі (її динамічна поведінка) описується функцією виду:

$$\left| \dot{i}_2^k \right| = f(X, t), \quad (2.12)$$

де $\dot{i}_2^k$ - компенсований вектор струму зворотної послідовності в живильному вводі - вектор стану системи; f - нелінійна функція.

Задача оптимального управління несиметричним режимом може формулюватися таким чином.

Знайти вектор оптимального управління $X(t)$, $t_0 \leq t \leq t_N$, серед множини допустимих значень, який забезпечить таку траєкторію динамічного процесу $\left| \dot{i}_2^k(X, t) \right|$, для якої критерій управління - J буде мінімальним,

$$J = \int_{t_0}^{t_N} \left| \dot{i}_2^k \right|^2(X, t) dt, \quad (2.13)$$

де t_0 початковий момент часу; t_N - кінцевий (не фіксований) момент часу.

В практичних випадках на змінні вектора управління можуть бути накладені додаткові обмеження різного змісту. Ці обмеження виражаються системою нерівностей або рівностей такого виду:

$$\begin{aligned} G(X) &\geq 0; \\ H(X) &= 0, \end{aligned} \quad (2.14)$$

де $G(X)$ та $H(X)$ деякі векторні функції.

Технічні можливості управління нормальними режимами в силових мережах такі, що управління може виконуватись як дискретне (цілеспрямовані впливи виконуються в дискретні моменти часу, частота яких залежить від швидкості зміни процесу та необхідної якості управління, а вибір значень компонент вектора управління слід проводити серед дискретного ряду параметрів оптимізаційного пристрою). Ця обставина потребує формулювання задачі оптимального управління несиметричними режимами в дискретній формі, а також цілочислових математичних моделей управління. Для формулювання задачі оптимального

управління в дискретній формі розіб'ємо траєкторію процесу на інтервали часу Δt . Дискретні моменти часу позначимо $t_0, t_1, t_2, \dots, t_N$. В межах інтервалу значення струму зворотної послідовності будемо вважати незмінним. Задачу в дискретній формі можна записати в такому виді:

$$\begin{cases} \sum_{n=0}^N I_{2n}^2(X) \Delta t \rightarrow \min \\ G[X(t_n)] \geq 0, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N \\ H[X(t_n)] = 0, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N, \end{cases} \quad (2.15)$$

де N - загальна кількість інтервалів часу, на які ділиться відрізок $t_0 - t_N$.

Задача оптимального управління може бути сформульована також як задача математичного програмування. При цьому для неперервної системи, якою є система електропостачання підприємства, в загальному випадку утворюється нескінченновимірна задача в нескінченновимірному просторі. Для її розв'язування можуть бути застосовані обчислювальні алгоритми математичного програмування. Тому надалі розв'язок задач оптимального управління електричними режимами будемо шукати, як нескінченну послідовність розв'язків задач математичного програмування.

2.5. Особливості постановки та розв'язування задач оптимізації не-симетричних режимів електромережі

Розв'язування всіх оптимізаційних задач в класичній математиці пов'язане із знаходженням екстремуму цільової функції $f(X)$ або цільового функціоналу $J(X) = \int_a^b X(t)dt$, де $f(X)$ та $X(t)$ деякі функції, визначені на відрізьку $[a,b]$. Залежності $f(X)$ та $J(X)$ є скалярними функціями дійсного змінного, тобто приймають значення, що виражаються дійсними числами.

Екстремум функції $f(X)$ - це найбільше або найменше значення функції (число дійсне) на деякому відрізьку. Якщо значення змінних повинні належити деякій області допустимих значень, то оптимізаційна задача вирішується методами математичного програмування. Під оптимумом при цьому розуміється найбільше або найменше значення функції, знайдене з області допустимих значень змінних. Розв'язок задачі математичного програмування згідно з класичними алгоритмами можливий тільки тоді, коли математичні моделі містять скалярні функції дійсних змінних. Якщо оптимізаційна задача полягає в знаходженні максимуму або мінімуму цільового функціоналу, то застосовуються методи варіаційного числення або оптимального управління. При цьому функціонал визначається деяким набором скалярних функцій дійсного змінного та являє собою дійсне число, що залежить від обраної функції.

Зробивши узагальнення, звернемо увагу на ту обставину, що в усіх випадках розв'язування задач оптимізації класичними методами доводиться мати справу лише із скалярними функціями дійсного змінного. Проте ряд задач оптимізації режиму електричних мереж може описуватись в комплексному вигляді. До числа таких задач відносяться задачі оптимізації несиметричних режимів, критерії оптимальності яких є параметри режиму $\dot{I}_2, \dot{U}_2, \mathbb{N}$ - величини векторні, де $\mathbb{N}$ - комплекс пульсуючої потужності. Цільові функціонали цих задач в загальному вигляді можна записати таким чином:

$$\dot{F}(X) = f(X) + j\phi(X), \quad (2.16)$$

де X - вектор змінних, кожний компонент якого - дійсне число; f, φ - скалярні функції; j - уявна одиниця.

Залежність (2.16) є нескаларною функцією дійсного змінного, де кожному значенню X відповідає певне значення функції $\dot{F}(X)$, що виражається комплексним числом. Співвідношення між складовими функції (2.16) в задачах симетрування електричного режиму такі, що знехтувати будь-якою із них неможливо. Тому класичні обчислювальні методи при такій постановці оптимізаційної задачі використані бути не можуть.

Термін “оптимум” в економіко-математичних методах використовується в значенні: найкращий варіант із можливих станів системи. В цьому значенні оптимумом слід рахувати стан електричної мережі, який описується мінімальними за модулем векторами (комплексами) $\dot{I}_2, \dot{U}_2, N$.

При побудові математичної моделі управління можна зробити перехід до модулів векторів режимних параметрів, які є скалярами. Як показали дослідження, такі моделі симетрування режиму електромережі відносяться до класу нелінійних моделей, а іноді зображаються моделями квадратичного програмування. Після такого переходу для знаходження розв’язку оптимізаційної задачі можуть використовуватись уже відомі обчислювальні алгоритми, а самі розв’язки знаходяться в неперервних змінних.

Як відмічалось вище, для управління, зокрема несиметричним режимом, в реальному масштабі часу необхідні розв’язки, знайдені в цілочислових змінних, оскільки за ними стоять, наприклад, параметри симетруючого пристрою, які мають дискретні величини або відповідне фазування несиметричних навантажень.

Розв’язування задач квадратичного програмування в цілочислових змінних пов’язане з рядом труднощів. Такі задачі управління можуть вирішуватись в неперервних змінних (без урахування цілочисловості), і якщо отриманий розв’язок задовольняє обмеження цілочисловості, то він є оптимальним для початкової цілочислової задачі. В протилежному випадку слід перейти до округлення компонент оптимального плану звичайної

моделі квадратичного програмування до цілих чисел, але при цьому можливі розв'язки, що недопустимі за умовою задачі або не оптимальні.

Викликає інтерес задача симетрування режиму електричної мережі з функцією мети виду (2.16). Таку задачу назвемо задачею нескаларної оптимізації. Під нескаларною оптимізацією будемо розуміти знаходження плану, що мінімізує модуль вибраного критеріального показника. При постановці задачі симетрування режиму у вигляді задачі нескаларної оптимізації є можливість використати для її розв'язування алгоритм, оснований на ідеях симплекс-методу лінійного програмування, оскільки перший та другий доданки виразу (2.16) є лінійною функцією змінних вектора управління. Така постановка задачі дає змогу:

- в два рази понизити порядок цільової функції та використати для розв'язування задачі алгоритми, що мають більш просту обчислювальну процедуру, і, як наслідок, скоротити машинний час розрахунку цілеспрямованих впливів;

- знаходити розв'язки в цілочислових змінних, оскільки для цілочислових задач лінійного програмування добре розроблені обчислювальні процедури.

Таким чином, на етапі математичної постановки слід забезпечити адекватність моделі із об'єктом управління, врахувавши особливості процесів, що моделюються, та можливості реалізації управління з однієї сторони, а з іншої - слід виконати вимоги тих або інших математичних методів, якими буде знаходитись розв'язок задачі. Іноді трапляються складнощі, як у випадку, що розглядається. Для вирішення задачі можна піти на допущення довівши, що вони суттєво не позначаються на отриманих результатах, а якщо цього зробити не можна, то доводиться, обґрунтувавши необхідними дослідженнями, адаптувати відомі математичні методи аналізу чи розробити нові.

2.6. Математична модель управління при внутрішньому симетруванні навантажень

Параметри режиму більшості споживачів електричної енергії змінюються в часі і з цієї причини оптимальне фазування, що відповідає найменшому рівню несиметрії, буде також змінюватись. Оптимальне управління несиметрією режиму в цьому випадку полягає в тому, що для дискретних моментів часу визначається найвигідніше (в розумінні рівномірного завантаження фаз) фазування несиметричних навантажень, і, якщо воно відрізняється від реалізованого, то виконується відповідне коректування. Фазування підключених до трифазної мережі споживачів при відповідному позначенні буде утворювати вектор управління, а множину однофазних навантажень слід розглядати як систему.

Задача внутрішнього симетрування може бути описаною в булевих змінних. Якщо змінна x_{ni} в результаті розв'язку буде дорівнювати одиниці, то це реалізується включенням n -го навантаження на i -у лінійну напругу, а якщо $x_{ni} = 0$, то навпаки.

Для формулювання цільової функції математичної моделі потрібна така вихідна інформація про параметри стану системи: P_n або I_n - активна потужність або струм n -го навантаження; $\cos\varphi_n$ - коефіцієнт потужності n -го навантаження.

На основі цієї інформації складається платіжна матриця (2.17), у якій стовпці - струми зворотної послідовності, що утворюються кожним навантаженням при його включенні на відповідну лінійну напругу. Інформація про споживачів, що подана в платіжній матриці (2.17) є прикладом вторинної інформації, працюючи з якою легше давати оцінку тому або іншому рішення щодо фазування навантажень.

№ на- ванта- ження	Комплекси струмів зворотної послідов- ності		
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}
1	$a_{11} + jb_{11}$	$a_{12} + jb_{12}$	$a_{13} + jb_{13}$
2	$a_{21} + jb_{21}$	$a_{22} + jb_{22}$	$a_{23} + jb_{23}$

m	$a_{m1} + jb_{m1}$	$a_{m2} + jb_{m2}$	$a_{m3} + jb_{m3}$

(2.17)

де a_{ni} , b_{ni} - дійсна та уявна частини вектора струму зворотної послідовності, що утворюється включенням n -го навантаження на i -у напругу; $n = 1, 2, 3, \dots, m$; $i = 1, 2, 3$.

Величини a_{ni} та b_{ni} можуть бути розраховані за формулами (2.5) - (2.6). Цільова функція математичної моделі повинна встановлювати аналітичну залежність між струмом зворотної послідовності в живильному вводі - $\dot{I}_2^H$ (що було обгрунтовано вище) та вибраними змінними. Формуючи її, потрібно взяти до уваги, що $\dot{I}_2^H$ дорівнює сумі векторів струмів зворотної послідовності, які утворюються кожним навантаженням. Сумою $a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + a_{13}x_{13} + a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} + a_{23}x_{23}$ встановлюється потрібна аналітична залежність для $\text{Re} \dot{I}_2^H$ при $m = 2$ але при цьому слід накласти вимогу про те, що лише по одній змінній із множин $\{x_{11}; x_{12}; x_{13}\}$ та $\{x_{21}; x_{22}; x_{23}\}$ можуть набувати значення одиниці, а інші мають дорівнювати нулю. Фізично це означає, що кожне навантаження може бути підключеним лише до однієї з лінійних напруг. Подібні міркування справедливі також до $\text{Im} \dot{I}_2^H$. Користуючись загальноприйнятою математичною символікою, наведену вище суму запишемо: $\sum_{n=1}^2 \sum_{i=1}^3 a_{ni} x_{ni}$.

З технічних обмежень, які потрібно врахувати в математичній моделі, це обов'язковість підключення до мережі всіх m споживачів. Аналітично, наприклад, для 1-го споживача ця вимога записується таким чином: $x_{11} + x_{12} + x_{13} = 1$. Узагальнюючи наведені міркування на випадок m споживачів, задачу внутрішнього симетрування формалізуємо у вигляді такої цілочислової математичної моделі:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \sum_{n=1}^m \sum_{i=1}^3 a_{ni} x_{ni} + j \sum_{n=1}^m \sum_{i=1}^3 b_{ni} x_{ni} \right| \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^3 x_{ni} = 1, \quad n = 1, 2, 3, \dots, m \\ x_{ni} = 1 \forall 0, \end{array} \right. \quad (2.18)$$

де $\forall$ - символ логічної операції "АБО".

Математична модель (2.18) потребує знаходження мінімуму струму зворотної послідовності шляхом раціонального підключення до мережі однофазних споживачів електричної енергії. Аналіз моделі внутрішнього симетрування (2.18) можна провести, використавши основні ідеї сим-

плекс-алгоритму лінійного програмування, згідно з логічною схемою, рис.

2.2. Для детального ознайомлення з алгоритмом аналізу математичної моделі корисно розібрати числовий приклад, що наведений далі.

ПРИКЛАД 2.1. Виконати внутрішнє симетрування однофазних навантажень, що мають такі параметри режиму: $I_1 = 0,3\text{A}$; $\cos\varphi_1 = 0,954$; $I_2 = 0,42\text{A}$; $\cos\varphi_2 = 0,879$; $I_3 = 0,565\text{A}$; $\cos\varphi_3 = 0,783$; $I_4 = 0,63\text{A}$; $\cos\varphi_4 = 0,737$; $I_5 = 0,65$; $\cos\varphi_5 = 0,7$.

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ. Для складання математичної моделі попередньо повинна бути розрахована платіжна матриця (2.17). На основі такого розрахунку математична модель даної задачі запишеться у вигляді:

$$\min \left\{ \begin{aligned} & |(0,129 \ -0,164 \ 0,035 \ 0,207 \ -0,213 \ 0,006 \ 0,303 \ -0,255 \\ & -0,048 \ 0,347 \ -0,268 \ -0,078 \ 0,363 \ -0,263 \ -0,1)X + \rightarrow \\ & + j(0,155 \ 0,054 \ -0,169 \ 0,127 \ 0,115 \ -0,242 \ 0,12 \ 0,207 \\ & -0,322 \ 0,109 \ 0,245 \ -0,353 \ 0,093 \ 0,268 \ -0,361)X| \rightarrow \min \end{aligned} \right. \quad (2.19)$$

$$r \left\{ \begin{aligned} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} X = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \end{aligned} \right. ,$$

Де $X^T = (x_{11} \ x_{12} \ x_{13} \ x_{21} \ x_{22} \ x_{23} \ x_{31} \ x_{32} \ x_{33} \ x_{41} \ x_{42} \ x_{43} \ x_{51} \ x_{52} \ x_{53})$.

Продемонструємо заміну опорного плану на прикладі однієї ітерації табличного алгоритму Є.С.Вентцель відповідно до алгоритму, рис.2.2.

Крок 1. Вибирається довільний опорний розв'язок, наприклад,

$$X^T = (1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0).$$

Крок 2. Визначимо, за рахунок якої з числа небазисних змінних можливо максимально поліпшити розв'язок, надавши кожній з них значення одиниці. Такою змінною, як видно з таблиці 2.1, є x_{53} .

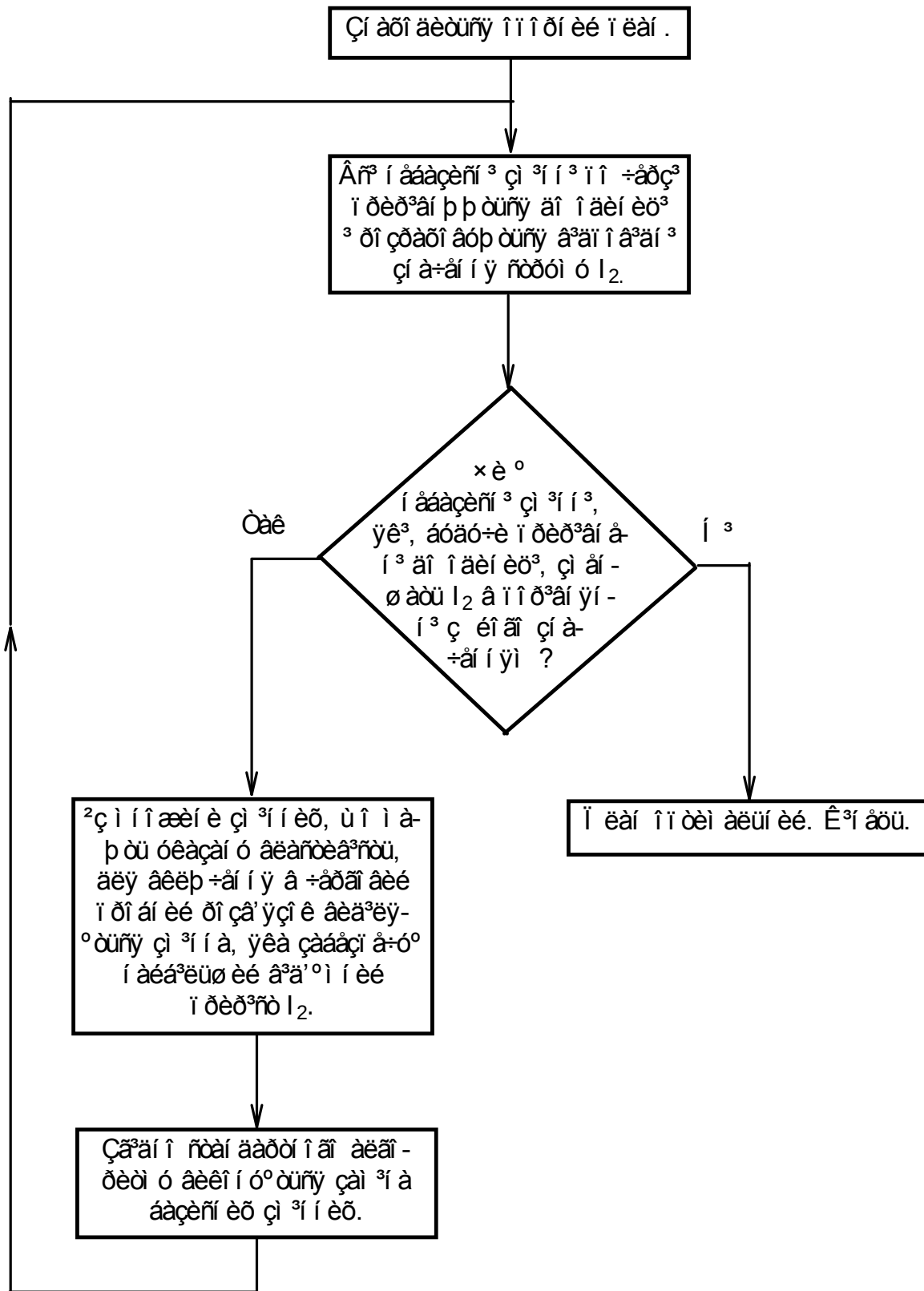


Рис. 2.2. Логічна схема розв'язування задачі внутрішнього симетрування (задачі нескалярної оптимізації)

Таблиця 2.1.

Визначення змінної для включення в базис

Небазисні змінні	Відповідні значення струмів		
	$\text{Re } i_2$	$\text{Im } i_2$	i_2
$x_{12} = 1$	1,056	0,503	1,170
$x_{13} = 1$	1,255	0,280	1,285
$x_{22} = 1$	0,929	0,553	1,081
$x_{23} = 1$	1,148	0,195	1,165
$x_{32} = 1$	0,790	0,652	1,024
$x_{33} = 1$	0,988	0,122	1,005
$x_{42} = 1$	0,734	0,700	1,014
$x_{43} = 1$	0,924	0,101	0,930
$x_{52} = 1$	0,723	0,738	1,033
$x_{53} = 1$	0,886	0,109	0,892

Крок 3. Визначається змінна, яка повинна бути виключена із базису. Такою змінною буде x_{51} .

Крок 4. Виконується заміна базисних змінних, наприклад, шляхом перетворення стандартної таблиці, табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Стандартна таблиця заміни базисних змінних

	Вільний член	x_{12}	x_{13}	x_{22}	x_{23}	x_{32}	x_{33}	x_{42}	x_{43}	x_{52}	x_{53}
$\text{Re } i_2$	0,866	0,293	0,094	0,420	0,201	0,558	0,351	0,615	0,425	0,163	$[-0,46]$
	1,349	0,293	0,094	0,420	0,201	0,558	0,351	0,615	0,425	0,626	0,46
$\text{Im } i_2$	0,109	0,061	0,284	0,012	0,369	-0,09	0,442	-0,14	0,462	-0,63	$[-0,45]$
	0,564	0,061	0,284	0,012	0,369	-0,09	0,442	-0,14	0,462	-0,18	0,45
x_{11}	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	$[0]$
	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{21}	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	$[0]$
	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
x_{31}	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	$[0]$
	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
x_{41}	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	$[0]$
	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0

x_{51}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	$\lceil 1 \rceil$	$\lceil 0 \rceil$	$\lceil 0 \rceil$	$\lceil 0 \rceil$	$\lceil 0 \rceil$	$\lceil 0 \rceil$	$\lceil 0 \rceil$	$\lceil 0 \rceil$	$\lceil 0 \rceil$	$\lceil 0 \rceil$	1

Крок 5. Повертаємось до кроку 2.

Кінцевий розв'язок задачі дає такий вектор управління:

$$X^T = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1).$$

Практично цей розв'язок реалізується таким чином: навантаження 1 підключається до напруги U_{AB} , навантаження 2 - до U_{CA} , навантаження 3 - до U_{AB} , навантаження 4 - до U_{BC} і навантаження 5 - до U_{CA} . В результаті в мережі буде циркулювати струм $I_2 = 0,142$ А.

Ефективність оптимального управління несиметричним режимом способом внутрішнього симетрування навантажень для умов електронного заводу видно з графіків, рис. 2.3. Управління виконувалось з часом дискретизації 1 година. Для управління режимом протягом доби необхідно було провести коректування вектора управління всього 5 раз.

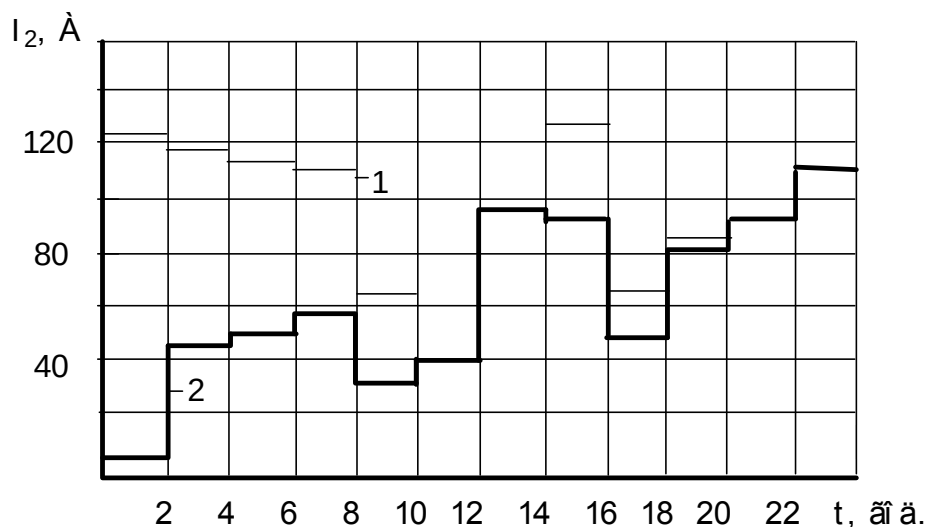


Рис. 2.3. Динаміка $I_2(t)$ в вихідному режимі та при оптимальному управлінні способом внутрішнього симетрування навантажень:

- 1 - вихідний режим;
- 2 - оптимізований режим

Показник якості управління (2.13) для наведеного добового інтервалу зменшено в оптимізованому режимі до $J_* = 0,51$ проти $J_* = 1$ в вихідному, де J_* - відносна величина показника якості управління.

2.7. Математична модель для управління СП

Для якісного управління несиметричним режимом електромережі з великим діапазоном зміни вектора $\dot{I}_2^H$ необхідно використовувати СП, що управляється. Одним із найпростіших схемних рішень може бути пристрій дискретного управління на базі батарей статичних конденсаторів, рис. 2.4.

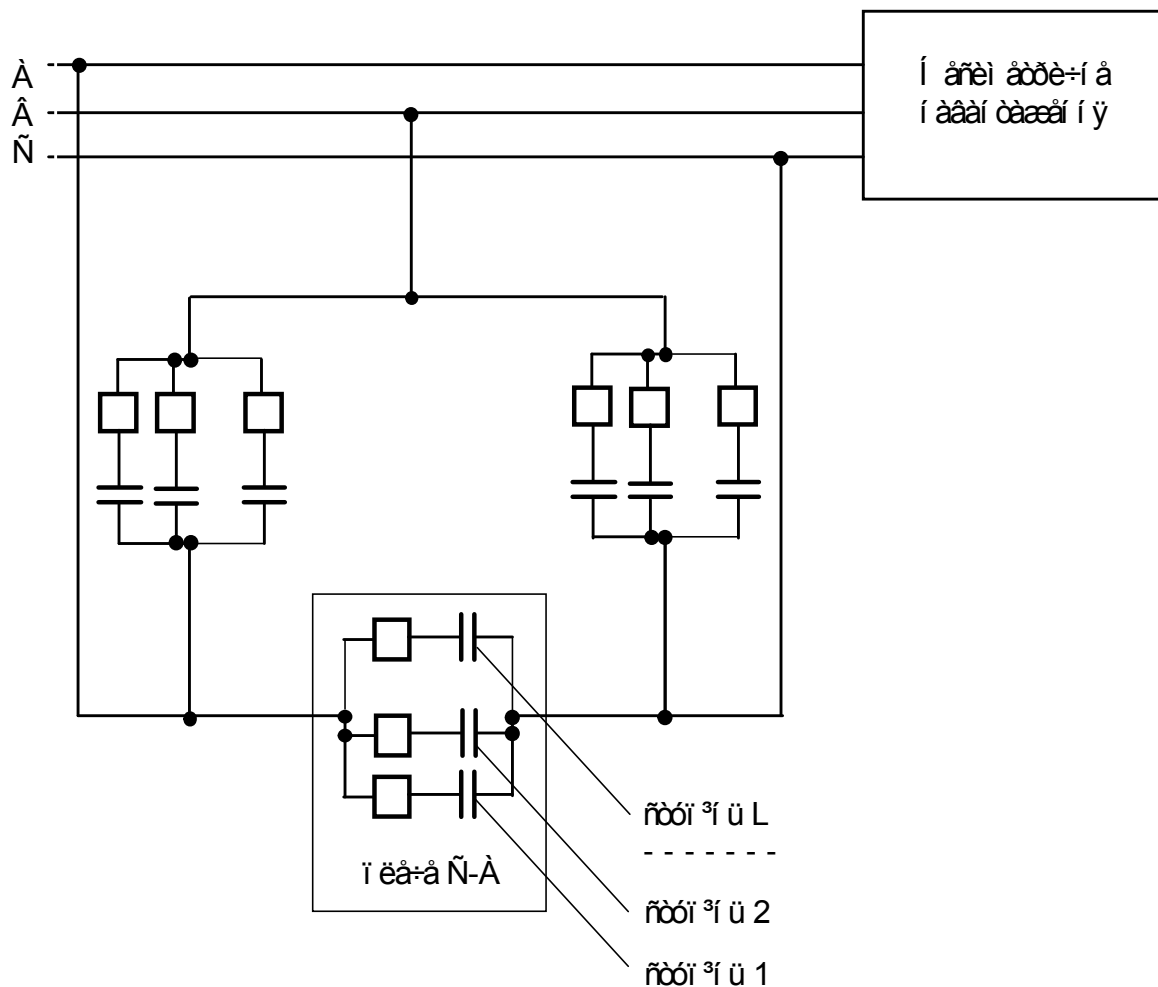


Рис. 2.4. Схема СП дискретного управління на базі батарей статичних конденсаторів

Задача управління полягає у виборі такого сполучення включень плечей та ступенів СП, яке забезпечить мінімально можливу величину струму $\dot{I}_2^K$. Вихідна інформація про стан системи, що необхідна для розрахунку управління, є вектор $\dot{I}_2^H$, що визначається за відповідними параметрами режиму. Відомості про параметри СП зображуються платіжною

матрицею (2.20), в якій стовпець - струми $\dot{I}_2^{\tilde{N}i}$, що генерується кожним ступенем СП при його включенні. Елементи матриці розглядаються як постійні величини, а розраховані вони можуть бути за формулою (2.1).

	$\dot{I}_2^{Ci}$	
Плеche A-B; ступінь 1	$a_{11} + jb_{11}$	(2.20)
ступінь 2	$a_{12} + jb_{12}$	

ступінь L	$a_{1L} + jb_{1L}$	
Плеche B-C; ступінь 1	$a_{21} + jb_{21}$	
ступінь 2	$a_{22} + jb_{22}$	

ступінь L	$a_{2L} + jb_{2L}$	
Плеche C-A; ступінь 1	$a_{31} + jb_{31}$	
ступінь 2	$a_{32} + jb_{32}$	

ступінь L	$a_{3L} + jb_{3L}$	

де a_{pi} , b_{pi} - дійсна та уявна частини вектора $\dot{I}_2^{Ci}$, що створюється при включенні l-ої ступені p-го плеча СП; $p = 1, 2, 3$; $l = 1, 2, \dots, L$.

Міркування відносно формування цільової функції математичної моделі управління СП можна навести аналогічні як і для випадку моделі (2.18) лише при цьому відбувається складання векторів зворотної послідовності, що утворюються кожною ступінню СП, з вектором $\dot{I}_2^H$. Зробимо також припущення, що СП суттєвих впливів на інші параметри режиму не чинить. Як вибрати найбільш ефективне рішення з симетрування режиму, враховуючи деякі взаємопов'язані оптимізаційні задачі, розглянемо далі.

Вектор управління може бути знайдений згідно з математичною моделю:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \operatorname{Re} i_2^H + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^3 a_{pl} x_{pl} + j \left(\operatorname{Im} i_2^H + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^3 a_{pl} x_{pl} \right) \right| \rightarrow \min \\ x_{11} + \ddot{x}_{11} = 1 \\ x_{12} + \ddot{x}_{12} = 1 \\ \text{---} \\ x_{1L} + \ddot{x}_{1L} = 1 \\ \text{---} \\ x_{3L} + \ddot{x}_{3L} = 1 \\ x_{pl}; \ddot{x}_{pl} = 1 \forall 0 \end{array} \right. \quad (2.21)$$

де x_{pl} , $\ddot{x}_{pl}$ - змінні, що відповідають рішенням включити l -у ступінь p -го плеча СП, якщо в результаті розв'язування $x_{pl} = 1$, а $\ddot{x}_{pl} = 0$, або не включити, якщо $x_{pl} = 0$, а $\ddot{x}_{pl} = 1$.

Розв'язок, що відповідає математичній моделі, забезпечує мінімальну несиметрію режиму всіма існуючими в даному випадку засобами. Обмеження моделі вказують на те, що кожен із ступенів СП може знаходитись або у включеному, або у відключеному положенні.

СП дискретного управління, що виконані за іншими схемами, також мають можливість генерувати деяку множину струмів i_2^{CI} . Тому відомості про такий пристрій також можуть зображатися платіжною матрицею (2.20), а вектор управління знаходиться відповідно математичній моделі (2.21).

Процес знаходження вектора управління СП для деякого несиметричного режиму електромережі розглянемо на чисельному прикладі.

Приклад 2.2. В лінії, що живить несиметричне навантаження, встановився режим, симетрична складова струму зворотної послідовності якого дорівнює $i_2^H = 4,036 + j1,725$ А. В вузлі живлення є СП (виконаний на базі силових конденсаторних батарей), параметри якого виражені через струми I_c , мають значення:

Плече А-В (1); ступінь 1, $I_c = 1,8$ А; ступінь 2, $I_c = 1,2$ А; ступінь 3, $I_c = 0,6$ А.

Для плеча В-С (2) та С-А (3) параметри ступенів та їх кількість та ж.

Знайти вектор управління симетруючим пристроєм.

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ. Математична модель управління для симетрування режиму має вид:

$$\begin{cases} |4,036 + (-0,9 \ -0,6 \ -0,3 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,9 \ 0,6 \ 0,3)X + \rightarrow \\ + j[1,725 + (0,52 \ 0,346 \ 0,173 \ -1,04 \ -0,693 \ -0,346 \ 0,52 \ 0,346 \ 0,173)X]| \rightarrow \min \\ X + \ddot{X} = n \end{cases} \quad (2.22)$$

де $X^T = (x_{11} \ x_{12} \ x_{13} \ x_{21} \ x_{22} \ x_{23} \ x_{31} \ x_{32} \ x_{33})$; $\ddot{X}^T = \begin{pmatrix} \ddot{x}_{11} & \ddot{x}_{12} & \ddot{x}_{13} & \ddot{x}_{21} & \ddot{x}_{22} & \ddot{x}_{23} & \ddot{x}_{31} & \ddot{x}_{32} & \ddot{x}_{33} \end{pmatrix}$ - вектори управління; n - одинична матриця вимірністю 9×1 .

Розв'язком задачі є вектор: $X^T = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)$. Для реалізації цього вектора управління слід включити всі ступені СП в плечах А-В і В-С. В результаті в живильній лінії буде протікати струм зворотної послідовності рівний $\dot{I}_2^E = 2,236 + j0,686$ А.

СП, рис. 2.4, будучи несиметричним навантаженням, впливає як на режим зворотної, так і на режим прямої послідовності. Виконаний таким, що управляється, він може використовуватись для регулювання реактивної потужності підприємства. Ефективність використання конденсаторів при цьому буде збільшена. Режим роботи джерел реактивної потужності повинен бути таким, щоб протягом доби генерована реактивна потужність не менш ніж на 80-90% співпадала із графіком реактивної потужності, що споживається. Тому вибір ступенів СП для включення повинен виконуватись в умовах обмеження:

$$Q_1^{\tilde{I}}(X) \leq Q_{\text{доп}} \quad (2.23)$$

де $Q_{\text{доп}}$ - допустима реактивна потужність СП на момент вибору цілеспрямованого впливу, яка визначена із умови регулювання графіка реактивної потужності вузла навантаження.

Вектор управління, що задовольняє технічне обмеження з компенсації реактивної потужності, може бути знайдений розв'язуванням задачі цілочислового програмування:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \operatorname{Re} i_2^H + \sum_{p=1}^3 \sum_{l=1}^L a_{pl} x_{pl} + j \left(\operatorname{Im} i_2^H + \sum_{p=1}^3 \sum_{l=1}^L b_{pl} x_{pl} \right) \right| \rightarrow \min \\ x_{11} + \ddot{x}_{11} = 1 \\ x_{12} + \ddot{x}_{12} = 1 \\ \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \\ x_{1L} + \ddot{x}_{1L} = 1 \\ \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \\ x_{3L} + \ddot{x}_{3L} = 1 \\ \sum_{p=1}^3 \sum_{l=1}^L c_{pl} x_{pl} \leq \frac{Q_{\text{д}} \hat{i}}{U_{\text{д}}} \\ x_{pl}; \ddot{x}_{pl} = 1 \forall 0 \end{array} \right. \quad (2.24)$$

де c_{pl} - струм прямої послідовності в живильній лінії, що утворюється при включенні l -го ступені p -го плеча СП; $U_{\text{д}}$ - величина напруги на конденсаторах СП.

Обмеження - нерівність, що міститься в математичній моделі, відображає вимогу до рівня компенсації реактивної потужності групи однофазних споживачів. Обмеження вкрай необхідне, коли рівень несиметрії значний при високому коефіцієнті потужності навантаження.

Щоб досягти певного ефекту за рівнем напруги прямої послідовності при управлінні несиметрією режиму, в математичну модель додатково слід ввести обмеження, яким функціонально зв'язується рівень напруги в вузлі навантаження з вектором управління СП. Слід зауважити, що постановка кожного додаткового обмеження може звужити область допустимих розв'язків і, як наслідок, оптимальний розв'язок виявиться менш ефективним. Іноді може навіть статись, що множина допустимих розв'язків пуста і поліпшити режим не має змоги. Таким чином, кожне додаткове обмеження в моделі управління має бути обгрунтованим.

Контрольні завдання для самопідготовки

1. Приведіть найбільш повний перелік задач управління якістю електроенергії, що доцільно мати на відомому для Вас підприємстві та вмотивуйте це.

2. Запропонуйте та дайте необхідне обґрунтування критеріїв управління за всіма показниками якості електроенергії.

3. Який зміст можуть мати компоненти вектора управління при керуванні:

- відхиленнями напруги;
- несинусоїдальністю параметрів режиму;
- незрівноваженністю системи напруг.

4. Сформулюйте комплекс взаємопов'язаних задач, що мають місце при управлінні такими показниками якості електроенергії:

- відхиленням напруги;
- коефіцієнтом несинусоїдальності форми кривої напруги;
- коефіцієнтом нульової послідовності напруг.

5. Наведіть схеми пристроїв, що можуть використовуватись для управління показниками якості електроенергії. На які параметри стану системи впливає кожний з них?

6. Запропонуйте алгоритм управління несиметричним режимом, розробіть його блок-схему, обґрунтуйте область доцільного використання.

7. З яких міркувань потрібно виходити, щоб вибрати технічні засоби для управління показниками якості електроенергії?

8. Спробуйте розробити математичну модель управління будь-яким показником якості електроенергії:

- в символічному вигляді;
- у вигляді розгорнутих аналітичних залежностей.

9. Виконайте в повному обсязі розв'язування чисельних прикладів 2.1 та 2.2. Отримані результати порівняйте з наведеними в розділах 2.6 та 2.7.

10 Встановіть аналітичну залежність, що контролює вплив СП, рис. 2.4, на рівень напруги.

Література до розділу 2

1. ГОСТ 13109-87. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения.

2. Жежеленко И.В., Рабинович М.Л., Божко В.М. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. -К.: Техніка, 1981.
3. Аввакумов В.Г. Постановка и решение электроэнергетических задач исследования операций. -К.: Вища школа. 1990.
4. Аввакумов В.Г. Методы нескальной оптимизации и их приложения. К.: Вища школа, 1990.
5. Винославский В.Н., Аввакумов В.Г., Терешкевич Л.Б. Математические модели оперативного управления несимметрией режима в электрической сети и алгоритм их решения. - Техническая электродинамика, 1985, №5.
6. Вентцель Е.С. Исследование операций. - М.: Советское радио, 1972.
7. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. К.: Наукова думка, 1985.
8. Шидловский А.К., Борисов Б.П. Симметрирование однофазных и двухплечевых электротехнологических установок. - К.: Наукова думка, 1977.
9. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы электропотребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1987.

Розділ 3. ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

3.1. Загальні положення

Переважна більшість електроприймачів, крім активної потужності, споживають реактивну. Передача реактивної потужності по електричних мережах приводить до додаткових втрат активної потужності та енергії, знижує пропускну здатність елементів системи живлення, погіршує напруги в вузлах живлення. Для поліпшення режимів електроспоживання у вузлах навантаження встановлюються пристрої, які генерують реактивну потужність і тим самим живильні електромережі розвантажуються від реактивної потужності (виконується компенсація реактивних навантажень). Найбільш поширеним пристроєм для генерації реактивної потужності, що використовується на промислових підприємствах, є батареї статичних конденсаторів (БСК). Режими електроспоживання, в тому числі й режими споживання реактивної потужності, динамічні. З цієї причини генерована реактивна потужність повинна змінюватись в часі (БСК мають бути керованими). Режим генерації реактивної потужності повинен максимально наближатись до режиму споживання. Повного збігу отримати не вдається, тому що БСК конструктивно виконані таким чином, що мають дискретні ступені для регулювання, а саме управління виконується в дискретні моменти часу.

Для підприємства економічно вигідно забезпечити саме такий закон роботи джерел реактивної потужності. По-перше, покращаться електричні режими в системі електропостачання (зменшаться втрати енергії та потужності, поліпшиться рівень напруги), а, по-друге, знизиться плата за електричну енергію, тому що згідно з діючими тарифами з підприємства береться також плата за реактивну енергію та потужність (якщо розрахунок проводиться за двоставочним тарифом). Крім того, енергосистема може встановити для підприємства величину для вхідної реактивної потужності в години максимальних та мінімальних навантажень в

енергосистемі і за порушення цієї вимоги з підприємства стягується штраф.

Управління потужністю БСК виконується в функції таких параметрів:

- за часом доби, якщо для всіх підрозділів і підприємства в цілому характерний стабільний графік реактивних навантажень;
- за напругою, коли необхідно зменшити відхилення рівня напруги від оптимального значення;
- за кутом зсуву між векторами струму і напруги або за реактивною потужністю для регулювання графіка реактивних навантажень;
- за декількома параметрами (наприклад, за реактивною потужністю, напругою та часом доби).

Існує ряд способів управління потужністю БСК: автоматичне, автоматизоване, ручне або диспетчерське з використанням засобів телемеханіки. Автоматичне широко застосовується насамперед на ТП або РП, де відсутній оперативний персонал, і виконується за допомогою автоматичних пристроїв, які виготовляються промисловістю досить широкої номенклатури. Диспетчерське управління є достатньо простим та надійним, не потребує додаткової апаратури та автоматики і застосовується на тих підприємствах, де функціонує телемеханізація систем електропостачання. При цьому досягається висока економічність електропостачання, тому що управління потужністю БСК виконується з урахуванням графіків навантажень енергосистеми та промислового підприємства. Автоматизоване управління передбачає участь людини в процесі управління з різним рівнем автоматизації. Розрахунок оптимального вектора управління на основі оперативної інформації про стан системи виконує ЕОМ. При цьому є можливість побудувати систему управління, яка буде враховувати специфічні умови конкретної систем електропостачання та електроенергетичної системи. Спосіб поєднує перевагу диспетчерського управління з можливістю знаходження оптимального вектора управління в умовах певних обмежень, які можуть час від часу змінюватись.

3.2. Формулювання задачі управління БСК як задачі оптимального управління

Мета оптимального управління БСК полягає в тому, щоб зменшити споживання реактивної енергії та потужності промисловим підприємством. Сформулюємо задачу оптимального управління, яка забезпечує виконання цієї мети.

Враховуючи те, що система електроспоживання є динамічним об'єктом, її стан можна описати функцією виду:

$$Q = f(X, t), \quad (3.1)$$

де Q - реактивна потужність, що споживається підприємством з мереж енергосистеми.

Задача управління потужністю БСК потребує знаходження оптимального управління $X(t)$, $t_0 \leq t \leq t_N$, серед множини допустимих значень, що забезпечує траєкторію процесу $Q(t)$, для якої критерій управління - J буде мінімальним,

$$J = \int_{t_0}^{t_N} Q(X, t) dt \rightarrow \min. \quad (3.2)$$

В ряді випадків в задачах практичного змісту оптимальний вектор управління потрібно знаходити в умовах обмежень, які функціонально можуть бути представлені у вигляді рівностей або нерівностей. Умови практичної реалізації оптимального управління БСК такі, що необхідні рішення для деяких дискретних моментів часу (як і для задачі управління несиметрією режиму). З урахуванням цього для загального випадку задача оптимального управління БСК в дискретній формі має вид:

$$\begin{cases} \sum_{k=0}^N Q_k(X) \Delta t \rightarrow \min \\ G[X(t_k)] \geq 0, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N \\ H[X(t_k)] = 0, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N \end{cases}, \quad (3.3)$$

де Q_k - реактивна потужність, що споживається підприємством для t_k моменту часу; G та H - деякі векторні функції.

Слід звернути увагу, що задача оптимального управління (3.3), як і в випадку (2.15), являє собою безмежномірну задачу математичного програмування ($N \rightarrow \infty$). Тому її розв'язок будемо шукати як послідовне розв'язування безмежного ряду задач математичного програмування для фіксованих моментів часу.

Для того, щоб довести, що задача (3.3) відповідає поставленій меті, можна звернутись до її геометричної інтерпретації. Цільовий функціонал, який являє собою суму добутків відповідних значень Q_k на Δt , дорівнює площі під графіком $Q(t)$. Знаходження умов мінімуму цільового функціоналу буде відповідати мінімальній площі під графіком $Q(t)$, а в енергетичному розумінні - мінімуму реактивної енергії. Реактивна потужність підприємства, для обчислення відповідної складової оплати за електроенергію, фіксується для певного моменту часу. Технічна реалізація розв'язку задачі оптимального управління для цього ж моменту - забезпечує мінімальне значення реактивної потужності для підприємства. Таким чином, маємо повне забезпечення поставленої мети.

Графік реактивної потужності $Q(t)$ підприємства формується з відповідних графіків ТП, яких на підприємстві може бути значна кількість. В загальному випадку на графік можна безпосередньо вплинути за допомогою БСК 10 кВ, які встановлені на ГПП (ЦРП) підприємства, або посередньо (шляхом впливу на графік реактивної потужності в вузлах навантаження) за допомогою установок 0,4 кВ, розміщених на ТП. Розглянемо два можливих підходи до виконання управління БСК.

1. Рішення з управління цими установками приймається на рівні ТП (за реактивною потужністю вводу підстанції).

2. Рішення приймається на більш високому ієрархічному рівні - по вводу ГПП (ЦРП).

Висновки про ефективність управління зробимо після розгляду числового прикладу.

ПРИКЛАД 3.1. Потужності ступенів управління БСК на ТП схеми електропостачання, рис. 3.1, мають значення:

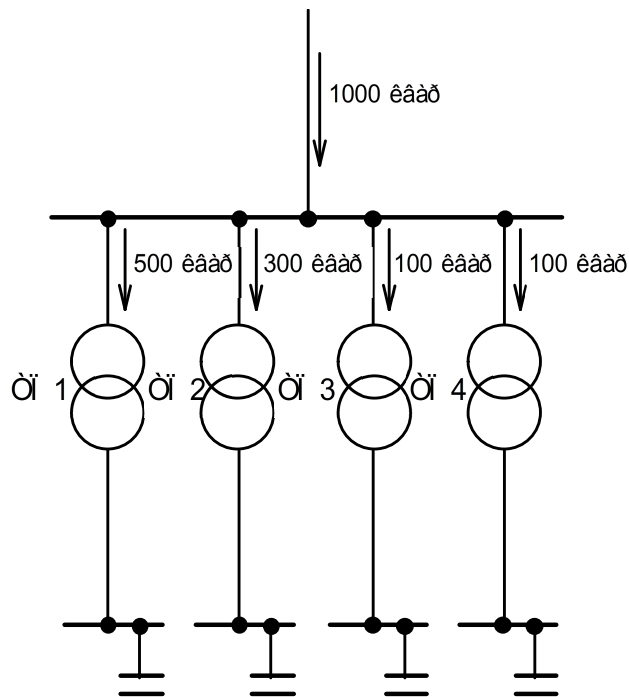


Рис. 3.1. Принципова схема електропостачання промислового підприємства

ТП1 400 квар; 300 квар; 50 квар.

ТП2 150 квар; 100 квар; 25 квар.

ТП3 200 квар; 150 квар.

ТП4 100 квар; 50 квар; 20 квар.

Розподіл реактивної потужності на момент прийняття цілеспрямованого рішення з компенсації реактивної потужності показаний на схемі і відповідає відключеному стану всіх БСК.

Знайти оптимальні вектори управління для різних ієрархічних рівнів:

а) по вводах ТП; б) по вводу системи електропостачання підприємства.

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ. 1. Очевидно, що з умови а), оптимальними будуть рішення:

ТП1 ступінь потужністю 400 квар включити;
ступінь потужністю 300 квар відключити;
ступінь потужністю 50 квар включити.

Залишкова реактивна потужність по ТП1 - 50 квар.

ТП2 ступінь потужністю 150 квар включити;
ступінь потужністю 100 квар включити;
ступінь потужністю 25 квар включити.

Залишкова реактивна потужність по ТП2 - 25 квар.

ТП3 ступінь потужністю 200 квар відключити;
ступінь потужністю 150 квар відключити.

Залишкова реактивна потужність по ТП3 - 100 квар.

ТП4 ступінь потужністю 100 квар включити;
ступінь потужністю 50 квар відключити;
ступінь потужністю 20 квар відключити.

Залишкова реактивна потужність по ТП4 - 0 квар.

Залишкова реактивна потужність по підприємству - 175 квар. Але при цьому відмітимо, що залишилися не включеними БСК загальною потужністю 720 квар. Це свідчить про невисоку ефективність використання наявного електрообладнання.

2. Можна запропонувати таке рішення відповідно до умови б), не задаючись поки що питанням, яким чином воно знайдено:

ТП1 ступінь потужністю 400 квар включити;
ступінь потужністю 300 квар включити;
ступінь потужністю 50 квар відключити.

ТП2 ступінь потужністю 150 квар відключити;
ступінь потужністю 100 квар включити;
ступінь потужністю 25 квар відключити.

ТП3 ступінь потужністю 200 квар включити;
ступінь потужністю 150 квар відключити.

ТП4 ступінь потужністю 100 квар відключити;
ступінь потужністю 50 квар відключити;
ступінь потужністю 20 квар відключити.

Залишкова реактивна потужність по підприємству - 0 квар.

Отримані результати свідчать про те, що задача оптимального управління реактивною потужністю (3.3) повинна вирішуватись на рівні живильного вводу схеми електропостачання. Лише в цьому випадку можна гарантувати, що показник якості управління - J буде мінімальним. Крім цього, управління за умовою а) не дозволяє забезпечити вимоги енергосистеми щодо допустимих значень реактивної потужності, що споживається. Відсутність зворотніх перетоків реактивної потужності з мереж підприємства в мережі енергосистеми досягається тим, що потужності включених БСК на кожній ТП не перевищують реактивну потужність, яка споживається навантаженням цієї ТП.

3.3. Математичні моделі оптимальної компенсації реактивних навантажень

Здебільшого є змога управління БСК виконувати як дискретне. Корекція компенсуючого впливу, необхідність в якій викликана зміною споживання реактивної потужності, виконується в певні моменти часу (в загальному випадку проміжки часу можуть бути не рівними). Ступені управління мають дискретні параметри. Таким чином, математична мо-

дель для знаходження оптимального вектора управління має бути цілочисловою.

Для прийняття рішення необхідна постійна інформація - множина потужностей ступенів управління БСК по всьому підприємству, яка береться з енергетичної бази даних, і оперативна інформація, що характеризує стан об'єкта та умови управління. Оперативною інформацією для даної задачі є: реактивна потужність вводу системи електропостачання та вимоги енергосистеми щодо споживання реактивної потужності.

За змінні приймемо булеві змінні x_i та $\ddot{x}_i$, які і формують вектор управління. Якщо в результаті аналізу математичної моделі отримаємо, що $x_i = 1$, а $\ddot{x}_i = 0$, то такий розв'язок реалізується включенням i -го ступеня управління.

Оптимальний вектор управління компенсацією реактивних потужностей можна знайти, використовуючи одну із математичних моделей:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_H - \sum_{i=1}^M \Delta Q_{\hat{E}_i} x_i \rightarrow \min \\ x_i + \ddot{x}_i = 1, \quad i = 1, 2, \dots, M \\ Q_H - \sum_{i=1}^M \Delta Q_{\hat{E}_i} x_i \geq A_1 \\ x_i; \ddot{x}_i = 1 \forall 0 \end{array} \right. \quad (3.4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_H - \sum_{i=1}^M \Delta Q_{\hat{E}_i} x_i \rightarrow \min \\ x_i + \ddot{x}_i = 1, \quad i = 1, 2, \dots, M \\ 0 \leq Q_H - \sum_{i=1}^M \Delta Q_{\hat{E}_i} x_i \leq A_2 \\ x_i; \ddot{x}_i = 1 \forall 0 \end{array} \right. \quad (3.5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_H - \sum_{i=1}^M \Delta Q_{A\hat{E}_i} x_i \rightarrow \min \\ x_i + \ddot{x}_i = 1, \quad i = 1, 2, \dots, M \\ Q_H - \sum_{i=1}^M \Delta Q_{A\hat{E}_i} x_i \geq 0 \\ x_i; \ddot{x}_i = 1 \forall 0, \end{array} \right. \quad (3.6)$$

де Q_H - реактивна потужність уводу системи електропостачання в припущенні, що всі БСК відключені; $\Delta Q_{A\hat{E}_i}$ - потужність i -го ступеня управління; $A_1; A_2$ - допустимі значення реактивної потужності, що споживається підприємством від живильної електромережі відповідно в часи мінімальних та максимальних навантажень в енергосистемі.

Реактивну потужність Q_H завжди можна вирахувати, знаючи, які ступені БСК включені.

Якщо момент знаходження вектора управління збігся із режимом мінімальних навантажень в енергосистемі, коли в живлячих мережах надмір реактивної потужності, то слід звернутися до моделі (3.4). Знайдений розв'язок забезпечить величину споживання підприємством реактивної потужності не меншу за A_1 . В режимі максимальних навантажень енергосистеми оптимальний розв'язок слід знаходити за моделлю (3.5). Підприємство при цьому буде споживати реактивну потужність в межах $0 - A_2$. Для всіх інших випадків необхідно знизити споживання реактивної потужності, не допускаючи зворотних її перетоків (з мереж підприємства в мережі енергосистеми). Тому вектор управління слід знаходити відповідно до математичної моделі (3.6).

Якість управління не зумовлюється математичною моделлю, тому що на момент визначення цілеспрямованого впливу розраховується найкращий розв'язок із числа можливих. Поліпшити якість управління можна, наприклад, збільшенням кількості можливих розв'язків, тобто - числа ступенів управління. В деяких границях якість управління залежить від частоти цілеспрямованих впливів, яка повинна бути обгрунтованою.

ПРИКЛАД 3.2. В системі електропостачання є 11 ступенів управління потужністю БСК: 400 квар; 300 квар; 200 квар; 2×150 квар; 2×100 квар; 2×50 квар; 25 квар; 20 квар. На момент визначення цілеспрямованого впливу реактивна потужність на

живильному вводу становила 1000 квар (в припущенні, що всі ступені управління відключені). На даний момент часу енергосистема не регламентує споживання реактивної потужності.

Знайти оптимальний вектор управління.

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ. Вектор управління будемо шукати відповідно з математичною моделлю (3.6), яка для умов задачі формалізується в такому виді.

$$\begin{cases} 1000 - (400 \ 300 \ 200 \ 150 \ 150 \ 100 \ 100 \ 50 \ 50 \ 25 \ 20)X \rightarrow \min \\ X - \ddot{X} = N \\ 1000 - (400 \ 300 \ 200 \ 150 \ 150 \ 100 \ 100 \ 50 \ 50 \ 25 \ 20)X \geq 0 \\ x_i; \ddot{x}_i = 1 \forall 0, \end{cases} \quad (3.7) \quad \text{де}$$

$X^T = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7 \ x_8 \ x_9 \ x_{10} \ x_{11})$; $\ddot{X}^T = (\ddot{x}_1 \ \ddot{x}_2 \ \ddot{x}_3 \ \ddot{x}_4 \ \ddot{x}_5 \ \ddot{x}_6 \ \ddot{x}_7 \ \ddot{x}_8 \ \ddot{x}_9 \ \ddot{x}_{10} \ \ddot{x}_{11})$ - вектори управління; N - одинична стовпцева матриця вимірністю 11×1 .

Математична модель (3.7) відноситься до класу лінійних. Для її аналізу можна скористатися симплекс-алгоритмом. Якщо за опорний розв'язок прийняти:

$$X^T = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0),$$

то результати по ітераціях будуть такими:

ітерація 1

$$X^T = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0);$$

ітерація 2

$$X^T = (1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0);$$

ітерація 3

$$X^T = (1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0);$$

ітерація 4

$$X^T = (1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0),$$

реактивна потужність вводу - 0 квар.

Отриманий розв'язок реалізується таким чином: включаються ступені: 400; 300; 200; 100 квар, знаходяться у відключеному положенні: 2×150 ; 100; 2×50 ; 25; 20 квар.

Процес знаходження оптимального вектора управління можна алгоритмічно подати таким чином.

1. Зазначити, за якою із моделей (3.4) - (3.6) слід знаходити вектор управління.

2. Ввести інформацію про величину реактивної потужності живильного вводу (за показаннями приладів).

3. Якщо розв'язок знаходиться за моделями (3.4) або (3.5), указати значення для A_1 або A_2 .

4. Розраховується реактивна потужність уводу в припущенні, що всі ступені управління відключені. При цьому можливі варіанти:

- попередній вектор управління реалізовано, і тоді потрібна інформація береться із відповідних файлів даних;

- попередній вектор управління не реалізований або його розрахунок проводиться вперше. В цьому випадку інформацію про стан ступенів слід ввести з клавіатури дисплею.

5. В числовому вигляді формалізується математична модель, проводиться її аналіз і знаходиться оптимальний вектор управління.

3.4. Підвищення ефективності роботи діючих БСК

Все електрообладнання системи електропостачання повинно працювати з максимальною віддачею. Тому, перш ніж приймати технічні рішення для поліпшення режимів електроживлення, які потребують додаткових капітальних вкладень, треба провести аналіз роботи діючого електрообладнання на предмет виявлення можливостей більш ефективного його роботи. Як свідчать дослідження, в промислових електромережах можуть зустрічатись такі не використані можливості. Значна їх кількість пов'язана з роботою таких електроустановок як БСК. БСК - це багатофункціональні пристрої і в більшості випадків підвищення ефективності їх роботи можливе саме при використанні цих можливостей. Для прикладу детально розглянемо саме таку ситуацію, яка мала місце на одному із заводів електродної промисловості, де основними споживачами електроенергії були однофазні печі графітації. Графітаційна піч є основним елементом електропічної установки, в схему якої входять також пічний трансформатор, БСК та необхідна комутаційна апаратура. Схема електропічної установки зображена на рис.3.2,а. Пічний трансформатор T_1 має великий діапазон регулювання напруги під навантаженням (23 ступені регулювання). Потужності пічних трансформаторів можуть сягати 5-18 МВА. БСК, що міститься в схемі, призначена для компенсації реактивної потужності, яка споживається піччю графітації і включається в роботу в другій половині технологічного циклу, коли потужність через T_1 досягає граничного значення. Потужність БСК може змінюватись шляхом перемикання РПН компенсаційного трансформатора T_2 , який має таку ж конструкцію, як і T_1 . При цьому потужність БСК повністю не викорис-

товується як в часі, так і за величиною. Графік додаткової реактивної потужності, яку можна було б отримати від БСК на протязі технологічного циклу, зображено на рис. 3.2,б.

Реактивна потужність БСК використовувалась лише для технологічних потреб (для забезпечення необхідного графіка активної потужності печі графітації). Підвищити її ефективність можна, якщо використати наявну потужність на рівні вузла електропічних

навантажень (при умові беззастережного забезпечення потрібного графіка активної потужності печі графітації).

Максимальна потужність БСК обмежується такими умовами, які слід забезпечити при прийнятті цілеспрямованого рішення.

1. Умова пропускної здатності трансформаторів T_1 та T_2 .

$$Q_{nv} \leq S_{T_2}; \quad (3.8)$$

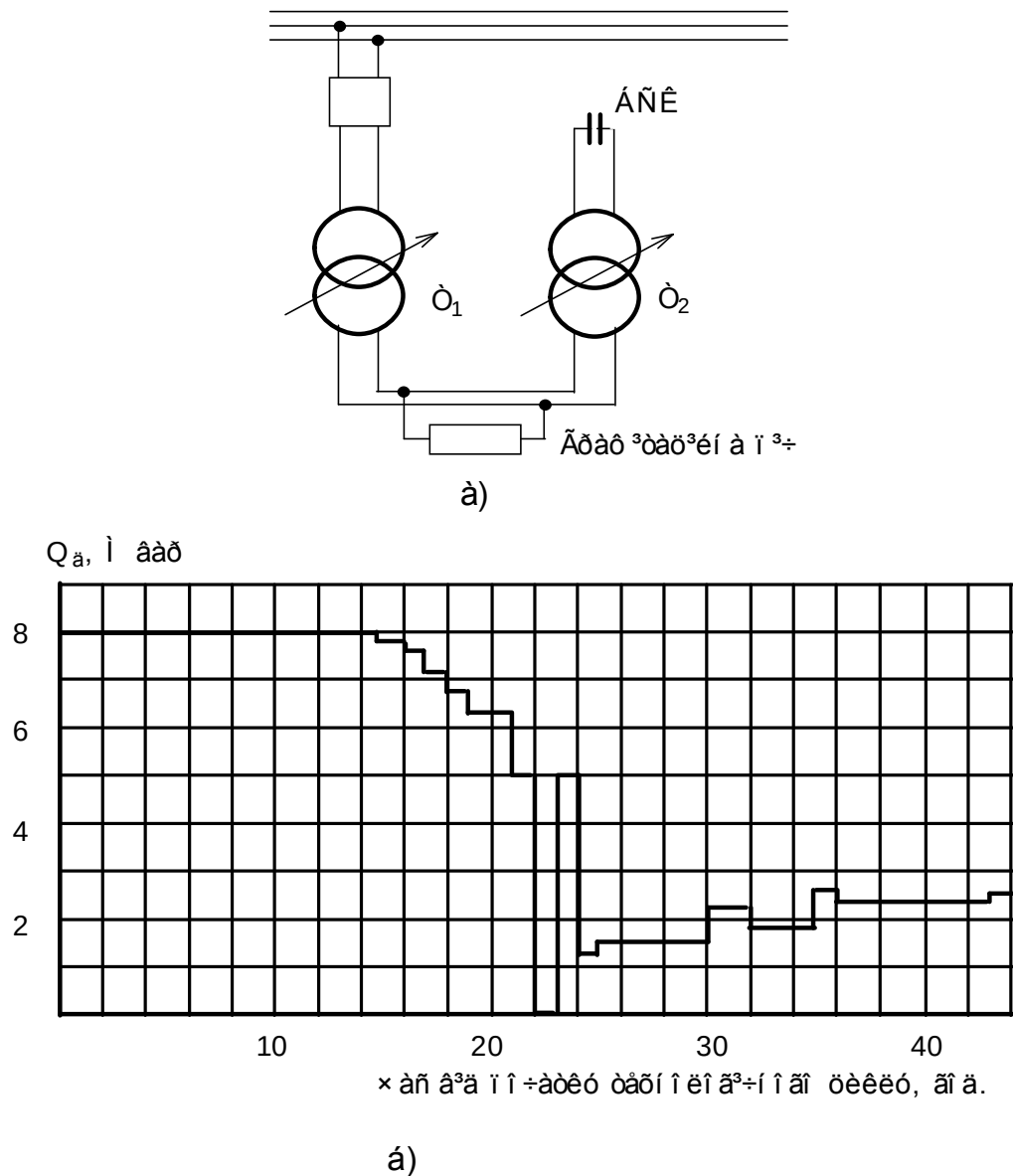


Рис. 3.2. Принципова схема електропічної установки, а) та графік додаткової реактивної потужності конденсаторної батареї, що залишилась не використаною протягом технологічного процесу, б)

$$Q_{nv} \leq P_n \operatorname{tg} \varphi_n + \sqrt{S_{T_1}^2 - P_n^2}, \quad (3.9)$$

де Q_{nv} - реактивна потужність, що генерується БСК n -ої електропічної установки при включенні v -ої регулювальної відпайки на трансформаторі T_2 ; S_{T_1} , S_{T_2} - номінальна потужність трансформаторів T_1 та T_2 ; P_n , $\cos \varphi_n$ - активна потужність n -ої електропічної установки та її коефіцієнт потужності.

2. Умова забезпечення технічного обмеження за допустимою потужністю БСК (допустима потужність БСК - це потужність, що відповідає встановленій потужності і найбільшій допустимій напрузі):

$$Q_{nv} \leq Q_{\text{д\`отт} \text{ } n}, \quad (3.10)$$

де $Q_{\text{д\`отт} \text{ } n}$ - допустима потужність для БСК n-ої електропічної установки.

Проведений аналіз умов роботи електропічних установок показав, що є деяка можливість для варіювання потужності БСК. Межі можливого варіювання обмежуються, з однієї сторони, вимогами технологічного процесу, а з іншої - пропускною здатністю трансформаторів T_1 та T_2 або допустимою потужністю БСК.

Для яких же цілей можна використати наявну додаткову потужність конденсаторних батарей?

По-перше, для оптимальної компенсації реактивної потужності підприємства. Печі графітації працюють з низьким коефіцієнтом потужності (від 0,9 - 0,95 на початку технологічного циклу до 0,4 - 0,5 в середині та в кінці) при великому споживанні реактивної потужності за абсолютною величиною. Тому на електродних заводах важко забезпечити навіть вимоги енергосистеми.

По-друге, враховуючи те, що електропічні установки є несиметричними споживачами і в вузлі навантаження має місце несиметрія напруги, то однофазні БСК можна використати для симетрування режиму по живильному вводі з одночасною компенсацією реактивної потужності.

В даній задачі цілеспрямованими рішеннями є реалізація певного положення регулювальної відпайки трансформатора T_2 . Оскільки можливих рішень по одній взятій електропічній установці може бути велика кількість, а в вузлі навантаження таких установок декілька і при визначенні оптимального рішення слід забезпечити ряд технічних вимог, то процес знаходження вектора управління має бути автоматизований. Для знаходження оптимального рішення за першим варіантом (компенсація реактивної потужності підприємства) можна скористатись такою математичною моделлю цілочислового програмування:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q - \sum_{n=1}^m \sum_{v=\zeta_n}^{\tau_n} \Delta Q_{nv} x_{nv} \rightarrow \min \\ \sum_{n=1}^m \sum_{v=\zeta_n}^{\tau_n} \Delta Q_{nv} x_{nv} \leq Q \\ \sum x_{nv} = 1, \quad n = 1, 2, \dots, m \\ x_{nv} = 1 \forall 0 \quad , \end{array} \right. \quad (3.11)$$

де Q - реактивна потужність вузла навантаження електропічних установок, що відповідає вихідному режиму; x_{nv} змінна, що може приймати значення 1 або 0. Якщо в результаті розв'язування задачі $x_{nv} = 1$, то це реалізується включенням v -ої регулювальної відпайки n -ої електропічної установки; ζ_n - τ_n - допустимий діапазон зміни положень РПН для n -ої електропічної установки, що задовольняє з однієї сторони можливість ведення технологічного процесу (відпайка ζ_n) та умови (3.8) - (3.9) з іншої (відпайка τ_n); ΔQ_{nv} - приріст реактивної потужності БСК n -ої електропічної установки при перемиканні регулювальної відпайки з положення ζ_n в положення v .

Математична модель потребує знаходження таких положень регулювальних відпайок T_2 на всіх електропічних установках в межах їх допустимих змін, яким відповідає мінімальне споживання реактивної потужності підприємством. Обмеження-нерівність математичної моделі контролює, щоб не допустити розв'язків коли реактивна потужність змінює свій знак, тобто спрямована з мережі підприємства в мережу енергосистеми. Математична модель лінійна і для її аналізу можна застосувати симплекс-алгоритм.

Якщо на момент розрахунку вектора управління необхідно прийняти рішення в основному направлене на зниження несиметрії режиму, то слід скористатись такою моделлю:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \operatorname{Re} \dot{i}_2^H + \sum_{n=1}^m \sum_{v=\zeta_n}^{\tau_n} \Delta a_{nv} x_{nv} + j \left(\operatorname{Im} \dot{i}_2^H + \sum_{n=1}^m \sum_{v=\zeta_n}^{\tau_n} \Delta b_{nv} x_{nv} \right) \right| \rightarrow \min \\ \sum_{v=\zeta_n}^{\tau_n} x_{nv} = 1, \quad n = 1, 2, \dots, m \\ x_{nv} = 1 \forall 0, \end{array} \right. \quad (3.12)$$

де $\dot{i}_2^H$ - вектор струму зворотної послідовності в живильній лінії до прийняття рішення; Δa_{nv} ; Δb_{nv} - дійсна та уявна частини вектора струму зворотної послідовності n -ої електропічної установки при переключенні РПН з положення ζ_n у положення v .

Математична модель (3.12) відноситься до класу нескалярних і потребує знаходження такого розв'язку, якому відповідає мінімальне значення струму зворотної послідовності в живильному вводі. При цьому можливі режими, коли за математичною моделлю (3.12) будуть знайдені цілеспрямовані розв'язки, реалізація яких буде супроводжуватись зворотним перетоком реактивної потужності з мереж підприємства в мережі енергосистеми. Якщо такі випадки можуть мати місце, то в математичну модель треба ввести відповідне обмеження на реактивну потужність вузла навантаження. Слід зазначити, що рішення по симетруванню режиму потребує збільшення реактивної потужності БСК, а це буде одночасно супроводжуватись компенсацією реактивної потужності по підприємству.

Про ефективність використання БСК електропічних установок для оптимізації режиму електроспоживання можна зробити висновки, проаналізувавши дані табл.3.1, де представлені результати, отримані для дискретного моменту часу на одному із електродних заводів. В табл. 3.1 α_i - коефіцієнт несиметрії струмів; φ_1 - кут зсуву між векторами струму і напруги в системі прямої послідовності.

Таблиця 3.1.

Результати оптимізації

Параметр режиму	До оптимізації	Після оптимізації
I_2, A	78,2	18,5
α_i	37,6	9,9
$\operatorname{tg}\varphi_1$	0,5	0,09

Як видно із табл. 3.1, за допомогою БСК, що містяться в схемі електропічних установок, без додаткових капітальних вкладень можна ефективно симетрувати режим та компенсувати реактивну потужність на електродному заводі.

Контрольні завдання для самопідготовки

1. Дайте перелік взаємопов'язаних задач, що слід вирішувати при управлінні реактивною потужністю.

2. Запропонуйте як визначити оптимальний вектор управління реактивною потужністю, задовольняючи вимоги енергосистеми щодо її споживання. Якого змісту можуть бути інші обмеження при управлінні реактивною потужністю.

3. Обґрунтуйте можливі критерії управління реактивною потужністю, виходячи із сучасних директивних вимог.

4. Розробіть методику для обчислення економічної ефективності системи управління реактивною потужністю. Яку інформацію потрібно зібрати, щоб виконати розрахунки за цією методикою? Як організувати та провести необхідні експериментальні дослідження?

5. Спробуйте навести приклади, коли ефективність використання діючих БСК можна поліпшити. Яким чином це можна зробити?

6. Наведіть свої міркування щодо формування цільових функцій математичних моделей (3.4) - (3.6) та (3.11).

Література до розділу 3

1. Инструкция по проектированию компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий /Инструктивные указания по проектированию электротехнических установок. М.: Энергоатомиздат, №1, 1984.
2. Инструкция по компенсации реактивной мощности в электрических сетях потребителей электроэнергии. - Промышленная энергетика, 1980, №11.
3. Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях. - М.: Энергия, 1974.
4. Карпов Ф.Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. - М.: Энергия, 1975.
5. Мельников Н.А. Реактивная мощность в электрических сетях. - М.: Энергия, 1975.
6. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах. - М.: Энергия, 1984.
7. Головкин П.И. Энергосистема и потребители электрической энергии. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
8. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1987.

Розділ 4. ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ В УМОВАХ ДЕФІЦИТУ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ

4.1. Загальні положення

Графіки навантаження енергосистеми нерівномірні і формуються з графіків споживачів електроенергії, одними з яких є промислові підприємства. Енергосистема повинна забезпечити покриття графіка навантаження споживачів зі всіма його “піками”. Покриття нерівномірностей графіка навантаження пов’язане із значними затратами на будову додаткових генеруючих агрегатів та електростанцій, із збільшенням витрат палива та експлуатаційних затрат. Тому проблема вирівнювання графіка навантаження в економічному відношенні завжди буде важливою для енергетичного виробництва. Вирішують її в основному такими шляхами.

1. Об’єднанням енергосистем. Згладжування графіків навантаження досягається за рахунок різниць в часовому поясі, кліматі, структурі споживачів. Оскільки рішення приймаються на більш високих рівнях, ніж промислове підприємство, цю можливість детально розглядати не будемо.

2. Організаційні заходи. Зсув часу початку та закінчення перерви на підприємстві, впровадження нічної зміни для енергоємного обладнання, що працює в переривчатому режимі, введення різних вихідних днів для окремих підрозділів підприємства.

3. Синтез графіка навантаження підприємства з необхідними характеристиками. Досягти необхідних характеристик можливо за рахунок зміни технологічного режиму роботи електроприймачів (робота із зниженою потужністю, збільшення тривалості технологічного циклу і таке інше) та часу роботи окремих енергоємних споживачів. Перелічені можливості в деяких випадках приводять до збитків на підприємстві, є суцільно індивідуальні для різних виробництв, тому що пов’язані із технологією. Синтезувати оптимальний груповий графік навантаження можливо також за рахунок певного порядку включення окремих електроприймачів у їх групі. Цей шлях не пов’язаний з особливостями технології виробництва.

Один із підходів до вирішення задачі в такій постановці ми розглянемо нижче.

4. Використання підприємств-регуляторів. В число таких виробництв включаються перш за все енергоємні та високоавтоматизовані підприємства, які можуть забезпечити суттєве зниження піків навантаження в енергосистемі. В цьому випадку в разі виникнення дефіциту потужності диспетчер енергосистеми в директивному порядку зобов'язує енергодиспетчера підприємства знизити потужність на певну величину. Розпорядження має бути безумовно виконане, а можливих варіантів для його виконання може бути досить багато. Один із шляхів вирішення такої задачі управління буде розглянуто також.

На промислових підприємствах прагнуть досягти такого графіка навантажень, щоб заявлена потужність була мінімальною. Іноді, коли максимума навантажень енергосистеми та підприємства збігаються в часі, бажаної мети можна досягнути, забезпечивши рівномірний графік навантажень підприємства. Для цього насамперед використовуються можливості, які не порушують технологічний процес та дозволяють виконати планові завдання (не приводять до збитків на підприємстві). В разі повного використання таких можливостей, при необхідності, вдаються до засобів, які пов'язані з деякими збитками. Але і при цьому має місце оптимізаційна задача управління, тому що різним розв'язкам відповідає різний рівень збитків.

Для підприємств-регуляторів одночасно мають місце задачі оптимального синтезу графіка навантаження та знаходження оптимального рішення для виконання вимоги енергосистеми по зниженню потужності. Ці задачі, як правило, вирішуються незалежно одна від іншої.

4.2. Синтез оптимального графіка навантажень

Груповий графік навантажень формується шляхом накладання індивідуальних графіків, хід яких обумовлюється технологічним процесом

$$P(t) = \sum_i p_i(t), \quad (4.1)$$

де $P(t)$ -груповий графік навантаження; $p_i(t)$ - індивідуальний графік навантаження для i -го споживача.

Розглянемо, як можна синтезувати (сформувати) груповий графік $P(t)$, не впливаючи на хід графіків індивідуальних, тобто не змінюючи технологічного процесу.

В термінах теорії ймовірності графіки навантаження є випадковими процесами. Уявимо випадкові процеси $P(t)$ та $p_i(t)$ як послідовності випадкових величин P та p_i . Для задачі, що розглядається, визначимо такі параметри розподілу зазначених величин, як середні їх значення (математичні сподівання $M(P)$ та $M(p_i)$) та кількісні характеристики їх розкиданості відносно середньої величини (дисперсії $D(P)$ та $D(p_i)$).

Математичне сподівання для випадкової величини p_i визначається як

$$M(p_i) = \frac{\sum_{j=1}^n (p_i)_j}{n}, \quad (4.3)$$

де n - загальна кількість спостережень величини p_i .

Математичне сподівання для величини P можна виразити через математичні сподівання її складових:

$$M(P) = \sum_i M(p_i) \quad (4.5)$$

Нерівномірність графіка навантаження прийнято оцінювати коефіцієнтом форми графіка, але ще одним із показників його нерівномірності може бути дисперсія. Маючи необхідний статистичний матеріал, дисперсію параметра p_i можна розрахувати таким чином:

$$D(p_i) = \frac{\sum_{j=1}^n [(p_i)_j - M(p_i)]^2}{n}. \quad (4.6)$$

Вплинути на значення дисперсії $D(p_i)$ можливо, тільки змінивши технологічний процес. Тому згідно з умовою задачі $D(p_i)$ будемо вважати сталою величиною. Значення дисперсії величини P через відповідні параметри системи випадкових величин p_i запишеться так:

$$D(P) = \sum_i D(p_i) + 2 \sum_{i < s} k_{is}, \quad (4.7)$$

де k_{is} - кореляційний момент випадкових величин p_i та p_s .

З причин, зазначених вище, перша складова виразу (4.7) незмінна. Для того, щоб зробити висновки відносно другої складової розглянемо приклад.

ПРИКЛАД 4.1. Груповий графік навантаження формується з двох індивідуальних $p_1(t)$, $p_2(t)$, які мають різний відносний зсув в часі. Значення $p_1(t)$ та $p_2(t)$ для ряду перетинів часу t_i приведені в табл. 4.1 для двох варіантів.

Таблиця 4.1.

Індивідуальні графіки навантаження

Перетини часу	Варіант 1		Варіант 2	
	$p_1(t)$, кВт	$p_2(t)$, кВт	$p_1(t)$, кВт	$p_2(t)$, кВт
t_1	10	0	10	20
t_2	20	20	20	30
t_3	30	30	30	0

Зробити обчислення $D(P)$ для групових графіків навантаження, які формуються в випадку варіантів 1 та 2.

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ. 1. Дисперсії випадкових величин p_1 та p_2 -

$$D(p_1) = 66,6 \text{ кВт}^2; \quad D(p_2) = 155,55 \text{ кВт}^2.$$

2. Кореляційні моменти відповідно для варіантів 1 та 2 -

$$k_{12} = -11,06 \text{ кВт}^2; \quad k_{12} = -66,66 \text{ кВт}^2.$$

3. Дисперсія групових графіків навантаження, що отримуються в 1 та 2 варіантах

-

$$D(P) = 66,6 + 155,55 - 2 \cdot 11,06 = 200 \text{ кВт}^2;$$

$$D(P) = 66,6 + 155,55 - 2 \cdot 66,66 = 88,83 \text{ кВт}^2.$$

З одержаних результатів видно, що отримані значення дисперсії, а отже і нерівномірність отриманих групових графіків за варіантами 1 та 2 - різні. Відмінність результатів пояснюється різними значеннями кореляційних моментів випадкових величин потужностей p_1 та p_2 , які залежать від відносного зсуву в часі між індивідуальними графіками наван-

таження. Такий висновок можна поширити на будь-яку кількість індивідуальних графіків. Таким чином, змінюючи відносний зсув в часі між індивідуальними графіками, можна варіювати нерівномірність групового. Критерієм для пошуку оптимального зсуву між графіками є мінімальне значення для суми $\sum_{i < s} k_{is}$.

Розв'язування задачі оптимального синтезу групового графіка навантаження будемо виконувати за схемою методу динамічного програмування, який призначений для розв'язування багатоетапних оптимізаційних задач. Суть методу полягає в розбиванні складної задачі на послідовність етапів, для кожного з яких вирішується задача меншої вимірності. В даному випадку під етапом умовимося розуміти включення в роботу чергового споживача так, що на першому етапі визначається час зсуву в роботі між першим та другим навантаженням, який забезпечить найменшу нерівномірність групового графіка, що формується цими двома споживачами. На другому етапі визначається час зсуву в роботі для третього навантаження і так далі.

В основу методу динамічного програмування покладений принцип оптимальності Беллмана, який можна сформулювати таким чином: *якого б стану системи не було б досягнуто в результаті якогось числа етапів, необхідно вибрати цілеспрямоване рішення так, щоб воно, в сукупності з оптимальними рішеннями на всіх наступних етапах, приводило до максимального виграшу на всіх етапах, що залишилися, враховуючи даний.*

Розглянемо розв'язування задачі при наявності таких допущень.

1. Груповий графік навантажень формується групою однакових індивідуальних.
2. Будь-які технологічні обмеження щодо відносних зсувів індивідуальних графіків відсутні.
3. Зміна потужності споживача відбувається відповідно до технології за заздалегідь відомим графіком, що подається ступінчатою фігурою.
4. Включення в роботу навантаження може відбуватись лише в дискретні моменти часу. Шаг дискретизації визначається тривалістю сту-

пеня графіка навантаження. Тривалість ступеня позначається на кінцевому результаті, але його обґрунтування є окремою задачею.

Щоб скористатись методом динамічного програмування для розв'язку задачі потрібно розрахувати матрицю взаємкореляційних моментів - $\mathbf{K}$, в якій кількість рядків і стовпців дорівнює кількості ступенів індивідуального графіка навантаження - l . Компоненти матриці $\mathbf{K}$ - це взаємкореляційні моменти, що відповідають всім можливим зсувам в часі між двома графіками навантаження споживачів. Наприклад, k_{34} - це взаємкореляційний момент двох графіків навантаження, якщо ступінь 4 одного суміщається із ступенем 3 іншого.

Для синтезу оптимального групового графіка навантажень потрібна така зовнішня інформація:

- кількість електроспоживачів, що формують груповий графік, m ;
- індивідуальний графік навантаження споживача, $p_i(t)$.

На першому етапі визначається оптимальний час зсуву в технологічних циклах між першим та другим споживачем із співвідношення:

$$f_1 = \min_{k_{1r}} K_{12} = \min(k_{11}, k_{12}, \dots, k_{1l}) = k_{1v_1}, \quad (4.8)$$

де K_{12} - взаємкореляційний момент між графіками першого та другого споживача і може набувати будь-яке значення із множини $\{k_{11}, k_{12}, \dots, k_{1r}, \dots, k_{1l}\}$; $r = 1, 2, \dots, l$.

Отриманий розв'язок інтерпретується таким чином: груповий графік $p_1(t) + p_2(t)$ буде характеризуватися мінімальним K_{12} , якщо ступінь v_1 графіка $p_2(t)$ сумістити зі ступенем 1 графіка $p_1(t)$, $1 \leq v_1 \leq l$.

Аналогічно на другому етапі визначається оптимальний часовий зсув для третього споживача.

$$\begin{aligned} f_2 &= \min_{\substack{k_{1r} \text{ à } k_{v_1 r}}} (K_{13} + K_{23} + f_1) = \\ &= \min \left[(k_{11} + k_{v_1 1}), (k_{12} + k_{v_1 2}), \dots, (k_{1l} + k_{v_1 l}) \right] + f_1 = \\ &= k_{1v_2} + k_{v_1 v_2} + f_1, \end{aligned} \quad (4.9)$$

де k_{13}, k_{23} - взаємкореляційні моменти відповідно між $p_1(t)$; $p_2(t)$ та $p_3(t)$.

Результат, що отриманий, реалізується шляхом суміщення ступеня v_2 графіка $p_3(t)$ зі ступенем 1 графіка $p_1(t)$.

Для останнього $(m-1)$ етапу

$$\begin{aligned}
 f_{(m-1)} &= \min_{\substack{i \in \{1, \dots, m\} \\ k_{1r}, k_{v_1r}, k_{v_2r}, \dots, k_{v_{(m-2)}r}}} (K_{1m} + K_{2m} + \dots + K_{(m-1)m} + f_{(m-2)}) = \\
 &= \min \left[(k_{11} + k_{v_11} + k_{v_21} + \dots + k_{v_{(m-2)}1}), (k_{12} + k_{v_12} + k_{v_22} + \dots + k_{v_{(m-2)}2}), \dots \right. \\
 &\quad \left. \dots, (k_{1l} + k_{v_1l} + k_{v_2l} + \dots + k_{v_{(m-2)}l}) \right] + f_{(m-2)} = k_{1v_{(m-1)}} + k_{v_2v_{(m-1)}} + \dots \\
 &\quad \dots + k_{v_{(m-2)}v_{(m-1)}} + f_{(m-2)}
 \end{aligned} \quad (4.10)$$

Ступінь $v_{(m-2)}$ графіка $p_m(t)$ потрібно сумістити зі ступенем 1 графіка $p_1(t)$.

Зробивши узагальнення, можна записати рекурентні відношення методу динамічного програмування для задач регулювання групового графіка навантажень:

$$\left\{ \begin{aligned} f_1 &= \min_{\substack{i \in \{1, \dots, m\} \\ k_{1r}}} K_{12} \\ f_n &= \min_{\substack{i \in \{1, \dots, m\} \\ k_{1r}, k_{v_1r}, k_{v_2r}, \dots, k_{v_{(n-1)}r}}} (K_{1(n+1)} + K_{2(n+1)} + \dots + K_{n(n+1)} + f_{(n-1)}), n = 2, 3, \dots, (m-1) \end{aligned} \right. , \quad (4.11)$$

які дозволяють знайти оптимальні часові зсуви в роботі всіх споживачів, що забезпечують мінімальне значення $\sum_{i < s} k_{is}$.

ПРИКЛАД 4.2. Для групи електричних навантажень з однаковими графіками синтезувати оптимальний груповий. Кількість електроприймачів у групі - 4, графік навантаження кожного зображений на рис. 4.1, а.

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ. 1. Позначимо можливі відносні зсуви в часі для двох графіків на інтервалі тривалості технологічного циклу -

Відносне положення графіка $p_2(t)$	Потужності навантажень $p_2(t)$, кВт					
Графіки $p_1(t)$ та $p_2(t)$ суміщені	40	20	20	0	30	0
Зсув графіка $p_2(t)$ на тривалість першої ступені	0	40	20	20	0	30

Те ж, на тривалість 2-х ступенів	30	0	40	20	20	0
Те ж, на тривалість 3-х ступенів	0	30	0	40	20	20
Те ж, на тривалість 4-х ступенів	20	0	30	0	40	20
Те ж, на тривалість 5-и ступенів	20	20	0	30	0	40

2. Розрахуємо компоненти матриці кореляційних моментів

$$K = \begin{pmatrix} 213,88 & -136,1 & 97,21 & -136,1 & 97,21 & -136,1 \\ -136,1 & 213,88 & -136,1 & 97,21 & -136,1 & 97,21 \\ 97,21 & -136,1 & 213,88 & -136,1 & 97,21 & -136,1 \\ -136,1 & 97,21 & -136,1 & 213,88 & -136,1 & 97,21 \\ 97,21 & -136,1 & 97,21 & -136,1 & 213,88 & -136,1 \\ -136,1 & 97,21 & -136,1 & 97,21 & -136,1 & 213,88 \end{pmatrix}.$$

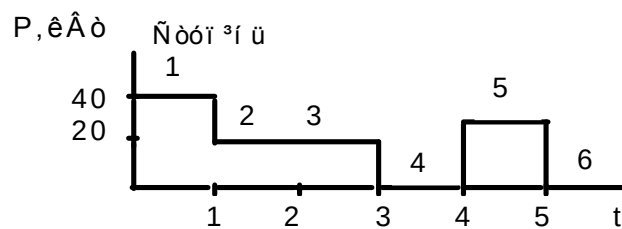
3. Виконаємо розрахунок вектора управління 1 етапу:

$$f_1 = \min(213,88, -136,1, 97,21, -136,1, 97,21, -136,1) = -136,1 \text{ кВт}^2.$$

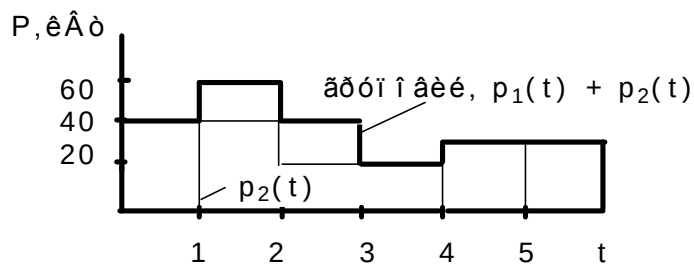
Отримано ряд рівноцінних розв'язків: можна виконати зсув графіка $p_2(t)$ на тривалість 1; 3 або 5 ступенів. Приймаємо рішення про суміщення 1-ої ступені графіка $p_2(t)$ зі ступенем 2 графіка $p_1(t)$. Груповий графік, отриманий за результатами 1-го етапу вирішення задачі, зображений на рис. 4.1,б.

4. Другий етап розв'язування задачі - визначення відносного зсуву для графіка навантаження третього приймача.

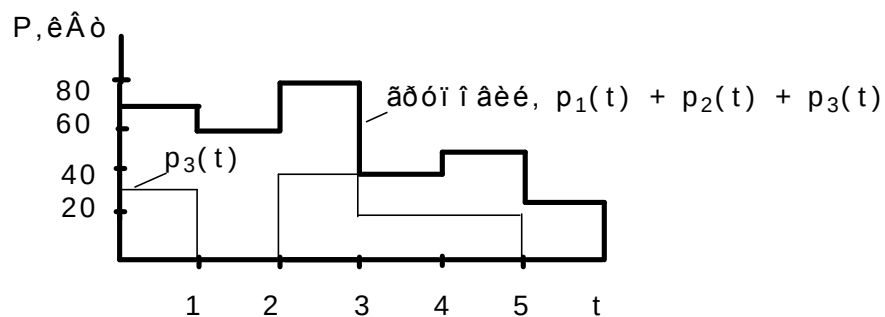
$f_2 = \min[(213,66 - 136,1), (-136,1 + 213,66), (97,21 - 136,1), (-136,1 + 97,21), (97,21 - 136,1), (-136,1 + 97,21)] - 136,1 = -174,99 \text{ кВт}^2$. Це дозволяє сумістити 1 ступінь графіка $p_3(t)$ з 3; 4; 5 або 6 ступенем графіка $p_1(t)$. Приймаємо остаточне рішення сумістити 1 ступінь графіка $p_3(t)$ з 3 ступенем $p_1(t)$. Груповий графік, який формується при цьому навантаженнями 1; 2 та 3, зображений на рис.4.1.в.



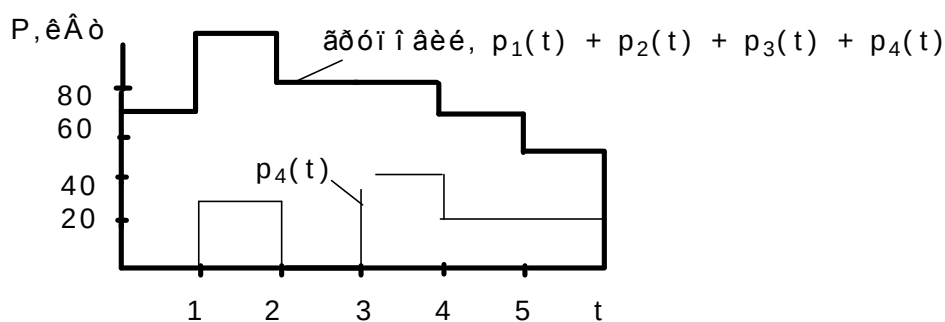
а)



á)



â)



ã)

Рис. 4.1. Результаты поэтапного формирования графика навантаження:
а - індивідуальні графіки навантажень споживачів, що формують груповий графік
б - груповий графік за результатами 1-го етапу;
в - те ж, 2-го етапу;
г - те ж, 3-го етапу

5. Третій етап - визначення відносного зсуву для 4 навантаження.

$f_3 = \min[(213,88 - 136,1 + 97,21), (-136,1 + 231,88 - 136,1), (97,21 - 136,1 + 213,88), (-136,1 + 97,21 - 136,1), (97,21 - 136,1 + 97,21), (-136,1 + 97,21 - 136,1)] - 174,99 = -349,98 \text{ кВт}^2$.

На даному етапі також маємо декілька оптимальних розв'язків, але остаточно приймаємо такий: суміщаємо 1 ступінь графіка $p_4(t)$ з 4 ступенем $p_1(t)$. В результаті отримаємо графік навантаження, зображений на рис.4.1, г, який відповідає прийнятим рішенням.

Методом можна скористатись коли вирішується задача визначення оптимального моменту часу для підключення до групи працюючих ще одного навантаження. При цьому одновимірна матриця **К** являє собою взаємкореляційні моменти між груповим графіком з $(m-1)$ споживачів та m -м, що підключається, а її розв'язок отримується за один етап.

4.3. Обмеження навантажень несиметричних споживачів при дефіциті потужності в енергосистемі

Задача обмеження потужності промислового підприємства є багатокритеріальною. Дійсно, приймаючи рішення, енергодиспетчеру доводиться давати йому оцінку згідно з цілим рядом показників. Позначимо такі, що найбільш часто зустрічаються:

- величина технологічних збитків (погіршення якості, брак);
- недовідпуск продукції за об'ємом;
- недовідпуск продукції за її видами (коли випускається продукція різної номенклатури);
- параметри режиму в електричній мережі після виконаного відключення.

Знайти оптимальний розв'язок такої багатокритеріальної задачі можливо, виконавши сортування критеріїв за їх важливістю. Зробити таке сортування навіть для перелічених критеріїв можливо тільки для конкретного виробництва. Далі можна запропонувати таку послідовність розв'язування:

- визначається множина споживачів, відключення яких недопустиме з міркувань найбільш важливого критерію;

- з підмножини, що залишилася, знаходяться споживачі, які небажано відключати з міркувань наступного за важливістю критерію і т.д.;

- на останньому етапі розв'язування задачі з підмножини електричних навантажень, що залишилася, сумарна потужність яких перебільшує потужність відключення, необхідно визначити споживачів, що мають бути відключені від мережі.

Розглянемо модель, що призначена для останнього етапу визначення оптимального розв'язку. Модель можна використати, коли критерієм найбільш низького рангу є характеристики параметрів електричного режиму в мережі, та якщо обмеженню потужності підлягає вузол навантаження несиметричних електроприймачів.

Зменшити потужність у вузлі навантаження несиметричних споживачів шляхом відключення деяких з них, забезпечивши при цьому найменший рівень несиметрії в мережі, дозволяє така математична модель:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \sum_{n=1}^m a_n x_n + j \sum_{n=1}^m b_n x_n \right| \rightarrow \min \\ \sum_{n=1}^m P_n x_n \leq \sum_{n=1}^m P_n - \Delta P \\ \sum_{n=1}^m P_n x_n \geq \sum_{n=1}^m P_n - \Delta P - 2P_{n_{\max}} \\ x_n + \ddot{x}_n = 1, \quad n = 1, 2, \dots, m \\ x_n; \ddot{x}_n = 1 \forall 0, \end{array} \right. \quad (4.12)$$

де a_n ; b_n - дійсна та уявна частини вектора струму зворотної послідовності, що утворюється при включенні n -го споживача; x_n , $\ddot{x}_n$ - змінні які відповідають включенню n -го навантаження, якщо $x_n = 1$, $\ddot{x}_n = 0$, або його відключенню, якщо $x_n = 0$, $\ddot{x}_n = 1$; P_n - активна потужність n -го навантаження; ΔP - величина активної потужності, на яку має бути зменшено навантаження групи несиметричних споживачів;
 $P_{n_{\max}} = \max\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$.

Математична модель (4.12) потребує забезпечення мінімуму струму зворотної послідовності в вузлі навантаження. Умова виконання вимоги енергосистеми відображена в першому обмеженні. Друге обмеження визначає нижню допустиму величину для зменшення навантаження і потрібно, з однієї сторони, щоб виключити технічно недопустимий розв'язок - відключення всіх споживачів, а з іншої - забезпечити область для цілеспрямованого пошуку оптимального розв'язку. Математична модель (4.12) відноситься до нескаларних. Для її аналізу слід скористатись одним з алгоритмів нескаларної оптимізації.

Практичне значення математична модель (4.12) має в комплексі моделей для інших рівнів прийняття рішення.

Контрольні завдання для самопідготовки

1. Запропонуйте критерії для управління графіком електроспоживання на промисловому підприємстві. Укажіть в яких ситуаціях можна використовувати той або інший критерій?
2. Яким чином слід діяти, якщо підприємство обмежується по потужності? Які дії при цьому можливі взагалі та як діяти найкращим чином?
3. Сформулюйте можливі підходи до управління графіком електроспоживання на промисловому підприємстві.
4. Який зміст можуть мати компоненти вектора управління при регулюванні графіка електроспоживання підприємства?

Література до розділу 4

1. Гордеев В.И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. -М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Праховник А.В., Розен В.П., Дехтярев В.В. Энергосберегающие режимы горнодобывающих предприятий. - М.: Недра, 1985.
3. Хронусов Г.С. Комплексы потребителей-регуляторов горнодобывающих предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
4. Михайлов И.И. Тарифы и режимы электропотребления. - М.: Энергоатомиздат, 1984.

СТИСЛИЙ СЛОВНИК ТЕРМІНІВ, ЩО ЧАСТО ВЖИВАЮТЬСЯ
ПРИ РОЗРОБЦІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АСУ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТА-
ЧАННЯ

А

Автоматизована система - система, що складається з персоналу та комплексу засобів автоматизації його діяльності, що реалізує інформаційну технологію виконання встановлених функцій [1]*.

Автоматизоване робоче місце (АРМ) - програмно-технічний комплекс автоматизованої системи, що призначений для автоматизації діяльності певного виду [1].

Адміністратор бази даних - експерт, що забезпечує створення та розвиток схеми даних, підтримання секретності, цілісності та пріоритетності даних [14].

Алгоритм - кінцевий набір приписів, що визначають розв'язування задачі за допомогою кінцевої кількості операцій [9].

Алгоритмічна мова - штучна мова, що призначена для виразу алгоритмів [8].

Алгоритм управління - алгоритм, що визначає управління в реальному часі [11].

Алфавітно-цифровий друкуючий пристрій - пристрій, що забезпечує виведення з ЕОМ алфавітно-цифрових даних [5].

Аналого-цифровий перетворювач - елемент або функціональний вузол, що виконує перетворення аналогової інформації в код [4].

Б

Багатокритеріальні задачі - задачі, які полягають в пошуках найкращого розв'язку, який задовольняє декілька критеріїв, що не зводяться один до одного [15].

* Тут та далі дається посилання на список літератури до додатку Д. 1.

База даних - сукупність даних, що організовані за певними правилами, які передбачають загальні принципи опису, зберігання та маніпулювання даними, що незалежна від прикладних задач [3].

Блок-схема - графічне подання задачі для проведення аналізу або розв'язування за допомогою спеціальних символів, що позначають такі елементи, як операції, дані або технічні засоби [9].

В

Варіаційне числення - область математики, що займається дослідженням умов екстремуму (максимуму або мінімуму) величин, значення яких визначається вибором однієї або декількох функцій. Такі величини називаються функціоналом [12].

Ведення бази даних - діяльність із оновлення, відновлення та перебудови структури бази даних з метою забезпечення її цільності, збереження та ефективності використання [3].

Векторна оптимізація - розв'язування задач математичного програмування, в яких критерій оптимальності являє собою вектор, компонентами якого є, в свою чергу, різні критерії оптимальності, що не зводяться один до одного [15].

Виконавчий орган управління - елемент, призначений для здійснення впливів, що управляють [11].

Випадковий процес - зміна в часі будь-якої системи, що викликана впливом неконтрольованих випадкових факторів [12].

Вихідний модуль - програмний модуль на вихідній мові, що обробляється транслятором та який поданий для нього як ціле, достатнє для проведення трансляції [8].

Візуалізація - візуальне подання даних [6].

Вплив, що управляє - вплив на об'єкт управління, що призначений для досягнення мети управління [11].

Г

Градiєнтні методи розв'язування задач математичного програмування - методи, основані на пошуку екстремуму функції шляхом послідовного переходу до нього за допомогою градієнта цієї функції [15].

Графічний дисплей - дисплей, що забезпечує роботу в графічній та в алфавітно-цифровій формах [5].

Графопобудовник - пристрій виводу обчислювальної машини, що призначений для перетворення та запису даних у вигляді двовірного графічного зображення на носіїві даних [5].

Д

Дані - інформація, що представлена у вигляді, придатному для обробки автоматичними засобами з можливою участю людини [2].

Детермінований об'єкт управління - об'єкт управління, в математичній моделі функціонування якого координати, що управляються, однозначно залежать від інших координат [11].

Динамічне програмування - область математики, що розробляє теорію та числові методи знаходження оптимальних за деякою цільовою функцією багаторіпних задач управління [12].

Дискета - мініатюрний магнітний диск, поміщений в закритому конверті [5].

Дисплей - пристрій вводу-виводу обчислювальної машини, що забезпечує введення, візуалізацію та оперативне редагування даних користувачем на екрані [5].

Діалоговий режим - режим взаємодії людини із системою обробки інформації, при якому людина та система обмінюються інформацією в темпі, сумірному з темпом обробки інформації людиною [2].

Ділові ігри - метод імітації прийняття управлінських рішень в різних виробничих ситуаціях шляхом гри за заданими правилами групи людей або людини та ЕОМ [15].

Дослідження операцій - прикладне направлення кібернетики, що використовується для розв'язування практичних задач, призначене для кількісного обґрунтування рішень, що приймаються [15].

Е

Економіко-математичні методи - умовна назва комплексу наукових дисциплін на стику економіки з математикою та кібернетикою [12].

Екстремальна задача - задача знаходження екстремуму функції $f(x)$, що визначена на множині M n -мірного простору $E_n[(X=x_1, x_2, \dots, x_n) n \geq 1]$ [12].

Екстремальне управління - управління, мета якого полягає в досягненні та утриманні екстремуму заданого показника якості функціонування об'єкта управління [11].

Екстремум - значення деякої величини або функції $f(x)$, що є її максимумом або мінімумом. Відрізняють екстремум локальний - в деякому довільному околі даної точки, і глобальний - в усій області значень x , що розглядаються [13].

ЕОМ загального призначення - ЕОМ, яка відноситься до класу обчислювальних машин, що займають за шкалою продуктивності широкий діапазон та призначених для розв'язування широкого класу задач з приблизно однаковою техніко-економічною ефективністю [12].

Ергономічне забезпечення автоматизованої системи - сукупність реалізованих рішень в автоматизованій системі для погодження психологічних, психофізіологічних, антропометричних, фізіологічних характеристик та можливостей користувачів з технічними характеристиками комплексу засобів автоматизації та параметрами робочого середовища на робочих місцях персоналу [1].

З

Загальна теорія систем - наукова дисципліна, що розробляє методологічні принципи дослідження систем [12].

Завантажувальний модуль - програмний модуль, що представлений у формі, придатній для завантаження в основну пам'ять для виконання [8].

Закон управління - математична форма перетворення впливів, що задаються, збурень, дій зворотних зв'язків, які визначають вплив, що управляє [11].

Замкнута система управління - система управління, в якій здійснено управління із зворотним зв'язком [11].

Збурення - вплив із зовні на будь-який елемент (підсистему) системи управління, включаючи об'єкт управління, що перешкоджає, як правило, досягненню мети управління [11].

Зворотний зв'язок - залежність поточних впливів на об'єкт від його стану, що обумовлений попередніми впливами на цей же об'єкт [11].

I

Ідентифікатор - лексична одиниця, що використовується як ім'я елементів мови [10].

Ієрархія - властивість, що характеризує систему з відношеннями старшинства між її частинами [14].

Імітаційна модель - числова економіко-математична модель системи, що вивчається, призначена для використання в процесі машинної імітації. Вона є по суті програмою для ЕОМ, а експеримент над нею полягає в спостереженні за результатами обчислень за цією програмою при різних значеннях змінних, що задаються [15].

Ім'я набору даних - ідентифікатор набору даних [3].

Інформаційна модель - набір спеціально підібраних змінних з їх конкретними значеннями, що характеризують об'єкт управління, і які поступають до оператора, що виконує функцію управління [12].

Інформаційна технологія - прийоми, способи та методи використання обчислювальної техніки при виконанні функцій збору, зберігання, обробки, передачі та використання інформації [1].

Інформаційне забезпечення автоматизованої системи - сукупність форм документів, класифікаторів, нормативної бази та реалізованих рішень з об'ємів, розміщень та форм існування інформації, що використовується в автоматизованій системі при її функціонуванні [1].

Інформація - одне із найбільш загальних понять науки, що означає деякі відомості, сукупність будь-яких даних, знань і т.д. [13].

Ітераційні методи - методи наближеного розв'язування задач прикладної математики, що основані на послідовному наближенні до розв'язку шляхом багатократного використання певної обчислювальної або аналітичної процедури [13].

Ітерація - етап реалізації алгоритму, що відрізняється від інших його етапів (крім початкового та кінцевого) лише значеннями змінних величин, але не складом процедур обробки інформації [12].

Й

Ймовірність - числова характеристика степені можливості появи будь-якої певної події в тих або інших певних умовах, які можуть повторюватись необмежену кількість разів [13].

К

Квадратичне програмування - розділ нелінійного програмування, що вивчає задачі, де необхідно знайти глобальний екстремум квадратичної функції на багатогранній множині [12].

Керованість - властивість об'єкта управління, яка полягає в тому, що існують впливи, які здатні забезпечити досягнення мети управління в умовах заданих обмежень [11].

Кібернетика - наука про загальні закони управління в природі, суспільстві, живих організмах та машинах [12].

Кібернетична система - множина взаємопов'язаних об'єктів, що називаються елементами системи, які здатні сприймати та переробляти інформацію, а також обмінюватися інформацією [15].

Компіляція - трансляція програми з мови високого рівня в форму, близьку до програми на машинній мові [8].

Комп'ютеризація - автоматизація яких-небудь процесів в будь-якій галузі діяльності людини за рахунок використання обчислювальної техніки [2].

Користувач автоматизованої системи - особа, що бере участь у функціонуванні автоматизованої системи або використовує результати її функціонування [1].

Кореляційний аналіз - розділ математичної статистики, що вивчає кореляційні зв'язки між випадковими величинами [12].

Критерій оптимальності - показник, екстремальне значення якого характеризує граничну ефективність організації, стану або траєкторії розвитку об'єкта управління, що досягається [12].

Курсор - видима позначка, що переміщається, яка використовується для зазначення позиції на поверхні візуалізації, над якою буде виконуватися наступна операція [6].

Л

Лінгвістичне забезпечення автоматизованої системи - сукупність засобів та правил для формалізації природної мови, що використовуються при спілкуванні користувачів та експлуатаційного персоналу автоматизованої системи з комплексом засобів автоматизації при її функціонуванні [1].

Лінійне програмування - область математики, що розробляє теорію та числові методи розв'язування задач знаходження екстремуму лінійної функції багатьох змінних при наявності лінійних обмежень, тобто лінійних рівнянь та нерівностей, що зв'язують ці змінні [12].

Лістинг - вивід даних на друк; дані, що виведені на друк; протокол трансляції [14].

Людино-машинна система управління - система, в якій сигнали, що управляють, виробляються в процесі взаємодії людини та обчислювальної машини [12].

М

Масив - n -мірна матриця елементів даних однакового типу [14].

Математична статистика - розділ математики, що присвячений методам обробки і аналізу статистичних даних [12].

Математичне забезпечення автоматизованої системи - сукупність математичних методів, моделей та алгоритмів, що використовуються в автоматизованій системі [1].

Математичне моделювання - метод дослідження процесів або явищ шляхом побудови математичних моделей та їх дослідження [13].

Математичне програмування - розділ прикладної математики, що займається вивченням задач знаходження екстремуму функцій на деякій множині і розробкою методів розв'язування цих задач [13].

Мета управління - значення, співвідношення значень координат процесів в об'єкті управління або їх зміни в часі, при яких забезпечується досягнення бажаних результатів функціонування об'єкта [11].

Методи оптимізації - чисельні методи побудови алгоритмів, що дозволяють знайти екстремальне значення функції $f(x)$ (де x - елемент деякого простору E) і точку X_* , в якій це значення реалізується [13].

Методичне забезпечення автоматизованої системи - сукупність документів, що описують технологію її функціонування, методи вибору та примінення користувачами технологічних прийомів для отримання конкретних результатів [1].

МікроЕОМ - ЕОМ, що відноситься до класу обчислювальних машин, центральна частина котрих побудована на одному або декількох

мікропроцесорах, що розроблена, виходячи із вимог мінімізації фізичного об'єму [2].

Мікропроцесор - програмований пристрій для обробки даних, виконаний на основі однієї або декількох великих інтегральних схем [14].

Міні-ЕОМ (СМ ЕОМ) - ЕОМ, яка відноситься до класу обчислювальних машин, що розробляються із вимоги мінімізації вартості, та призначена для розв'язування достатньо простих задач [2].

Мова маніпулювання даними - мова, яка призначена для формулювання запитів на пошук, обмін даними між прикладною програмою та базою даних, а також для розширення мови програмування або як самостійна мова [3].

Мова опису даних - мова, призначена для опису схем баз даних [3].

Мова управління завданням - мова, що призначена для ідентифікації та опису її характеристик при передачі завдання на виконання в систему обробки інформації [8].

Н

Набір даних - ідентифікована сукупність фізичних записів, що організована одним із установлених в системі обробки даних способів та яка являє файли або частини файлів в середовищі збереження [3].

Невизначеність в системі - ситуація, коли відсутня повністю або частково інформація про можливі стани системи та зовнішнього середовища (в системі проходять ті або інші непередбачені події) [15].

Нелінійне програмування - розділ математичного програмування, в якому вивчаються методи розв'язування та характер екстремуму в задачах оптимізації з нелінійною цільовою функцією або множиною, що визначається нелінійними обмеженнями [13].

Носій даних - матеріальний об'єкт, що призначений для запису та зберігання даних [2].

О

Об'єкт управління - об'єкт для досягнення бажаних результатів, для функціонування якого необхідні та допустимі спеціально організовані впливи [11].

Об'єкт, що управляє - об'єкт, призначений для здійснення управління [11].

Обмеження - математичні відношення, за допомогою яких в математичних моделях формалізуються ті або інші властивості системи, що моделюється. Обмеження відображають внутрішні властивості об'єктів, що моделюються, в процесі їх взаємовідношення із зовнішніми обмежувальними факторами [12].

Обробка інформації - систематичне виконання операцій над даними, які являють призначену для обробки інформацію [2].

Обчислювальна математика - розділ математики, що вивчає методи отримання розв'язків різних математичних задач у вигляді числового (точного або наближеного) результату [13].

Операційна система - сукупність системних програм, призначених для забезпечення певного рівня ефективності системи обробки інформації за рахунок автоматизованого управління її роботою та подання користувачеві певного набору послуг [2].

Оптимальне управління - управління, мета якого полягає в забезпеченні екстремального значення показника якості управління [11].

Оптимальний вектор - точка простору, яка є розв'язком задачі математичного програмування [13].

Оптимізація - 1) процес знаходження екстремуму функції, тобто вибір найкращого варіанта із множини можливих; 2) процес приведення системи в найкращий (оптимальний) стан [15].

Опукле програмування - розділ математичного програмування, що вивчає задачі мінімізації опуклої функції (максимізації вгнутої) на опуклій множині, що задана системою нерівностей [12].

Організаційне забезпечення автоматизованої системи - сукупність документів, що встановлюють організаційну структуру, права та обов'язки користувачів та експлуатаційного персоналу автоматизованої системи в умовах функціонування, перевірки та зберігання її роботоздатності [1].

II

Пакет прикладних програм - система прикладних програм, призначена для розв'язування задач певного класу [2].

Пам'ять ЕОМ - функціональна частина обчислювальної машини або системи обробки інформації, яка призначена для приймання, зберігання та видачі даних [2].

Персональна електронно-обчислювальна машина (ПЕОМ) - настільна мікро-ЕОМ, яка має експлуатаційні характеристики побутового приладу та універсальні функціональні можливості [2].

Підпрограма - програма, що є частиною іншої програми та яка задовольняє вимоги мови програмування та структури програми [8].

Платіжна матриця - в теорії ігор, теорії рішень - таблиця, в яку заносяться можливі результати рішень, що приймаються [15].

Показник якості управління - кількісна оцінка якості управління [11].

Правове забезпечення автоматизованої системи - сукупність правових норм, що регламентують правові відношення при функціонуванні автоматизованої системи та юридичний статус результатів її функціонування [1].

Прикладна програма - програма, що призначена для розв'язування задачі або класу задач в певній галузі використання інформації [8].

Пристрій типу "миша" - пристрій вводу позицій, що приводиться в дію переміщенням на поверхні [5].

Пристрій, що управляє - об'єкт, що управляє і такий, що являє собою окремі функціонально та конструктивно завершені пристрої [11].

Програма - дані, що призначені для управління конкретними компонентами системи обробки інформації для реалізації певного алгоритму [8].

Програмне забезпечення автоматизованої системи - сукупність програм на носіях даних та програмних документів, що призначена для налагодження, функціонування та перевірки працездатності автоматизованої системи [1].

Програмний модуль - програма або функціонально завершений фрагмент програми, призначений для зберігання, трансляції, об'єднання з іншими програмами та завантаження в оперативну пам'ять [8].

Програмування - наукова та практична діяльність складання програм [8].

Програмування цілочислових - розділ математичного програмування, що вивчає задачі, в яких на значення всіх або частини змінних накладена вимога цілочисловості [13].

Процесор - функціональна частина обчислювальної машини або системи обробки інформації, що призначена для інтерпретації програми [2].

Р

Регресивний аналіз - аналіз форм зв'язку, що встановлюють кількісні відношення між випадковими величинами випадкового процесу, що вивчається [12].

Регресія - закон зміни умовного математичного сподівання однієї випадкової величини в залежності від значень іншої [13].

Режим реального часу - режим обробки інформації, при якому забезпечується взаємодія системи обробки інформації із зовнішніми по відношенню до неї процесами в темпі, що сумірний із швидкістю протікання цих процесів [2].

Рішення - вибір однієї альтернативи або множини альтернатив із множини альтернатив, що розглядаються. Вибір виконується за критеріями рішення, які дозволяють оцінювати альтернативи з точки зору однієї або декількох цілей [12].

Розімкнута система управління - система управління, в якій здійснено управління без зворотного зв'язку [11].

С

Система - сукупність елементів, об'єднана зв'язками між ними та яка має певну доцільність [1].

Система управління базами даних - сукупність програм та мовних засобів, що призначені для управління даними в базі даних, ведення бази даних та забезпечення взаємодії її з прикладними програмами [3].

Стохастичне програмування - розділ математичного програмування, що вивчає теорію та методи розв'язування умовних екстремальних задач при певній інформації про параметри умови задачі [12].

Стохастичний об'єкт управління - об'єкт управління, в математичній моделі функціонування якого залежність хоча би однієї координати, що управляється, від інших координат, є ймовірною [11].

Стратегія - будь-яке правило, що пропонує певні дії в кожній ситуації в процесі прийняття рішення [12].

Т

Телевимірювання - отримання інформації про значення параметрів, що вимірюються, об'єктів, які контролюються або управляються, методами та засобами телемеханіки [7].

Телемеханіка - галузь науки та техніки, яка охоплює теорію та технічні засоби контролю та управління об'єктами на відстані з використанням спеціальних перетворювань сигналів для ефективного використання каналів зв'язку [7].

Телесигналізація - отримання інформації про стан об'єктів, що контролюються та управляються, які мають ряд можливих дискретних станів, методами та засобами телемеханіки [7].

Телеуправління - управління положенням або станом дискретних об'єктів з неперервною множиною станів методами та засобами телемеханіки [7].

Теорія ігор - теорія математичних моделей прийняття оптимальних рішень в умовах конфлікту або невизначеності. При цьому конфлікт не обов'язково повинен розумітися як антагоністичний; як конфлікт можна розглядати будь-яку суперечність [12].

Теорія ймовірностей - математична наука, що вивчає закономірності випадкових явищ [13].

Термінал - пристрій вводу-виводу, що забезпечує взаємодію користувачів в локальній обчислювальній мережі або з віддаленою ЕОМ через засоби телеобробки даних [5].

Технічне забезпечення автоматизованої системи - сукупність всіх технічних засобів, що використовуються при її функціонуванні [1].

Транслятор - програма або технічний пристрій, що виконує трансляцію програми [8].

Трансляція програми - перетворення програми, поданої на одній із мов програмування, в програму на іншій мові та в певному розумінні рівноцінній першій [8].

Транспортна задача - задача про найбільш економічний план перевезення однорідного або взаємозамінного продукту із пунктів виробництва до пунктів споживання [12].

У

Управління - процес вироблення та здійснення впливів, що управляють [11].

Управління даними - сукупність функцій забезпечення потрібного подання даних, їх накопичення та зберігання, оновлення, вилучення, пошуку за заданим критерієм та видачі даних [3].

Ф

Файл - ідентифікована сукупність екземплярів повністю описаних в конкретній програмі типу даних, що знаходяться поза програмою в зовнішній пам'яті та доступних програмі за допомогою спеціальних операцій [3].

Фізичне моделювання - дослідження об'єктів (систем) на фізичних моделях, при якому процес, що вивчається, відтворюється із збереженням його фізичної природи [13].

Ц

Цифро-аналоговий перетворювач - елемент або функціональний вузол, що виконує перетворення кода в аналогову величину [4].

Цільова функція - в екстремальних задачах функція, мінімум або максимум якої потрібно знайти. Екстремальному значенню цільової функції відповідає оптимальний розв'язок [12].

Ч

Чисельні методи - методи наближеного або точного розв'язування задач чистої або прикладної математики, що ґрунтуються на побудові кінцевої послідовності дій над кінцевою множиною чисел [13].

Ш

Швидкодія - характеристика аналогової (аналого-цифрової) обчислювальної системи (машини, пристрою), що оцінюється максимальною швидкістю зміни машинних змінних, при якій похибка розв'язку не перебільшує допустимих значень [4].

Штучний інтелект - здатність обчислювальної машини моделювати процес мислення за рахунок виконаних функцій, звично пов'язаних з інтелектом людини [2].

Я

Якість управління - сукупність характеристик управління, прийнятих для оцінки користі управління [11].

Література до додатку Д 1

1. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения.
2. ГОСТ 15971-90. Системы обработки информации. Термины и определения.
3. ГОСТ 20886-85. Организация данных в системах обработки данных. Термины и определения.
4. ГОСТ 25376-82. Аналоговая и аналого-цифровая вычислительная техника. Термины и определения.
5. ГОСТ 25868-91. Оборудование периферийное систем обработки информации. Термины и определения.

6. ГОСТ 27459-87 (СТ СЭВ 5712-86). Системы обработки информации. Машинная графика. Термины и определения.
7. ГОСТ 26.005-82. Телемеханика. Термины и определения.
8. ГОСТ 19781-90. Обеспечение систем обработки информации программное. Термины и определения.
9. СТ ИСО 2382/15-85. Обработка данных. Словарь. Раздел 01: Основные понятия (термины).
10. СТ ИСО 2382/15-85. Обработка данных. Словарь. Раздел 15: Языки программирования.
11. Теория управления. Терминология. Вып. 107. - М.: Наука, 1988.
12. Математика и кибернетика в экономике. Словарь-справочник. - М.: Экономика, 1975.
13. Энциклопедия кибернетики. В 2-х томах. - К.: 1974.
14. Зорин А.П., Марков А.С. Толковый словарь по вычислительной технике и программированию: Основные термины. - К.: Изд-во УСХА, 1989.
15. Лопатников Л.И. Краткий экономико-математический словарь. - М.: Наука, 1979.

УКРАЇНСЬКО - РОСІЙСЬКИЙ СЛОВНИК ТЕРМІНІВ З АСУ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

А

адміністратор бази даних - администратор базы данных

алгоритм управління - алгоритм управления

алгоритмізація - алгоритмизация

аналіз - анализ

а. кореляційний - анализ корреляционный

а. регресійний - анализ регрессионный

Б

база даних - база данных

банк даних - банк данных

блок-схема - блок-схема

В

вектор - вектор

~а дійсна частина - вектора действительная часть

в. напруги - вектор напряжения

в. оптимальний - вектор оптимальный

в. струму - вектор тока

в. управління - вектор управления

~а уявна частина - вектора мнимая часть

вимикач - выключатель

в. навантаження - выключатель нагрузки

вимірність - размерность

відокремлювач - отделитель

відсічка максимальна струмова - отсечка максимальная токовая

вузол навантаження - узел нагрузки

Г

графік - график

г. активного навантаження - график активной нагрузки

г. навантаження груповий - график нагрузки групповой

г. навантаження добовий - график нагрузки суточный

г. навантаження індивідуальний - график нагрузки индивидуальный

г. навантаження за тривалістю - график нагрузки по продолжительности

~а нерівномірність - графика неравномерность

г. реактивного навантаження - график реактивной нагрузки

графопобудовувач - графопостроитель

Д

джерело реактивної потужності - источник реактивной мощности

діаграма векторна - диаграмма векторная

дискета - дискета

дисперсія - дисперсия

дисплей - дисплей

дослідження операцій - исследование операций

Е

екстремум - экстремум

З

забезпечення - обеспечение

з. інформаційне - обеспечение информационное

з. лінгвістичне - обеспечение лингвистическое

з. математичне - обеспечение математическое

з. програмне - обеспечение программное

з. технічне - обеспечение техническое
закон управління - закон управления
запобіжник - предохранитель
захист - защита
з. максимальний струмовий - защита максимальная токовая
з. релейний - защита релейная
збурення - возмущение

I

ідентифікатор - идентификатор
ієрархія - иерархия
інформація - информация
і. детермінована - информация детерминированная
і. оперативна - информация оперативная
і. стохастична - информация стохастическая
ітерація - итерация

Й

ймовірність - вероятность

К

керіваність - управляемость
кібернетика - кибернетика
коефіцієнт - коэффициент
к. надійності - коэффициент надежности
к. несиметрії напруг - коэффициент несимметрии
напряжений
к. несиметрії струмів - коэффициент несимметрии токов
к. повертання - коэффициент возврата
к. потужності - коэффициент мощности
к. схеми - коэффициент схемы
к. трансформації - коэффициент трансформации

компіляція - компиляция

користувач - пользователь

короткозамикач - короткозамыкатель

курсор - курсор

Л

лістинг - листинг

М

масив - массив

математика обчислювальна - математика вычислительная

матриця - матрица

м. двовимірна - матрица двухмерная

м. з'єднань матрица соединений

м. одновимірна - матрица одномерная

межа надійна - граница доверительная

мережа - сеть

метод - метод

~ди градієнтні - методы градиентные

~ди економіко-математичні - методы экономико-
математические

~ди ітераційні - методы итерационные

~ди оптимізаційні - методы оптимизационные

м. симетричних складових - метод симметричных
составляющих

~ди чисельні - методы численные

мікропроцесор - микропроцессор

мова - язык

м. алгоритмічна - язык алгоритмический

м. бази даних - язык базы данных

м. маніпулювання даними - язык манипулирования

данными

модель - модель

м. даних - модель данных

м. імітаційна - модель имитационная

м. інформаційна - модель информационная

м. лінійна - модель линейная

м. математична - модель математическая

м. нескаларної оптимізації - модель нескаларной
оптимизации

м. фізична - модель физическая

м. цілочислова - модель целочисленная

модуль - модуль

м. абсолютний - модуль абсолютный

м. вектора - модуль вектора

м. вихідний - модуль исходный

м. загрузочний - модуль загрузочный

м. програмний - модуль программный

момент кореляційний - момент корреляционный

Н

навантаження - нагрузка

н. несиметричне - нагрузка несимметричная

н. однофазне - нагрузка однофазная

надійність - надежность

налагодження - отладка

напруга - напряжение

н. лінійна - напряжение линейное

~г несиметрія - напряжений несимметрия

н. номінальна - напряжение номинальное

н. фазна - напряжение фазное

невизначенність - неопределенность

О

об'єкт - объект

о. детермінований - объект детерминированный

о. стохастичний - объект стохастический

о. управління - объект управления

обмеження - ограничение

опір - сопротивление

о. активний - сопротивление активное

о. реактивний - сопротивление реактивное

оптимізація - оптимизация

о. багатокритеріальна - оптимизация многокритериальная

о. векторна - оптимизация векторная

П

підстанція трансформаторна - подстанция трансформаторная

потужність - мощность

п. активна - мощность активная

п. встановлена - мощность установленная

п. номінальна - мощность номинальная

п. реактивна - мощность реактивная

пристрій - устройство

п. багатофункціональний - устройство многофункциональное

~рої зовнішні ЕОМ - устройства внешние ЭВМ

п. симетруючий - устройство симметрирующее

п., що управляє - устройство управляющее

програмування - программирование

п. динамічне - программирование динамическое

п. квадратичне - программирование квадратичное

п. лінійне - программирование линейное
п. метематичне - программирование математическое
п. нелінійне - программирование нелинейное
п. опукле - программирование выпуклое
п. стохастичне - программирование стохастическое
п. цілочислове - программирование целочисленное

Р

регресія - регрессия

регулювання - регулирование

режим - режим

р. аварійний - режим аварийный

р. вихідний - режим исходный

р. генерації - режим генерации

р. діалоговий - режим диалоговый

р. замкнутий - режим замкнутый

р. зворотної послідовності - режим обратной
последовательности

р. інформатора - режим информатора

р. несиметричний - режим несимметричный

р. нормальний - режим нормальный

р. оптимізований - режим оптимизированный

р. післяаварійний - режим послеаварийный

р. радника - режим советника

р. споживання - режим потребления

р. тренажу - режим тренажа

рішення - решение

р. технічне - решение техническое

розв'язок - решение

р. опорний - решение опорное

р. оптимальний - решение оптимальное
розв'язування - решение
роз'єднувач - разъединитель

С

система - система

- с. електропостачання - система электроснабжения
- с. живлення - система питания
- с. кібернетична - система кибернетическая
- с. людино-машинна - система человеко-машинная
- с. операційна - система операционная
- с. приймальна - система приемная
- с. проектування - система проектирования
- с. трифазна - система трехфазная
- с. управління - система управления
- с. управління замкнута - система управления замкнутая
- с. управління розімкнута - система управления разомкнутая

сподівання математичне - ожидание математическое

споживач - потребитель

- с. електроенергії - потребитель электроэнергии
- с. енергоємний - потребитель энергоемкий
- с. несиметричний - потребитель несимметричный
- с. однофазний - потребитель однофазный

стійкість - устойчивость

- с. динамічна - устойчивость динамическая
- с. електродинамічна - устойчивость электродинамическая
- с. статична - устойчивость статическая
- с. термічна - устойчивость термическая

стратегія - стратегия

струм - ток

с. ємносний - ток ємкостный

с. зворотної послідовності - ток обратной последовательности

с. короткого замикання - ток короткого замыкания

с. номінальний - ток номинальный

с. прямої послідовності - ток прямой последовательности

~у складова - тока составляющая

Т

телеметрія - телеметрия

телемеханіка - телемеханика

теорія - теория

т. ігор - теория игр

т. ймовірності - теория вероятности

термін окупності - срок окупаемости

У

увід, ввід - ввод

у. трансформаторної підстанції - ввод трансформаторной подстанции

у. живлячий - ввод питающий

у. системи електроспоживання - ввод системы электро-снабжения

у. інформації - ввод информации

управління - управление

у. виконавчий орган - управления исполнительный орган

у. екстремальне - управление экстремальное

у. оптимальне - управление оптимальное

Ф

файл - файл

ф. даних - файл данных

ф. літеральний - файл литеральный

ф. програмний - файл программный

Ч

числення варіаційне - исчисление вариационное

чутливість - чувствительность

Ш

швидкодія - быстродействие

Я

якість - качество

я. електроенергії - качество электроэнергии

я. управління - качество управления

ЛІТЕРАТУРА

1. Глушков В.М. Введение в АСУ. -К.: Техніка, 1974.
2. Мамиконов А.Г. Основы построения АСУ. -М.: Высшая школа, 1981.
3. Гельман Г.А. Автоматизированные системы управления энерго-снабжением промышленных предприятий. -М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Электрические системы. Автоматизированные системы управления режимами энергосистем. Под ред. В.А.Веникова. -М.: Высшая школа, 1979.
5. Арзамасцев Д.А., Бартоломей П.И., Холян А.М. АСУ и оптимизация режимов энергосистем. -М.: Высшая школа, 1983.
6. Аввакумов В.Г. Постановка и решение электроэнергетических задач исследования операций. -К.: Вища школа, 1983.
7. Соскин Э.А. Основы диспетчеризации и телемеханизации промышленных систем энергоснабжения. -М.: Энергия, 1977.
8. Праховник А.В. АСУ электропотреблением. -К.: Вища школа, 1977.

Міністерство освіти України
Вінницький державний технічний університет

Навчальне видання

Леонід Борисович Терешкевич

АСУ режимами систем електропостачання

Навчальний посібник

Вінниця ВДТУ 1998

Редактор В.О.Дружиніна

Коректор З.В.Поліщук

Тир. 40 прим. Зам. №

ВДТУ, 286021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95