

*Б.С. Рогальський*

**КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.  
МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ, СПОСОБИ ТА ТЕХНІЧНІ  
ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ**

**II частина**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький державний технічний університет

Додаток  
до навчального посібника  
**Б.С. Рогальський**  
«Компенсація реактивної потужності. Методи  
розрахунку, способи та технічні засоби управління»

**КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ. МЕТОДИ  
РОЗРАХУНКУ, СПОСОБИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ**  
II частина

Затверджено Ученою радою Вінницького державного технічного університету як навчальний посібник для студентів спеціальностей «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Енергетичний менеджмент». Протокол № 5 від 26.12.02 р.

Вінниця ВДТУ 2003

Рецензенти:

*П.Д. Лежнюк*, доктор технічних наук, професор

*В.В. Кухарчук*, доктор технічних наук, професор

*В.І. Нагул*, кандидат технічних наук, доцент

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України

**Рогальський Б.С.**

P59 **Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління. II частина. Навчальний посібник.** - Вінниця: ВДТУ, 2003.-129 с.

В навчальному посібнику подані результати досліджень способів і технічних засобів оптимального (за критерієм мінімальних втрат) керування компенсувальними установками в електричних мережах споживачів та енергосистем.

Посібник призначений для студентів електроенергетичних спеціальностей (при вивченні дисциплін електропостачання, спец. питання електропостачання і електричні системи та мережі, виконанні курсових і дипломних проектів). Може бути корисний аспірантам, науковим співробітникам і спеціалістам промислових підприємств та проектних організацій.

НТБ ВДТУ  
УДК 621.311.031:621.316  
М.С. Рогальський, 2003

**Вступ** 6

**Розділ 1. Способи і системи централізованого оптимального**

**управління батареями конденсаторів (БК)** 7

1.1 Спосіб і системи управління БК пропорційно поточним втраг 8

1.2 Система управління БК за величиною  $Q^2_i R_i$  з автоматичним  
задаванням уставок для характерних добових зон електроспоживання  
(ЕС) [5] 13

1.3 Система управління БК за величиною  $Q^2_i R_i$  з врахуванням напрямку  
перетоків РП [6] 18

1.4 Система управління БК за величиною  $Q^2_i R_i$  з врахуванням наявності в  
одних вузлах надлишку, в інших дефіциту потужності БК[7] 21

1.5 Спосіб і система управління БК за величиною збільшення або  
зменшення втраг  $(2Q_i Q_{cij} \pm Q^2_{cij})R_i$  [8] 27

1.6 Мікропроцесорна система управління БК за величиною  
 $Q^2_i R_i$  (АДУРП) [8,9,14] 32

1.7 Спосіб і система управління БК шляхом контролю оптимальності  
потокорозподілу РП у вузлах електричної мереж[20,25] 37

1.8 Спосіб і система управління БК шляхом контролю оптимальності  
потокорозподілу РП в електричних мережах з врахуванням їх  
відсутності в деяких вузлах або зміні кількості в процесі управління  
[17,19,26] 45

1.9 Спосіб і система керування БК з визначенням похибки оптимізації  
потокорозподілу реактивної потужності в електричній мережі та його  
коригуванням 48

1.10 Спосіб і система керування БК з контролем напруги у вузлі мережі  
та форсованим ввімкненням БК при її глибокій посадці 55

1.11	Методи визначення і коригування уставок в процесі управління без використання ітеративної процедури	63
<b>Розділ 2</b>	<b>Способи і системи автоматичного оптимального управління БК за допомогою групи спеціальних локальних регуляторів [2,25]</b>	<b>70</b>
<b>Розділ 3</b>	<b>Спосіб і система управління реактивним навантаженням підприємства за допомогою групи синхронних двигунів (СД)</b>	<b>84</b>
<b>Розділ 4</b>	<b>Способи і системи сумісного та комбінованого (роздільного) управління БК та СД [14]</b>	<b>92</b>
<b>Розділ 5</b>	<b>Спосіб і система управління компенсуючими установками в електричних мережах з несиметричним навантаженням</b>	<b>99</b>
<b>Розділ 6</b>	<b>Критерії оцінки похибки і ефективності оптимального управління компенсуючими установками</b>	<b>105</b>
	<b>Список використаних джерел</b>	<b>118</b>
	<b>Додатки</b>	<b>123</b>

## Список скорочень

- ЕС – енергетична ситема
- КРП – компенсація реактивної потужності
- ВРП – вхідна реактивна потужність
- БК – батарея конденсаторів
- СД – синхронний двигун
- СГ – синхронний генератор
- СК – синхронний компенсатор
- КУ – компенсувальна установка
- НБК – низьковольтна батарея конденсаторів
- ВБК – високовольтна батарея конденсаторів
- ГПП – головна понижувальна підстанція
- ЦРП – центральний розподільчий пристрій
- ТП – трансформаторна підстанція
- РТ – розподільчий трансформатор
- РУ – розподільча установка
- РП – розподільчий пристрій
- ЕОМ – електронно-обчислювальна машина
- ПЕОМ – персональна електронно-обчислювальна машина
- КРН – компенсація реактивних навантажень
- РПН – регулювання під напругою
- ЛЕП – лінія електропередавання

## Вступ

В I-й частині навчального посібника наведені результати аналізу стану компенсації реактивної потужності в електричних мережах споживачів та енергосистем. Розглянуті відомі методи розрахунку компенсації реактивної потужності, засоби управління компенсувальними установками, системи і шкали взаєморозрахунків за компенсацію та вимоги до компенсації, наведені запропоновані методи поетапного розрахунку оптимальної компенсації реактивної потужності в електричних мережах підсистеми, яка включає мережі енергопостачальних компаній та споживачів, методи коригування економічної і балансової задач компенсації та удосконалена методика розрахунків за споживання і генерацію реактивної енергії між енергопостачальними компаніями і споживачами.

В другій частині навчального посібника викладаються способи, пристрої і системи оптимального (за критерієм мінімальних втрат) управління компенсувальними установками. Зокрема розглядаються системи централізованого управління генерацією реактивної потужності батареями конденсаторів і синхронними двигунами, які забезпечують найбільшу точність та ефективність управління. Але такі системи вимагають розгалужених ліній зв'язку. Як альтернативний варіант розглядаються способи та пристрої управління локальної дії. За допомогою групи таких пристроїв можна виконувати з деяким наближенням функції централізованих систем без використання ліній зв'язку. Розглядаються також системи управління компенсуючими установками в несиметричних мережах. Даються рекомендації щодо вибору технічних засобів управління, визначення його точності і ефективності.

Навчальний посібник розрахований на студентів, які вивчають дисципліни "Електропостачання", "Спецпідрозділ електропостачання", "Енер-

гозбереження”, а також на працівників проектних та наукових організацій та енергослужб підприємств.

Автор висловлює подяку коректору Франко Ю.І. та інженеру кафедри Войтюку Ю.П. за підготовку посібника до друку.

## **Розділ 1 Способи і системи централізованого оптимального управління батареями конденсаторів (БК)**

На більшості промислових підприємств БК розосереджені серед цехових трансформаторних підстанцій, розподільних пристроїв до і вище 1000В. Необхідність виконання зазначених [1] вимог, мінімізації втрат; контролювання втрат і ВРП на вводах споживачів і окремих вузлів їх мереж, переключення уставок, врахування нестабільних та малоймовірних режимів електроспоживання РП (реактивної потужності) зумовнює застосування способів і систем централізованого управління БК.

Розробка способів і систем здійснюється за таких умов і припущень:

- управління КУ є експлуатаційною і оптимізаційною задачею, яка розв'язується після виконання проектною задачею з оптимального розміщення БК в електричній мережі;

- критеріями оптимізації є виконання вимог енергосистеми щодо споживання реактивної потужності та енергії з її мережі і мінімум втрат електроенергії в мережах споживача;

$$Q_{\Phi} \leq Q_{ej} \quad \text{і} \quad \Delta P \rightarrow \min \quad (1.1)$$

- на стадії проектування нових підприємств чи реконструкції діючих здійснюється: вибір елементів електричної мережі без врахування компенсації; розрахунок оптимальної КРП в електричних мережах з врахуванням

зниження потужності трансформаторів і ЛЕП або віддалення строків їх реконструкції; розрахунок рівнів напруги та вибір відпайок силових трансформаторів для режимів найбільших і найменших навантажень з врахуванням компенсації та оптимального управління БК, які забезпечують рівні напруги протягом доби в допустимих межах;

- управління БК здійснюється за відхиленням фактичної ВРП  $Q_{\phi}$  від ВРП, заданої ЕС для характерних добових режимів  $Q_e$  (задане збудження);

- мережі промислових підприємств розімкнені або працюють в розімкненому режимі; цехові ТП, РП до і вище 1000 В; потужні електроприймачі одержують живлення в основному по радіальних лініях, рідше - по радіально-магістральних.

Виходячи із зазначених [1] вимог (§ 1.4), припущень і умов, розроблено ряд способів і систем централізованого оптимального управління батареями конденсаторів [2 - 20].

### 1.1 Спосіб і система управління БК пропорційно поточним втратам (за величиною $Q_i^2 \cdot R_i$ ) [3]

Спосіб управління за критерієм  $Q_i^2 \cdot R_i$  (де  $Q_i$  і  $R_i$  - відповідно, реактивна потужність і активний опір  $i$ -го приєднання), ґрунтується на контролі фактичних значень вхідної реактивної потужності на вводах підприємства  $Q_{\phi i}(t)$  та аналізі величини втрат потужності в електричних мережах підприємства  $(Q_i^2 \cdot R_i)$ , які відходять від ГПП (головної понижувальної підстанції) або ЦРП (центрального розподільного пункту) підприємства кожний раз, коли фактична вхідна реактивна потужність  $Q_{\phi i}(t)$  відхиляється від значення, яке задала енергосистема для періоду  $j$ -го добового режиму  $Q_{e j}$  (тобто від величини уставки). При цьому секція конденсаторної установки включається в мережах того приєднання, в якому втрати в даний момент найбільші, і відключається, де ці втрати найменші. В даному випадку реалізується така модель управління:

включення секції конденсаторної установки

$$Q_{\phi}(\Delta t) > Q_{ej},$$

$$\Delta P_{ij}(\Delta t) = \max[Q_{ij}^2(\Delta t) \cdot R_i] \implies Q_{kij}(t + \Delta t) = Q_{kij}(t) + Q_{cij}; \quad (1.2)$$

відключення секції конденсаторної установки

$$Q_{\phi}(\Delta t) < Q_{ej},$$

$$\Delta P_{ij}(\Delta t) = \min[Q_{ij}^2(\Delta t) \cdot R_i] \implies Q_{kij}(t + \Delta t) = Q_{kij}(t) - Q_{cij}; \quad (1.3)$$

У формулах (1.2) і (1.3):  $Q_{kij}(t)$  - потужність БК, яка включена в і-му вузлі в період j-го добового режиму електроспоживання в момент часу  $t$ ;  $Q_{kij}(t+\Delta t)$  - потужність БК, яка включена в і-му вузлі в період j-го добового режиму електроспоживання в момент часу  $(t+\Delta t)$  (після включення або відключення секції БК  $Q_{cij}$ );  $\Delta P_{ij}(\Delta t)$  - втрати активної потужності в і-му приєднанні в j-му характерному добовому режимі електроспоживання за період часу  $\Delta t$ ;  $Q_{ij}(\Delta t)$  - реактивне навантаження в і-му приєднанні в j-му режимі за період часу  $\Delta t$ ;  $n$  - кількість приєднань, які відходять від ГПП або ЦРП;  $\Delta t$  - період часу (3-6 хвилин), після завершення якого здійснюється контроль вхідної реактивної потужності на вводі підприємства та реактивних навантажень в мережах приєднань, аналіз втрат, включення і відключення секцій БК (час циклу управління).

Необхідність періоду часу  $\Delta t$  зумовлена такими причинами: після виключення секції БК її повторне включення повинно здійснюватись через 3-5 хвилин (для уникнення перенапруги) [21]; для визначення фактичного значення реактивної потужності використовуються лічильники-датчики реактивної енергії і для одержання достовірної інформації час опитування датчиків повинен бути не меншим трьох хвилин [22]; наявність періоду  $\Delta t$

дозволяє уникнути частих помилкових комутацій секцій БК при коротко- часових змінах реактивної потужності у вузлах [4].

Описаний вище спосіб реалізований в системі автоматичного управління БК, структурна блок-схема якої подана на рис. 1.1. [3]. Система складається із датчика реактивної потужності 1, датчика активної потужності 3, подільника 4, суматора 2, органу реагування 5, задавача уставок 6, органу витримки часу вихідного блока 7, датчиків реактивної потужності 8.1 - 8.n, які встановлені в місцях розміщення БК, блока квадраторів 9, який складається із n квадраторів; блока масштабних підсилювачів (БМУ) 10, який складається із n масштабних підсилювачів; блока аналізатора втрат і визначення місця комутації (БАВ і ВМК) 11 і виконавчих органів 12.1-12.n. Алгоритм управління за величиною поточних втрат  $Q^2 R_i$  показаний на рис. 1.2.

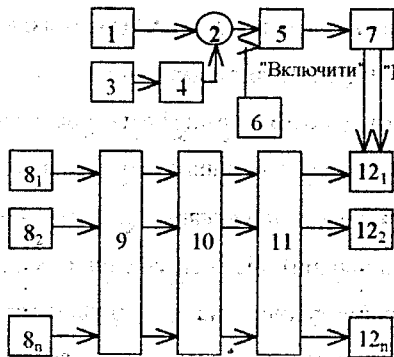


Рисунок 3.1 - Структурна блок-схема системи управління БК пропорційно поточним втратам за величиною  $Q_i^2 \cdot R_i$

Кожний цикл управління починається з введення значення фактичної ВРП (блок 2) за виразом:

$$Q_{\phi}(\Delta t) = \sum_{i=1}^n N_{\Pi} \cdot C_{\Pi}, \quad (1.4)$$

де  $N_{\Pi}$  - кількість імпульсів, одержаних шляхом опитування лічильника-датчика реактивної енергії (ЛДРЕ), який встановлений на  $i$ -му вводі підприємства за період  $\Delta t$ ;  $C_{\Pi}$  - ціна імпульсу  $i$ -го ЛДРЕ;  $n$  - кількість вводів підприємства.

За допомогою блоків 3,4,5 здійснюється перегляд всіх вузлів мережі підприємства для визначення реактивної потужності, яка споживається кожним вузлом  $Q_{\phi}(t)$  (блок 4), за формулою (1.4) і визначення величини, пропорційної втратам активної потужності від передавання реактивної потужності в даний вузол (блок 5) за формулою:

$$\Delta P_{\phi}(\Delta t) = Q_{\phi}^2(\Delta t) R_i \quad (1.5)$$

У формулі (1.5) не враховується величина напруги у вузлі. В даному випадку величини  $\Delta P_{\phi}(\Delta t)$  визначаються з метою їх порівняння і визначення найбільшого і найменшого значень та місця комутації секції БК. Врахування коефіцієнта  $10^{-3}/U^2$  призвело б тільки до збільшення об'єму обчислювальної роботи.

У блоці 6 здійснюється порівняння фактичної вхідної реактивної потужності (ВРП) із заданим значенням  $Q_{\phi}$ . Якщо  $Q_{\phi}(t) < Q_{\phi}$ , то за допомогою підпрограми (блок 7) знаходяться найменші втрати ( $\min \Delta P_{\phi}$ ): номер вузла  $Z_{\min}$ , для якого вони мають місце. Далі видається команда на включення секції БК в даному вузлі, що приводить до зміни споживання реактивної потужності у вузлі і на ввіді підприємства та обчислюється нове значення втрат в даному вузлі. Процес включення (відключення) секції БК буде продовжуватись до тих пір, поки не буде виконуватись умова:

для зони "пик"

$$0 \leq Q_{\phi} \leq Q_{c.\max}; \quad (1.6)$$

для позапікової зони

$$Q_{\phi} \approx 0; \quad (1.7)$$

для зони мінімальних навантажень

$$Q_{\phi} = Q_{e.\min} \quad (1.8)$$

З метою спрощення технічного пристрою умови (1.6) і (1.7) можна об'єднати і використовувати як одну нерегульовану уставку за вхідною реактивною потужністю:

$$Q_{\phi} = 0 \quad (1.9)$$

Такий підхід є цілком доцільним, як для енергосистеми, так і для споживача (в період пікових навантажень найбільш важкий режим - електроспоживання, тому бажано включення всіх наявних КУ; в період позапікової зони енергосистема не регламентує споживання РП, тому споживачу доцільно використати всі наявні КУ для зниження втрат електроенергії. Опис принципу роботи системи наведений в [3].

Описана система значно підвищує ефективність управління БК порівняно з відомими пристроями [1] (табл. 1.2) за рахунок зменшення втрат потужності і електроенергії в мережах споживачів та виконання вимог енергосистеми щодо споживання реактивної потужності із її мережі. Проте система має недоліки: управління БК здійснюється за законом  $P_{\phi} - \Delta Q = B$ , тобто залежно від активної і реактивної потужності, які протягом доби в більшості випадків змінюються непропорційно; в системі відсутній автоматичний перемикач уставок ВРП (вхідної реактивної потужності) на ввіді підприємства. Цих недоліків позбавлена система, описана нижче.

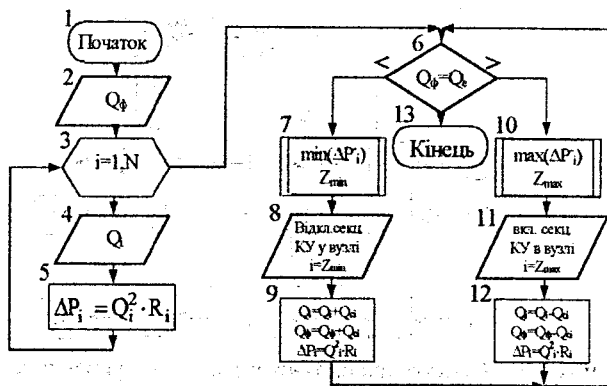


Рисунок 3.2 - Блок-схема алгоритму управління БК за величиною поточних втрат

$$Q_i^2 \cdot R_i$$

## 1.2 Система управління БК за величиною $Q_i^2 \cdot R_i$ з автоматичним задаванням уставок для характерних добових зон електроспоживання ЕС

[6]

Система, що пропонується, є удосконаленим варіантом попередньої. Структурна блок-схема системи подана на рис. 1:3.

Система складається із датчика вхідної реактивної потужності 1, вихід якого з'єднаний з входом органу реагування 2, другий вхід якого підключений до виходу задавача уставок 3, до входу якого підключений вихід блока автоматичного перемикавання уставок 4. Виходи органу реагування 2 з'єднані з входами блока витримки часу 5, виходи якого з'єднані з керувальними входами блока аналізу втрат і визначення місця комутації 6. Датчики реактивної потужності 7.1-7.n, які встановлені в місцях розміщення КУ, з'єднані з входами блока масштабних підсилювачів 9, виходи якого з'єднані з інформаційними входами блока 6, виходи якого з'єднані з входами відповідних виконавчих органів 10.1-10.n, які включають або відключають секції БК. Новим в даній системі є блок автоматичного перемикавання уставок і задавач уставок. Більш детально принцип роботи нових

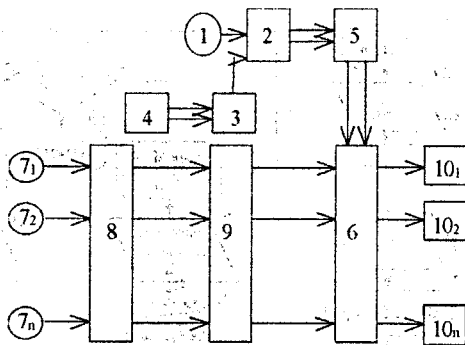


Рисунок 1.3 - Структурна блок-схема системи управління за величиною  $Q_1^2 \cdot R_1$  з автоматичним задаванням уставок за ВРП для характерних добових зон електроспоживання енергосистеми

блоків описаний нижче і в [5].

Блок автоматичного перемикання уставок, задавач уставок, орган регування і орган витримки часу (рис. 3.4) складаються із генератора тактових імпульсів 11; вихід якого приєднаний до двійкового лічильника 12, виходи якого з'єднані з входами 2п блоків ввімкнення і вимкнення уставок режимів споживання ВРП (зображено шість блоків 13÷18) і з входом блока 19' скидання лічильників, виходи блоків ввімкнення і вимкнення уставок приєднані до входів п RS- тригерів (зображено три RS- тригери 20÷22), прямі виходи RS- тригерів підключені до керівних входів n+1 ключів (на рисунку зображено чотири ключі 23÷26 задавача уставок 3), інверсні виходи RS- тригерів приєднані до логічного елемента 1 27. Задавач уставок 3 має n+1 регульованих регістрів (28÷31), які приєднані до джерела 32 опорної напруги і через ключі 23-26 до прямого входу компаратора 33 і змінного резистора 34, підключеного до інверсного входу компаратора 35. До прямого входу компаратора 35 і інверсного входу компаратора 33 підключений вихід датчика вхідної реактивної потужності 1. Виходи компараторів 33 і 35 підключені до входів резисторів 36 і 37, виходи яких підключені

до входів конденсаторів 38 і 39, а також до прямих входів компараторів 40 і 41 підключені виходи ручок змінних резисторів 42 і 43, які підключені до джерела 32 опорної напруги. Виходи компараторів 40 і 41 підключені до блока аналізу втрат і визначення місця комутації, а входи компараторів 40 і 41 з'єднані через змінні резистори 42 і 43 з джерелом 32.

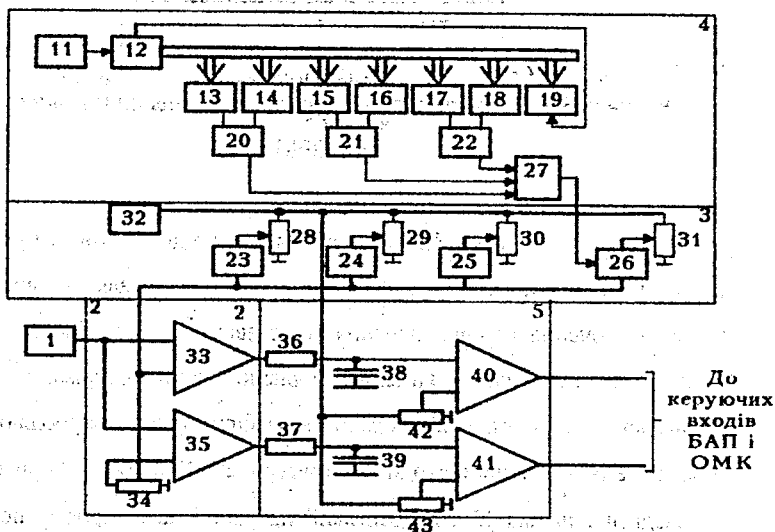


Рисунок 1.4 - Структурна схема блока АПУ, 3У органу реагування і органу витримки часу

Блоки 13-18 включення (13,15,17) і відключення (14,16,18) уставок відповідного режиму споживання вхідної реактивної потужності та блок 19 скидання лічильника 12 однотипні. Кожний із них (рис. 1.5) складається з вузла порівняння 44; входи  $A_0, A_1, \dots, A_n$  підключені до виходів лічильника 12. До входів  $B_0, B_1, \dots, B_n$  підключене набірне поле 45, яке складається з вертикальних і горизонтальних дротів, що з'єднуються перемичками. Система працює таким чином: генератор тактових імпульсів II генерує імпульси з частотою 2 за кожну годину. Лічильник здійснює рахунок цих імпульсів, і на виходах лічильника формується двійковий код числа підрахованих імпульсів.

льсів.

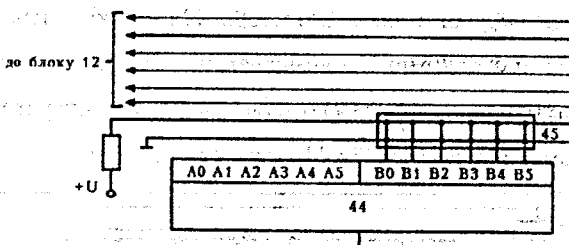


Рисунок 3.5 - Структурна схема блока ввімкнення (вимкнення) уставки ВРМ

Цей код аналізується блоками ввімкнення і відключення 14 уставки ранкового максимуму, ввімкнення 15 і відключення 16 уставки вечірнього максимуму, ввімкнення 17 і відключення 18 уставки мінімуму, блоком скидання 19 лічильника імпульсів 12. Ці блоки, порівнюючи код, одержаний на виході лічильника 12, з кодом, який набраний на набірному полі, виробляють сигнали, які перемикають прямі входи RS- тригерів 20+22 в стан "1" при збігу коду на виході лічильника 12 з кодом, який набраний на набірному полі блоків ввімкнення уставки ранкового максимуму 13, ввімкнення уставки вечірнього максимуму 15, ввімкнення уставки мінімуму 17. Інверсні виходи відповідних тригерів при цьому скидаються в стан "0". При збігу коду, одержаного на виході лічильника 12, з кодами, що набрані на набірному полі блоків відключення уставки ранкового максимуму 14, відключення уставки вечірнього максимуму 16, ввімкнення уставки мінімуму 18 на виходах виробляють сигнал "1". При цьому прямі виходи відповідних RS- тригерів переключаються в стан "0", а інверсні виходи - в стан "1". При збігу коду на виході лічильника 12 з кодом, що відповідає числу 48 (кількість 30-ти хвилин протягом доби), блок 19 скидання лічильника виробляє імпульс, який скидає виходи лічильника 12 в початковий (нульовий) стан. Коди, які виставляються на набраних полях блоків 13-18, що відповідають часу початку і кінця ранішнього та вечірнього максимумів активних навантажень енергосистеми (виходячи з

інших міркувань може бути п режимів з відповідними початками і закінченнями). Елемент 127 аналізує сигнали на інверсних виходах К8-тригерів 20÷22 і виробляє сигнал "1", якщо на інверсних виходах всіх трьох RS- тригерів є сигнал, який відповідає "1". Така ситуація виникає, якщо не спрацює ні один із трьох RS-тригерів, що відповідає позапіковому режиму енергосистеми. Сигнали з прямих входів RS- тригерів 20÷22 і з елемента 127 включають або виключають ключі 23-26. При цьому на вихід цих електронних ключів надходить одна із напруг, що знімається з регульованого резистора 28-31. Ці напруги відповідають уставкам вхідної реактивної потужності в періоди ранкового і вечірнього максимумів, а також мінімальних і позапікових навантажень. Напруга однієї з цих уставок надходить на компаратор 33 і через змінний резистор 34, який встановлює зону нечутливості, на компаратор 35. Компаратори 33 і 35 порівнюють напругу, яка виробляється датчиком вхідної реактивної потужності 1 з напругою уставки. Компаратори 33 і 35 підключені так, що напруга "1" з'являється на виході компаратора 33, при перевищенні напруги, яка знімається з датчика вхідної реактивної потужності, над напругою уставки. При цьому вихід компаратора 35 знаходиться в стані "0".

Якщо напруга, що знімається з датчика вхідної реактивної потужності 1, менша від напруги уставки, то спрацює компаратор 35 і на його вході з'являється напруга "1". При цьому на виході компаратора 33 є напруга "0". При появі напруги "1" на виході компаратора 33 і 35 конденсатор 38 або 39 заряджається через резистор 36 чи 37. При цьому напруга на них поступово зростає в міру їх зарядки до напруги "1". Напруга, що знімається з конденсаторів 38 і 39, порівнюється компараторами 40 і 41 з напругами, які задаються змінними резисторами 42 і 43. Напруга "1" з'являється на виході компаратора 40 або 41 при перевищенні напруги на конденсаторі 38 чи 39, яка знімається зі змінного опору 42 або 43. Напруга, яка знімається зі змінних резисторів 42 і 43, визначає витримку часу до появи напруги "1" на виході компараторів 40 і 41. Ця витримка часу необхідна за технічними умовами комутації секції БК, а

також для відстроювання від випадкових коливань реактивного навантаження. Сигнали, які знімаються з компараторів 40 і 41, дозволяють формування сигналів на включення або відключення секцій БК блоком 6.

Одночасно з датчиків реактивної потужності 7.1, ..., 7.n знімаються напруги, пропорційні реактивним потужностям, які споживаються у вузлах електричної мережі. Ці напруги надходять на входи блока квадраторів 8; з виходу якого знімаються напруги, пропорційні квадратам реактивних навантажень в даних вузлах. Вони подаються на вхід блока масштабних підсилювачів 9, з виходу якого сигнали, пропорційні втратам в живлячих лініях, надходять на інформаційні входи блока 6, який визначає вузол, в якому необхідно включити або відключити секцію БК, виходячи із умови мінімуму втрат електроенергії в мережі підприємства, і виробляє сигнал, що надходить на один із виконавчих органів 10.1, ..., 10.n.

В даній системі підвищується точність управління за рахунок автоматичного задавання уставок органу реагування. Величина уставок змінюється залежно від режиму активних навантажень енергосистеми, що дозволяє виконувати вимоги щодо споживання реактивної потужності з її мережі протягом доби. Підвищується і ефективність управління за рахунок максимального використання наявних БК в позапікові періоди, зменшення втрат в мережах та споживання реактивної потужності і енергії.

### **1.3 Система управління БК за величиною $Q^2/R_0$ з врахуванням напрямку перетоків РП [6]**

В описаних вище системах використовуються датчики реактивної потужності, які виробляють сигнал, пропорційний величині реактивної потужності в знаку "плюс", якщо реактивна потужність споживається в даному вузлі, або зі знаком "мінус", якщо даний вузол генерує реактивну потужність в мережу. Квадратори, з яких складається блок квадраторів, побудовані на основі множинно-подільних пристроїв, які реалізують функції виду:

$U_x = K_m \cdot U_x \cdot U_y$ ;  $U_x = K_m \cdot U_x / U_y$ . Основні параметри цих пристроїв (робочі квадранти) характеризують сполучення знаків вхідних змінних, при яких забезпечується виконання операції. ЧотириквADRантні множинні пристрої реалізують добуток двох множників будь-якого знака, двох квадрантні - припускають зміну знака лише одного множника, а одноквADRантні - оперують із множниками з постійним знаком [23]. Таким чином, при піднесенні величини сигналу з датчика реактивної потужності до степеня, тобто при перемноженні сигналу на самого себе, призводить до втрати знака напрямку реактивної потужності і, відповідно, до неправильних (в деяких випадках) дій системи. Вказаний недолік усувається введенням блока врахування напрямку перетоків реактивної потужності (рис. 1.6).

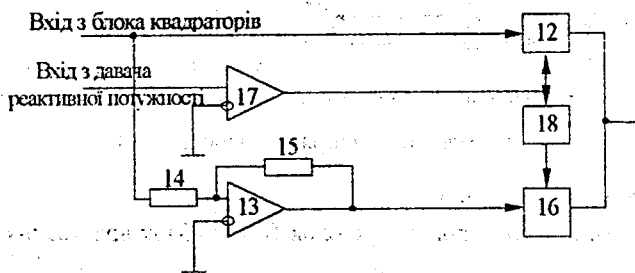


Рисунок 1.6 - Структурна блок-схема блока врахування напрямку перетоків РП

Структурна блок-схема системи подана на рис. 1.7. Схема складається із датчика вхідної реактивної потужності 1, вихід якого з'єднаний з входом регулювального органу 2, другий вхід якого підключений до виходу задавача уставок 3, до виходу якого підключений вихід блока автоматичного перемикавання уставок 4. Виходи органу реагування 2 з'єднані з входами органу витримки часу 5, виходи якого з'єднані з керувальними входами блока аналізу втрат і визначення місця комутації 6. Датчики реактив-

ної потужності 7.1...7.n, які встановлені в місцях розміщення БК, з'єднані з блоком 8 квадраторів і блоком врахування напрямку перетоків реактивної потужності (БВНП) 9, виходи якого з'єднані з входами блока масштабних підсилювачів 10, виходи якого з'єднані з інформаційними входами блока 6, виходи якого з'єднані з входами відповідних виконавчих органів 11.1...,11.n.

Опис принципу роботи системи поданий в [6].

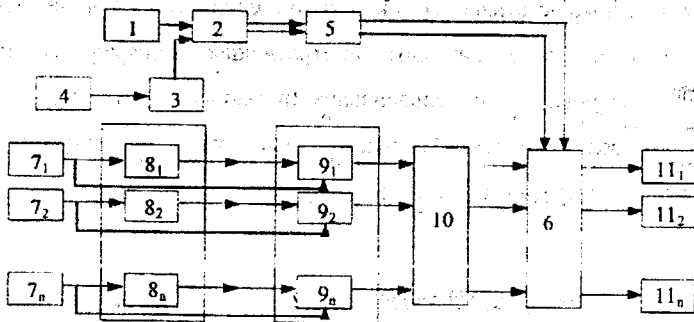


Рисунок 1.7 - Структурна блок-схема системи управління потужністю БК з врахуванням напрямку перетоків РП

Новим в даному пристрої є блок БВНП (блок врахування напрямку перетоків) (рис. 1.6). В даному блоці вихід з квадраторів з'єднаний з електричним ключем 12 і через інвертор (операційний підсилювач 13 і резистори 14 та 15) з електронним ключем 16. Управління електронним ключем 12 і 16 здійснюється з виходу датчика реактивної потужності через компаратор-інвертор 18. Опис роботи системи представлений в [6].

Введення блока врахування напрямку перетоків реактивної потужності дозволяє виключити зворотні перетоки реактивної потужності (тобто перекомпенсацію) і зменшити втрати в мережах підприємств.

#### 1.4 Система управління БК за величиною $Q_i^2 \cdot R_i$ з врахуванням наявності в одних вузлах надлишку, в інших - дефіциту потужності БК [7]

Описані вище системи забезпечують мінімум втрат від перетоків РП при підтриманні заданих величин ВРП на вводі підприємства. Необхідність підтримання заданих величин ВРП в періоди пікових навантажень пов'язана з вимогами енергосистеми. В позапіковий час управління включенням і відключенням БК виконується за мінімумом втрат. При цьому уставка задавача ВРП встановлюється близькою до нуля. Вказане управління здійснюється шляхом включення або відключення  $Q_{БК}$ , зорієнтованої на реактивне навантаження того вузла, в якому встановлена ця батарея. Такий підхід не дозволяє ефективно використовувати БК протягом доби з врахуванням того, що деякі споживачі певний період часу не працюють або працюють з мінімальним навантаженням. Крім того, від мереж підприємства часто одержують живлення комунально-побутові споживачі, які взагалі не встановлюють БК.

Таким чином, в позапіковий період доби в одних вузлах мережі підприємства можуть створюватись надлишки реактивної потужності  $Q_{БКi} > Q_{нi}$ , а в інших вузлах - дефіцит реактивної потужності  $Q_{БКj} < Q_{нj}$  (де  $i=1,2,\dots,m$ ;  $j=1,2,\dots,n-m$ ;  $m$  - кількість вузлів, в яких є надлишок реактивної потужності;  $n$  - загальна кількість вузлів навантаження).

Вказані нерівності показують можливість використання БК, розміщених в  $i$ -х вузлах, для компенсації реактивних навантажень  $j$ -х вузлів. Реалізація цієї можливості повинна відповідати мінімуму втрат активної потужності від додаткових перетоків реактивної. При цьому необхідно врахувати, що  $j$ -і вузли можуть одержувати реактивну потужність не тільки від  $i$ -х вузлів, але й від енергосистеми. У відповідності з викладеним і схемою, поданою на рис. 1.8, величина вказаних втрат запишеться так:

$$\Delta P = (\delta Q_{БК})^2 \cdot R_v + (Q - Q_{БК})^2 \cdot R_{л}, \quad (1.10)$$

де:  $\delta Q_{BK}$  - реактивна потужність, яка передається від  $i$ -х вузлів в  $j$ -і:

$\delta Q_{BK} = \sum_{i=1}^m (Q_{BK_i} - Q_{n_i})$ ;  $R_e$  - еквівалентний активний опір мереж  $i$ -х фідерів:

$$R_e = \frac{1}{\sum 1/r_i}; \quad (1.11)$$

$R_{\Pi}$  - активний опір живлячої мережі;

$$Q = \sum_{j=1}^{n-m} (Q_{H_j} - Q_{BK_j}); \quad (1.12)$$

Величина  $Q_{BK}$ , яка визначає мінімум (3.10), буде дорівнювати:

$$Q_{BK}^{вкл.} = Q \frac{R_{\Pi}}{R_e + R_{\Pi}} \quad (1.13)$$

Включення БК величиною  $Q_{BK}^{вкл.}$  дозволяє оптимальним чином зменшити втрати як в живлячій ( $R_{\Pi}$ ), так і в заводській мережі ( $R_e$ ).

Набирання реактивної потужності величиною  $Q_{BK}^{вкл.}$  здійснюється включенням БК в  $i$ -х вузлах. Можуть бути такі варіанти: 1) якщо  $Q_{BK}^{вкл.} < \delta Q_{BK} < Q$ , то набирається  $Q_{BK}^{вкл.}$ ; 2) якщо  $Q > \delta Q_{BK} > Q_{BK}^{вкл.}$ , то набирається  $Q_{BK}^{вкл.}$ ; 3) якщо  $Q_{BK}^{вкл.} > \delta Q_{BK} > Q$ , то набирається  $Q$ .

При цьому одержана величина розподіляється зворотно-пропорційно активним опорам  $i$ -х відгалужень  $r_i$ .

Як видно із зазначеного вище, метою вдосконалення відомого пристрою [5] є підвищення ефективності використання БК протягом доби. Це досягається тим, що у відому систему [5] вводяться нові блоки: визначення надлишку реактивної потужності БК, визначення еквівалентного опору мережі; доцільної потужності БК; вибору величини, що розподіляється зворотно-пропорційного розподілу ВРП. Структурні схеми цих блоків і пристрою в цілому подані на рис. 1.9-1.15.

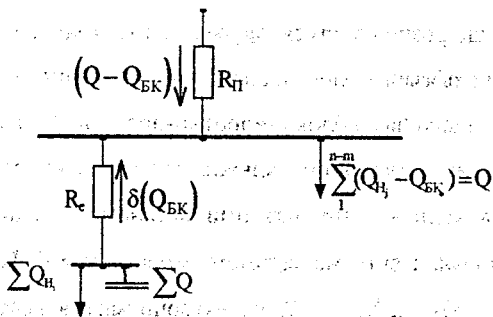


Рисунок 1.8 - Розрахункова схема електричної мережі підприємства

Метою даної розробки є підвищення ефективності використання БК протягом доби. Це досягається тим, що у відому систему [5] вводяться: електронні ключі (рис. 1.9 і 1.10), які зв'язані своїми першими входами з виходами датчиків реактивної потужності, встановленими в місцях розміщення БК, а першими виходами - з блоком квадраторів; логічний елемент 2І, вихід якого з'єднаний з керуючими входами електронних ключів, перший вхід - з виходом логічного елемента 3І, а другий через діод - з виходом датчика реактивної потужності; блок визначення надлишку реактивної потужності БК (рис. 1.11), який своїми входами зв'язаний з другими виходами електронних ключів; блок визначення еквівалентного опору (БВЕО) (рис. 1.12), своїми входами також зв'язаний з другими виходами електронних ключів; блок визначення доцільної потужності конденсаторів (БВДПК) (рис. 1.13), який своїми входами зв'язаний з виходом датчика вхідної реактивної потужності, і блока визначення еквівалентного опору (рис. 1.14); блок обчислення величини, яка належить до розподілу (рис. 1.15), він своїми входами зв'язаний з виходами блоків: визначення надлишку реактивної потужності БК, визначення доцільної потужності конденсаторів і виходом датчика вхідної реактивної потужності; блок зворотно-пропорційного розподілу, зв'язаний своїм входом з виходом блока обчис-

лення величини, що розподіляється, других електронних ключів, які своїми першими входами зв'язані з блоком аналізу втрат і визначення місця комутації, а другими - з виходами блока зворотно-пропорційного розподілу, керуючі входи других електронних ключів з'єднані з виходами логічного елемента 2I, а виходи - з виконавчими органами. Блоки 1,...,6, 7<sub>1</sub>,...,7<sub>n</sub>, 8,9,10<sub>1</sub>,...,10<sub>n</sub> виконані ідентично відомому пристрою [5]. Блоки 44<sub>1</sub>,...,44<sub>n</sub>, 45<sub>1</sub>,...,45<sub>n</sub>, 54<sub>1</sub>,...,54<sub>n</sub>, 57<sub>1</sub>,...,57<sub>n</sub>, 70<sub>1</sub>,...,73 є електронними ключами схеми, принцип їх роботи викладений в [23]. Блоки 51<sub>1</sub>,...,51<sub>n</sub>, 55, 58,60 - це суматори, які виконані на основі операційного підсилювача [23]. Інвертори (блоки 52<sub>1</sub>,...,52<sub>n</sub>) виконані також на основі операційних підсилювачів [23]. Органи порівняння 53<sub>1</sub>,...,53<sub>n</sub>; 56<sub>1</sub>,..., 56<sub>n</sub>; 63,...65 виконані на основі компараторів, схема і принцип дії яких описані в [24]. Тут же приведені схеми і принцип дії множинно-подільних пристроїв, на основі яких виконані блоки 59, 61; 62, 74<sub>1</sub>,...,74<sub>n</sub>, 75<sub>1</sub>,...,75<sub>n</sub>. Блоки 66,...,69 є логічними елементами НІ.

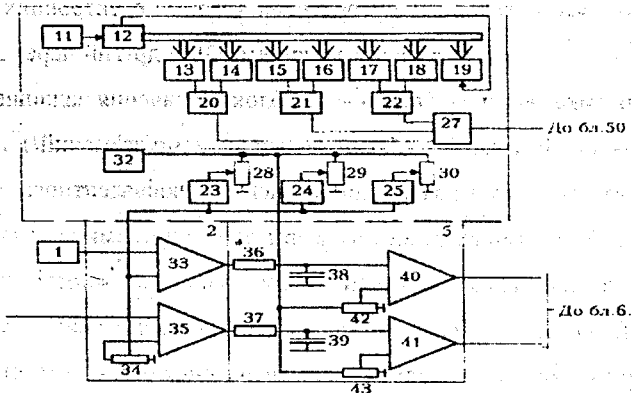


Рисунок 1.9 - Блок-схема системи керування БК за критерієм  $Q_i^2 R_i$  з врахуванням надлишку і дефіциту їх потужності у вузлах ( $I_i$ )

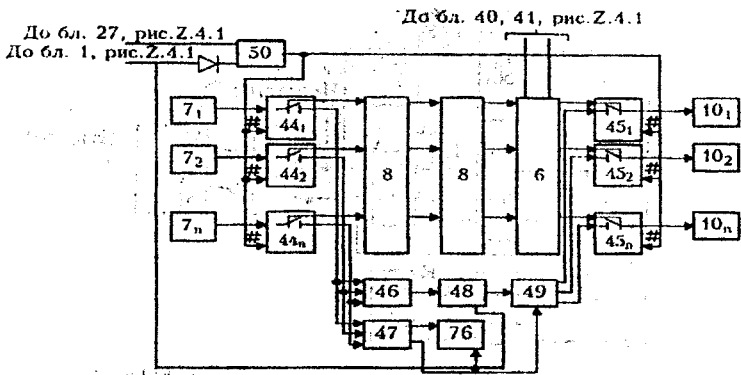


Рисунок 1.10 - Блок-схема системи керування БК з врахуванням надлишку і дефіциту їх потужності у вузлах ( $\Pi_n$ )

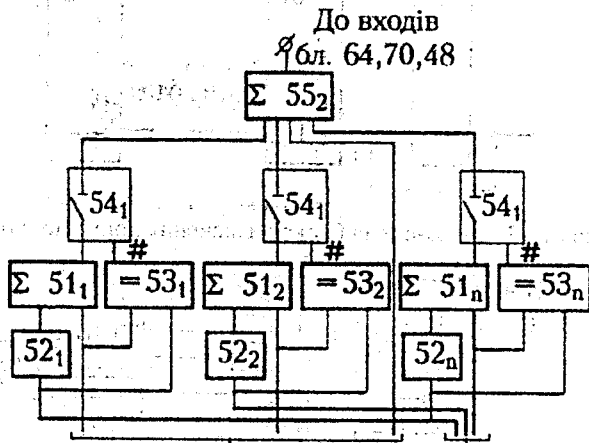


Рисунок 1.11 - Блок-схема блока визначення надлишку реактивної потужності БК

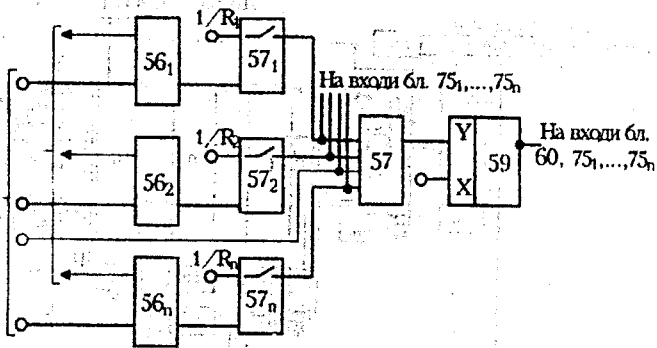


Рисунок 1.12 - Блок-схема блока визначення еквівалентного опору

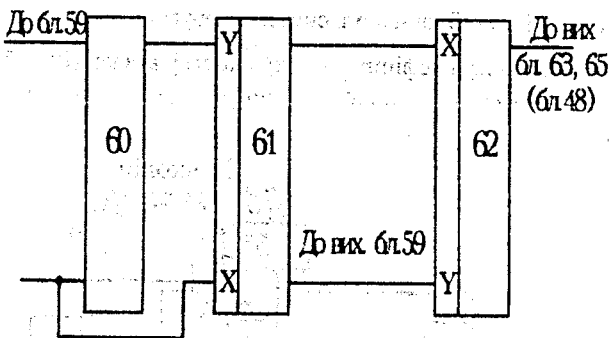


Рисунок 1.13 - Блок-схема блока визначення доцільної потужності БК

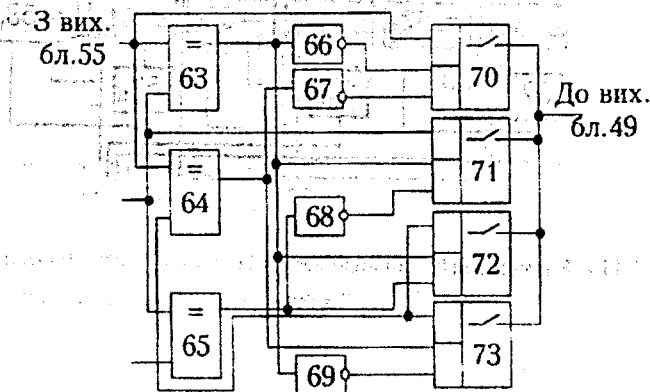


Рисунок 1.14 - Блок-схема блока вибору величини, що розподіляється

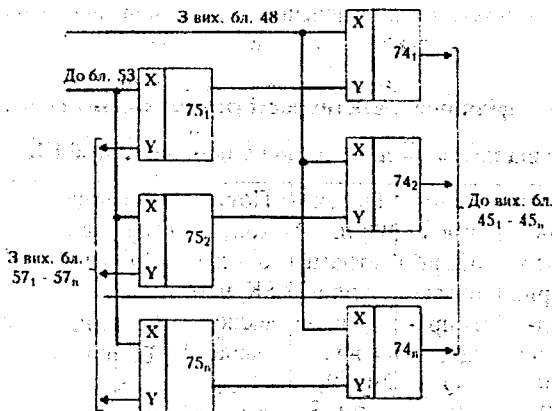


Рисунок 1.15 - Блок-схема блока зворотно-пропорційного розподілу

Більш детальний опис структурних схем і принцип їх роботи подані в [7]. Описана система підвищує ефективність використання БК в позапіковий період електроспоживання енергосистеми і дає можливість одержати додаткове зниження втрат активної потужності величиною:

$$\delta(\Delta P) = \frac{Q^2 R_n^2}{R_n + R_e} \quad (1.14)$$

Це досягається за рахунок введення нових блоків (44 - 49, 76) у відому систему, які дозволяють включати БК у тих випадках, коли це забезпечує вказане зниження втрат активної потужності.

### 1.5 Спосіб і система управління БК за величиною збільшення або зменшення втрат $(2Q_i Q_{ej} \pm Q^2_{ej})R_i$ [8]

Аналіз описаних вище способів і систем управління за величиною  $Q^2_i R_i$  показав, що при відхиленні фактичного поточкорозподілу реактивної потужності в електричних мережах від оптимального (тобто, при  $K_0 > 1$ ), величина поточних втрат  $Q^2_i R_i$  в тому чи іншому приєднанні перестає слу-

жити точним критерієм для включення або відключення секції БК. Це видно з таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Порівняння ефективності управління БК за величиною  $Q_i^2 \cdot R_i$  в залежності від потокорозподілу (до включення секції БК)

Номер варіанта потокорозподілу і приєднань, які живляться від РП	Опір мережі приєднань $R_i$ , Ом	Реактивне навантаження приєднань $Q_i$ , кВАр	Поточні втрати в приєднаннях $Q_i^2 R_i$ , кВАр <sup>2</sup> ·Ом	Потужність секції БК, що включена $Q_{кв}$ , кВАр	Зниження втрат при включенні секції БК, $\delta P$ , кВАр <sup>2</sup> ·Ом	Інші параметри
<b>I (оптимальне)</b>						
№1	1	100	10000	20	3600	$Q_{\phi}=350$ кВАр
№2	2	50	5000	20	3200	$Q_c=330$ кВАр
№3	0,5	200	20000	20	3800	$K_0 = \frac{R_c}{R_{en}} = \frac{0,286}{0,286} = 1,0$

<b>II (неоптимальне)</b>						
№1	1	120	14400	20	4400	$Q_{\phi}=350$ кВАр
№2	2	70	9800	20	4800	$Q_c=330$ кВАр
№3	0,5	160	12800	20	3000	$K_0 = \frac{0,302}{0,286} = 1,06$
<b>III (неоптимальне)</b>						
№1	1	150	22500	20	5600	$Q_{\phi}=350$ кВАр
№2	2	100	20000	20	7200	$Q_c=330$ кВАр
№3	0,5	100	5000	20	1800	$K_0 = \frac{0,388}{0,286} = 1,36$

При оптимальному потокорозподілу ( $K_0=1$ ) максимум поточних втрат (до включення секції БК) і їх зниження (після включення секції БК) мають місце в одному приєднанні №3. При неоптимальному потокорозподілу ( $K_0=1,06$  і

1,36) максимуми поточних втрат і зниження втрат мають місце в різних приєднаннях. При збільшенні  $Q_0$  зростає і різниця між максимальним зниженням втрат і зниженням втрат в тому приєднанні, в якому мали місце найбільші поточні втрати до включення секції БК.

Аналіз показав, що цього недоліку можна позбутися, якщо при визначенні місця комутації порівнювати не поточні втрати, а зниження або збільшення втрат. Так, при включенні секції БК в  $i$ -му вузлі втрати активної потужності, в живлячій цей вузол лінії, зменшаться на величину:

$$\sigma P_i(\Delta t) = [2Q_i(\Delta t)Q_{cij} - Q_{cij}^2] R_i, \quad (1.15)$$

де  $Q_{cij}$  - потужність  $j$ -ї секції БК, включеної в  $i$ -му вузлі, а при відключенні - збільшаться на величину:

$$\sigma P_i(\Delta t) = [2Q_i(\Delta t)Q_{cij} + Q_{cij}^2] R_i, \quad (1.16)$$

Якщо на вводі підприємства  $Q_\phi(\Delta t) > Q_0$ , то для включення секції БК необхідно вибирати вузол, в живлячій лінії якого зниження втрат буде максимальним, а при  $Q_\phi(\Delta t) < Q_0$ , для відключення секції БК необхідно вибирати вузол, в живлячій лінії якого збільшення втрат буде мінімальним.

Таким чином, спосіб управління за критерієм  $(2Q_i Q_{cij} \pm Q_{cij}^2) R_i$  ґрунтується на контролі фактичних значень ВРП (вхідної реактивної потужності) на вводах підприємства і окремих вузлів та аналізі зниження (збільшення) втрат в електричних мережах приєднань, що відходять від ГПП (ЦРП), при відхиленні значень фактичної ВРП  $Q_\phi(\Delta t)$  від заданого  $Q_0$ . При цьому реалізується така модель управління БК:

включення секції БК

$$Q_\phi(\Delta t) > Q_0, \sigma P_i(\Delta t) = \max [2Q_i(\Delta t)Q_{cij} - Q_{cij}^2] R_i \Rightarrow Q_{ki}(1+\Delta t) = Q_{ki}(1) + Q_{cij}, \quad (1.17)$$

відключення секції БК

$$Q_{\Phi}(\Delta t) < Q_{ej}, \sigma P(\Delta t) = \min[2Q_i(\Delta t)Q_{cij} + Q_{cij}^2] / R_i \Rightarrow Q_{ki}(t + \Delta t) = Q_{ki}(t) - Q_{cij} \quad (1.18)$$

На рис. 1.16 зображена структурна блок-схема системи, що реалізує описаний спосіб управління [92].

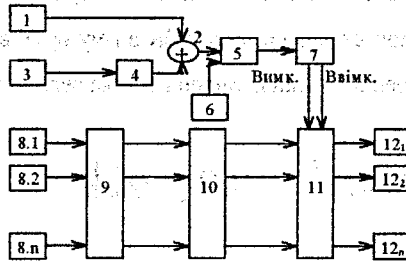


Рисунок 1.16 - Структурна блок-схема системи управління БК за величиною збільшення або зменшення втрат  $(2Q_i \cdot Q_{ci} \pm Q_i^2) \cdot R_i$

Датчики активної і реактивної потужностей, подільник 4, суматор 2 і орган реагування 5 із задавачем уставок 6 контролюють значення ВРП підприємства і при відхиленні цієї величини від значення, що задала енергосистема, дають сигнал на орган витримки часу та вихідний блок 7, який подає команди "Включити" або "Відключити" на керувальні входи блока аналізу втрат і визначення місця комутації. Датчики реактивної потужності  $8_1, \dots, 8_n$ , які встановлені в місцях розміщення БК, блок масштабних підсилювачів 9 і блок віднімання 10 дозволяють формувати сигнали, пропорційні величинам зниження втрат від включення секції БК. Ці сигнали подаються на інформаційні входи блока 11, виходи якого з'єднані з відповідним виконавчим органом 12, які здійснюють включення і відключення БК або їх секцій. Блок-схема алгоритму управління зображена на рис. 3.17, а нижче її опис.

Кожний цикл управління починається із введення фактичної ВРП  $Q_{\Phi}(\Delta t)$  (блок 2) шляхом визначення за формулою (1.4). За допомогою блоків 3, 4, 5 і 6 здійснюється перегляд всіх вузлів мережі підприємства для визна-

чення реактивного навантаження, що споживається в кожному вузлі, (блок 4) за формулою (1.4) та визначається зниження втрат (блок 5), при включенні секції БК, за формулою (1.15) і збільшення втрат (блок 6), при відключенні секції БК, за формулою (1.16).

В блоці 7 виконується порівняння фактичної ВРП  $Q_{\phi}(\Delta t)$  з заданим значенням  $Q_e$ . Якщо  $Q_{\phi}(\Delta t) < Q_e$ , то здійснюється пошук вузла  $Z_{\min}$  з найменшим збільшенням втрат  $\delta\Delta P_{\min}$  при відключенні секції БК в даному вузлі (блок 8). Далі подається команда на відключення секції БК у вузлі (блок 9) та коригування величини реактивного навантаження вузла і на ввіді підприємства та обчислення нових значень збільшення чи зменшення втрат при відключенні або включенні секції БК в цьому вузлі (блок 10).

При  $Q_{\phi}(\Delta t) > Q_e$  здійснюється пошук вузла  $Z_{\max}$  з найбільшим зниженням втрат  $\delta\Delta P_{i \max}$  при включенні секції БК в цьому вузлі (блок 11). Після цього видається команда на включення секції БК у вузлі  $Z_{\max}$  (блок 12) та коригування реактивного навантаження вузла на ввіді підприємства і обчислення нових значень збільшення чи зменшення втрат при відключенні або включенні секції БК в цьому вузлі (блок 13). Процес включення (відключення) секцій буде здійснюватись до тих пір, поки не буде виконана умова рівності  $Q_{\phi}(\Delta t) = Q_e$ .

Більш детально описується робота системи у [8]. В цілому даний спосіб і система дозволяють підвищити точність та ефективність управління за рахунок усунення недоліку управління за критерієм  $Q_i^2 R_i$  і досягти додаткового зниження втрат електроенергії. Заміна блока квадраторів блоком віднімання дозволяє спростити структурну схему системи і відповідно знизити її вартість. Це справедливо при умові, що потужність всіх секцій БК однакова. При змінній величині  $Q_{\phi}$  схема системи ускладнюється порівняно з описаними вище.

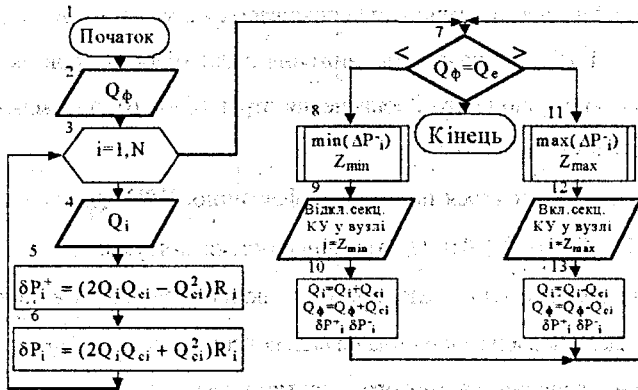


Рисунок 1.17 - Блок-схема алгоритму управління БК за величиною збільшення або зменшення втрат  $(2Q_i \cdot Q_{ci} \pm Q_{ci}^2)R_i$

### 1.6 Мікропроцесорна система управління БК за величиною $Q_i^2 R_i$ (АДУ РП) [8, 9, 14]

Всі вище описані системи управління БК побудовані на основі елементів аналогової обчислювальної техніки і для них характерна жорстка структура, тобто для реалізації іншого способу управління необхідне використання інших елементів і інше їх з'єднання між собою. Крім того, точність роботи елементів аналогової техніки значною мірою залежить від їх температурного режиму.

Цих недоліків не мають пристрої, які побудовані на основі елементів обчислювальної техніки, зокрема, мікропроцесорні системи. Так структурна схема мікропроцесорної системи може залишатись незмінною, змінюється лише пристрій сполучення з датчиками і виконавчими органами. Якщо функціональне призначення системи залишається попереднім (наприклад, управління БК), то для реалізації іншого способу необхідно змінити лише програму (алгоритм) роботи пристрою, яка знаходиться в постійно запам'ятовувальному пристрої (ПЗП). Це досягається шляхом записування нової

програми в мікросхему, на якій реалізована ПЗП і заміни старої на нову мікросхему.

Виходячи з приведених міркувань на базі описаних вище систем управління БК, побудованих з використанням елементів аналогової обчислювальної техніки, розроблена мікропроцесорна система автоматичного управління БК (за критерієм  $Q_1^2 R_1$ ) АДУ РП, структурна блок-схема якої подана на рис. 1.18.

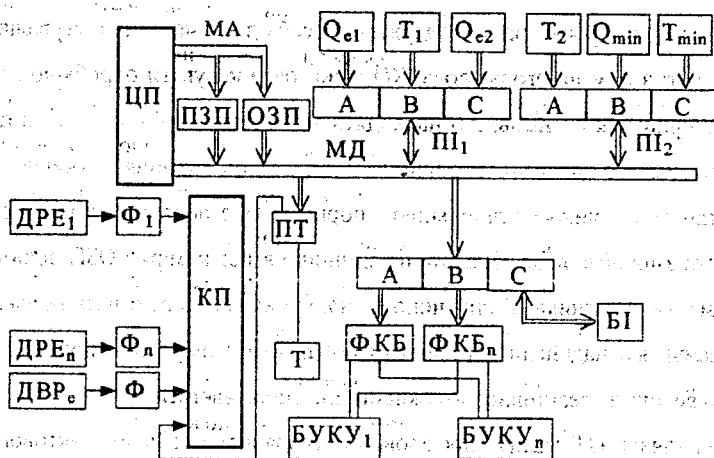


Рисунок 1.18 - Структурна блок-схема мікропроцесорної системи автоматичного диспетчерського управління БК (АДУ РП)

Система виконана на базі мікроконтролера МС-2702 і складається з центрального процесора ЦП, пульта управління ПУ, постійно запам'ятовувального пристрою ПЗП, оперативно запам'ятовувального пристрою ОЗП, програмувального таймера ТТ, контролера переривання КП, паралельних інтерфейсів ПІ1 і ПІ2, лічильників-датчиків реактивної електроенергії  $ДРЕ_1...ДРЕ_n$ , датчика вхідної реактивної енергії ДВРЕ, фільтрів  $\Phi_1... \Phi_n$ , задавачів уставок ВРП  $Q_{e1}, Q_{e2}, Q_{min}$  і часу їх роботи  $T_1, T_2, T_{min}$ , блока індикації ВРП БІ, формувальників каналів  $\Phi КБ_1... \Phi КБ_n$ , блока управління батареями конденсаторів  $БУКУ_1... БУКУ_n$ , магістралі адреси МА і магістралі даних МД. Описання принципу роботи системи наведено нижче.

Пристрій працює таким чином. При включенні живлення або натисканні кнопки "Скид" здійснюється початкова ініціалізація системи, переписується необхідна інформація із ПЗП в ОЗП (опори живлячих ліній, кількість секцій в кожній БК, їх потужність, ціна імпульсу від лічильника-датчика), а також здійснюється налагоджування портів П<sub>1</sub> і П<sub>2</sub> на відповідні режими роботи, в лічильники ПП заносяться відповідні коефіцієнти ділення тактової частоти мікропроцесора для одержання необхідних часових інтервалів. У відповідності з цим налагоджується КП, який буде керувати обробкою запитів на переривання сигналів, що надходять від ПП, згодом виконується програма опитування датчиків (циклічно). Програма опитування датчиків знає попередній стан двійкових лічильників, порівнює їх з поточним і, якщо стан лічильника змінився, вона збільшує на одиницю вміст комірки ОЗП відповідного лічильника-датчика. Таким чином, знаючи кількість імпульсів (кількість спрацювань), які надійшли від лічильника-датчика, і ціну цих імпульсів, визначаємо величину реактивної потужності, що споживається.

Два канали ПП з'єднані послідовно і утворюють подільник тактової частоти мікропроцесора для одержання часових інтервалів, рівних одній хвилині. Сигнал з виходу другого каналу ПП з періодом в одну хвилину надходить на вхід КП, який, реагуючи на цей сигнал, видає запит на дозвіл переривання МП. Одержавши від МП підтвердження на дозвіл розривання, КП вказує МП початкову адресу підпрограми "СЛОС" (годинник), яка обробляє дане переривання. Ця підпрограма реалізує годинник, який здійснює облік поточного часу. Початкові уставки і їх коригування здійснюються шляхом записування відповідної інформації в спеціально відведені комірки ОЗП за допомогою ПУ. Інформація, яка знімається із цих комірок через порти А і В П<sub>1</sub> виводиться на блок індикації.

Третій канал ПП з'єднаний з виходом другого каналу і служить для одержання часових інтервалів, рівних шести хвилинам. Сигнали з виходу третього каналу надходять на наступний вхід КП, який перериває роботу МП.

і відсилає його на виконання підпрограми "OSH" ("основне переривання"), яка обробляє дане переривання. По суті ця підпрограма є основною. Знаючи поточне значення часу, вона визначає який характерний добовий режим навантажень має місце в даний момент, у відповідності з яким встановлюється відповідна уставка вхідної реактивної потужності, з якою порівнюється поточне її значення. Якщо поточне значення вхідної реактивної потужності більше уставки, то визначається лінія (фідер), передача реактивної потужності по якій супроводжується найбільшими втратами активної потужності, і виробляється команда на включення секції БК, розміщеної у вузлі, який одержує живлення на даній лінії. При включенні секції БК її потужність віднімається із значення поточної вхідної РП (реактивної потужності) і, якщо різниця цього зменшеного значення ВРП і уставки не входить в зону нечутливості, то визначається наступна лінія і виробляється команда на включення наступної секції БК і так до тих пір, поки різниця не попаде в зону нечутливості пристроїв управління.

Аналогічні дії здійснюються, якщо поточне значення ВРП менше уставки, тільки визначається лінія з найменшими втратами.

Безпосереднє включення або відключення секцій БК реалізується таким чином. Поки різниця між скоригованим значенням ВРП і уставкою не увійшла в зону нечутливості, проводиться інкремент (декремент) відповідних комірок ОЗП. Коли ця різниця попадає в зону нечутливості, процес інкременту (декременту) відповідних комірок ОЗП закінчується і здійснюється виведення вмісту даних комірок ОЗП через ПІ<sub>2</sub>. Через порт А виводиться номер БК (лінії, фідера), а через порт В кількість включених секцій даної БК. Інформація з портів А і В ПІ<sub>2</sub> через БВВУ надходить на демультимплексор, причому інформація з порту А ПІ<sub>2</sub> надходить на входи управління демультимплексора, а із порту В ПІ<sub>2</sub> на інформаційний вхід. В залежності від значення, що надходить через порт А на входи управління демультимплексора, його інформаційний вхід підключається до одного із чотирнадцяти виходів демультим-

плексора і далі по лінії зв'язку (ЛЗ) двійковий код кількості включених секцій БК передається по ЛЗ до БУКУ. Для управління сімома секціями БК достатньо чотирьох жил (по трьох передаються три розряди двійкового числа і одна жила загальна). БУКУ за допомогою дешифратора і елементів логіки перетворює двійковий код в позиційний десятковий, причому високий сигнал на виводах даного дешифратора присутній, починаючи з меншого виходу, якому відповідає двійкове число, що перетворюється. БУКУ має також місце управління, яке блокує проходження сигналів від ЦП і дозволяє проходження сигналів від перемикача, встановленого безпосередньо на БУКУ, тобто БУКУ, як і вся система АДУРП, має БВВУ, який є мультиплексором. В залежності від сигналу на його керувальному вході (логічний "0" або "1") він до свого виходу підключає один із двох входів. До першого входу підключені порти А і В П<sub>2</sub> до другого - ВВ. Сигнал на керувальному вході встановлюється за допомогою тумблера, тобто переведення системи АДУ РП із автоматичного в диспетчерській режим роботи і здійснюється апаратно (вручну). Порт С П<sub>2</sub> використовується для виведення зображення на Бі значення ВРП. Спочатку виводиться виміряне поточне значення ВРП, а далі кожне скориговане ВРП.

Порт С П<sub>2</sub> використовується для опитування датчиків. Використовуючи особливість порту С, що із 8 його розрядів чотири розряди можна встановити на введення інформації, а чотири - на виведення, формуємо матрицю із 16 датчиків. Матриця датчиків формується таким чином: до одної вихідної лінії (лінії опитування) підключені перші затискачі чотирьох датчиків, другі затискачі яких підключені до чотирьох різних вхідних ліній (лінії повернення) порту С. До наступної лінії опитування підключені наступні чотири датчики, виходи яких з'єднані з тими ж чотирма лініями повернення. Таким чином, якщо ми опитуємо (стробіруємо) першу лінію опитування, то цей строб (імпульс) з'явиться тільки на тих лініях повернення, на яких приєднані датчики знаходяться в замкненому стані. Знаючи попередній стан даного датчика,

можна передбачити зміну його стану в останній момент. Почергово опитуючи (стробіруючи) кожну із чотирьох ліній опитування, і знаючи стан ліній повернення, можна проконтролювати стан всіх 16 лічильників-датчиків.

Зовнішній вигляд системи АДУ РП показаний на рис. 1.19. Програма роботи системи АДУ РП написана мовою "АСЕМБЛЕР" для МПКР 580, короткий опис якої наведений в додатку А. Функції і технічні дані системи також наведені в додатку А.

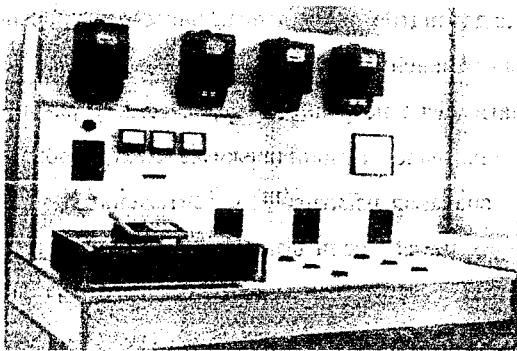


Рисунок 1.19 - Зовнішній вигляд системи централізованого управління батареями конденсаторів АДУ РП в комплексі з лабораторним стендом (моделлю електричної мережі підприємства)

### **1.7 Спосіб і система управління БК шляхом контролю оптимальності потокорозподілу РП у вузлах електричної мережі [20, 25]**

Розглянуті вище способи і технічні засоби управління БК в цілому відповідають вимогам енергосистеми і споживачів, а також вимогам з електрозбереження в електричних мережах. Однак, детальний аналіз їх роботи показує, що в деяких режимах електроспоживання відхилення від оптимального потокорозподілу може збільшуватись.

Відхилення фактичної ВРП від заданого значення на ввіді підприємства може бути зумовлене зміною електроспоживання не в одному, а в де-

кількох вузлах, що вимагає відповідної зміни потужності БК в цих вузлах. Зміна потужності БК тільки в одному вузлі призведе до більшого відхилення потокорозподілу від оптимального, порівняно із зміною в кількох вузлах, при забезпеченні в обох випадках вимог енергосистеми на ввіді споживача.

При сталій або незначній зміні (в межах зони нечутливості) ВРП на ввіді підприємства і різнополярній зміні реактивного навантаження окремих вузлів (в одному підвищення, а в іншому - зниження) система не спрацює. В той же час для підтримання оптимального потокорозподілу вимагається увімкнення і вимкнення секцій БК в різних вузлах.

Можуть мати місце неадекватні дії системи управління в разі так званих нестабільних і малоймовірних режимів електроспоживання. Наприклад, у випадках спадання реактивних навантажень в одному чи кількох вузлах (виробничих цехах), коли фактична вхідна реактивна потужність стала меншою від уставки ( $Q_{\text{фi}}(\Delta t) < Q_{\text{ei}}$ ) при вимкнених всіх секціях БК, забезпечити рівність ( $Q_{\text{фi}}(\Delta t) = Q_{\text{ei}}$ ) неможливо. Подібна ситуація може виникнути при різкому збільшенні реактивного навантаження в одному чи кількох вузлах, коли фактична вхідна реактивна потужність більша від уставки ( $Q_{\text{фi}}(\Delta t) > Q_{\text{ei}}$ ) при включених всіх секціях БК, забезпечити рівність ( $Q_{\text{фi}}(\Delta t) = Q_{\text{ei}}$ ) також неможливо. Для забезпечення мінімуму втрат в умовах, що змінилися, в обох випадках необхідне коригування уставок ( $Q_{\text{ei}}$ ). Описані вище способи і системи такого коригування не забезпечують.

Запропонований спосіб оптимального автоматичного управління БК дозволяє не побічно, а безпосередньо контролювати оптимальність потокорозподілу. Він ґрунтується на визначенні оптимальних значень вхідної реактивної потужності на вводах окремих вузлів для  $j$ -го характерного добового режиму  $Q_{\text{ej}}$  (оптимальних уставок) і здійсненні контролю за фактичними значеннями ВРП на вводах окремих вузлів  $Q_{\text{фi}}(t)$  шляхом порівняння їх з оптимальними уставками. При наявності відхилення фактичного зна-

чення від оптимального в одному або декількох вузлах здійснюється збільшення або зменшення потужності БК в цих вузлах. Таким шляхом забезпечуються умови оптимальності поточкорозподілу (в кожному вузлі підтримується рівність  $Q_{\text{fi}}(\Delta t) = Q_{\text{eij}}$ ) і мінімум втрат в мережах підприємства, баланс реактивної потужності на його вводах та виконання вимог енергосистеми щодо споживання реактивної потужності з її мережі. При цьому реалізується така модель управління: у всіх вузлах після здійснення циклу управління повинна виконуватись умова оптимальності поточкорозподілу реактивної потужності в мережі споживача:

$$Q_{\text{fi}}(\Delta t) = Q_{\text{eij}}, \quad (1.20)$$

тобто, потужність увімкнених або вимкнених секцій БК повинна бути такої величини, при якій виконується умова (1.20)

$$Q_{\text{ki}}(t + \Delta t) = Q_{\text{ki}}(t) + [Q_{\text{fi}}(\Delta t) - Q_{\text{eij}}] \quad (1.21)$$

Математична модель для визначення оптимальних уставок на вводах окремих вузлів електричної мережі підприємства запишеться так:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta m = \frac{10^{-3}}{U^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{\text{eij}}^2 R_{\text{eij}} \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n Q_{\text{eij}} = Q_{\text{ej}}, \\ Q_{\text{ki}} \geq 0 \text{ або } Q_{\text{eij}} \leq Q_{\text{mj}} \end{array} \right. \quad (1.22)$$

де  $n$  - кількість вузлів електричної мережі підприємства, в які розподіляється величина  $Q_{\text{ej}}$ ;  $m$  - кількість характерних добових режимів електро-

споживання;  $R_{ei}$  - еквівалентний активний опір мережі  $i$ -го приєднання;  $U_n$  - номінальна або середня фактична базова напруга мережі; до якої приведені опори всіх елементів мережі підприємства;  $Q_{ei}$  - потужність секції конденсаторної батареї, яка повинна бути увімкнена або вимкнена в  $i$ -му вузлі, щоб забезпечити оптимальне значення вхідної реактивної потужності в  $i$ -й вузол

$$Q_{eij} = Q_{fi} \pm Q_{ei} \quad (1.23)$$

Розв'язуючи сумісно рівняння (3.22) і використовуючи функцію Лагранжа, одержимо вирази для визначення оптимального значення вхідної реактивної потужності в  $i$ -й вузол мережі (оптимальну уставку на вводі  $i$ -го вузла для  $j$ -го режиму) і коефіцієнта  $\lambda$ :

$$Q_{eij} = \frac{10^3 U^2 \lambda_j}{2R_{ei}}, \quad \lambda_j = \frac{2 \cdot 10^{-3} Q_{ei}}{U^2 \sum_{i=1}^N 1/R_{ei}} \quad (1.24)$$

В алгоритмі, що реалізує даний спосіб, передбачена можливість коригування оптимальних значень  $Q_{eij}$  в періоди можливих нестабільних і малоймовірних режимів електроспоживання в одному або декількох вузлах, коли фактична ВРП стає меншою від уставки ( $Q_{fi}(\Delta t) < Q_{eij}$ ) при виключених всіх секціях БК, а також коли в одному або декількох вузлах фактична ВРП стає більшою від уставки при включених в цих вузлах всіх секцій БК ( $Q_{fi}(\Delta t) > Q_{eij}$ ), тобто, коли не виконується умова (1.20). Оскільки керувати в цих вузлах нічим (всі секції БК вже відключені), то необхідно так скоригувати значення уставок, щоб в цих вузлах вони були рівні фактичним реактивним навантаженням, тобто  $Q_{eij} = Q_{fi}(\Delta t)$ . Оскільки величина оптимального значення уставки в окремому вузлі  $Q_{eij}$  залежить від заданого значення ВРП для  $j$ -го режиму на вводі підприємства  $Q_{ei}$  і величини опору живлячої цей ву-

зол мережі  $\Gamma_{cb}$ , то необхідно так змінити величину опору  $\Gamma_a$ , щоб для вузлів з нестабільним або з малоймовірним режимом, електроспоживання уставки були рівні фактичним реактивним навантаженням.

Для коригування опорів вхідних віток у вузли, в яких мають місце нестабільні або малоймовірні режими електроспоживання, застосовується метод коригування, викладений в [1] (ітеративна модель коригування). На рис. 1.20 подана структурна блок-схема системи, що реалізує даний спосіб, а нижче - описана її робота.

Система працює таким чином. Датчики реактивної потужності  $I_1, I_2, \dots, I_n$ , які встановлені в місцях розміщення компенсувальних установок, контролюють вхідні реактивні потужності, які передаються по мережах відхідних ліній (присланий) розподільної мережі підприємства. Інформація про ці потужності надходить на обчислювальний пристрій 2. На інші входи обчислювального пристрою 2 надходить інформація з задавача уставок вхідної реактивної потужності 3 і задавача опорів відхідних від ГПП (або ЦРП) ліній (присланий) 4. Обчислювальний пристрій визначає початкові уставки вхідної реактивної потужності для кожного вузла розподільної мережі підприємства за умовою мінімуму втрат у всіх можливих режимах електроспоживання при дотриманні умови балансу вхідної реактивної потужності на вводі підприємства і технічних обмежень (1.22) та порівнює їх з фактичними значеннями вхідних реактивних потужностей, інформація про які надходить з датчиків  $I_1, I_2, \dots, I_n$ . За відсутності збігу величин  $Q_{\phi i}(\Delta t)$  і  $Q_{cij}$  обчислювальний пристрій 2 виробляє сигнал на увімкнення або вимкнення однієї чи декількох секцій конденсаторної батареї, який надходить на відповідний виконавчий орган 5. Кількість секцій, які необхідно включити або відключити, визначається обчислювальним пристроєм 2 за формулою:

$$N_i = \frac{Q_{ki(t)} + [Q_{\phi i}(\Delta t) - Q_{cij}]}{Q_{cij}} \quad (1.25)$$

де  $Q_{k(0)}$  - реактивна потужність БК в попередньому циклі управління;  $Q_{ejj}$  - реактивна потужність  $j$ -ї секції  $i$ -ї конденсаторної батареї.

Обчислювальний пристрій 2 здійснює поточний контроль за включеними секціями конденсаторних батарей.

Якщо при порівнянні величин  $Q_{\phi i}(\Delta t)$  і  $Q_{ejj}$  виявилось, що в одному чи в декількох вузлах не виконується умова (1.23) при відключених секціях конденсаторних батарей, то обчислювальний пристрій 2 здійснює за описаним нижче алгоритмом коригування уставок опорів відповідних відхідних ліній (приєднань), уставок ВРП і потужності включених секцій БК в окремих вузлах.

Мікро- або міні - ЕОМ може служити як обчислювальний пристрій. Для задавання уставок за вхідною реактивною потужністю і опорами відхідних ліній використовуються стандартні клавіатурні блоки ЕОМ. При виготовленні спеціалізованих систем управління в ролі задавача уставок вхідної реактивної потужності 3 і задавача опорів ліній, що відходять, 4 можуть бути використані перемикачі ПП5-8. При цьому обчислювальний пристрій виконує аналіз і оптимальний розподіл ВРП, заданої енергосистемою, серед окремих вузлів розподільної мережі підприємства з інтервалом часу, який визначається часом розряду найбільш потужної секції БК. В кожному новому циклі порівнюються початкові уставки реактивної потужності  $Q_{ej}$ , які відповідають стабільній роботі обладнання, з фактичними значеннями реактивної потужності  $Q_{\phi i}(\Delta t)$ , що дозволяє переходити від скоригованих уставок до початкових при виході обладнання на стабільний режим роботи.

На рис. 1.21 показана блок-схема алгоритму управління потужністю БК, а нижче - її опис.

На початку кожного циклу управління здійснюється введення фактичних значень ВРП  $Q_{\phi i}(\Delta t)$ , які контролюються у вузлах, тобто відбувається опитування датчиків реактивної потужності (блоки 2,3). Далі здійснюється

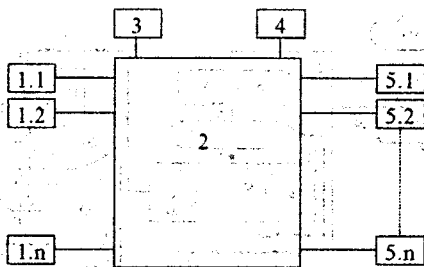


Рисунок 1.20 - Структурна блок-схема управління шляхом контролю оптимальності потокорозподілу ВРП у вузлах електричної мережі: 1.1-1.n - датчики реактивної потужності; 2 - обчислювальний пристрій; 3 - задавач уставок ВРП; 4 - задавач опорів приєднань до ГПП; 5.1-5.n - виконавчі органи

визначення еквівалентного опору всієї мережі підприємства (блоки 4,5,6,7). Після цього визначаються оптимальні значення ВРП (уставки) для кожного вузла (блоки 8,9). В блоці 10 здійснюється перевірка рівності фактичного значення ВРП і уставки. При їх рівності виконується перехід до наступного вузла. При невиконанні умови рівності визначається потужність БК, яку необхідно увімкнути або вимкнути в  $i$ -му вузлі для виконання умови (1.20). В блоці 12 здійснюється перевірка наявності необхідної потужності БК в даному вузлі. Якщо  $Q_{ki} < 0$ , то це означає,  $Q_{\text{ф}i} < Q_{\text{с}ij}$  і в даному вузлі відключені всі секції БК. Якщо  $Q_{ki} > Q_{\text{н}i}$  (де  $Q_{\text{н}i}$  - номінальна потужність БК в  $i$ -му вузлі), то це означає, що  $Q_{\text{ф}i} > Q_{\text{с}ij}$  і в даному вузлі увімкнені всі секції БК, тобто невиконання рівності в блоці 12 свідчить про наявність нестабільного або малоймовірного режиму електроспоживання в даному вузлі та про необхідність коригування опорів вхідних віток в ці вузли за методикою, викладеною в [1], умовно збільшуючи або зменшуючи його, в залежності від співвідношення величин  $Q_{\text{ф}i}(\Delta t)$  і  $Q_{\text{с}ij}$  (блок 13), і процес обчислення повторюється, починаючи з блока 4. Після закінчення коригування здійснюється виведення на виконавчий орган і інформаційне табло секцій БК, які повинні бути увімкнені

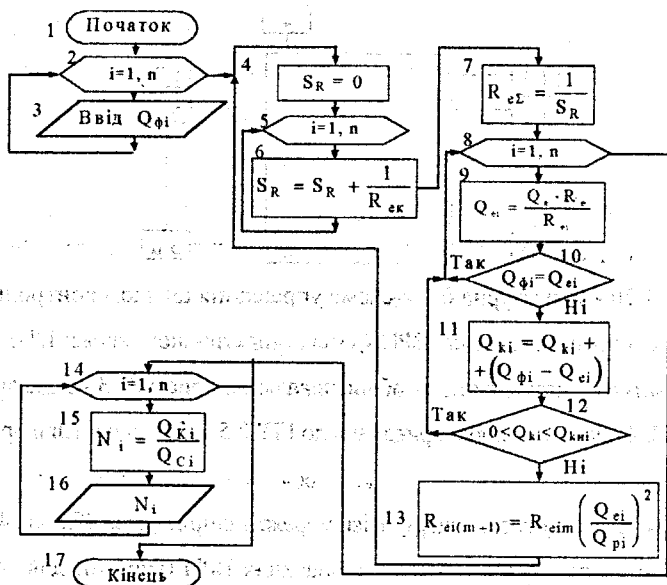


Рисунок 1.21 - Блок-схема управління БК шляхом контролю оптимальності потужності розподілу ВРП у вузлах електричної мережі

або вимкнені в даному вузлі з метою виконання умови (1.20) (блоки 14;15;16). На цьому циклі управління закінчується.

Таким чином, розглянутий спосіб і система, що його реалізує, дозволяють у всіх можливих режимах електроспоживання, включаючи періоди нестабільної роботи обладнання окремих цехів (дільниць), забезпечувати вимоги енергосистеми до споживання реактивної потужності з її мережі та оптимальне її розподілення в мережі підприємства (за умовою мінімуму втрат) і за рахунок цього додатково знижувати втрати електроенергії порівняно з описаними вище способами та системами.

### 1.8 Спосіб і система управління БК шляхом контролю оптимальності поточкорозподілу РП в електричних мережах з врахуванням їх відсутності в деяких вузлах або зміні кількості в процесі управління [26, 17, 19]

Описаний спосіб управління передбачає наявність БК в кожному вузлі мережі підприємства. Але в мережах підприємства можуть бути вузли, в яких за технічних або організаційних причин (умови навколишнього середовища, недостатньо місця для встановлення БК і дефіцит останніх, відсутність регуляторів, комутаційної апаратури, ліній зв'язку і т.п.) встановлення БК неможливе. Визначення оптимальних уставок ВРП на вводах окремих вузлів і їх коригування в періоди нестабільних режимів необхідно виконувати з врахуванням наявності таких вузлів. Окрім того, в процесі експлуатації БК можуть тимчасово виводитись в ремонт (в плановому чи аварійному порядку), тобто може змінюватись їх кількість і, відповідно, умови оптимальності. Пропонується спосіб вирішення цієї задачі, в основу якого покладений метод коригування балансової задачі при невиконанні технічних обмежень [25]. В структурну схему системи (рис.1.20) вводиться задавач ознаки вузла 6, в якому вузлом, де неможливе встановлення БК, присвоюється особлива ознака  $Q_{\text{фi}}(\Delta t) = Q_{\text{сij}}$  (рис.3.22). Управління БК в цьому випадку здійснюється за алгоритмом, блок-схема якого показана на рис. 1.23. На початку кожного циклу управління здійснюється введення фактичних значень реактивної потужності  $Q_{\text{фi}}(\Delta t)$  в контрольованих вузлах (включаючи вузли, позначені ознакою), тобто здійснюється опитування датчиків реактивної потужності (операції 2 і 3). Далі здійснюється визначення оптимальних уставок ВРП на вводах всіх вузлів, включаючи помічені ознакою (операції 4,5,6), і виконується перевірка дотримання умови оптимальності у всіх вузлах (операція 7). Із вузлів, в яких ця умова не виконується, виділяються вузли, помічені особливою ознакою (операція 8). Для цих вузлів за формулою

$$r_{i(n+1)} = r_{in} \frac{Q_{ijn}^2}{Q_{\phi ij}^2 (\Delta t)} \quad (1.26)$$

виконується коригування опору живлячих ліній (операція 9) шляхом умовного їх зменшення, при  $Q_{\phi i}(\Delta t) > Q_{cij}$ , або збільшення, при  $Q_{\phi i}(\Delta t) < Q_{cij}$ , до величин, при яких в ці вузли розподіляються реактивні потужності, які дорівнюють навантаженням:  $Q_{\phi i}(\Delta t) = Q_{cij}$  (де  $Q_{\phi i}(\Delta t)$  і  $Q_{cij}$  - відповідно, фактичне реактивне навантаження і оптимальна уставка в  $i$ -му вузлі в  $j$ -му добовому режимі електроспоживання).

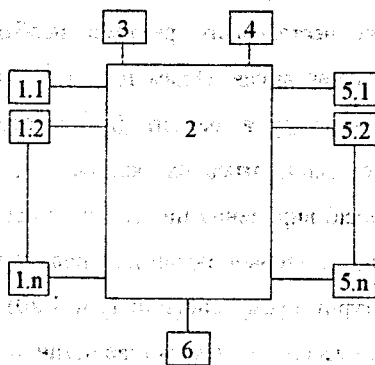


Рисунок 1.22 - Структурна блок-схема системи централізованого управління БК шляхом контролю оптимальності поточкорозподілу реактивної потужності у вузлах мережі з врахуванням їх відсутності в деяких вузлах або зміні кількості в процесі управління (на основі мікро - або міні - ЕОМ)

Для вузлів, які не помічені особливою ознакою і в яких не виконується рівність  $Q_{\phi i}(\Delta t) = Q_{cij}$ , визначається потужність секції батареї конденсаторів  $Q_{cij}$ , яку необхідно увімкнути чи вимкнути в  $i$ -му вузлі для забезпечення рівняння (1.20) (операція 10).

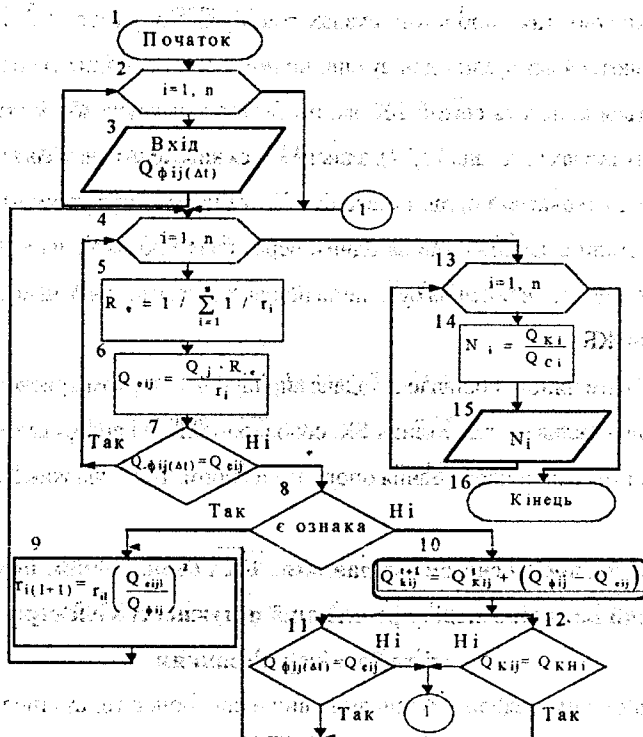


Рисунок 1.23 - Блок-схема алгоритму циклу управління потужністю БК з врахуванням їх відсутності в деяких вузлах

За допомогою операцій 11 і 12 здійснюють перевірку, чи має БК в даному вузлі потужність, яка необхідна для коригування значень  $Q_{\phi ij}$  до значень  $Q_{cij}$ . Якщо потужності БК  $Q_{kij}$  в даному вузлі недостатньо або всі секції вимкнені (увімкнені), то здійснюють коригування опору живлячої лінії даного вузла за формулою (1.26), умовно збільшуючи або зменшуючи його в залежності від співвідношення величин  $Q_{\phi ij}(\Delta t)$  і  $Q_{cij}$  (операція 9).

Після того, як будуть скориговані опори живлячих ліній тих вузлів, в яких не виконується умова (1.20) при нестабільних режимах електроживлення (коли всі секції БК вимкнені або увімкнені) і які помічені особли-

вою ознакою, так, щоб в цих вузлах виконувалась умова (1.20), знову пердивляються всі вузли і для вузлів, не помічених особливою ознакою, визначається кількість секцій БК, які необхідно увімкнути або вимкнути у відповідних вузлах (операції 13,14), здійснюється виведення значень кількості цих секцій на виконавчий орган (операція 15). На цьому цикл управління закінчується. Цикли слідують один за одним через рівні проміжки часу. Мінімальна пауза між циклами повинна бути не меншою від часу розряду найбільш потужної секції КБ.

Таким чином, поставлена задача вирішується шляхом присвоєння вузлам, в яких неможливе встановлення БК, особливої ознаки і використання вищевикладеної методики коригування опору ліній (форм. 1.26), які живлять ці вузли.

### **1.9 Спосіб і системи управління БК з визначенням похибки оптимізації потокорозподілу реактивної потужності в електричній мережі та його коригуванням**

Загальним недоліком описаних вище способів є те, що після виконання дій керування з метою координації перетоків РП (реактивної потужності) на межі розподілу мереж ЕС і споживачів та мінімізації втрат в їх мережах від передавання недокомпенсованої частини РП не здійснюється контроль за похибкою керування. Причому контроль необхідно здійснювати за величинами вхідної реактивної потужності  $Q_0$  і коефіцієнта  $K_0$ , який характеризує відхилення фактичного потокорозподілу РП від оптимального значення.

Крім того, відомі способи під час визначення оптимальних уставок не враховують того факту, що в мережі споживача може скластись режим електроспоживання, коли в одному або декількох вузлах потужність КУ, яка повинна бути увімкнена в даний момент часу, перевищує встановлену (номінальну) потужність КУ. Це призводить до того, що обчислені уставки для вузлів не є оптимальними, і на ввіді споживача значення фактичної

реактивної потужності, що споживається в даний момент часу, будуть відмінними від величини, заданої енергосистемою, та поточкорозподіл РП буде відхилятися від оптимального. Оскільки уставки для вузлів визначаються в процесі циклу керування і в ньому присутній ітераційний процес, то при коригуванні значення еквівалентного активного опору лінії збільшується час циклу керування.

Пропонується спосіб автоматичного керування батареями конденсаторів (БК), в якому за рахунок введення уставок вхідної реактивної потужності кожного  $i$ -го вузла для кожного режиму (зони) електроспоживання та використання оптимального поточкорозподілу недокомпенсованої частини РП, досягається зменшення часу циклу керування та підвищується ефективність і точність керування КУ.

Величини фактичних значень ВРП, що споживаються в кожному  $i$ -му вузлі в даний момент часу  $Q_{\text{fi}}(t)$ , порівнюють з відповідними величинами оптимальної вхідної реактивної потужності на ввіді  $i$ -го режиму  $Q_{\text{ei}}$  (уставками). На основі цього порівняння визначається потужність  $i$ -го вузла для даного моменту часу:

$$Q_{\text{ki}}(t) = Q_{\text{ki}}(t-1) + (Q_{\text{fi}}(t) - Q_{\text{ei}}) \quad (1.27)$$

де  $Q_{\text{ki}}(t-1)$  — потужність КУ в попередній момент часу.

Оскільки потужність КУ змінюється ступінчасто, в залежності від величини потужності секції  $Q_{\text{ci}}$ , то далі визначається величина реактивної потужності, яка буде дійсно генеруватися  $i$ -ю КУ, для цього визначається кількість секцій, які будуть увімкнені в даний момент часу за виразом:

$$N_{\text{ei}}(t) = \text{round} \left( \frac{Q_{\text{ki}}(t)}{Q_{\text{ci}}} \right), \quad (1.28)$$

тоді значення фактичної потужності КУ буде:

$$Q_{Ki}(t) = N_{ci}(t) \cdot Q_{ci} \quad (1.29)$$

Необхідно відмітити, якщо потужність КУ змінюється ступінчасто, то і ВРП на вводі споживача буде також змінюватися ступінчасто і, очевидно, що найбільша різниця між фактичним значенням ВРП на вводі споживача в даний момент часу та заданою енергосистемою не повинна перевищувати половини найпотужнішої секції КУ ( $Q_{c \max}/2$ ).

Далі визначається сумарна фактична потужність КУ, що були ввімкнені в попередній момент часу:  $Q_{\Phi K\Sigma}(t-1) = \sum_{i=1}^n Q_{\Phi Ki}(t-1)$ , сумарна фактична потужність КУ, що має бути ввімкнена в теперішній момент часу:

$$Q_{\Phi K\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^n Q_{\Phi Ki}(t), \quad \text{та} \quad \text{визначається} \quad \text{їх} \quad \text{різниця}$$

$\Delta Q_{\Phi K\Sigma}(t-1) = Q_{\Phi K\Sigma}(t) - Q_{\Phi K\Sigma}(t-1)$ ; яка порівнюється з фактичною реактивною потужністю, що споживається в даний момент часу на вводі споживача, і визначається за показниками  $Q_{\Phi i}(t)$  давачів реактивної потужності, встановлених на вводах споживача.

$$Q_{\Phi K\Sigma}(t) = \sum_{j=1}^m Q'_{\Phi j}(t) \quad (1.30)$$

де  $m$  - кількість вводів споживача;  $\Delta Q_{\Phi K\Sigma}(t-1)$  - сумарний приріст потужності від всіх конденсаторних батарей.

Потім визначається різниця цих величин, яка буде відповідати фактичному значенню ВРП на вводі споживача в даний момент часу при ввімкненні-вимкненні секції КУ:

$$Q'_{\Phi i}(t) = Q_{K\Sigma}(t) - \Delta Q_{\Phi K\Sigma}(t) \quad (1.31)$$

В подальшому визначається відхилення фактичного значенням ВРП, яке може бути в даний момент часу на вводі споживача  $Q_{\Phi\Sigma}(t)$ , від заданого енергосистемою для  $j$ -го режиму (зони) електроспоживання  $Q_{ej}$ :

$$\delta Q(t) = Q_{ej} - Q_{\Phi ej}(t), \quad (1.32)$$

і якщо величина цього відхилення відповідає наступній умові

$$|\delta Q(t)| \leq \frac{Q_{c \max}}{2} \quad (1.33)$$

то відбувається перехід на визначення коефіцієнта оптимальності потоко-розподілення реактивної потужності.

Якщо умова 1.33 не виконується, то визначають втрати активної потужності в лінії в даний момент часу, яка живить і-й вузол:

$$\Delta P_i(t) = \frac{10^{-3}(Q_{\Phi i}(t) - Q_{\Phi ki}(t))^2 \cdot R_{ei}}{U_n^2}, \quad i \in I, \dots, n, \quad (1.34)$$

де  $R_{ei}$  — еквівалентний опір лінії, яка живить і-й вузол;  $U_n$  — номінальна напруга.

При  $\delta(t) > 0$  визначають вузол, передавання реактивної потужності в який супроводжується найменшими втратами активної потужності, і в цьому вузлі проводять відключення секції КУ:

$$Q_{\Phi ki}(t) := Q_{\Phi ki}(t) - Q_c \quad \text{або} \quad N_{ei}(t) := N_{ei}(t) - 1 \quad (1.35)$$

Якщо  $\delta Q(t) < 0$ , то визначають вузол, передавання реактивної потужності в який супроводжується найбільшими втратами активної потужності, і в цьому вузлі проводять увімкнення секції КУ:

$$Q_{\Phi ki}(t) := Q_{\Phi ki}(t) + Q_c \quad \text{або} \quad N_{ei}(t) := N_{ei}(t) + 1 \quad (1.36)$$

Ці операції повторюються до тих пір, поки не буде виконуватись

$$\text{УМОВА } |\delta Q(t)| \leq \frac{Q_{c \max}}{2}$$

Якщо виконується умова (1.33), визначають коефіцієнт оптимальності потекорозподілення реактивної потужності для даного моменту часу  $K_0(t)$ , для цього попередньо визначають еквівалентний опір за втратами активної потужності для даного моменту часу за виразом:

$$R_{e.v}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i(t)}{Q_{\Phi\Sigma}^2(t)} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{\Phi i}(t) - Q'_{\Phi Ki}(t))^2 \cdot R_{ei}}{Q_{\Phi\Sigma}^2(t)}, \quad (1.36)$$

тоді значення коефіцієнта оптимальності потекорозподілення визначається за виразом:

$$K_0(t) = \frac{R_B(t)}{R_{e\Sigma}}, \quad (1.37)$$

де  $R_{e\Sigma}$  - еквівалентний сумарний активний опір мережі споживача, визначений шляхом послідовно-паралельного звертання схеми.

Якщо значення  $K_0(t)$  лежить у межах

$$1,0 \leq K_0(t) \leq 1,05, \quad (1.38)$$

то цикл керування закінчується і значення, обчислені за виразом (3.35) або (3.36), виводяться на виконуючі органи  $8_1 \dots 8_n$ .

Якщо умова  $1,0 \leq K_0(t) \leq 1,05$  не виконується, то проводиться додатковий цикл керування, який полягає в перерахуванні уставок ВРП  $i$ -го вузла для  $j$ -го режиму. Для цього визначають значення ознак:  $p_i$  — ознака наявності або відсутності КУ в  $i$ -му вузлі;  $f_i$  — ознака керованості КУ в  $i$ -му вузлі. Значення ознаки  $p_i$  дорівнює 0 або 1. Якщо відсутні КУ в  $i$ -

му вузлі, то  $p_i=0$ , якщо КУ є, то  $p_i=1$ . Значення ознак  $f_i$  дорівнює 0 або 1. При відсутності керування КУ в  $i$ -му вузлі  $f_i=0$ . Мається на увазі, що може виникнути ситуація, коли потрібно збільшити потужність КУ, а вона вже досягла номінального значення, і збільшити свою потужність не має змоги, та скільки б ми не подавали сигнал на збільшення потужності КУ в  $i$ -му вузлі, ми цього збільшення не отримаємо, тобто КУ стає некерованою. Такі випадки можуть трапитись, коли наступають нестационарні, або нестабільні режими роботи споживачів, наприклад, робота споживача з систематичним або аварійним перевантаженням. А при наявності КУ в  $i$ -му вузлі  $f_i=1$ .

Оскільки спосіб керування за мінімумом втрат має переваги, порівняно з іншими способами, то математична модель для визначення нових установок ВРП для  $i$ -го вузла при  $j$ -му режимі  $Q_{eij}$  буде мати вигляд:

$$Q'_{eij} = \sum_{i=1}^n [Q_{\Phi i}(t) - p_i \cdot (f_i \cdot Q_{Ki}(t) + (1 - f_i) \cdot Q_{КУ, номі})]^2 \cdot R_{ei} \rightarrow \min \quad (1.39)$$

та виконання умови балансу на вводі підприємства

$$\sum_{i=1}^n Q'_{eij} = Q_{eij} \quad \text{або}$$

$$\sum_{i=1}^n [Q_{\Phi i}(t) - p_i \cdot (f_i \cdot Q_{Ki}(t) + (1 - f_i) \cdot Q_{КУ, номі})] - Q_{eij} = 0 \quad (1.40)$$

Застосувавши для розв'язання метод невизначених множників Лагранжа, отримаємо:

$$Q'_{eij} = (1 - p_i \cdot f_i) \cdot Q_{\Phi i}(t) - \frac{p_i \cdot f_i \cdot \lambda}{2 \cdot R_{ei}} - p_i \cdot (1 - f_i) \cdot Q_{КУ, номі} \quad (1.41)$$

де  $\lambda$  — множник Лагранжа.

$$\lambda = \frac{2 \cdot \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ (1 - p_i \cdot f_i) \cdot Q_{\Phi_i}(t) - Q_{\Phi_i}(t) - Q_{e_j} - \sum_{i=1}^n [p_i \cdot (1 - f_i) \cdot Q_{KV, \text{номі}}] \right] \right\}}{\sum_{i=1}^n \frac{p_i \cdot f_i}{R_{ci}}} \quad (1.42)$$

Далі за виразами (1.28) і (1.29) знаходяться скориговані значення потужності КУ і-го вузла для даного моменту часу, проводять перевірку

$|\delta Q(t)| \leq \frac{Q_{e \max}}{2}$  і при необхідності проводять обчислення за виразами (1.35), (1.36) та (1.41), на цьому весь цикл управління закінчується.

На рис. 1.24 показана структурна схема автоматичного регулятора конденсаторних батарей, що містить  $n$  та  $m-n$  давачів реактивної потужності, виходи яких під'єднані до відповідних інформаційних входів обчислювального пристрою 2, до двох інших входів якого під'єднані виходи: задавача 3 уставок вхідної реактивної потужності на ввід підприємства; задавача 4 еквівалентних активних опорів ліній; задавача 5 уставок ВРП для вузлів; задавача 6 еквівалентного активного опору мережі споживача; задавача 7 номінальних потужностей КУ, встановлених у вузлах мережі споживача. Керувальні виходи обчислювального пристрою 2 підключені до відповідних виконавчих пристроїв 8.1÷8.п.

Запропонований спосіб і пристрій дозволяють підвищити швидкість і точність керування БК в порівнянні з відомим шляхом введення  $n$  ознак наявності КУ та їх керованості у вузлах і коефіцієнта оптимальності потокорозподілу  $K_0$ . Окрім того, підвищується універсальність способу і пристрою та ефективність керування (за рахунок використання раніше визначених і скоригованих уставок за ВРП для вузлів, оцінення відхилення фактичного потокорозподілу від оптимального).

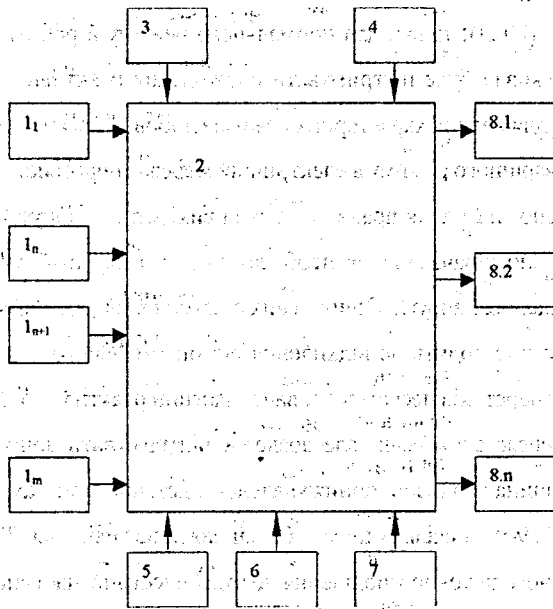


Рисунок 1.24 - Структурна блок-схема пристрою автоматичного керування БК

### 1.10 Спосіб і система керування БК з контролем напруги у вузлах мережі та форсованим увімкненням БК при її глибокій посадці

Загальним недолком відомих пристроїв є те, що вони або не здійснюють підтримування на вводах споживача (підприємства) заданого енергосистемою значення реактивної потужності для характерних режимів її активних навантажень при мінімумі втрат активної потужності від перетоків некомпенсованої частини реактивної потужності по розподільній мережі споживача (підприємства), або не здійснюють керування потужністю КУ з врахуванням рівня напруги у вузлах розподільної системи споживача (підприємства).

Енергосистема гарантує допустимий рівень напруги на вводі споживача (шинах головної понижувальної підстанції (ГПП) або головного розподільного

пристрою (ЦРП)) тільки для нормального режиму її роботи, лише при умові, якщо споживач буде підтримувати споживання реактивної потужності рівне заданому для певних характерних режимів добових навантажень. Отже, при наявності аварійного режиму в електричній мережі енергосистеми рівень напруги на вводі споживача, як правило, завжди виходить за допустимі межі. В цьому випадку у споживача виникає необхідність застосовувати свої пристрої та засоби регулювання напруги. Одним з них є ввімкнення (або вимкнення) секції КУ. Однак це призводить до відхилення від оптимального (за мінімумом втрат) розподілу перетоків некомпенсованої частини реактивної потужності в розподільній мережі споживача, але дозволяє підтримувати допустимий рівень напруги на шинах головної понижувальної підстанції в межах, регламентованих ДЕСТ 13109-97, оскільки це має більш важливе значення. Так відхилення від оптимального поточкорозподілення некомпенсованої частини реактивної потужності по розподільній мережі споживача призведе лише до збільшення втрат активної потужності в розподільній мережі споживача, що вплине тільки на вартість спожитої електроенергії при взаєморозрахунках підприємства з енергосистемою. А вихід рівня напруги за допустимі межі призводить до значно більших народно-господарських збитків, (брак продукції, погіршення якості продукції, скорочення терміну служби обладнання і застосування понаднормових робіт для довипуску продукції). Тому керування потужністю КУ в цих випадках необхідно здійснювати з врахуванням фактичного рівня напруги на вводі споживача.

Створено автоматичний регулятор КУ, в якому за рахунок введення нових елементів та зв'язків між ними, буде досягнуте керування потужністю конденсаторних установок, що встановлені у вузлах розподільної мережі споживача, за мінімумом втрат активної потужності в цій мережі від передавання по ній некомпенсованої частини реактивної потужності. При перевищенні фактичним рівнем напруги верхньої допустимої межі він буде здійснювати вимкнення секцій КУ, а при зниженні фактичного рівня напруги нижче за нижню допустиму

межу, він буде здійснювати ввімкнення секцій КУ, при цьому повинно підтримуватись мінімальне відхилення від оптимального поточкорозподілення реактивної потужності. При відхиленні фактичного рівня напруги від допустимого, керування КУ повинно здійснюватися поступово та з певною витримкою часу, щоб уникнути хибного ввімкнення (вимкнення) секцій при випадковій стрибкоподібній зміні фактичного рівня напруги (при провалі фактичного рівня напруги всі секції всіх КБ повинні вмикатися відразу та з найменшою витримкою часу).

Поставлена задача вирішується тим, що в автоматичний регулятор конденсаторних батарей, який містить давач вхідної реактивної потужності, вихід якого з'єднаний з першим входом органу порівняння за реактивною потужністю, до другого входу якого приєднаний вихід задавача уставок вхідної реактивної потужності, до входу якого приєднано вихід блока автоматичного перемикачання уставок, виходи органу порівняння за реактивною потужністю з'єднані з відповідними входами органу витримки часу, виходи якого з'єднані з відповідними керуючими входами блока аналізу втрат та визначення місця комутації. Виходи давачів реактивної потужності, які встановлені в місцях розміщення конденсаторних установок (у вузлах мережі), з'єднані з відповідними входами блока квадраторів, виходи якого в свою чергу з'єднані з відповідними входами блока врахування напрямку перетоків реактивної потужності, виходи якого з'єднані з входами блока масштабних підсилювачів, виходи якого з'єднані з відповідними інформаційними входами блока аналізу втрат та визначення місця комутації, виконавчі органи, виходи яких з'єднані з входами відповідних виконавчих органів, введені: давач фактичного рівня напруги на вводі споживача; задавач уставок допустимого відхилення рівня напруги; задавач допустимого провалу рівня напруги; орган порівняння за відхиленням напруги; орган порівняння за провалом напруги, три електронних ключі; три логічних елементи АБО та відповідне їх з'єднання.

На рис. 1.25 подана структурна схема системи управління БК, яка складається з давача 1 вхідної реактивної потужності, вихід якого з'єднаний із першим входом органу 2 порівняння реактивної потужності, другий вхід якого з'єднаний з виходом задавача 3 уставок за вхідною реактивною потужністю, до входу якого під'єднаний вихід блока 4 автоматичного перемикання уставок. Перший вихід органу 2 порівняння реактивної потужності з'єднаний з входом першого електронного ключа 5, а другий вихід органу 2 порівняння реактивної потужності з'єднаний з входом електронного ключа 6, керуючий вхід другого електронного ключа 6 з'єднаний з другим виходом органу 7 порівняння за відхиленням напруги, перший вихід якого з'єднаний з керуючим входом електронного ключа 5.

Вихід електронного ключа 6 з'єднаний з першим входом логічного елемента (АБО) 8, другий вхід якого з'єднаний з першим виходом органу 7 порівняння за відхиленням напруги. Вихід електронного ключа 5 з'єднаний з першим входом логічного елемента (АБО) 9, другий вхід якого з'єднаний з другим виходом органу 7 порівняння за відхиленням напруги. Перший вхід органу 7 порівняння за відхиленням напруги з'єднаний з виходом 10 задавача допустимого відхилення рівня напруги, другий вхід органу 7 порівняння за відхиленням напруги з'єднаний з виходом давача 11 фактичного рівня напруги, який також з'єднаний з першим входом органу 12 порівняння за провалом напруги. Другий вхід органу 12 порівняння за провалом напруги з'єднаний з виходом задавача 13 допустимого провалу рівня напруги. Вихід логічного елемента (АБО) 8 з'єднаний з першим входом органу 14 витримки часу, другий вхід якого з'єднаний з виходом логічного елемента (АБО) 9. Перший вихід органу 14 витримки часу з'єднаний з першим входом логічного елемента (АБО) 15, другий вхід логічного елемента 15 з'єднаний з виходом органу 12, вихід логічного елемента 15 з'єднаний з першим керуючим входом блока 16 аналізу втрат і визначення місця комутації, другий керуючий вхід якого з'єднаний з виходом третього електронного ключа 17, вхід якого з'єднаний з другим виходом органу 14

витримки часу, керуючий вхід електронного ключа 17 з'єднаний з виходом органу 12 порівняння за провалом напруги. Виходи давачів  $18_1, 18_2, \dots, 18_n$  реактивної потужності, які встановлені в місцях розміщення батарей конденсаторів

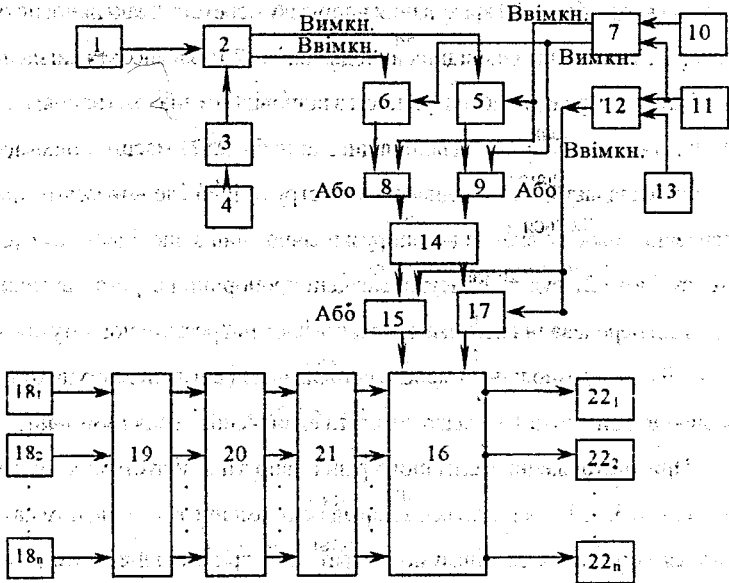


Рисунок 1.25 - Структурна схема системи управління БК з контролем напруги вузлах мережі і форсованим їх ввімкненням при глибокій посадці напруги

(у вузлах мережі), з'єднані з відповідними входами блока 19 квадраторів, який складається з  $n$  однакових елементів, виходи якого з'єднані з відповідними входами блока 20 врахування напрямку перетоків реактивної потужності, відповідні виходи якого з'єднані з відповідними входами блока 21 масштабних підсилювачів, виходи якого з'єднані з відповідними входами блока 16 аналізу втрат і визначення місця комутації. Виходи блока 16 аналізу втрат і визначення місця комутації з'єднані з відповідними входами відповідних виконавчих органів  $22_1, 22_2, \dots, 22_n$ .

Пристрій працює таким чином. Сигнали, пропорційні величині реактивної потужності, що споживається у вузлах розподільної мережі споживача, з давачів 18<sub>1</sub>, 18<sub>2</sub>, ..., 18<sub>n</sub>, поступають на відповідні входи блока 19 квадраторів, а звідси на входи блока 20 врахування напрямку перетоку реактивної потужності, в результаті цього на відповідних виходах блока 20 з'являються сигнали пропорційні квадрату реактивної потужності з відповідним знаком (напрямок перетоку). Ці сигнали подаються на відповідні входи блока 21 масштабних підсилювачів, який складається з  $n$  – однакових за структурою елементів, але коефіцієнт підсилення кожного відповідає опорю живлячої лінії відповідного вузла, тому на виходах блока 21 будуть присутні сигнали пропорційні втратам активної потужності від передавання некомпенсованої частини реактивної потужності у відповідний вузол розподільної мережі споживача, ці сигнали поступають на інформаційні входи блока 16 аналізу втрат та визначення місця комутації.

При знаходженні фактичного рівня напруги в допустимих межах електронні ключі 5, 6, 17 знаходяться в нормально замкнутому стані, цим самим реалізується управління за мінімумом втрат. Так при виході сигналу з давача 1, який пропорційний вхідній реактивній потужності, за допустимі межі, що встановлюються задавачем 3 та переключаються автоматичним перемикачем 4 уставок, в залежності від режиму добових навантажень, на виходах органу 2 порівняння за реактивною потужністю з'являється або сигнал "Вимкн." на першому виході, або сигнал "Увімкн." на другому виході. Сигнал "Увімкн." через нормально замкнутий електронний ключ 6 та логічний елемент АБО 8 поступає на перший вхід органу 14 витримки часу, а звідти через елемент АБО 21 подається на перший керуючий вхід блока 16. Аналогічно сигнал "Вимкн." через нормально замкнутий електронний ключ 5 та логічний елемент АБО 9 поступає на другий вхід органу 14 витримки часу, а звідти через електронний ключ 17 на другий керуючий вхід блока 16.

При подаванні на перший керуючий вхід блока 16 аналізу втрат і визначення місця комутації команди "Вимкн.", останній на основі сигналів, що вже

присутні на його інформаційних входах, визначає вузол з найбільшими втратами і формує на відповідному виході сигнал, що поступає на відповідний виконавчий орган  $22_1, 22_2, \dots, 22_n$ , який і проводить безпосереднє включення секції КУ. При подаванні на другий вхід блока 16 аналізу втрат і визначення місця комутації команди "Вимкн.", останній на основі сигналів, що вже присутні на його інформаційних входах визначає вузол з найменшими втратами і формує на відповідному виході сигнал, що поступає на відповідний виконавчий орган  $22_1, 22_2, \dots, 22_n$ , який і проводить безпосереднє відключення секції КУ. Ці операції продовжуються з певною витримкою часу до тих пір, поки значення вхідної реактивної потужності не увійде в допустимі межі.

При виході сигналу з давача 11, який пропорційний фактичному рівню напруги за нижньою допустимою межею, що задається задавачем 10, на першому виході органа 7 порівняння за відхиленням напруги з'являється сигнал "Увімкн.". При виході сигналу з давача 11, який пропорційний фактичному рівню напруги за верхньою допустимою межею, яка задається задавачем 10, на другому виході органа 7 порівняння за відхиленням напруги з'являється сигнал "Вимкн."

Сигнал відповідний команді "Увімкн." з першого виходу органа 7 подається на керуючий вхід електронного ключа 5, і перешкоджає проходженню сигналу "Вимкн." від органа 2, реалізуючи цим керування тільки за напругою. Одночасно з цим він поступає на другий вхід логічного елемента АБО 8, звідки надходить на перший вхід органу 14 витримки часу, проходить через логічний елемент АБО 15 і поступає на перший керуючий вхід блока 16 викликаючи цим увімкнення секції КУ у вузлі з максимальними витратами потужності. Це приводить до найбільшого зменшення повної потужності, що протікає по живлячій лінії споживача, і відповідно до максимального зменшення втрати напруги в цій лінії, а значить до максимального підвищення рівня напруги в кінці цієї живлячої лінії, тобто на шинах ГПП або ЦРП.

Сигнал відповідний команді "Вимкн." з другого виходу органа 7 подається на керуючий вхід електронного ключа 6, і перешкоджає проходженню сигналу "Ввімкн." від органу 2, реалізуючи цим керування тільки за напругою. Одночасно з цим він поступає на другий вхід логічного елемента АБО 9, звідки надходить на другий вхід органу 14 витримки часу, проходить через електронний ключ 17 і поступає на другий керуючий вхід блока 16 викликаючи цим вимкнення секції КУ у вузлі з мінімальними витратами потужності. Це призводить до збільшення повної потужності, що протікає по живлячій лінії споживача, і відповідно, до збільшення втрат напруги в цій лінії, а значить до зменшення рівня напруги в кінці цієї живлячої лінії, тобто на шинах ГПП або ЦРП.

Процес ввімкнення (вимкнення) секції КУ буде відбуватися з певною витримкою часу, яка задається блоком 14 витримки часу, і до тих пір, поки фактичний рівень напруги не увійде в допустимі межі.

При провалі напруги меншому від допустимого рівня, заданого задавачем 15, з'являється сигнал "Увімкн." на виході органу 12, який подається на керуючий вхід електронного ключа 17, перешкоджаючи цим проходження сигналу "Вимкн." від органу 2, і реалізуючи цим керування тільки за напругою; сигнал "Увімкн." з виходу органа 16 також поступає на другий вхід логічного елемента АБО 15, а далі на перший керуючий вхід блока 16 подається команда на увімкнення секції КУ. При цьому ввімкнення відбувається поступово в різних вузлах розподільної мережі; втрати в яких в даний момент часу максимальні. Ці ввімкнення будуть відбуватись через дуже незначні проміжки часу, величина яких залежить від часу "перезарядки" генератора лінійно спадаючої напруги блока 6.

При відновленні рівня напруги до допустимих меж, увімкнення (вимкнення) БК здійснюється за реактивною потужністю.

Таким чином, введення додаткових блоків та відповідне їх з'єднання дозволяє здійснювати керування потужністю КУ з врахуванням фактичного рівня напруги на вводі розподільної мережі споживача, що дозволяє значно покращи-

ти якість електроенергії, що споживається у відповідності з вимогами ГОСТ 13109-97, при цьому мінімально відхиляючись від оптимального (за мінімумом втрат) поточкорозподілення некомпенсованої частини реактивної потужності в розподільчій мережі споживача.

### **1.11 Методи визначення і коригування уставок в процесі управління без використання ітеративної процедури**

Наявність в описаному способі ітераційного процесу вимагає відповідного часу на виконання розрахунків. При розв'язанні балансової задачі з оптимізації розміщення БК [1] це не може вважатись недоліком. Навпаки, застосування формули (1.26) для коригування балансової задачі дозволяє уникнути зміни розрахункової схеми і вхідної потужності на ввіді підприємства. В системах управління, які працюють в масштабі реального часу, бажано уникнути ітераційного обчислювального процесу. Запропоновано два методи коригування оптимізаційної задачі в процесі управління, які не використовують ітераційної процедури [18].

**Перший метод** ґрунтується на відповідному формулюванні цільової функції, в якій виділяються вузли, де передбачається установка БК і вузли, в яких їх установка неможлива з різних причин. Передбачено також, що в процесі управління кількість вузлів, в яких неможлива установка БК, може умовно збільшуватись за рахунок виходу БК з ладу або виводу їх в ремонт, в період нестабільних або малоімовірних режимів електроспоживання (коли всі секції вимкнені чи увімкнені). Зрозуміло, що це збільшення має тимчасовий характер. Після ремонту БК чи повернення нормальних режимів електроспоживання кількість вузлів відновлюється.

Математична модель визначення і коригування оптимальних уставок у вузлах формулюється так:

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta P &= 10^{-3} \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q_{\Phi ij}(\Delta t) - Q_{\kappa ij})^2 r_{ei} + \sum_{\gamma=1}^p \sum_{j=1}^m (Q_{\Phi \gamma j}(\Delta t))^2 r_{\gamma} \right) \rightarrow \min \\ Q_{ej} - \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q_{\Phi ij}(\Delta t)) + \sum_{\gamma=1}^p \sum_{j=1}^m (Q_{\Phi \gamma j}(\Delta t)) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q_{\kappa ij}) \right) &= 0, \\ Q_{\kappa ij} \geq 0 \text{ або } Q_{ej} &\leq Q_{\Phi ij}; \end{aligned} \right. \quad (1.43)$$

де  $Q_{\Phi ij}$  - фактична реактивна потужність, яка споживається в  $j$ -му вузлі в  $j$ -му добовому режимі ( $\gamma=1, 2, \dots, p$ ,  $p$  - кількість вузлів, в яких не встановлені БК);  $Q_{\Phi ij}$  - фактична реактивна потужність, яка споживається в  $i$ -му вузлі в  $j$ -му добовому режимі ( $i=1, 2, \dots, n$ ,  $n$  - кількість вузлів, в яких встановлені БК);  $Q_{\kappa ij}$  - потужність секції БК, яку необхідно включити в  $i$ -му вузлі в  $j$ -му режимі;  $m$  - кількість характерних добових режимів електроспоживання ЕС;  $Q_{ej}$  - вхідна реактивна потужність підприємства для  $j$ -го режиму активних навантажень енергосистеми.

Використовуючи метод неозначених множників Лагранжа, одержимо вирази для визначення потужності секції БК, яку необхідно включити в  $i$ -му вузлі в  $j$ -му режимі:

$$Q_{\kappa ij} = Q_{\Phi ij} - \frac{\lambda_j \cdot U^2}{2 \cdot 10^{-3} r_{ei}} \quad (1.44)$$

та оптимальної уставки на ввіді  $i$ -го вузла в  $j$ -му режимі і коефіцієнта Лагранжа

$$Q_{ej} = \frac{\lambda_j \cdot U^2}{2 \cdot 10^{-3} r_{ei}}, \quad \lambda_j = \frac{Q_{ej} - \sum_{\gamma=1}^p \sum_{j=1}^m Q_{\Phi \gamma j}(\Delta t)}{U^2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_{ei}}} \quad (1.45)$$

При нестабільних режимах електропостачання в одному чи в декількох вузлах, коли фактичне споживання реактивної потужності  $Q_{\Phi ij}(\Delta t)$  виявляється меншим від уставки  $Q_{ej}$  при всіх вимкнених секціях БК ( $Q_{\kappa ij} <$

0), в цих вузлах приймають  $Q_{\text{кв}} = 0$ , додаючи їх до числа  $P$ , і виконують перерахунок уставок вхідної реактивної потужності та потужності секцій БК, які необхідно увімкнути або вимкнути в решті вузлах за формулами (1.44)-(1.45) з врахуванням умов, що змінилися. При відновленні нормального режиму електроспоживання у названих вище вузлах при черговому циклі управління здійснюється повернення до початкових уставок, які відповідають нормальному режиму електроспоживання у всіх вузлах.

На рис. 1.26 показана структурна блок-схема системи оптимального керування БК, яка реалізує даний спосіб. Із рисунка видно, що вона відрізняється від попередньої (рис.1.22) наявністю двох задавачів 5 і 6 (5 - задавач номерів вузлів, в яких встановлені БК, і кількість секцій в кожній БК та їх потужність; 6 - задавач номерів вузлів, в яких відсутні БК. Решта блоків мають таке саме призначення, що й на рис. 1.22 (блоки 7.1 - 7.n - виконавчі органи). Цим і визначається різниця в принципі роботи системи.

Як обчислювальний пристрій 2 може бути використана мікро-, міні-ПЕОМ. У ролі задавачів 3, 4, 5, 6 можуть бути використані клавіатурні блоки, спеціально відведені області ОЗП або файли на будь-якого типу носіях. Керування БК здійснюється за алгоритмом, блок-схема якого подана на рис. 1.27, а її опис наведений нижче.

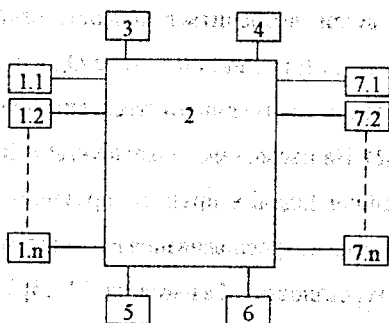


Рисунок 1.26 - Структурна блок-схема системи оптимального керування БК на основі мікро- або міні-ЕОМ за умовою  $Q_{\text{кв}}(\Delta t) = Q_{\text{кв}}$  з виділенням вузлів з встановленням або без встановлення БК і можливої їх заміни в процесі керування

На початку кожного циклу керування обчислювальний пристрій 2, використовуючи системний годинник, здійснює ідентифікацію характерного добового режиму, і використовуючи інформацію із задавача 3, вводить відповідні величини ( $Q_{\alpha}$  (операція 3)). За допомогою операцій 4÷7, використовуючи датчики реактивної потужності 1.1÷1.n, задавач 5 (операції 4,5) та задавач 6 (операції 6,7) виконують введення фактичних значень РН в кожному вузлі і визначається їх сумарне значення ( $\sum_{\gamma=1}^m Q_{\gamma ij}(\Delta t)$ ), для вузлів, в яких не встановлені БК (операції 8,9). Після цього використовуючи інформацію із задавачів 4 і 5, визначають еквівалентний опір мережі ( $\sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{\Gamma_{ei}}$ ) для вузлів, в яких встановлені БК (операції 10,11). Далі обчислювальний пристрій 2 за формулами (1.44) і (1.45) визначає величину  $\lambda_j$  (операція 12), значення  $Q_{eij}$  для вузлів, в яких встановлені БК (операції 13,14) і потужності БК (операція 15), де  $Q_{eij}^1$  - потужність БК в попередньому циклі керування, з виконанням обмеження (1.43) (операція 16). При невиконанні обмеження (1.43) в одному чи декількох вузлах приймають для цих вузлів  $Q_{eij} = 0$  і додають їх до числа К. Далі виконують перерахунок уставок (точка входу 1 в операцію 8). Коли таким чином будуть переглянуті всі вузли, визначиться кількість секцій БК, які повинні бути включені в і-му вузлі (операції 20,21), де  $Q_{\alpha}$  - потужність однієї секції БК в і-му вузлі. Після цього виконується виведення  $N_i$  на виконавчі пристрої (операція 22). На цьому цикл завершується. В другому методі коригування оптимізаційної задачі в процесі управління для врахування специфічних вузлів і режимів електроспоживання введена ознака  $p_i$  наявності ( $p_i=1$ ) або відсутності ( $p_i=0$ ) керуваності БК в і-му вузлі [2, 26]. При цьому реалізується така модель управління:

$$\begin{aligned} (p_i = 0) &\implies Q_{eij} = Q_{\phi i}(\Delta t); \\ (p_i = 1) &\implies Q_{kij}(t+\Delta t) = Q_{kij}(t) \pm (Q_{\phi i}(\Delta t) - Q_{eij}). \end{aligned} \quad (1.46)$$

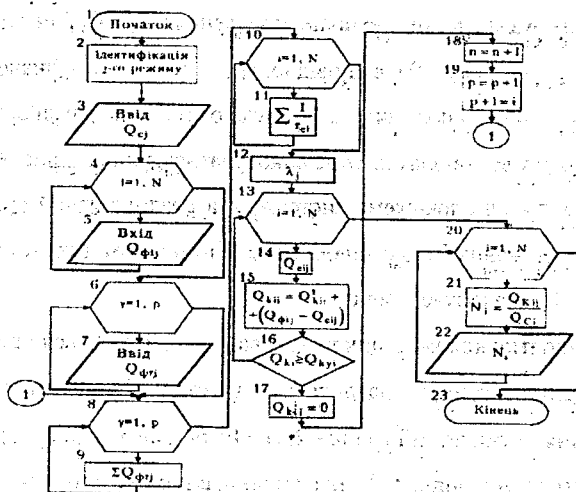


Рисунок 1.27 Блок-схема алгоритму керування БК за умовою  $Q_{\phi ij}(\Delta t) = Q_{eij}$  з виділенням вузлів з встановленням і без встановлення БК та можливої їх заміни в процесі керування

Математична модель для визначення оптимальних уставок на вводах навантажувальних вузлів електричної мережі запишеться так:

$$\begin{cases} \Delta m_j = \frac{10^{-3}}{U^2} \sum_{i=1}^n Q_{eij}^2 \cdot R_{ei} \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^n Q_{eij} = Q_{ej} \text{ або } \sum_{i=1}^n (Q_{\phi ij} - p_i Q_{kij}) - Q_{ej} = 0, \\ Q_{eij} \leq Q_{\phi ij} \text{ або } p_i Q_{kij} \geq 0, \\ Q_{eij} \leq (Q_{\phi ij} - Q_{kij}) \end{cases} \quad (1.47)$$

Із умов  $\partial F / \partial Q_{ci} = 0$  і  $\partial F / \partial \lambda = 0$  знаходимо:

$$Q_{eij} = Q_{\phi ij} (1 - p_i) + \frac{p_i \left[ \sum_{i=1}^n Q_{\phi ij} (1 + p_i) - Q_{ej} \right]}{R_{ei} \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{R_{ei}}} \quad (1.48)$$

В тих вузлах, в яких технічне обмеження ( $Q_{cij} \leq Q_{rji}$ ) не виконується, приймаємо  $Q_{cij} = Q_{rji}$ ,  $Q_{kij} = 0$  і, відповідно,  $p_i = 0$ . Після цього значення  $Q_{cij}$  в решті вузлів визначаються повторно за формулою (1.48). Розрахунки виконуються до тих пір, поки у всіх вузлах не буде виконуватись вищезгадане обмеження.

Структурна блок-схема системи, яка реалізує даний спосіб, подана на рис.1.26. Керування БК здійснюється за алгоритмом, блок-схема якого подана на рис. 1.28, а нижче її опис.

На початку кожного циклу керування здійснюється введення фактичних значень реактивних навантажень у вузлах  $Q_{фij}(\Delta t)$ , тобто проводиться опитування датчиків РП (блоки 2,3). Після цього за допомогою блоків 4-8 визначається величина РП, яка виключається із процесу керування  $Q_{per}$ , тобто та потужність, яка споживається вузлами, в яких відсутні БК або вони не є керованими. Таким чином, незалежно від процесу керування ця величина РП буде споживатися в будь-якому випадку і задане значення РП  $Q_{ej}$  повинно бути зменшене на величину  $Q_{per}$ , решта величини  $Q_{ej}$  розподіляється (у вигляді оптимальних уставок) серед вузлів, в яких є БК). В блоках 4-8 здійснюється визначення сумарного еквівалентного опору для вузлів, в яких встановлені БК, що керуються. Блоки 9-10 служать для визначення значень вхідної РП для  $i$ -го вузла. Необхідна потужність БК визначається за допомогою блока II. Згодом в блоках 12-13 виконується перевірка достатності наявної потужності БК для виконання обмеження (1.47). Якщо потужності БК недостатньо, то ознаці  $p_i$  даного вузла в даному циклі керування присвоюється значення рівне нулю і розрахунок проводиться спочатку (блоки 4-13). Після проведення всіх відповідних коригувань здійснюється виведення кількості секцій БК, які повинні бути включені в даному вузлі для виконання обмеження (3.47) (блоки 15,16,17). На цьому цикл керування закінчується.

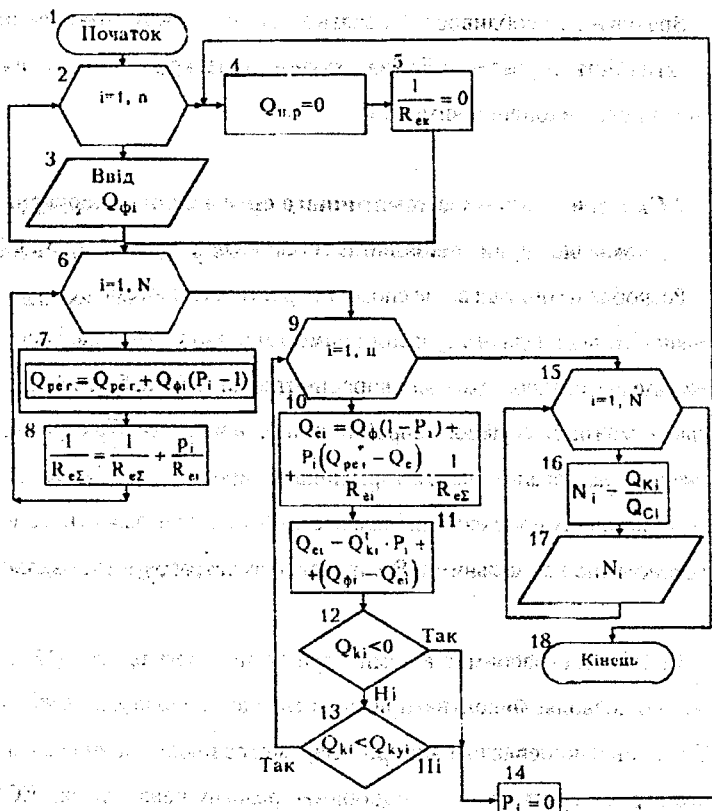


Рисунок 1.28 - Блок-схема алгоритму керування БК за умовою

$Q_{\phi i}(\Delta t) = Q_{eij}$  і введенням ознаки наявності ( $P_i = 1$ ) чи відсутності ( $P_i = 0$ )

БК в  $i$ -му вузлі або керування

Як видно із приведеного алгоритму керування, останній спосіб зберігає всі переваги попередніх і дозволяє визначити нові оптимальні значення ВРП для кожного вузла за одну ітерацію, він більш придатний для застосування в цифрових пристроях (для ознаки  $p_i$  використовується подвійне представлення).

Врахування особливостей реально діючих мереж дозволяє підвищити ефективність управління БК за рахунок додаткового зниження втрат і більш точного виконання вимог ЕС.

## 2 Способи і системи автоматичного оптимального керування БК за допомогою групи спеціальних локальних регуляторів [2, 25]

Розроблені і описані вище способи, пристрої та системи централізованого керування БК відповідають сучасним вимогам щодо управління і енергозбереження. Але для їх впровадження у виробництво потрібні кабелі зв'язку. Дефіцит кабелів і відсутність серійного виробництва технічних засобів стримує впровадження централізованих систем управління у виробництво. Окрім того, на малих підприємствах при невеликій кількості БК централізовані системи можуть бути економічно недоцільними. В цих випадках застосовують локальні регулятори.

Найбільш сучасним із відомих пристроїв є регулятор Б-2201 [1]. Однак він не дозволяє виконувати вимоги ЕС щодо споживання РП з її мережі. Це зумовлено невдалим вибором параметра перемикання уставок (загального струму вузла, який не відображає режиму навантажень ЕС). Окрім того, даний пристрій не здійснює регулювання за напругою, оптимізації втрат в мережах і не враховує наявності трансформаторів з РПН. Відомий також пристрій [29], який здійснює керування потужністю БК за двома параметрами:  $Q$  і  $U$ . Однак всі інші недоліки регулятора Б-2201 властиві вказаному даному пристрою. Окрім того, в даному пристрої команда на увімкнення або вимкнення секції БК надходить на виконавчі органи тільки тоді, коли значення  $Q$  і  $U$  перевищать верхній або нижній допустимий рівень.

Пропонується автоматичний регулятор конденсаторних батарей локальної дії АРКОН (Л), який дозволяє уникнути описаних вище недоліків відомих пристроїв [2, 25]. Мінімізація втрат від перетоків не-

скомпенсованої реактивної потужності досягається шляхом визначення оптимальних уставок вхідної реактивної потужності на вводах окремих вузлів мережі підприємства для характерних добових режимів електроспоживання енергосистеми і підприємства  $Q_{eij}$  та їх забезпечення за допомогою запропонованих регуляторів.

Визначення величин  $Q_{eij}$  (уставок) з врахуванням втрат реактивної потужності в лініях, живлячих ці вузли, для  $j$ -го режиму активних навантажень енергосистеми здійснюється в три етапи.

**1-й етап:** визначаються оптимальні значення вхідної реактивної потужності вузлів  $Q'_{eij}$  без врахування втрат реактивної потужності в живлячих ці вузли лініях. Для розрахунків використовується описана вище модель (форм.1.47 і 1.48).

**2-й етап:** визначаються втрати реактивної потужності в живлячих лініях для  $j$ -го характерного режиму за формулою:

$$\Delta Q_{eij} = \frac{10^{-3}}{U^2} \sum_{i=1}^n (Q'_{eij})^2 \cdot X_{ei}, \quad (2.1)$$

де  $X_{ei}$  - еквівалентний індуктивний опір лінії, від якої одержує живлення  $i$ -й вузол.

**3-й етап:** визначаються оптимальні значення вхідної реактивної потужності на вводі  $i$ -го вузла для  $j$ -го характерного режиму з врахуванням втрат реактивної потужності в живлячих ці вузли лініях

$$Q_{eij} = Q'_{eij} + \Delta Q_{eij}. \quad (2.2)$$

Значення  $Q_{eij}$  у вигляді уставок вводяться в регулятор, який підтримує оптимальні значення реактивної потужності у вузлі. Для врахування спільної роботи з РПН трансформатора використовується перемикач, який забезпечує роботу регулятора в таких режимах: "з РПН" і "без РПН" (рис.2.1).

За допомогою групи запропонованих регуляторів реалізується такий спосіб керування БК. Регулятори встановлюють в окремих вузлах розподільних мереж підприємств, сільських і міських мережах. При керуванні за двома параметрами регулятор не спрацьовує, якщо в контрольному вузлі параметри керування (реактивна потужність і рівень напруги) знаходяться в межах допустимих значень, тобто:

$$\left. \begin{aligned} U_{\min.\delta} < h \cdot U_{\phi i}(\Delta t) < U_{\max.\delta} \\ Q_{ej}^H \leq h Q_{\phi i}(\Delta t) \leq Q_{ej}^B \end{aligned} \right\} Y_{\text{вих}} = 0. \quad (2.3)$$

Регулятор спрацює, якщо один із параметрів вийшов за допустимі межі, а другий знаходиться в допустимих межах:

$$\text{а) } \left. \begin{aligned} hU > 1,1U \vee hU < 0,95U_H \\ Q_{ej}^H \leq h \cdot Q < Q_{ej}^B \end{aligned} \right\} Y_{\text{вих}} = 1 \quad (2.4)$$

$$\text{б) } \left. \begin{aligned} 0,95U. \leq hU \leq 1,1U_H \\ hQ < Q_{ej}^H \vee hQ > Q_{ej}^B \end{aligned} \right\} Y_{\text{вих}} = 1 \quad (2.5)$$

Регулятор також спрацює, якщо обидва параметри вийшли за допустимі межі:

$$\left. \begin{aligned} hU > 1,1U \vee hU < 0,95U_H \\ hQ < Q_{ej}^B \vee hQ > Q_{ej}^H \end{aligned} \right\} Y_{\text{вих}} = 1 \quad (2.6)$$

Враховуючи вирази (2.3)-(2.6) і вимоги до споживання реактивної потужності та рівнів напруги, можна запропонувати такі можливі комбінації параметрів керування БК за допомогою групи локальних регуляторів:

- тільки за параметром Q;
- тільки за параметром U;
- з пріоритетом Q (тобто керування здійснюється за параметром Q в межах  $Q_{ej}^H \leq hQ \leq Q_{ej}^B$ , а за параметром U виконується до тих пір, поки Q знаходиться в допустимих межах. Якщо Q виходить за допустимі межі в ре-

зультаті управління за  $U$ , то подальше керування за параметром  $U$  блокується і регулятор переходить в режим керування тільки за параметром  $Q$ );

- з пріоритетом за параметром  $U$  (за параметром  $U$ :  $0,95U_H \leq hU \leq 1,1U_H$ ; за параметром  $Q$ : до тих пір, поки  $U$  знаходиться в допустимих межах; керування за параметром  $Q$  блокується, якщо  $U$  виходить за допустимі межі);

- за параметром  $Q$  з коригуванням за параметром  $U$  (при  $U > 1,1U_H$  регулятор блокує подальше включення секцій БК, але їх можна відключати, якщо це необхідно для підтримання величини  $Q_{eij}$ ; при  $U < 0,9U_H$  регулятор блокує подальше відключення секцій БК, якщо параметр  $U$  виходить за допустимі межі). Параметри вибирають в залежності від вимог до рівнів напруги у вузлах розподільної мережі підприємства і наявності трансформаторів з РПН. Відповідно з вибраними параметрами чи їх комбінаціями реалізуються такі моделі керування:

- тільки за параметром  $Q$  (підтримання допустимих рівнів напруги забезпечується РПН трансформаторів):

$$Q_{\phi i}(\Delta t) < Q_{eij} \Rightarrow Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) - Q_{ci};$$

$$Q_{\phi i}(\Delta t) > Q_{eij} \Rightarrow Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) + Q_{ci}; \quad (2.7)$$

- тільки за параметром  $U$  (при наявності жорстких вимог до рівнів напруги в окремих вузлах):

$$(U_{\phi i}(\Delta t) < U_{\min. \text{доп}}) \Rightarrow Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) + Q_{ci};$$

$$(U_{\phi i}(\Delta t) > U_{\max. \text{доп}}) \Rightarrow Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) - Q_{ci}; \quad (2.8)$$

з пріоритетом за параметром  $Q$

$$\left. \begin{aligned} Q_{\phi_i}(\Delta) > Q_{eij}^B \\ Q_{eij}^H \leq Q_{\phi_i}(\Delta) < Q_{eij}^B \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} IU_{\phi_i}(\Delta) > U_{\min, \text{don}} \\ IU_{\phi_i}(\Delta) < U_{\min, \text{don}} \end{aligned} \right\} Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) + Q_{ci}$$

$$\left. \begin{aligned} Q_{\phi_i}(\Delta) < Q_{eij}^H \\ Q_{eij}^H \leq Q_{\phi_i}(\Delta) < Q_{eij}^B \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} IU_{\phi_i}(\Delta) > U_{\max, \text{don}} \\ IU_{\phi_i}(\Delta) < U_{\max, \text{don}} \end{aligned} \right\} Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) - Q_{ci} \quad (2.9)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_{\phi_i}(\Delta) < Q_{eij}^H \\ Q_{\phi_i}(\Delta) < Q_{eij}^H \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} IU_{\phi_i}(\Delta) > U_{\max, \text{don}} \\ IU_{\phi_i}(\Delta) < U_{\min, \text{don}} \end{aligned} \right\} Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) - Q_{ci}$$

$$\left. \begin{aligned} Q_{\phi_i}(\Delta) > Q_{eij}^B \\ Q_{\phi_i}(\Delta) > Q_{eij}^B \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} IU_{\phi_i}(\Delta) > U_{\max, \text{don}} \\ IU_{\phi_i}(\Delta) < U_{\min, \text{don}} \end{aligned} \right\} Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) + Q_{ci} \quad (2.10)$$

- з пріоритетом за параметром U

$$\left. \begin{aligned} U_{\phi_i}(\Delta) < U_{\min, \text{don}} \\ U_{\min, \text{don}} \leq U_{\phi_i}(\Delta) \leq U_{\max, \text{don}} \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} IQ_{\phi_i}(\Delta) > Q_{eij}^B \\ IQ_{\phi_i}(\Delta) > Q_{eij}^B \end{aligned} \right\} Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) + Q_{ci}$$

$$\left. \begin{aligned} U_{\phi_i}(\Delta) > U_{\max, \text{don}} \\ U_{\min, \text{don}} \leq U_{\phi_i}(\Delta) \leq U_{\max, \text{don}} \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} IQ_{\phi_i}(\Delta) > Q_{eij}^H \\ IQ_{\phi_i}(\Delta) > Q_{eij}^H \end{aligned} \right\} Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) - Q_{ci} \quad (2.11)$$

$$\left. \begin{aligned} U_{\phi_i}(\Delta) < U_{\min, \text{don}} \\ U_{\phi_i}(\Delta) < U_{\min, \text{don}} \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} IQ_{\phi_i}(\Delta) > Q_{eij}^B \\ IQ_{\phi_i}(\Delta) < Q_{eij}^H \end{aligned} \right\} Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) + Q_{ci}$$

$$\left. \begin{aligned} U_{\phi_i}(\Delta) > U_{\max, \text{don}} \\ U_{\phi_i}(\Delta) > U_{\max, \text{don}} \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} IQ_{\phi_i}(\Delta) > Q_{eij}^B \\ IQ_{\phi_i}(\Delta) < Q_{eij}^H \end{aligned} \right\} Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) - Q_{ci} \quad (2.12)$$

- за параметром Q і з коригуванням за параметром U:

$$\begin{aligned}
 Q_{ej}^H \leq Q_{\phi i}(\Delta) \leq Q_{ej}^B IU_{\phi i}(\Delta) < U_{\min \text{дон}} &\Rightarrow Q_{\kappa \mu}(t + \Delta) = Q_{\kappa \mu}(t) + Q_{ci} \\
 Q_{ej}^H \leq Q_{\phi i}(\Delta) \leq Q_{ej}^B IU_{\phi i}(\Delta) > U_{\max \text{дон}} &\Rightarrow Q_{\kappa \mu}(t + \Delta) = Q_{\kappa \mu}(t) - Q_{ci} \\
 Q_{\phi i}(\Delta) > Q_{ej}^B IU_{\phi i}(\Delta) < U_{\min \text{дон}} &\Rightarrow Q_{\kappa \mu}(t + \Delta) = Q_{\kappa \mu}(t) + Q_{ci} \\
 Q_{\phi i}(\Delta) > Q_{ej}^B IU_{\phi i}(\Delta) > U_{\max \text{дон}} &\Rightarrow Q_{\kappa \mu}(t + \Delta) = Q_{\kappa \mu}(t) - Q_{ci} \\
 Q_{\phi i}(\Delta) < Q_{ej}^H IU_{\phi i}(\Delta) < U_{\min \text{дон}} &\Rightarrow Q_{\kappa \mu}(t + \Delta) = Q_{\kappa \mu}(t) + Q_{ci} \\
 Q_{\phi i}(\Delta) < Q_{ej}^H IU_{\phi i}(\Delta) > U_{\max \text{дон}} &\Rightarrow Q_{\kappa \mu}(t + \Delta) = Q_{\kappa \mu}(t) - Q_{ci}
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

Оптимальні уставки  $Q_{ej}$  і  $Q_{ej}^B$  вводять в задавач уставок регулятора.

Регулятори, підтримуючи задані уставки у всіх вузлах, забезпечують оптимальний розподіл потоків некомпенсованої реактивної потужності в електричних мережах і задані значення реактивної потужності на вводи підприємства. На рис. 2.7 подана структурна блок-схема локального регулятора потужності БК, який реалізує описаний спосіб.

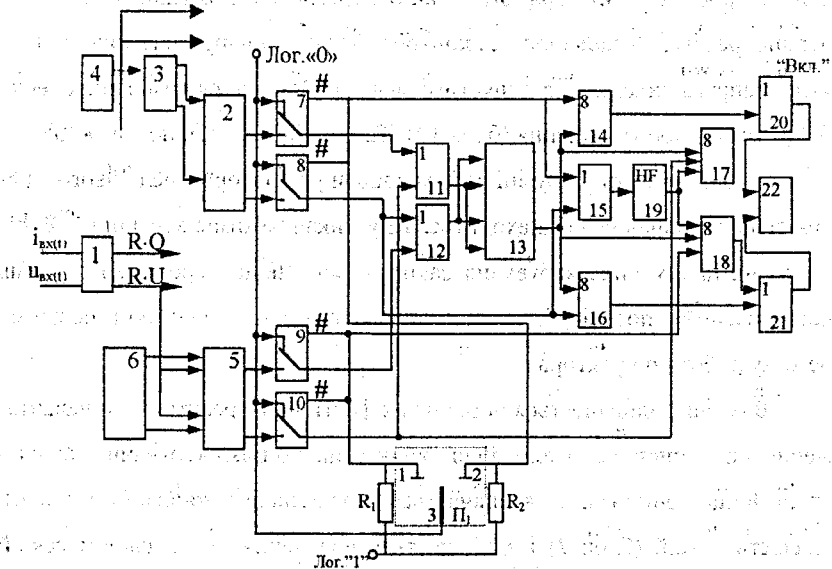


Рисунок 2.1 - Структурна блок-схема спеціального автоматичного регулятора потужності БК локальної дії

Пристрій складається із таких блоків: 1 - вимірювальний перетворювач; 2 - пороговий блок; 3 - задавач уставок з реактивної потужності; 4 - автоматичний перемикач уставок; 5 - блок порівняння; 6 - блок уставок з

напруги: 7,8,9,10 - електронні ключі; 11,12,15,20;21 - елементи АБО; 13 - генератор імпульсів; 14,16,17,18 - елементи І; 19 - елемент ІІ; 22 - виконавчий орган. Принцип роботи пристрою описаний в [17, 29]. Блок-схема алгоритму керування потужністю БК за допомогою описаного пристрою показана на рис. 2.2, а нижче її опис.

На початку кожного циклу керування в залежності від поточного часу доби визначається і-й характерний добовий режим роботи енергосистеми і поточному значенню уставки присвоюється значення уставки  $Q_{сij}$  для відповідного j-го режиму (блок 2). Згодом виконуються введення фактичного значення реактивного навантаження у вузлі  $Q_{\phi}(\Delta t)$  і фактичного рівня напруги  $U_{\phi}(t)$  (блок 3). У блоці 4 відбувається визначення одного із трьох режимів роботи регулятора (опитування перемикача режимів). Якщо це не перший режим, то здійснюється контроль за рівнем напруги (блоки 9 і 11) і якщо напруга виходить за допустимі межі, здійснюється вимкнення секцій БК (блок 10) або увімкнення (блок 12). Таким чином, за допомогою блоків 9,10,11,12 реалізується другий режим роботи регулятора. Після цього здійснюється визначення: чи знаходиться перемикач режимів в позиції 3. Якщо ні, то на цьому цикл керування закінчується. Якщо перемикач режимів встановлений в позицію 3, то виконуються операції, аналогічні першому режиму роботи регулятора.

В блоці 5 здійснюється порівняння фактичного реактивного навантаження з поточною уставкою. Якщо вони рівні, то цикл керування закінчується. Якщо вони різні, то визначається необхідна потужність БК (блок 6), кількість секцій (блок 7) і здійснюється виведення цієї кількості секцій (блок 8) на виконавчий пристрій. На цьому черговий цикл керування закінчується.

Описаний вище пристрій є універсальним. Він розрахований на найбільш складні умови експлуатації (наявність трансформаторів з РПН, вузлів з більш жорсткими вимогами до рівнів напруги і т.д.). Однак, є чимало

підприємств і окремих вузлів з більш простими вимогами до керування КУ. Наприклад, є підприємства і окремі вузли (цехи), в яких спостерігається повторення добового графіка реактивних навантажень. Для таких споживачів запропонована модель керування за часом доби:

$$T_j^{\text{п}} \leq t \leq T_j^{\text{к}} \Rightarrow N(t) = N_j, \quad (2.14)$$

де  $t$  - поточний час доби;  $T_j^{\text{п}}$  - початок  $j$ -го часового періоду;  $T_j^{\text{к}}$  - кінець  $j$ -го часового періоду;  $N(t)$  - кількість секцій БК, ввімкнених в даний момент часу  $t$ ;  $N_j$  - задана кількість секцій БК (уставка) для  $j$ -го часового періоду.

Модель управління (3.62) реалізована в регуляторі на основі однокристалової мікро-ЕОМ, структурна блок-схема якого показана на рис. 2.3

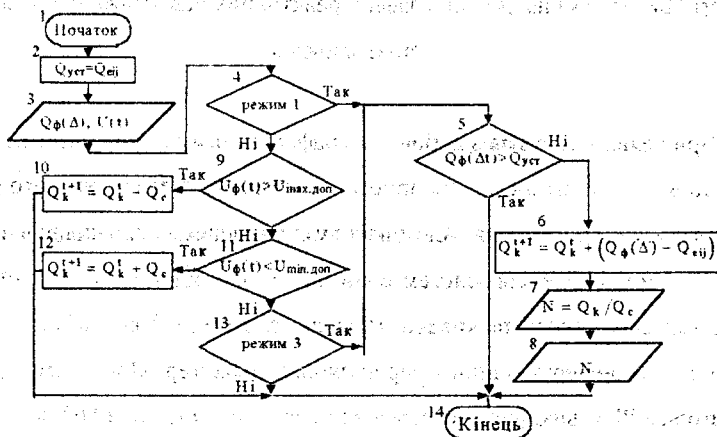


Рисунок 2.2 - Блок-схема алгоритму роботи локального регулятора потужності БК

Основу регулятора складає однокристалова мікро-ЕОМ (ОМ ЕОМ).

Клавіатура і табло служать для задавання уставок ( $T_j^{\text{п}}$  і  $T_j^{\text{к}}$ ) та кількості секцій ( $N_j$ ). Годинник відслідковує поточний час доби. ОМ ЕОМ, одержу-

ючи інформацію від годинника, визначає який часовий інтервал має місце і видає відповідні команди на виконавчий орган, який безпосередньо вмикає задану кількість секцій БК для даного часового інтервалу. Алгоритм керування потужністю БК за часом доби показаний на рис.2.4

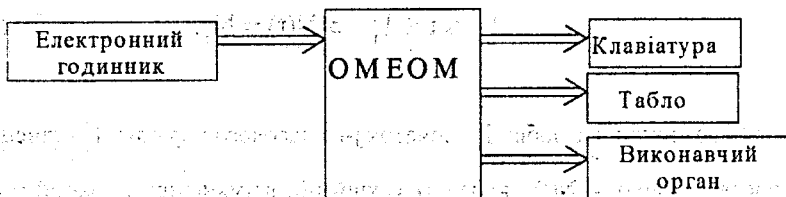


Рисунок 2.4 - Структурна блок-схема регулятора керування потужністю БК для вузлів, добові графіки реактивних навантажень в яких повторюються

При наявності вузлів з добовими графіками реактивних навантажень, що повторюються, застосування описаного вище простого і дешевого регулятора не викликає сумнівів. Але таких вузлів в мережах споживачів не так багато, а в мережах енергосистем вони практично відсутні. Як правило, в окремих вузлах мереж споживачів та енергосистем добові графіки навантажень мають неперіодичний і нерегулярний характер. При цьому трансформатори з РПН використовуються на підстанціях ЕС і на ГПП потужних підприємств. Відомо, що ступінь КРП, який визначений за економічним критерієм, відповідає, як правило, і вимогам ГОСТ 13109-97 до рівнів напруги. В той же час в мережах підприємства можуть бути вузли, від яких одержують живлення електроприймачі і споживачі з підвищеними вимогами до рівнів напруги. З врахуванням викладених вище міркувань та інших факторів, розроблений варіант регулятора локальної дії для автоматичного керування потужністю БК, призначеного для масового застосування в мережах

промислових, сільськогосподарських і комунальних підприємств з параметрами керування за "Q" або "U" [30, 31]. Суть способу керування і метод визначення уставок аналогічні вище описаним. Значення  $Q_{eij}$  вводяться в регулятори, які встановлені в різних вузлах і підтримують ці значення у відповідних режимах електроспоживання. Потужність БК, яка повинна

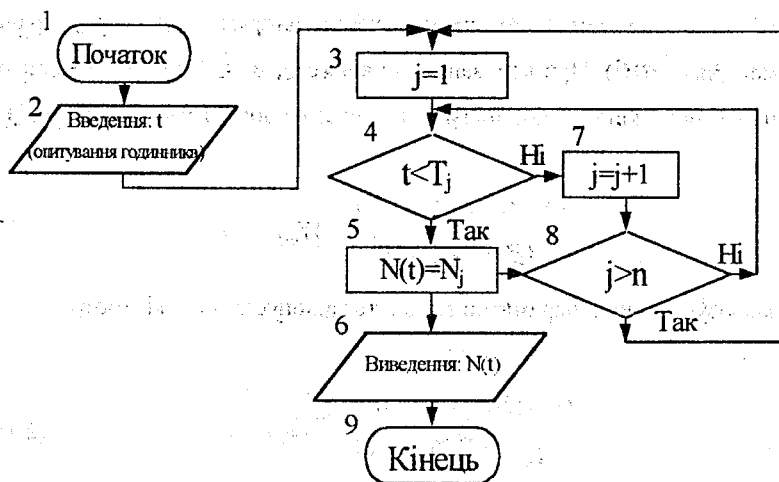


Рисунок 2.4 - Блок-схема алгоритму керування потужністю БК за часом доби

бути ввімкнена в момент часу  $t$  в  $i$ -му вузлі в  $j$ -му режимі (модель керування):

$$Q_{kij}(t) = Q_{kij}(t-1) + (Q_{fij}(t) - Q_{eij}) \quad (2.15)$$

або 
$$Q_{kij}(t) = Q_{kij}(t-1) \pm \Delta Q_{ij}(t), \quad (2.16)$$

де  $Q_{kij}(t)$  - потужність БК, яка повинна бути ввімкнена в момент часу  $t$ ;  $Q_{kij}(t-1)$  - потужність БК в попередній момент часу  $t-1$ ;  $Q_{fij}(t)$  - фактичне реактивне

навантаження і-го вузла в момент часу  $t$ ;  $\Delta Q_{ij}(t)$  - потужність секції БК, яку необхідно ввімкнути або вимкнути в і-му вузлі в момент часу  $t$ .

Параметри керування встановлюють в залежності від вимог до рівнів напруги і наявності трансформаторів з РПН: за "Q" (при відсутності підвищених вимог до рівнів напруги або (і) при наявності трансформаторів з РПН); за "U" (при наявності вимог до рівнів напруги і відсутності трансформаторів з РПН). При керуванні за параметром "Q" або "U" регулятор не спрацьовує, якщо ці параметри знаходяться в допустимих межах, тобто:

$$\left. \begin{aligned} 0,95 \cdot U_{Hn} < U_{ij} < 1,1 \cdot U_{Hn} \\ Q_{ej}^H < Q_{\phi ij} < Q_{ej}^B \end{aligned} \right\} Y_{ВЛХ} = 0 \quad (2.17)$$

і спрацьовує, якщо ці параметри виходять за допустимі межі, тобто

$$\left. \begin{aligned} U_{ij} > 1,1 \cdot U_{Hn} \vee U_{ij} < 0,95 U_{Hn} \\ Q_{\phi ij} > Q_{ej}^B \vee Q_{\phi ij} < Q_{ej}^H \end{aligned} \right\} Y_{ВЛХ} = 1. \quad (2.18)$$

При цьому регулятор вмикає секцію БК при  $Q_{\phi ij} > Q_{ej}^B$  або  $U_{ij} < 0,95 U_{Hn}$  і вимикає при  $Q_{\phi ij} < Q_{ej}^H$  або  $U_{ij} > 1,1 U_{Hn}$ . Структурна блок-схема пристрою керування потужністю БК за параметром "Q" або "U" на основі однокристової мікро-ЕОМ показана на рис. 2.5 Призначення основних блоків і їх взаємодія аналогічні регулятору, зображеному на рис. 2.4. Крім того, додатково в схему включені: датчик реактивної потужності ДРП, перемикач параметра керування ППУ і датчик напруги ДН. Блок-схема алгоритму роботи пристрою представлена на рис.2.6, а його опис і технічні дані наведені нижче: Зовнішній вигляд пристрою показаний на рис. 2.7.

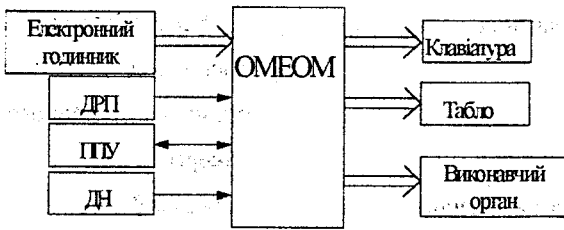


Рисунок 2.5 - Структурна блок-схема пристрою керування потужністю БК за параметром "Q" або "U" на основі однокристалової мікро-ЕОМ

На початку кожного циклу керування в залежності від поточного часу доби визначається і-й характерний добовий режим роботи ЕС і поточному значенню уставки присвоюється значення уставки  $Q_{efj}$  для відповідного j-го режиму (блок 2). Згодом виконується введення фактичного значення реактивного навантаження у вузлі  $Q_{фij}(\Delta t)$  і фактичного рівня напруги  $U_{фi}(\Delta t)$  (блок 3). У блоці 4 відбувається визначення одного із трьох режимів роботи регулятора (опитування перемикача режимів). Якщо це не перший режим, то здійснюється контроль за рівнем напруги (блоки 9 і II) і якщо напруга виходить за допустимі межі, то здійснюється вимкнення секції БК (блок 10) або ввімкнення (блок 12). Таким чином, за допомогою блоків 9,10,11,12 реалізується другий режим роботи регулятора. Після цього визначається чи знаходиться перемикач режимів в позиції 3. Якщо ні, то на цьому цикл керування закінчується. Якщо перемикач режимів встановлений в позицію 3, то виконуються операції, які аналогічні першому режиму роботи регулятора. В блоці 5 виконується порівняння фактичного реактивного навантаження з поточною уставкою. Якщо вони рівні, то цикл керування закінчується. Якщо вони різні, то визначається необхідна потужність БК (блок 6), кількість секцій (блок 7) і здійснюється виведення цієї кількості секцій (блок 8) на виконавчий пристрій. На цьому черговий цикл керування закінчується.

Технічні дані регулятора:

1. Призначення - для керування потужністю батареї конденсаторів і електролічильниками багатозонного обліку електроенергії
2. Напруга живлення - 220 В
3. Потужність, що споживається з мережі - 20 ВА
4. Кількість каналів керування секціями БК - 7 або 14
5. Кількість каналів керування електролічильниками - 2
6. Параметри регулювання - за вхідною реактивною потужністю "Q" або напругою "U"
7. Час зберігання інформації при роботі від резервного джерела живлення - 12 місяців
8. Кількість характерних зон електроспоживання енергосистеми - 4
9. Режим керування секціями БК - автоматичний, місцевий
10. Ширина зони нечутливості при керуванні:
  - 1/2 потужності секції БК, приєднаної за параметром "Q" до каналу 1;
  - 210÷230 В за параметром "U"
11. Користувач має можливість змінювати уставки за вхідною реактивною потужністю і напругою вузла та часом початку і закінчення зон електроспоживання ЕС.
12. У пристрої забезпечується світлова індикація поточної вхідної реактивної потужності вузла, кількості включених секцій БК, наявності на-

пути живлення і команд увімкнення або вимкнення секції БК.

В додатку Б дається структурна блок-схема і короткий опис програми керування для локального регулятора, виконаного на мікропроцесорі К 1816 ВЕ-31. Програма написана мовою "Асемблер".

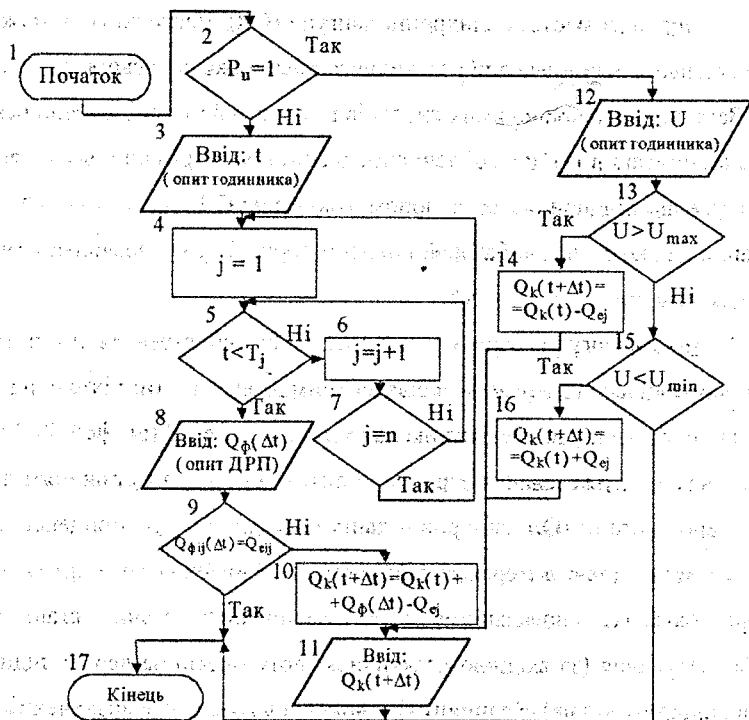


Рисунок 2.6 - Блок-схема керування потужністю БК за допомогою пристрою локальної дії (на основі ОМЕОМ) за параметром "Q" або "U".]

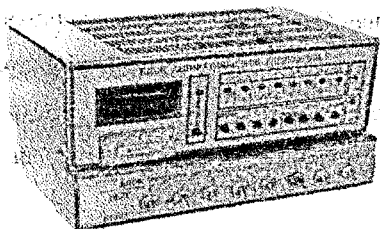


Рисунок 2.7 - Зовнішній вигляд пристрою автоматичного керування потужністю БК за параметром "Q" або "U" на основі однокристалової мікро-ЕОМ

### 3 Спосіб і система керування реактивним навантаженням підприємства за допомогою групи синхронних двигунів (СД)

В різних галузях народного господарства на багатьох підприємствах широко використовуються синхронні двигуни (СД). Часто їхньої потужності достатньо для компенсації реактивного навантаження всього підприємства. Загальні недоліки відомих способів і пристроїв та систем, що реалізують їх, описані в [1]. Розроблені спосіб і система керування реактивним навантаженням підприємства за допомогою групи СД з врахуванням використання для компенсації батарей конденсаторів [32], які дозволяють уникнути зазначених в [1] недоліків.

В першу чергу визначають оптимальні значення реактивної потужності, яку доцільно генерувати еквівалентним джерелам. Математична модель для їх визначення і розрахункова схема подані в [1] (форм.2.58-2.59). Як еквівалентні джерела (за втратами і питомою вартістю) прийняті джерела енергосистеми ( $Q_e$ ), синхронні двигуни ( $Q_{д.0}$ ) і батареї конденсаторів ( $Q_k$ ), які встановлені в мережах підприємства. Значення величин  $Q_e$  і  $Q_k$  використовуються в подальшому для визначення оптимальних уставок для засобів керування (за вхідною реактивною потужністю на вводах підприємств і окремих вузлів). Величину  $Q_{д.0}$  використовують для визначення початкових уставок для СД за умовою мінімуму втрат в двигунах і електричних мережах.

Одержане значення  $Q_e$  порівнюють з величиною вхідної реактивної потужності, яку задала енергосистема на період її максимально активних навантажень  $Q_e$ . За підсумками порівняння визначають уставки:

- для періодів максимуму активних навантажень енергосистеми,

якщо

$$Q_e \leq Q_e', \text{ то } Q_{уст.1} = Q_e, \quad (3.1)$$

якщо  $Q_e > Q_{e'}$ , то  $Q_{уст.1} = Q_{e'}$ , (3.68), (3.2)

- для періоду мінімуму активних навантажень енергосистеми:

$$Q_{уст.2} = Q_{e2} \quad (3.3)$$

- для періодів позапікового електроспоживання енергосистеми:

$$Q_{уст.3} = 0 \quad (3.4)$$

Визначені уставки вводять в систему автоматичного керування групою СД (в задавач уставок). Автоматичний перемикач уставок перемикає уставки в залежності від режиму активних навантажень ЕС. Далі визначають які СД з групи перебувають в роботі, а які у вимкненому стані (виведення в ремонт, аварійна зупинка, обмеження потужності, яка споживається зі сторони енергосистеми і т.п.) і присвоюють ознаці комутації значення рівне 1 для працюючих СД та рівне 0 для вимкнених СД, після чого за допомогою обчислювального пристрою визначають початкові уставки для кожного СД.

Для визначення початкових уставок використовується математична модель, яка наведена в [1] (форм.2.72- 2.78).

Початкові уставки визначаються для режиму найбільших активних навантажень ЕС і вводять в регулювальні пристрої кожного СД.

Керування збудженням групи СД здійснюється за вхідною реактивною потужністю на вводах підприємства. СД служать гнучким балансувальним джерелом реактивної потужності і використовуються для забезпечення заданих енергосистемою або визначених з позиції підприємства оптимальних значень вхідних реактивних потужностей на його вводах.

Математична модель керування СД запищеться так:

$$\left\{ \begin{array}{l} (p_i = 0) \Rightarrow Q_{ij}^n = 0 \\ (p_i = 1, Q_{fj}(\Delta t) < Q_{уст.j}) \Rightarrow Q_{ij}(t + \Delta t) = Q_{ij}^n - \Delta Q_{ij} \\ (p_i = 1, Q_{fj}(\Delta t) = Q_{уст.j}) \Rightarrow Q_{ij}(t + \Delta t) = Q_{ij}^n \\ (p_i = 1, Q_{fj}(\Delta t) > Q_{уст.j}) \Rightarrow Q_{ij}(t + \Delta t) = Q_{ij}^n + \Delta Q_{ij} \end{array} \right. \quad (3.5)$$

де  $Q_{ij}^n$  - початкова уставка для  $i$ -го СД в  $j$ -му режимі електроспоживання;  $Q_{fj}(\Delta t)$  - фактична реактивна потужність на вводі підприємства за період  $\Delta t$  в  $j$ -му режимі електроспоживання ( $\Delta t$  - період часу, по закінченню якого здійснюється контроль за поточними значеннями реактивної потужності на вводах підприємства, вузлами навантаження і СД за допомогою електролічильників реактивної потужності);  $Q_{ij}(t + \Delta t)$  - реактивна потужність, яку повинен генерувати  $i$ -й СД в  $j$ -му режимі електроспоживання після здійснення циклу керування  $\Delta t$ ;  $\Delta Q_{ij}$  - збільшення або зменшення генерації реактивної потужності для  $i$ -го СД в  $j$ -му режимі електроспоживання (при наявності відхилення на вводі підприємства величини  $Q_{fj}(\Delta t)$  від  $Q_{уст.j}$ ).

При збільшенні реактивного навантаження на вводах підприємства генерація реактивної потужності СД підвищується з деяким запізненням порівняно з БК (з низької сторони ТП) і, навпаки, при зменшенні - в першу чергу знижується генерація реактивної енергії СД, а потім вимикаються секції БК. Такий підхід забезпечує зниження в цілому втрат в джерелах реактивної потужності (ДРП).  
При відхиленні поточного (фактичного) значення вхідної реактивної потужності  $Q_{fj}(\Delta t)$  від уставки  $Q_{уст.j}$  на вводах підприємства визначають величину цього відхилення:

$$\Delta Q_j(\Delta t) \triangleq Q_{fj}(\Delta t) - Q_{уст.j} \quad (3.6)$$

де  $j = 1, 2, 3, 4$  (1 - максимум, 2 - мінімум, 3 і 4 - періоди позапікового електроспоживання; при багатоставкових тарифах характерних добових зон може бути і більше) і оптимальне значення (за умовою мінімуму втрат в двинуах та живлячих їх лініях) для кожного СД збільшення (при  $\Delta Q_j(\Delta t) > 0$ ) або зменшення (при  $\Delta Q_j(\Delta t) < 0$ ) генерації реактивної потужності  $\Delta Q_{ij}$  порівняно з початковою уставкою  $Q_{ij}^{\Pi}$ .

Математичну модель для визначення значень  $\Delta Q_{ij}$  запишемо так:

$$\begin{cases} \Delta P = \sum_{i=1}^n a_i \Delta Q_{ij}^2 p_i + \sum_{i=1}^n b_i \Delta Q_{ij} p_i + \sum_{i=1}^n c_i \Delta Q_{ij}^2 p_i \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n \Delta Q_{ij} p_i = Q_{\phi j}(\Delta t) - Q_{\text{всм}, i} = \Delta Q_j(\Delta t); Q_{\phi i}(t) \leq Q_{\text{нр}, \phi i} \end{cases} \quad (3.7)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (3.7) за допомогою методу неозначених множників Лагранжа, одержимо вираз для визначення збільшення або зменшення генерації реактивної потужності для кожного СД:

$$\Delta Q_{ij} p_i = \frac{\lambda_j - b_i}{2(a_i + c_i)} \quad (3.8)$$

де  $\lambda_j$  - неозначений множник Лагранжа для  $j$ -го режиму навантаження енергосистеми або  $j$ -ї тарифної зони доби за електроспоживанням:

$$\lambda_j = \frac{2\Delta Q_j(\Delta t) + \sum_{i=1}^n \frac{b_i p_i}{a_i + c_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{p_i}{a_i + c_i}} \quad (3.9)$$

Із формул (3.5) виходить, що при зміні реактивного навантаження на ввід підприємства на величину  $\Delta Q_j(\Delta t)$ , потужність  $i$ -го СД повинна змінитись на величину  $\Delta Q_{ij}(\Delta t)$  і стати рівною

$$Q_{ij} = Q_{ijп} \pm \Delta Q_{ij}(\Delta t) \quad (3.10)$$

Величина  $\Delta Q_j(\Delta t)$  (форм.3.6) може приймати додатне і від'ємне значення. При  $+\Delta Q_j(\Delta t)$  подається сигнал на всі СД на збільшення генерації реактивної потужності, а при  $-\Delta Q_j(\Delta t)$  - на зменшення.

Якщо при початкових уставках (в СД) умови споживання реактивної потужності на вводі підприємства не виконуються, то після порівняння  $Q_{фj}(\Delta t)$  з  $Q_{устj}$  надходить команда збільшити або зменшити кожному двигуну потужність на величину, яка визначається виразами (3.8) і (3.9). Відхилення поточного значення вхідної реактивної потужності від уставки на вводі підприємства може бути викликане як зміною навантаження, так і кількістю увімкнених двигунів. Зміна кількості увімкнених двигунів приводить до порушення умови оптимізації втрат в СД і живлячих їх ліній. В цих випадках за формулами (2.73)-(2.77) [1] виконують перерахунок початкових уставок для СД, які залишились в роботі. Якщо після їх встановлення на СД умови споживання реактивної потужності на вводі підприємства не виконуються, то за формулами (3.8) і (3.9) визначають для кожного СД збільшення або зменшення генерації реактивної потужності. Перерахунок початкових уставок здійснюють також при вступі в силу технічних обмежень на одному чи декількох СД (ці двигуни вважаються вимкненими).

На рис. 3.1 показана структурна блок-схема системи автоматичного керування збудженням групи СД, яка реалізує запропонований спосіб. Система складається із блоків: автоматичного перемикача уставок (АПУ) 1, задавача уставок (ЗУ) 2, пристрою порівняння (ПП) 3, датчика вхідної реактивної потужності (ДВРП) 4, обчислювального пристрою (ОП) 5, пристрою регулювання струму збудження СД (ПРСЗ) 6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>...6<sub>n</sub>.

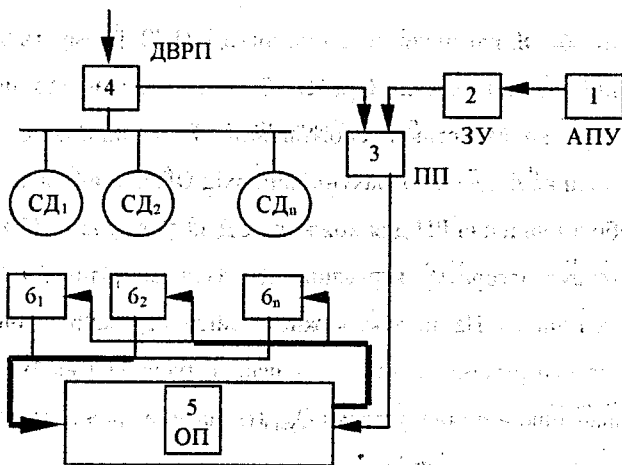


Рисунок 3.1 - Структурна блок-схема системи автоматичного керування збудженням групи СД

Блок-схема алгоритму керування збудженням групи СД показана на рис.3.2. Опис принципу роботи системи і блок-схеми алгоритму керування збудженням СД представлені нижче.

Система працює таким чином. АПУ1 видає сигнал на перемикання уставок за ВРП в залежності від режиму активних навантажень ЕС. ЗУ в залежності від сигналу, сформованого АПУ1, встановлює на своєму виході одну з уставок за ВРП, яка надходить на другий вхід ППЗ, на перший вхід якого надходить сигнал, пропорційний фактичній ВРП. На виході ППЗ формується сигнал, рівний різниці між фактичним значенням ВРП і поточної уставки. Ця різниця  $\Delta Q_{\Sigma}(\Delta t)$  надходить на розрахунковий вхід ОП5. На інформаційні входи ОП5 від ПРСЗ СД 6<sub>1</sub>...6<sub>n</sub> надходять значення ознак комутації від кожного СД (тобто надходить інформація про те, у якому стані знаходиться даний СД у ввімкненому чи вимкненому). Використовуючи сигнали із розрахункового та інформаційного входів, ОП5 здійснює обчислення початкових уставок за формулами (2.73÷2.77). [1] і видає на керуючі входи сигнали, які надходять на блок

ПРСЗ СД  $6_1 \dots 6_n$ . Якщо після цього на виході ППЗ формується сигнал, пропорційний різниці величин  $Q_{фj}(\Delta t)$  і  $Q_{уст,j}$  (це означає, що після встановлення початкових уставок споживання РП не відповідає заданим умовам), то він надійде на розрахунковий вхід ОПЗ, який визначить збільшення або зменшення РП для кожного СД за формулами (3.8-3.10).

Блок-схема алгоритму керування збудженням групи СД (рис. 3.2) працює таким чином. На початку кожного циклу керування здійснюється ідентифікація  $j$ -го режиму електроспоживання (блок 2) з наступним приєднанням значенню поточної уставки  $Q_{уст,j}(t)$  значення рівного уставці ВРП для  $j$ -го режиму  $Q_{уст,j}(t)$  (блок 3).

Після визначення працюючих СД в даний момент часу, в блоці 5 проводиться перевірка: чи змінився  $j$ -й характерний режим. Якщо режим навантажень енергосистеми змінився, то виконується визначення нових початкових уставок для кожного працюючого СД (блок 9) і здійснюється їх виведення на виконавчі органи (блок 10). Якщо режим не змінився, то здійснюється перевірка: чи змінилась кількість працюючих СД порівняно з попереднім циклом керування. Якщо змінилась, то також здійснюють визначення (блок 9) і введення (блок 10) нових початкових уставок. Якщо кількість працюючих СД не змінилась, а також після виводу нових оптимальних уставок виконується введення фактичного реактивного навантаження на ввід підприємства (блок 7) та порівнюється з уставкою і якщо вони рівні, то цикл керування закінчується, а якщо не рівні, то здійснюється визначення оптимальних добавок (блок 11) та визначається потужність, яку повинен генерувати кожний СД (блок 12).

В блоці 13 здійснюється перевірка: чи не перевищує реактивна потужність, що генерується СД, допустиму (за умовою нагрівання). Якщо ні, то виконується виведення значення потужності, яку повинен генерувати кожний СД (блок 14). Якщо перевищення сталось, то даний СД вимикається.

ся з процесу керування (блок 15) і здійснюється повторний процес визначення нових початкових уставок (блоки 9 і 10).

Таким чином, визначення оптимальних уставок за відносно реактивною потужністю на ввіді підприємства з врахуванням інтересів енергосистеми і споживача, оптимальних початкових уставок і добавок для кожного СД (за умовою мінімуму втрат в СД і живлячих їх лінійх), автоматичне переключення уставок в залежності від режимів активних навантажень енергосистеми, зменшення часу регулювання дозволяє суттєво підвищити ефективність керування (за рахунок зниження втрат в СД та мережах і витрат на реактивну потужність та енергію).

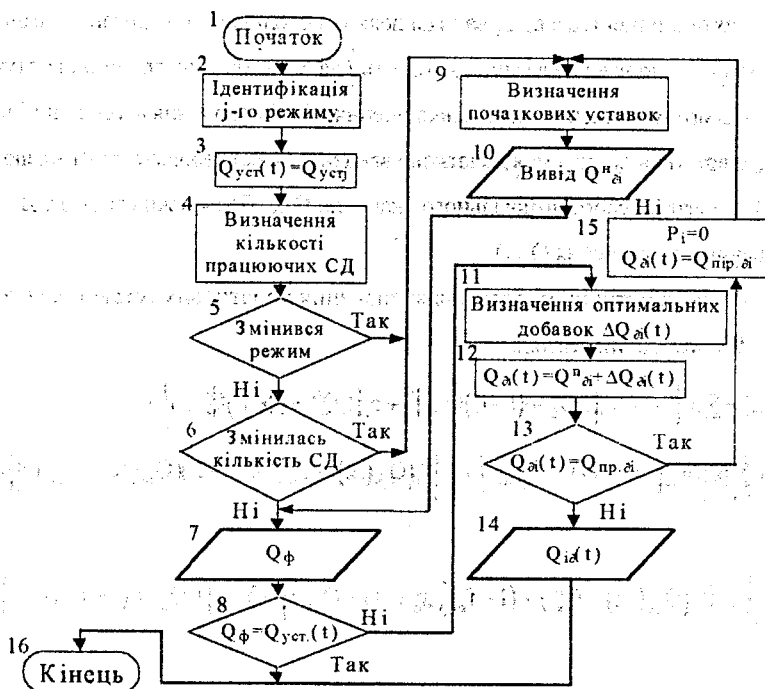


Рисунок 3.2 - Блок-схема алгоритму керування збудженням групи СД

#### 4 Способи і системи сумісного та комбінованого (роздільного) керування БК і СД [14]

На багатьох підприємствах для компенсації реактивної потужності застосовуються СД і БК. Тому виникає необхідність в розробці оптимального сумісного керування БК і СД.

Спосіб централізованого сумісного керування БК і СД ґрунтується на визначенні початкових оптимальних уставок (значень РП, яку повинен генерувати кожний робочий  $i$ -й СД і  $s$ -я БК в  $j$ -му добовому режимі при врахуванні виконання вимог енергосистеми до споживання РП з її мережі і досягненні мінімуму втрат потужності в джерелах (СД і БК), живлячих їх лініях і розподільних мережах підприємства з врахуванням деяких особливостей керування (зміни кількості КУ в процесі керування, виходу їх з ладу, досягненні граничної потужності СД за умовами нагрівання, включення або відключення всіх секцій БК і ін.). Для врахування цих умов додатково введена ознака керованості  $f$  ( $f=0$ , якщо  $s$ -я БК досягнула свого номінального значення  $Q_{\text{ннс}}$  або потужність  $i$ -го СД - свого граничного значення  $Q_{\text{гр.д}}$ ).

Математична модель для визначення початкових уставок для кожного КУ має такий вигляд:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n p_i \left\{ (a_i + c_i) [f_i Q_{\text{д}}^{\text{п}} + (1-f_i) Q_{\text{р.д}i}]^2 + b_i [f_i Q_{\text{д}}^{\text{п}} + (1-f_i) Q_{\text{р.д}i}] \right\} + \sum_{s=1}^m p_s \left\{ \Delta P_{\text{кв}} [f_s Q_{\text{кв}}^{\text{п}} + (1-f_s) Q_{\text{ннс}}] + e_s [f_s (Q_{\text{фв}}(\Delta t) - Q_{\text{кв}}^{\text{п}})^2 + (1-f_s) (Q_{\text{фв}}(\Delta t) - Q_{\text{ннс}})^2] \right\} \rightarrow \min \quad (4.1)$$

$$\sum_{i=1}^m p_s [f_s (Q_{\text{фв}}(\Delta t) - Q_{\text{кв}}^{\text{п}}) + (1-f_s) (Q_{\text{фв}}(\Delta t) - Q_{\text{ннс}})] - \sum_{i=1}^n p_i [f_i Q_{\text{д}i}^{\text{п}} + (1-f_i) Q_{\text{р.д}i}] = Q_{\text{с}j} \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^n p_i [f_i Q_{\text{д}i}^{\text{п}} + (1-f_i) Q_{\text{р.д}i}] = Q_{\text{с}0j} \quad (4.3)$$

$$\sum_{s=1}^m p_s [f_s Q_{ks}^{\Pi} + (1-f_s) Q_{\Pi ks}] = Q_{k,oj} \quad (4.4)$$

де  $Q_{л,oj}$  - сумарна оптимальна потужність СД, яку доцільно генерувати групою СД в j-му режимі;  $Q_{к,oj}$  - сумарна оптимальна потужність, яку доцільно генерувати БК;  $\Delta P_{ks}$  - питомі втрати активної потужності в s-й БК;  $e_s$  - коефіцієнт, що характеризує втрати в лінії, яка живить s-й вузол.

Враховуючи, що рівняння (4.2), (4.3) і (4.4) лінійно залежні, то для визначення початкових уставок БК використовуються цільова функція (4.1) і обмеження виду (4.2):

$$Q_{ks}^{\Pi} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } p_s = 0 \text{ I } f_s = 1 \\ Q_{fs}(\Delta t) - (\lambda_k + \Delta P_{ks}) / (2e_s), & \text{якщо } p_s = 1 \text{ I } f_s = 1 \\ Q_{nks}, & \text{якщо } p_s = 1 \text{ I } f_s = 0 \end{cases} \quad (4.5)$$

$$\lambda_k = \left[ Q_{ej} + Q_{л,oj} + \sum_{s=1}^m p_s (1-f_s) (Q_{fs}(\Delta t) - Q_{nks}) - \sum_{s=1}^m (p_s f_s \Delta P_{ks} / (2e_s)) \right] / \left[ \sum_{s=1}^m (p_s f_s / (2e_s)) \right] \quad (4.6)$$

Для визначення початкових уставок СД використовуються цільова функція (4.1) і обмеження виду (4.3):

$$Q_{\alpha}^{\Pi} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } p_i = 0 \text{ I } f_i = 1 \\ (-\lambda_{\alpha} - b_i) / (2(a_i + c_i)), & \text{якщо } p_i = 1 \text{ I } f_i = 1 \\ Q_{гр, \alpha i}, & \text{якщо } p_i = 1 \text{ I } f_i = 0 \end{cases} \quad (4.7)$$

$$\lambda_{\alpha} = \left[ Q_{\alpha} - \left( \sum_{s=1}^m Q_{fs}(\Delta t) \right) + \left( \sum_{i=1}^n p_i (1-f_i) Q_{гр, \alpha i} \right) + \left( \sum_{i=1}^n p_i f_i b_i / (2(a_i + c_i)) \right) \right] / \left[ \sum_{i=1}^n p_i f_i / (2(a_i + c_i)) \right] \quad (4.8)$$

Математична модель для визначення оптимальних добавок запишеться так:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \left\{ p_i f_i \left[ (a_i + c_i) \Delta Q_{\bar{a}i}^2(t) + b_i \Delta Q_{\bar{a}i}(t) \right] + \sum_{s=1}^m p_s f_s \left[ e_s (Q_{\text{тмс}}(\Delta t) - Q_{\text{кс}}(t))^2 + \Delta P_{\text{кс}} Q_{\text{кс}}(t) \right] \right\} \rightarrow \min; \quad (4.9)$$

$$\sum_{s=1}^m p_s f_s (Q_{\text{тмс}}(\Delta t) - \Delta Q_{\text{кс}}(\Delta t)) - \sum_{i=1}^n p_i f_i \Delta Q_{\bar{a}i}(t) = Q(\Delta t)$$

Значення оптимальних добавок для СД:

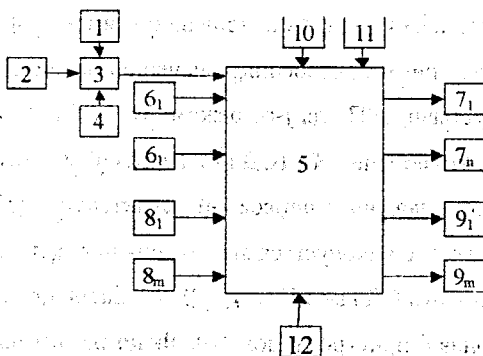
$$\Delta Q_{\bar{a}i}(t) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } p_i = 0 \text{ або } f_i = 0 \\ (\lambda - b_i) / (2(a_i + c_i)), & \text{якщо } p_i = 1 \text{ і } f_i = 1 \end{cases} \quad (4.10)$$

$$\lambda = \left[ \Delta Q(\Delta t) - \sum_{i=1}^n b_i p_i f_i / (2(a_i + c_i)) - \sum_{s=1}^m \Delta P_{\text{кс}} p_s f_s / (2e_s) \right] / \left[ \sum_{i=1}^n p_i f_i / (2(a_i + c_i)) - \sum_{s=1}^m p_s f_s / (2e_s) \right] \quad (4.11)$$

За допомогою описаного способу реалізується така модель керування:

$$\begin{aligned} (p_i = 0) &\Rightarrow \Delta Q_{\bar{a}i}(t) = 0, \\ (p_i = 1, f_i = 1, Q_{\bar{a}}(\Delta t) = Q_{\bar{a}}) &\Rightarrow Q_{\bar{a}i}(t) = Q_{\bar{a}}^{\text{II}} + \Delta Q_{\bar{a}i}(t), \\ (p_i = 1, f_i = 0) &\Rightarrow Q_{\bar{a}i}(t) = Q_{\text{гр.а.}}, \\ (p_s = 0) &\Rightarrow Q_{\text{кс}}(t) = 0, \\ (p_s = 1, f_s = 1, Q_{\bar{a}}(\Delta t) = Q_{\bar{a}}) &\Rightarrow Q_{\text{кс}}(t) = Q_{\text{кс}}^{\text{II}} + \Delta Q_{\text{кс}}(t), \\ (p_s = 1, f_s = 0) &\Rightarrow Q_{\text{кс}}(t) = Q_{\text{тмс}} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Структурна блок-схема системи сумісного керування БК і СД подана на рис. 4.1. Вона складається з автоматичного перемикача уставок (АПУ) 1, задавача уставок (ЗУ) 2, вихід якого з'єднаний з першим входом пристрою порівняння (ПП) 3, другий вхід якого з'єднаний з датчиком вхідної реактивної потужності (ДВРП) 4, що встановлений на вводі підприємства. Вихід ПП 3 з'єднаний з другим інформаційним входом обчислювального пристрою (ОП) 5, перший інформаційний вхід якого з'єднаний з виходами датчиків РП СД  $6_1, \dots, 6_n$  і датчиків РП БК  $8_1, \dots, 8_m$ . Керуючий вихід ОП 5 з'єднаний з входами пристроїв регулювання струму збудження (ПРСЗ) СД  $7_1, \dots, 7_n$  і блоками керування секціями БК (БУСБК)  $9_1, \dots, 9_m$ . Виходи блоків 10 (коэф. а), 11 (коэф. б) і 12 (коэф. с) з'єднані з ОП5. Опис принципу роботи системи і блок-схеми алгоритму керування подані нижче (рисуюнок 4.2).



Рисуюнок 4.1 - Структурна блок-схема системи сумісного керування СД і БК

Система працює таким чином. АПУ1 видає сигнал на переключення уставок за ВРП в залежності від режиму навантажень ЕС, що наступив, ЗУ2, в залежності від сигналу, сформованого АПУ1, встановлює на своєму виході відповідну даному режиму уставку, яка надходить на перший вхід ПП3. На другий вхід ПП3 надходить сигнал, пропорційний фактичній ВРП, що споживається. На виході ПП3 формується сигнал, рівний різниці між фактичною ВРП і поточною уставкою. Ця різниця надходить на дру-

гий інформаційний вхід ОП5. На перший інформаційний вхід ОП5 надходить інформація від датчиків РП СД  $6_1 \dots 6_n$  і БК  $8_1 \dots 8_m$ , на основі якої ОП5 визначає які СД і БК знаходяться в роботі, які вимкнені і які досягли граничного значення (за умовою нагрівання статора і ротора). На основі інформації, що поступила на перший і другий інформаційні входи ОП5, відповідно алгоритму, що показаний на рис. 4.2, виконує обчислення початкових уставок і видає їх значення на керуючий вихід, з якого вони надходять на відповідні ПРСЗ СД  $7_1 \dots 7_n$  і БУСБК  $9_1 \dots 9_m$ , які виконують даний сигнал керування. Якщо після цього на виході ППЗ продовжує залишатись сигнал більший за ширину зони нечутливості, що свідчить про невідповідність фактичної ВРП і поточної уставки, ОП5 за алгоритмом (рис. 3.39) виконує обчислення оптимальних добавок і видає їх значення на керуючий вихід.

Блок-схема алгоритму, що реалізує даний спосіб, подана на рис. 4.2. На початку кожного циклу керування здійснюється ідентифікація  $j$ -го режиму (блок 2) з наступним присвоєнням значенню поточної уставки  $Q_{уст,j}$  значення рівного уставці ВРП для  $j$ -го режиму  $Q_{уст,j}$  (блок 3). Після цього визначається кількість робочих КУ (СД і БК) в даний момент часу, в блоці 5 здійснюється перевірка: чи змінився  $j$ -й характерний добовий режим. Якщо режим змінився, то виконується визначення нових початкових оптимальних уставок для  $i$ -го СД і  $s$ -ї БК (блок 9) та здійснюється їх виведення на відповідні виконавчі пристрої (блок 10). Якщо режим навантажень не змінився, то виконується перевірка: чи не змінилась кількість робочих КУ порівняно з попереднім циклом керування. Якщо змінилась, то здійснюється визначення (блок 9) і виведення (блок 10) нових початкових оптимальних уставок. Якщо кількість робочих КУ не змінилась, а також після виведення нових оптимальних значень, здійснюється введення фактичного реактивного навантаження на ввіді підприємства (блок 7) і порівнюється з поточною уставкою за ВРП (блок 8). Якщо вони рівні, то цикл керування на цьому закінчується. Якщо не рівні, то виконується визначення оптима-

льних добавок для  $i$ -го СД і  $s$ -ї БК для даного циклу керування (даного моменту часу) (блок 11) та визначаються потужності  $i$ -го СД і  $s$ -ї БК в даному циклі керування. В блоці 13 виконується перевірка: чи не досягнув  $i$ -й СД свого граничного значення (за умовою нагрівання). Якщо так, то його ознаці керування присвоюють значення, що дорівнює нулю ( $f_i = 0$ ), а установці присвоюють значення, яке дорівнює гранично-допустимій потужності даного СД і здійснюють визначення нових початкових уставок (блок 9) і т.д. В блоці 14 здійснюється перевірка: чи не досягнула  $s$ -я БК своєї установленної потужності. Якщо так, то її ознаці керування присвоюється значення, що дорівнює нулю ( $f_s = 0$ ), а уставку встановлюють рівною номінальній потужності даної БК. Якщо обчислені значення не виходять за обмеження, то здійснюють їх виведення на відповідні виконавчі пристрої (блок 15). На цьому цикл керування закінчується.

Описаний спосіб і систему необхідно застосовувати в тому випадку, коли БК і СД розосереджені по території підприємства (на різній відстані від ГПП або ЦРП).

Часто високовольні СД зосереджені в одному місці і одержують живлення від РП 6(10) кВ або ГПП (наприклад, компресорна станція). В таких випадках доцільно застосовувати запропонований спосіб комбінованого (роздільного) керування БК і СД, суть якого полягає в наступному:

1. Керування БК 0,38 кВ здійснюється за допомогою локальних регуляторів за ВРП відповідних вузлів. При наявності в ряді вузлів підвищених вимог до рівнів напруги застосовуються пристрої з керуванням за параметром "U".

2. Керування БК 6(10) кВ здійснюється способом саморегулювання (шляхом їх приєднання на затискувачі асинхронних двигунів напругою 6 або 10 кВ).

При наявності в окремих вузлах або на ввіді підприємства стабільного найменшого реактивного навантаження передбачаються нерегульовані секції БК.

4. Керування групою СД здійснюється за ВРП на ввіді підприємства з врахуванням можливих обмежень зі сторони енергосистеми і інтересів споживача. СД в даному випадку служать балансувальним гнучким джерелом реактивної потужності.

5. Уставки для локальних регуляторів в окремих вузлах визначають за умови мінімуму втрат в електричних мережах.

6. Потужність БК визначають з врахуванням використання СД.

7. Початкові уставки для СД визначають для режиму найбільших реактивних навантажень підприємства. Початкові і наступні уставки для інших зон і в разі нестабільних та малоймовірних режимів визначаються за умови мінімальних втрат в мережах і СД.

8. Уставки для пристроїв та систем керування БК і СД визначаються за методикою, яка викладена в попередніх підрозділах.

Як видно із вищевикладеного, спосіб комбінованого (роздільного) керування КУ поєднує в собі три способи: централізований (СД), локальний (БК 0,38кВ) і самокерування (БК 6(10)кВ). При цьому затрати на лінії зв'язку мінімальні, тому що СД знаходяться в одному вузлі мережі підприємства. Використання саморегульованих БК 6(10) кВ (без додаткової комутаційної і регульовальної апаратури) зменшує затрати на компенсацію.

В цілому запропоновані способи системи сумісного і комбінованого (роздільного) керування КУ дозволяють врахувати особливості електричних мереж різних підприємств, виконувати вимоги енергосистеми щодо споживання реактивної потужності з її мережі і досягати мінімуму втрат електроенергії в мережах та джерелах РП.

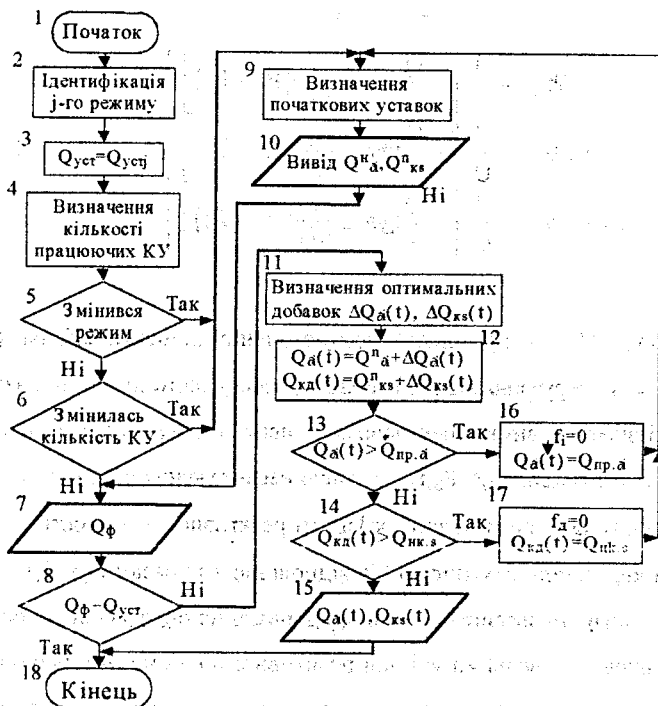


Рисунок 4.2 - Блок-схема алгоритму сумісного керування БК і СД

## 5 Спосіб і система керування компенсувальними установками в електричних мережах з несиметричним навантаженням

В мережах споживачів з несиметричними навантаженнями батареї конденсаторів (БК) використовують для компенсації реактивної потужності і симетрування навантажень. Реактивна потужність, що споживається, і несиметрія навантажень в мережі змінюються за часом, що вимагає відповідної зміни потужності БК. Така задача вирішується в пристрої, який описується в [33]. Відповідно з [33] закон керування потужністю БК при їх використанні для компенсації і симетрування записується так:

$$\left. \begin{aligned} b_0 + \Delta b_{BC} &= \frac{1}{U^2} \left[ -\frac{Q}{9} \operatorname{tg}\varphi - \frac{2}{3\sqrt{3}} (P_B - P_C) \right]; \\ b_0 + \Delta b_{CA} &= \frac{1}{U^2} \left[ -\frac{Q}{9} \operatorname{tg}\varphi - \frac{2}{3\sqrt{3}} (P_C - P_A) \right]; \\ b_0 + \Delta b_{AB} &= \frac{1}{U^2} \left[ -\frac{Q}{9} \operatorname{tg}\varphi - \frac{2}{3\sqrt{3}} (P_A - P_B) \right]; \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

де  $\Delta b_{AB}$ ,  $\Delta b_{BC}$ ,  $\Delta b_{CA}$  - провідності несиметричних елементів БК, які забезпечують повне симетрування навантаження;  $b_0$  - провідність симетричної частини БК, яка забезпечує повну компенсацію реактивної потужності;  $Q$  - величина реактивного навантаження;  $P_A, P_B, P_C$  - активні навантаження по фазах;  $U$  - фазна напруга мережі;  $\operatorname{tg}\varphi$  - початковий коефіцієнт реактивної потужності.

При керуванні потужністю БК відповідно з виразами (5.1) не враховуються вимоги енергосистеми щодо підтримання оптимальних або технічно обґрунтованих величин вхідної реактивної потужності в періоди максимуму і мінімуму активних навантажень енергосистеми, що значною мірою знижує ефективність керування. Не передбачена можливість зміни уставок за вхідною реактивною потужністю протягом доби. Цих недоліків можна уникнути, якщо закон керування потужністю БК записати так [34]:

$$\left. \begin{aligned} b'_0 + \Delta b_{BC} &= \frac{1}{U^2} \left[ -\frac{1}{3} (Q - Q_{Bx}) - \frac{2}{3\sqrt{3}} (P_B - P_C) \right]; \\ b'_0 + \Delta b_{CA} &= \frac{1}{U^2} \left[ -\frac{1}{3} (Q - Q_{Bx}) - \frac{2}{3\sqrt{3}} (P_C - P_A) \right]; \\ b'_0 + \Delta b_{AB} &= \frac{1}{U^2} \left[ -\frac{1}{3} (Q - Q_{Bx}) - \frac{2}{3\sqrt{3}} (P_A - P_B) \right]; \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

Величина провідності елемента симетричної частини БК  $b'_0$ , при якій забезпечується задана енергосистемою вхідна реактивна потужність в

період максимуму навантаження енергосистеми, визначається за формулою:

$$b'_0 = \frac{1}{3U^2} (Q - Q_{\text{Вх}}) \quad (5.3)$$

Вхідна реактивна потужність визначається за формулою:

$$Q_{\text{Вх}} = \frac{3I_{1к} - 3I_{1с}}{2(3z_{2с} + C_0 / (U^2 R_c^{\text{НС}}))}, \quad (5.4)$$

де  $3I_{1к}$  - питомі затрати на встановлення і експлуатацію БК;  $3I_{1с}$ ,  $3z_{2с}$  - питомі затрати на передавання реактивної потужності по мережах енергосистеми, які залежать в першому і другому ступенях від потужності, що передається;  $C_0$  - питома вартість втрат активної потужності;  $R_c^{\text{НС}}$  - еквівалентний опір мережі споживача з врахуванням несиметрії навантажень:

$$R_c^{\text{НС}} = R_c (1 + K_1^2); \quad (5.4)$$

$R_c$  - еквівалентний опір мережі споживача;  $K_1$  - коефіцієнт несиметрії струмів навантажень споживача.

Оскільки  $R_c^{\text{НС}} \geq R_c$ , то це призводить до зменшення вхідної реактивної потужності для споживача з несиметричними навантаженнями порівняно з симетричним споживачем. Фізично це пояснюється врахуванням додаткових втрат потужності від несиметричних навантажень, які знижуються за рахунок зміни провідностей  $\Delta b_{\text{ВС}}$ ,  $\Delta b_{\text{СА}}$ ,  $\Delta b_{\text{АВ}}$ .

На рис 5.1 подана структурна блок-схема пристрою, який дозволяє керувати потужністю БК відповідно з (5.2). В пристрої несиметричне навантаження 1 присьднане до трифазного джерела 2 через датчик актив-

ної потужності 3 і датчик реактивної потужності 4, який формує на виході напругу, пропорційну сумарній реактивній потужності навантаження  $Q$ . Віднімальний з напруги пристрій 5, пропорційний реактивній потужності навантаження  $Q$ , віднімає напругу, пропорційну вхідній реактивній потужності  $Q_{вх}$ , яка формується задавачем вхідної реактивної потужності 6. На виході віднімального пристрою 5 формується напруга, пропорційна величині  $1/3 (Q - Q_{вх})$ . Ця напруга надходить на операційні блоки 7<sub>1</sub>, 7<sub>2</sub>, 7<sub>3</sub> і після цього надходить на вхід суматора 11 (рис. 5.1). Виходи операційних блоків підключені до керуючих входів симетрувального пристрою 9, який має три реактивних елементи, з'єднаних в трикутник і підключених паралельно до несиметричного трифазного навантаження. Датчик активної потужності 3 формує на виходах напруги пропорційні активним потужностям в кожній фазі  $P_A, P_B, P_C$ . Ці напруги попарно надходять на входи операційних блоків 7<sub>1</sub>, 7<sub>2</sub>, 7<sub>3</sub> і після цього надходять на входи віднімального пристрою 10, який в залежності від номера блока формує напругу, пропорційну одній із величин:

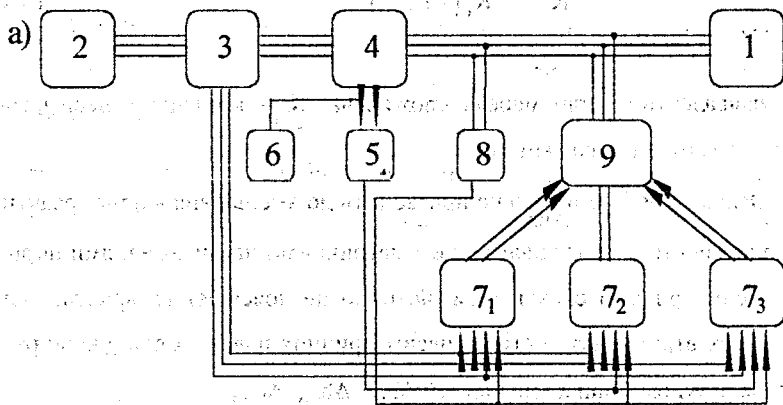


Рисунок 5.1 (а) – Система для автоматичного симетрування навантаження і компенсації реактивної потужності

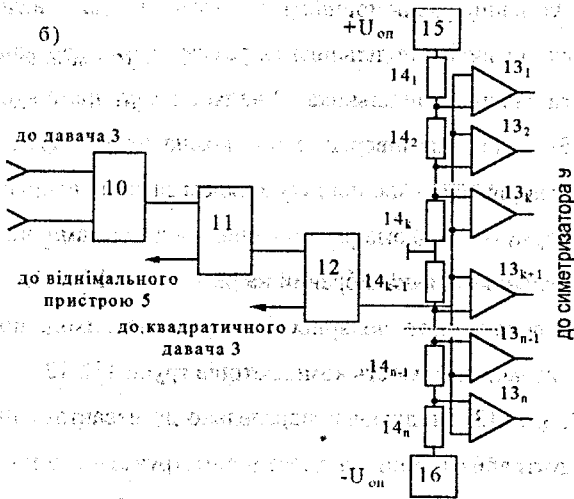


Рисунок 5.1 (б) - блок-схема операційного блока

$$\left[ -\frac{2}{3\sqrt{3}}(P_B - P_C) \right]; \left[ -\frac{2}{3\sqrt{3}}(P_C - P_A) \right]; \left[ -\frac{2}{3\sqrt{3}}(P_A - P_B) \right];$$

Ця напруга надходить на другий вхід суматора 11, який в залежності від номера операційного блока на виході формує напругу, пропорційну величині

$$\left[ -\frac{1}{3}(Q - Q_{Bx}) - \frac{2}{3\sqrt{3}}(P_B - P_C) \right];$$

або  $\left[ -\frac{1}{3}(Q - Q_{Bx}) - \frac{2}{3\sqrt{3}}(P_C - P_B) \right]; \left[ -\frac{1}{3}(Q - Q_{Bx}) - \frac{2}{3\sqrt{3}}(P_A - P_B) \right];$

Ця напруга надходить на перший вхід подільника 12, на другий вхід якого з квадратичного датчика напруги 8 надходить напруга, пропорційна квадрату діючої напруги мережі. Подільник 12 ділить ці дві напруги і на

виході формує напругу, пропорційну діленому цих двох величин. Таким чином, напруга на виході подільника 12 реалізує закон керування (5.2).

Напруга на виході лічильника 12 надходить на прямі входи компараторів  $13_1, 13_2, \dots, 13_k$  і на інверсні входи компараторів  $13_{k+1}, 13_{k+2}, \dots, 13_n$ . Компаратори порівнюють цю напругу з рядом заданих напруг обох полярностей, які формуються двома різнополярними джерелами опірної напруги 15 і 16 та подільником, який зібраний на резисторах  $14_1, 14_2, \dots, 14_{n+2}$ . В залежності від величини та полярності напруги на виході подільника 12 спрацьовує визначена кількість компараторів групи  $13_1, 13_2, \dots, 13_k$  або групи  $13_{k+1}, 13_{k+2}, \dots, 13_n$  і підключає паралельно до навантаження визначену кількість індуктивних і ємних елементів симетрувального пристрою в кожному його плечі. Блок-схема алгоритму керування БК з метою компенсації реактивної потужності і симетрування електричних навантажень, що реалізує описаний спосіб, показана на рис. 3.41, а її опис наведений нижче. В блоці 2 відбувається введення вхідної реактивної потужності  $Q_{вх}$ , тобто відбувається опитування задавачів ВРП. В блоці 3 відбувається введення значення реактивної потужності споживача  $Q$ . Це значення надходить від датчика 4 реактивної потужності. В блок 4 вводиться значення напруги, яке знімається з датчика 8 напруги. В блоці 5 визначаються величини провідності елемента симетричної частини БК  $b'_0$ , при якій забезпечується задана енергосистемою вхідна реактивна потужність.

В блоці 6 виконуються введення активних потужностей кожної фази  $P_A, P_B, P_C$ , які сформувались на виході датчика 3 активної потужності.

В блоці 7 здійснюється обчислення величин провідностей несиметричних елементів БК  $\Delta V_{BC}, \Delta V_{CA}, \Delta V_{AB}$ , які забезпечують повне симетрування навантаження. В блоці 8 визначаються елементи БК, які забезпечують виконання вимог енергосистеми щодо споживання РП з її мережі, і повне симетрування навантаження. Ці величини виводяться на керуючі входи симетрувального пристрою 9 (блок 9).

Таким чином, описані спосіб і система окрім симетрування навантаження дозволяють підтримувати задану енергосистемою величину ВРП. Розширені функціональні можливості системи дозволяють зменшити затрати на реактивну потужність і енергію.

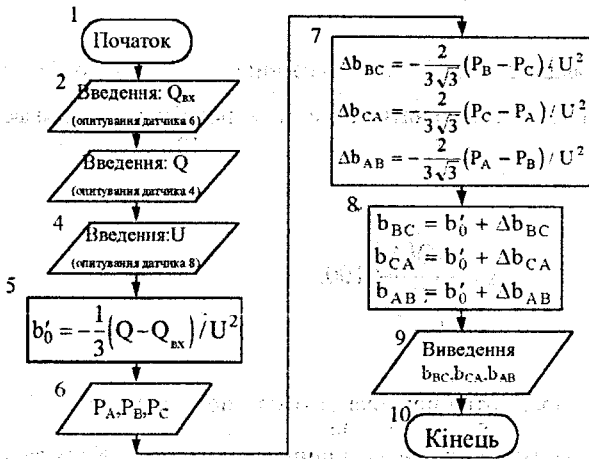


Рисунок 5.2- Блок-схема алгоритму керування БК з метою компенсації реактивної потужності і симетрування електричних навантажень

## 6 Критерії оцінювання похибки і ефективності оптимального керування компенсуючими установками

Всі запропоновані і описані вище способи та технічні засоби оптимального керування призначені для виконання двох основних функцій: підтримання на вводі підприємства заданого значення ВРП та забезпечення мінімуму втрат потужності і електроенергії в мережах споживача.

Очевидно, що похибка оптимального керування КУ визначається похибкою виконання функцій [35-37].

Критерієм виконання першої функції може служити величина різниці між фактичним і заданим значенням вхідної реактивної потужності на ввіді підприємства після кожного циклу керування (абсолютна похибка)

$$\Delta Q(\Delta t) = Q_{\phi}(\Delta t) - Q_{ej} \quad (6.1)$$

Відповідно до ГОСТ 13600-68 границі додаткової похибки оптимального керування КУ можна оцінити приведеною похибкою (в %) за формулою:

$$\gamma = \frac{\Delta Q(\Delta t)}{Q_{ej}} \cdot 100, \quad (6.2)$$

де  $\Delta Q(\Delta t)$  - абсолютна похибка оптимального керування КУ, яка зумовлена дискретністю керування величини (потужністю БК і їх секцій), неврахуванням втрат реактивної потужності, похибкою датчиків і ін.;  $Q_{ej}$  - задане (нормоване) значення керованої величини.

В принципі значення величин  $\Delta Q(\Delta t)$  і  $\gamma$  можуть визначатись в процесі керування та виводитись на інформаційний блок пристрою чи системи керування. За критерієм виконання другої функції буде цілком природно використати величину коефіцієнта  $K_o$  [1], який характеризує відхилення фактичного поточкорозподілу реактивної потужності в електричній мережі підприємства від оптимального значення (за умовою мінімуму втрат) в даному циклі керування:

$$K_o = \frac{R_{e,н}}{R_c} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2(\Delta t) r_i}{Q_{\phi}^2(\Delta t) R_s} = \frac{\Delta P_{\phi}(\Delta t)}{\Delta P_{\min}(\Delta t)}, \quad (6.3)$$

де  $\Delta P_{\phi}(\Delta t)$  - фактичні втрати активної потужності, зумовлені фактичним потокорозподілом реактивної потужності за період  $\Delta t$  при споживанні на ввіді величини  $Q_{\phi}(\Delta t)$ ;  $\Delta P_{\min}(\Delta t)$  - мінімально можливі втрати в мережі підприємства при споживанні на його ввіді величини  $Q_{\phi}(\Delta t)$  і оптимальному її розподілу серед вузлів мережі підприємства.

Похибка всіх централізованих способів і пристроїв керування, зумовлених їх дискретністю, залежить від вибраної величини зони нечутливості  $\Delta t$  і потужності секцій БК  $Q_c$ , що вмикаються чи вимикаються в період кожного циклу керування. Значення цих величин повинні бути узгоджені між собою. Необхідно також враховувати і те, що потужність регульованих секцій різних БК, а також і в одній БК, можуть бути різними. Потужність секцій визначається графіком навантаження того чи іншого вузла і типом комплектних БК та силових конденсаторів.

Якщо потужність секцій БК однакова або відрізняється незначною мірою, за ширину зони нечутливості доцільно прийняти половину потужності однієї секції БК. При такій зоні нечутливості пристрій спрацює при умові:

$$Q_{\phi}(\Delta t) - Q_{c_j} \geq \pm Q_c/2 \quad (6.4)$$

При ввімкненні або вимкненні однієї секції буде гарантована похибка не більша  $\pm Q_c/2$ . Якщо потужність секцій значно відрізняється, то за ширину зони нечутливості доцільно прийняти половину потужності тієї секції, яка належить до множини секцій, що переважають за кількістю і потужністю на даному підприємстві (наприклад, більше 2/3 від всієї кількості або потужності). За таких умов вірогідність перевищення погрішності, більшої за половину секції БК, буде значно меншою, порівняно з іншими варіантами. Дещо інакше виглядають справи з визначенням похибки при використанні способу і системи централізованого керування БК шляхом контролювання оптимальності потокорозподілу РП в окремих вузлах. В даному способі похибка може приймати величину значно більшу за половину потужності

секції, тобто  $|\Delta Q| \gg Q_0/2$ . Це пояснюється тим, що при відхиленні в окремих вузлах  $Q_{\phi i}$  від  $Q_{ci}$  в межах зони нечутливості, система не спрацює, тому що на вводах всіх вузлів, в яких встановлені БК, наближено (з точністю до  $\pm Q_0/2$ ) зберігається умова поточкорозподілу:

$$0 < |Q_{\phi i} - Q_{ci}| < Q_0/2 \quad (6.5)$$

В той же час на вводі підприємства може накопичуватись сумарна похибка керування

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n (Q_{\phi i} - Q_{ci}) \quad (6.6)$$

Величина сумарної похибки буде залежати від знака відхилень. Можливі такі випадки:  $\Delta Q \approx 0$  при різнополярних відхиленнях;  $\Delta Q = -\Delta Q_{\max}$  при однаковому від'ємному знаку відхилення;  $\Delta Q = +\Delta Q_{\max}$  при однаковому позитивному знаку відхилення і безліч проміжних варіантів, при яких сумарна похибка на вводі підприємства зменшується (порівняно з випадками  $\pm \Delta Q_{\max}$ ) за рахунок взаємної компенсації різнополярних відхилень.

Для уникнення або суттєвого зменшення величини  $\Delta Q$  запропоновано у відому систему [25], яка має  $n$  датчиків реактивної потужності, встановлених в окремих вузлах, ввести  $(m - n)$  датчиків реактивної потужності на вводі підприємства, підключених до обчислювального пристрою [6]. По суті введений ще один контур керування. Його використання дозволяє суттєво зменшити похибку керування, зумовлену дискретністю керування у вузлах навантаження і накопиченням похибки на вводі підприємства, розширити область застосування, підвищити надійність роботи, і в

кінцевому рахунку більш точно забезпечити вимоги енергосистеми щодо споживання реактивної потужності з її мережі в усіх можливих режимах електроспоживання.

При використанні способу керування БК за допомогою групи локальних регуляторів також мають місце похибки зумовлені дискретністю керування у вузлах і можливим накопиченням похибки на вводі підприємства. Їх можна легко уникнути, якщо одну із найближче розміщених до ГПП або ЦРП БК вибрати як балансувальну і керувати нею за вхідною реактивною потужністю на вводі підприємства. При необхідності (в разі значного віддалення найближчої БК до ЦРП або ГПП) передбачається спеціальна БК, яка розміщується на ГПП або ЦРП.

Оцінювання точності при керуванні групою СД виконується за допомогою тих самих критеріїв, що й БК: підтримання на вводах підприємства заданого значення вхідної реактивної потужності і оптимізація втрат в СД та живлячих їх лініях.

При керуванні збудженням СД за допомогою цифрових систем їх реактивна потужність буде змінюватись ступенями внаслідок квантування за рівнем в цифрово-аналогових перетворювачах (ЦАП). При використанні 8-ми розрядної мікропроцесорної системи у відповідності з [37] кількість рівнів (ступенів) потужності СД, що відрізняються від нуля, буде дорівнювати  $m = 2^8 - 1 = 255$ . Тоді один рівень від іншого (величина ступеня) буде відрізнятись на величину:  $Q_c = Q_{н.сд} / m$  (де  $Q_{н.сд}$  - номінальне значення реактивної потужності СД, яку економічно доцільно використовувати для КРП), дорівнює  $Q_{н.сд \max} = 4000$  кВАр. Тоді максимальне значення величини рівня керування буде дорівнювати (кВАр):  $Q_{н.сд \max} = Q_{н.сд \max} / m = 4000 / 255 = 15,69$ . Таким чином, найбільша ширина зони нечутливості буде дорівнювати (кВАр):  $\Delta H_{\max} = Q_{сг \max} / 2 = 15,69 / 2 = 7,845$ , що складає 0,196 відсотків від потужності СД і практично таке регулювання можна вважати

плавним. Аналогічно виконується оцінювання точності виконання першої функції оптимального керування при сумісному керуванні СД і БК.

При застосуванні централізованих способів і пристроїв керування БК, а також способу за допомогою групи локальних регуляторів величину  $K_0$  можна визначати за формулою (6.3). Причому її можна визначати за допомогою систем централізованого керування за кожний цикл керування.

Необхідно відмітити, що при використанні локальних регуляторів можлива додаткова похибка (порівняно з централізованими способами), яка зумовлена неврахуванням нестабільних і маловірогідних режимів електроспоживання та зміною кількості БК в процесі керування. Але деяке збільшення величини  $K_0$  і, відповідно, втрат в таких режимах є своєрідною "платою" за відсутність дорогих і дефіцитних ліній зв'язку.

Величина  $K_0$  визначається за формулами:

а) при керуванні збудженням групи СД:

$$K_0 = \frac{\sum_{i=1}^n [(a_i + c_i) Q_{дi}^2(t) + b_i Q_{дi}(t)]}{(a_e + c_e) Q_{д0}^2(t) + b_e Q_{д0}(t)}, \quad (6.7)$$

де  $a_e$  і  $b_e$  - коефіцієнти апроксимації втрат в еквівалентному СД;  $c_e$  - коефіцієнт, що характеризує втрати в еквівалентній лінії, яка живить еквівалентний СД;  $Q_{д0}(t)$  - оптимальне значення реактивної потужності, яку доцільно генерувати еквівалентному СД;  $a_i$ ,  $b_i$  - коефіцієнти апроксимації втрат в  $i$ -му СД;  $c_i$  - коефіцієнт, який характеризує втрати в лінії, що живить  $i$ -й СД;  $Q_{дi}(t)$  - реактивна потужність, що генерує  $i$ -й СД;

б) при сумісному керуванні СД і БК

$$K_o = \frac{\sum_{j=1}^m Q_j^2(t) r_j + \sum_{i=1}^n [(a_i + c_i) Q_{до}^2(t) + b_i Q_{до}(t)]}{[Q_\phi(\Delta t) + Q_{до}(t)]^2 R_e [ (a_e + c_e) Q_{до}^2(t) + b_e Q_{до}(t) ]}, \quad (6.7)$$

де  $Q_j$  - реактивне навантаження  $j$ -го вузла;  $r_j$  - опір мереж  $j$ -го приєднання;  $R_e$  - еквівалентний опір електричних мереж підприємства (за вилученням ліній, що живлять СД);  $Q_\phi(\Delta t)$  - фактичне значення реактивної потужності, що споживається на вводі підприємства.

Економічний ефект за рік від впровадження оптимального керування компенсувальними установками пропонується визначати за таких умов: на підприємстві виконаний розрахунок оптимальної КРП (БК розміщені відповідно з цим розрахунком); БК нерегульовані; розрахунок проводиться для режиму найбільших реактивних навантажень підприємства, тому в цьому режимі підтримується задане значення вхідної реактивної потужності  $Q_e$ , однак в позапіковій режимі і в період режиму мінімальних навантажень можлива чи має місце перекомпенсація.

Річний ефект пропонується визначати за формулою (тис. грн):

$$E_p = 3_{пл} \left[ \psi_{опт}^2 Q_m^2 \left( 1 - \frac{1}{K_o} \right) + Q_{пер}^2 \right] + \Delta C_{г.р} - E \cdot K_{р.п}, \quad (6.9)$$

де  $Q_{пер}$  - найбільше реактивне навантаження з від'ємним знаком протягом доби в періоді перекомпенсації (мВАр);  $Q_{пер} = Q_k - Q_{мін}$  ( $Q_k$  - сумарна потужність всіх ввімкнених БК, мВАр;  $Q_{мін}$  - найменше реактивне навантаження підприємства, мВАр);  $C_{г.р}$  - збільшення вартості реактивної потужності при невиконанні вимог енергосистеми щодо споживання реактивної потужності з її мережі (плата за реактивну потужність за більш дорогим

тарифом, надбавка до тарифу за активну енергію, штрафні санкції і т.п.) тис.грн;  $K_{рлд}$  - капітальні затрати на регулювальні пристрої, тис.крб;  $E$  - коефіцієнт відраховувань від капітальних затрат.

Нижче показана залежність збільшення затрат на передавання РП по мережі від величини коефіцієнта  $K_0$  і наведені рекомендації до вибору способів і засобів керування КУ.

Збільшення вартості реактивної потужності при використанні мінімального і максимального тарифів визначається за формулою:

$$\Delta C_{т,р} = (C_{т,в}^{\max} - C_{т,в}^{\min}) W_{р,р} + (C_{т,к}^{\max} - C_{т,к}^{\min}) Q_{м,с} \quad (6.10)$$

де  $C_{т,в}^{\max}$ ,  $C_{т,в}^{\min}$  - відповідно, максимальний і мінімальний тарифи на реактивну енергію, грн/кВАр·г;  $C_{т,к}^{\max}$ ,  $C_{т,к}^{\min}$  - відповідно, максимальний і мінімальний тарифи на реактивну потужність, грн/кВАр в рік;  $W_{р,р}$  - річне споживання реактивної енергії, кВАр·г;  $Q_{м,с}$  - середнє за квартал максимальне реактивне навантаження підприємства, кВАр.

При застосуванні системи скидок і надбавок до тарифу на активну електроенергію за компенсацію реактивної потужності величина  $\Delta C_{т,р}$  визначається за формулою:

$$\Delta C_{т,р} = W_{а,р} H \quad (6.11)$$

де  $W_{а,р}$  - річне споживання активної електроенергії, кВт·г;  $H$  - сума надбавка до тарифу за активну електроенергію при невиконанні вимог до регулювання КУ.

В рівнянні (6.9) перша складова є вартість втрат, зумовлених передаванням реактивної потужності по мережах підприємства. При оптимальному потякорозподілу ( $K_0=1$ ) втрати будуть мінімальними і затрати на пе-

редавання будуть дорівнювати:

$$Z_n = Z_{п.п.} \cdot \Psi_{\text{опт}}^2 \cdot Q_M^2 = Z_{п.п.} \cdot Q_c^2 \quad (6.12)$$

При відхиленні потокорозподілу реактивної потужності від оптимального ( $K_0 > 1$ ) значення  $Z_n$  збільшується на величину:

$$\Delta Z_n = Z_n \left(1 - \frac{1}{K_0}\right) = Z_{п.п.} \cdot Q_c^2 \left(1 - \frac{1}{K_0}\right) \quad (6.13)$$

На рис. 6.1 побудована крива залежності збільшення затрат на передавання реактивної потужності по мережі підприємства і, відповідно, втрат потужності та електроенергії в залежності від величини  $K_0$ . З рисунка видно, що при збільшенні  $K_0$  до 2,5 втраги електроенергії в мережах підприємства збільшуються на 60% при одній і тій же величині вхідної реактивної потужності. З іншого боку залежність  $\Delta Z_n(\Delta P, \Delta W) = f(K_0)$  дозволяє оцінити ефект зниження втрат потужності і електроенергії від застосування оптимального керування БК, за допомогою якого фактичний (неоптимальний) потокорозподіл стає оптимальним. Так, якщо величина  $K_0 = 1,5$  до впровадження оптимального керування, то його застосування дозволяє знизити втрати на 33,3%.

### **Вибір способів і технічних засобів керування КУ**

Як відомо, на більшості підприємств і в мережах енергосистеми ступінь КРП ще не доведений до економічно доцільного рівня. Значна частина з наявних КУ нерегульована, а на регульованих - не застосовується оптимальне керування (за умовою мінімуму втрат). Тому його впровадження є актуальною задачею практично для всіх підприємств (діючих і тих, що проектується).

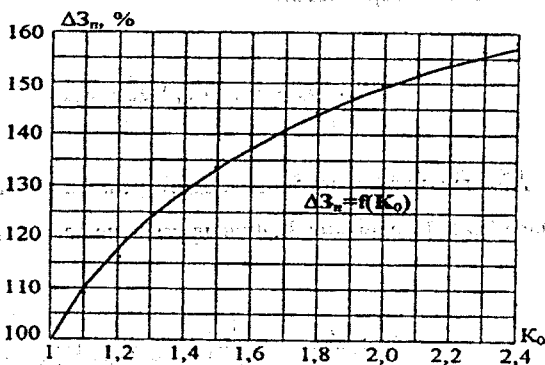


Рисунок 6.1 - Залежність збільшення затрат на передавання реактивної потужності по електричній мережі від величини коефіцієнта  $K_0$

В першу чергу виявляється можливість включення частини БК в режим саморегулювання і в схему керування технологічними процесами. При наявності на підприємстві електроустановок з особливою чутливістю до рівня напруги в окремих вузлах встановлюються локальні регулятори з параметром керування за "U". Решта КУ виділяються для централізованого або локального керування. Як було доказано вище (розд. 2), група локальних регуляторів може виконувати функції систем централізованого керування і тому є альтернативною по відношенню до них. Виникає проблема вибору засобів керування КУ. В загальному випадку приведені затрати на систему оптимального автоматичного керування КУ пропонується визначати за формулою:

$$Z = E(K_{уст} + K_{азв}) + \frac{C_0 R_{еп} Q_c^2}{U_H^2} \left( c_{о,р} \sum_{i=1}^4 Q_{ei} + c_{с,р} W_{р,р} \right) 10^{-3}, \quad (6.14)$$

де  $K_{уст}$  - вартість комутаційної і регулювальної апаратури з врахуванням вартості монтажних і налагоджувальних робіт, тис.грн.;  $K_{азв}$  - вар-

тість ліній зв'язку з врахуванням монтажних і налагоджувальної робіт, тис.грн.;  $Q_e$  - ВРП на ввіді підприємства в розрахунковому періоді, мВАр;  $Q_{ei}$  - те ж, в  $i$ -му кварталі розрахункового року, мВАр;  $c_{o,p}$  - основна ставка за реактивну потужність, грн/кВАр;  $c_{dp}$  - додаткова ставка за реактивну енергію, грн/кВАр-г;  $c_0$  - приведена питома вартість активної потужності від передавання реактивної, грн/кВт-г;  $R_{eq}$  - еквівалентний опір мереж споживача, Ом;  $W_{rp}$  - річне споживання реактивної енергії в розрахунковому періоді, кВар-г.

Якщо результати розрахунків за формулою (6.14) для різних варіантів (в межах точності вихідних даних і розрахунків  $\pm 5\%$ ), то перевага надається варіанту з кращими технічними показниками, тобто варіанту централізованого керування.

### Питання для самоперевірки

1. Переваги і недоліки способів та систем централізованого керування КУ.
2. В чому полягає суть способів централізованого керування БК:
  - пропорційно поточним втратам;
  - пропорційно поточним втратам з автоматичним задаванням уставок для характерних добових зон електроспоживання ЕС;
  - пропорційно поточним втратам з врахуванням напрямку перетоків реактивної потужності;
  - пропорційно поточним втратам з врахуванням наявності в одних вузлах надлишку, в інших – дефіциту потужності БК;
  - за величиною збільшення або зменшення втрат;
  - шляхом контролювання оптимальності потокорозподілу реактивної потужності у вузлах електричної мережі;
  - шляхом контролювання оптимальності потокорозподілу з

врахуванням їх відсутності в деяких вузлах або зміні кількості в процесі керування; шляхом контролювання оптимальності поточкорозподілу і напруженості пруги у вузлах з форсованим ввімкненням (вимкненням) БК при її значному відхиленні від номінального значення.

3. Переваги і недоліки способів керування потужністю БК за допомогою локальних регуляторів.

4. Чим відрізняються спеціально створені локальні регулятори від звичайних?

5. Спосіб і система керування БК за допомогою групи спеціально створених локальних регуляторів.

6. Які функції виконують локальні регулятори?

7. Які функції виконує система, що складається із групи локальних регуляторів?

8. Яким чином група локальних регуляторів може виконувати функцію мінімізації втрат в мережах споживачів?

9. На які характерні добові періоди визначають уставки для пристроїв і систем централізованого і локального керування?

10. Які використовуються методи оптимізації при визначенні уставок для регуляторів?

11. Суть методу визначення уставок для регуляторів.

12. Які принципи покладені в основу способу керування реактивним навантаженням за допомогою групи синхронних двигунів.

13. В яких умовах доцільно застосовувати спосіб сумісного керування БК і СД?

14. В яких умовах доцільно застосовувати спосіб роздільного керування БК і СД?

15. За яких умов доцільно застосовувати комбіновані способи керування КУ (центрального, локального, саморегулювання т. ін.).

16. Який закон покладений в основу способу керування КУ в мере-

жах з несиметричними навантаженнями?

17. Які критерії використовуються для оцінювання похибки і ефективності оптимального керування КУ?

18. Критерій для вибору способів і технічних засобів керування КУ.

Відповіді на запитання 16-18. 16. Закон несиметричних навантажень. 17. Критерій похибки - це різниця між фактичним і бажаним значенням параметра керування. Критерій ефективності - це відношення фактичного значення параметра керування до бажаного. 18. Критерій вибору способів і технічних засобів керування КУ - це мінімум витрат на виконання роботи при заданій якості керування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рогальский Б.С. Компенсация реактивной мощности. Методы расчета, способы та технічні засоби управління. Навчальний посібник. I частина. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 118 с.
2. Рогальский Б.С., Непейвода В.М., Проблемы внедрения оптимальной компенсации реактивной мощности в электрических сетях потребителей и энергосистем. / материалы I – й международной конференции “Управление энергоиспользованием”. НГТУ “КПИ”. – 1995. – с. 61 – 65.
3. А.с. 1259237(СССР), МКИ О05Р1/70. Автоматический регулятор конденсаторных батарей Рогальский Б.С., Непейвода В.М., Демов А.Д., Дмитраш А.В.//Заявл.2.09.85; Оpubл.23.03.87. Бюл.№11. - 3с.ил.
4. Рогальский Б.С., Дмитраш А.В., Непейвода В.М. Оперативный контроль потребления реактивной мощности при управлении компенсирующими установками с помощью цифровых автоматических систем //Труды Ш-й Респ. научн.-техн. конф. "Устройства преобразования информации для контроля и управления в энергетике." - Харьков: ХПИ. -1988. - с.50-52.
5. А.с. 1416961 (СССР), МКИ С05Р1/70. Автоматический регулятор конденсаторных батарей. Рогальский Б.С., Дмитраш А.В., Непейвода В.М., Демов А.Д. //Заявл.11.08.86; Оpubл. 15.08.88; Бюл. №30. - бз.ил.
6. А.с. 1686424 (СССР), МКИ О05Р1/70. Автоматический регулятор конденсаторных батарей. Рогальский Б.С., Демов А.Д., Дмитраш А.В., Витюк В.Н., Непейвода В.М. //Заявл.3.07.89; Оpubл.23.10.91; Бюл. № 39. - 3с.ил.
7. А.с. 1837269 (СССР), МКИ С05Р1/70. Автоматический регулятор конденсаторных батарей Рогальский Б.С., Демов А.Д., Непейвода В.М., Иванков В.О.//Заявл.10.12.90; Оpubл. 30.08.93; Бюл. № 32.- 14с.ил.

8. А.с. 1446612 (СССР), МКИ С05Р1/70. Автоматический регулятор конденсаторных батарей / Рогальский Б.С., Демов А.Д., Дмитриш А.В. // Заявл. 12.01.81; Опубл. 23.12.88; Бюл. № 47. - 3 с. ил.
9. Рогальский Б.С., Демов А.Д., Дмитриш А.В., Непейвода В.М., Тележинский В.Е. Система автоматического и диспетчерского управления конденсаторными установками в электрических сетях промышленных предприятий // Промышленная энергетика. - 1990. - №2. - с. 50-53.
10. Рогальский Б.С. Энергосберегающая система автоматического управления компенсирующими установками в электрических сетях промышленных предприятий / Труды Всесоюз. научн.-техн. совещания / Проблемы управления энергосбережением и повышение эффективности региональной экономики страны. - Л.: Центральное правление ВНТОЭ. - 1990. - с. 131-134.
11. Рогальский Б.С., Непейвода В.М. и др. Управление входной реактивной мощностью промышленных предприятий с учетом требований энергосистемы и интересов предприятия // Труды област. научно-техн. конф. "Пути повышения эффективности использования тепловой и электрической энергии." - Винница: ВПИ. - 1987. - с.39-40.
12. Рогальский Б.С., Дмитриш А.В., Непейвода В.М. Способы и технические средства управления компенсирующими установками в электрических сетях промышленных предприятий // Контроль и управление в энергетике. - Киев: УМК ВО. - 1988. - с. 114-117.
13. Рогальский Б.С., Непейвода В.М. Автоматизация управления компенсирующими установками в электрических сетях промышленных предприятий / Труды Всесоюзной науч.-технич. конференц. "Повышение эффективности и качества электроснабжения". - Мариуполь: Мариуп. металлург. инст. - 1990. - с. 195.
14. Рогальский Б.С., Непейвода В.М., Витюк В.И. Комбинированная система управления компенсирующими установками в электрических се-

- тях промышленных предприятий //Труды Всесоюзного научного семинара "Электроснабжение промышленных предприятий". - Гомель: Гомельский политехн. инст. -1991. - с.94.
15. Рогальский Б.С., Демов А.Д., Дмитраш А.В., Непейвода В.М. Система автоматического и диспетчерского управления компенсацией реактивной мощности /Инф. листок №88-015. Винницкий МТЦНТИ УкрНИИНТИ Госплана УССР. - 1988. - 4с.
16. Рогальский Б.С., Демов А.Д., Дмитраш А.В., Непейвода В.М. //Автоматизированная система управления реактивной мощностью АСУ РМ: Современные средства релейной защиты и противоаварийной автоматики. Каталог спецэкспозиции ВДНХ СССР. - М.: Уч. опер. полиграфиз СПО Союзтехэнерго СССР. - 1989. - с. 33.
17. Рогальский Б.С., Непейвода В.М., Дмитраш А.В., Витюк В.Н. Способы и устройства автоматического управления реактивной мощностью в электрических сетях промышленных предприятий /Труды областн. научно-техн. конференции "Пути повышения эффективности использования тепловой и электрической энергии". - Винница: ВПИ. - 1989. - С. 64-67.
18. Рогальский Б.С., Непейвода В.М. Централизованное управление компенсирующими установками: Проблемы энергосбережения. -1995. - № 4-6.
19. Разработать и внедрить способы рационального расходования электроэнергии и оптимального управления компенсацией реактивной мощности в электрических сетях Изяславского завода "Пищемаш": Отчет о НИР (заключ.) /Вин. политех. инст., № госрегистрации: 01870036965. - Винница, 1989. -102с.
20. Рогальский Б.С., Непейвода В.М., Хаддад Бассам Турки. Учет нестабильных режимов электропотребления и отсутствия или изменения количества источников реактивной мощности при управлении ими //Труды

IV-й Международной научно-техн. конф. "Контроль и управление в технических системах". - Винница: ВДТУ. - 1995. - С.511-512.

21. Ильянов В.П., Автоматическое регулирование мощности КУ. - М.: Энергия, 1997. - 126 с.

22. Железко Ю.С.; Пижик А.Ф., Новодворский Б.К., Вихнович Б.И. Способ контроля реактивной мощности, потребляемой из сети энергосистемы //Промышленная энергетика. - 1982. -№11.-С.47-49.

23. Справочник по схемотехнике для радиолюбителя /Под ред. В.П. Боровского. - К.: Техника.- 1987.-432с.

24. Бесекерский В.А., Попов Е.А., Теория систем автоматического регулирования. - М.: Наука. Главная редакция физико - математической литературы. 1975, - 768 с.

25. А.с. 1449973 (СССР), МКИ С05Р1/70, Способ автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей /Рогальский Б.С., Дмитраш А.В. //Заявл. 22.01.87; Оpubл. 07.01.89; Бюл. №1. - 5 с.ил.

26. Рогальський Б.С: Проблеми енергозбереження. Зниження втрат електроенергії в електричних мережах. Навчальний посібник. - ВДТУ. 1996. - 112 с.

27. Патент №2052215 (РФ), МКИ О05Р1/70, Автоматический регулятор конденсаторных батарей /Рогальский Б.С., Витюк В.Н. //Заявл. 02.08.91; Оpubл. 10.01.91; Бюл. № 6 с.ил.

28. А.с. 1096628 (СССР), МКИ О05Р1/70, Устройство управления конденсаторными батареями /И.К. Сурвило // Изобретения в СССР и за рубежом. -1986.- № 5.

29. Рогальський Б.С., Хаддад Бассам Туркі. Спосіб автоматичного управління батареями конденсаторів // Вісник ВПІ. -1996. - № 3.

30. Рогальський Б.С. Методи розрахунку електроспоживання і компенсуючих установок та системи управління ними (на промислових

підприємствах, включаючи нерудні кар'єри): Автореферат дисертації докт. техн. наук. ОЗІНГАУ. - Дніпропетровськ. - 2000. -35 с.

31. Rogalski B., Nepeyvoda V. The Device of the Automatic Control by the Compensating Installation //The 3-rd International Exhibition of Inventions, Research and Technological Transfer. - Iasi (Romania).-1996.-с.45.

32. Рогальський Б.С., Непейвода В.М., Хаддад Бассам Туркі. Автоматичне управління реактивним навантаженням підприємства групою синхронних двигунів // Вісник ВПІ. - 1994. - № 4(5). - с.28-33.

33. А.с. №920959 (СССР). Устройство для автоматического симметрирования токов и стабилизации заданного коэффициента мощности трехфазной системы /Минц М.Я., Чинков В.Н., Гриб В.Н. // Опубл. в Б.И. № 14. -1982.

34. Рогальский Б.С., Демов А.Д., Иванков В.О., Дмитраш А.В., Непейвода В.М. Управление мощностью конденсаторных батарей для потребителя с несимметричными нагрузками //Электромеханика: Известия высших учебных заведений. -1989.- №7. - с. 101-102.

35. Рогальский Б.С., Непейвода В.М., Хаддад Бассам Туркі. Методы оценки точности и эффективности автоматического управления компенсирующими установками //Труды международной конференции "Контроль и управление в технических системах". - Винница: ВГТУ. - 1995. -с. 509-510.

36. Рогальский Б.С. Метод оценки эффективности автоматического управления компенсирующими установками в электрических сетях промышленных предприятий /Труды Всесоюзн. научно-техн. конф. "Повышение эффективности и качества электроснабжения". - Мариуполь: Мариуп. металлург. инст. -1990. - С. 193-194.

37. Коган Б.М., Сташин В.В. Основы проектирования микропроцессорных устройств автоматики. - М. Энергоатомиздат, 1987. -

## Додаток А

### Програма роботи системи АДУ РП і її функції

Структурна блок-схема роботи системи АДУ РП подана на рис. А.1. Програма працює таким чином: в блоці 2 проводиться ініціалізація таймера, що програмується (ПТ) (мікросхема К580 ВІ53), де в ПТ вводяться необхідні коефіцієнти для ділення тактової частоти мікропроцесора, щоб отримати імпульси з періодом 1-ї секунди і 6-ти хвилин. В блоці 3 виконується ініціалізація контролера переривань, що програмується (КП) (мікросхема Е580 ВІ59), де вказується скільки КП використовується, що залежить від кількості вузлів, де встановлені КУ і лічильник-датчик (ДРЕ). Найвищий пріоритет має запит, на який надходять імпульси з періодом в 1 секунду від ПТ, і який обслуговується підпрограмою CLOCK. Наступний пріоритет має запит, на який подаються імпульси з періодом в 6 хвилин від ПТ, і обслуговується підпрограмою OSN PREK. В блоці 4 проходить записування вхідних даних, якими є:  $U_{\text{мп}}$  і - ціна імпульсу лічильника-датчика, встановленого в і-му вузлі;  $R_i$  - опір лінії, що живить і-й вузол;  $KC_{\text{вст}}$  і кількість секцій БК, що встановлені в і-му вузлі;  $(p_i)$  - потужність секції БК, встановлених в і-му вузлі, з ПЗУ в ОЗУ. В блоці 5 проводиться опитування лічильників-датчиків, тобто КП обробляє запити, що надходять від ДРЕ, у відповідності з якими підраховуються кількість імпульсів ( $K_{\text{мп}}$  від того, чи іншого ДРЕ).

Як підпрограма CLOCK (годинник астрономічного часу) використовується типова функція керування, приведена в п. 7.7 241 -243 [37]

Система АДУ РП виконує такі функції:

- контролювання вхідної реактивної потужності (ВРП) на вводах підприємства, приймання сигналів по каналах зв'язку від лічильників-датчиків реактивної енергії, встановлених у вузлах розподільної мережі підприємства.

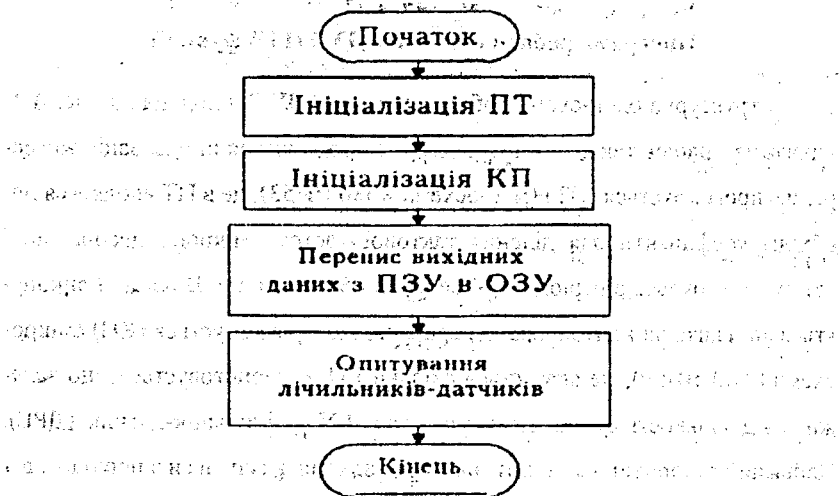


Рисунок А.1 - Структурна блок-схема програми керування системою АРУ РМ

- індикацію поточного значення ВРП на вводах підприємства з інтервалом часу 6 хвилин;
- індикацію поточного часу доби;
- індикацію кількості включених секцій конденсаторних установок (число секцій в одній БК до 7);
- індикацію наявності напруги джерел живлення;
- видачу сигналів на увімкнення або вимкнення секцій БК;
- керування батареями конденсаторів в автоматичному, диспетчерському і місцевому режимах;
- в періоди позапікового електроспоживання енергосистеми забезпечення вхідної реактивної потужності, близької до нуля.

## Технічні дані для системи АДУ РП:

1. Кількість БК, що керуються - 14 (можливе розширення БК до 64);
2. Напряга живлення - 220 В, 50 Гц;
3. Потужність, що споживається з мережі - до 150 Вт;
4. Режим роботи - довготривалий; цілодобовий;
5. Максимальна довжина ліній зв'язку між лічильниками-датчиками, виконавчими органами і системою - до 1 км;
6. Лінії зв'язку виконуються телефонними кабелями

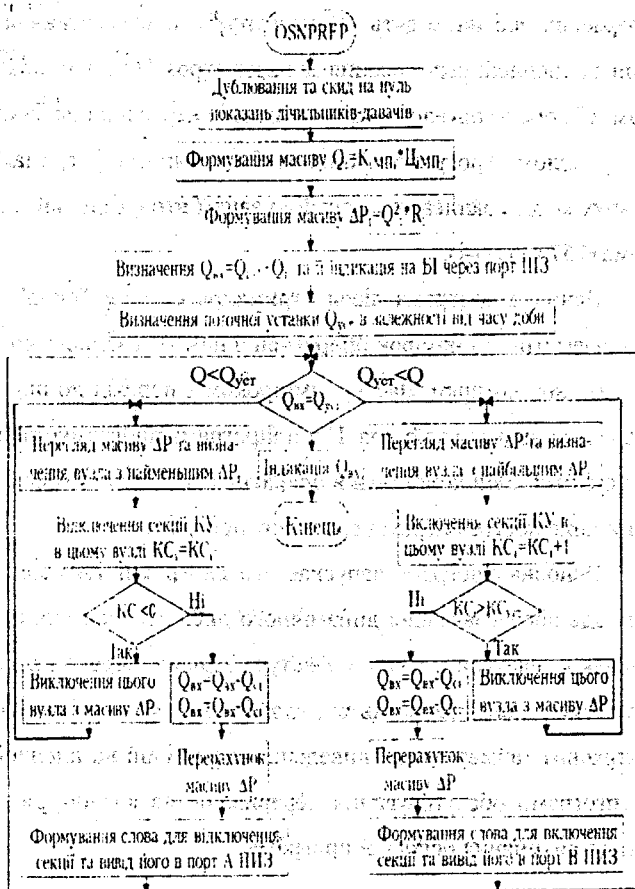


Рисунок А2 – Структурна блок-схема підпрограми обслуговування основного переривання

### **Структурна блок-схема і короткий опис програми керування для локального регулятора, виконаного на мікропроцесорі K181 6 БЕЗ 1**

Програма написана мовою "Асемблер" і складається із основної програми та ряду підпрограм: ініціалізації мікропроцесора; ініціалізації зовнішнього таймера; обслуговування телеметричного датчика - лічильника реактивної енергії; обслуговування переривань від зовнішнього таймера; обслуговування переривань від внутрішнього таймера; обслуговування переривань, які надходять від клавіатури; обслуговування виводу інформації на дисплей; регулювання за параметром "Q"; регулювання за параметром "U"; обслуговування видачі сигналів керування на виконавчі органи.

В цілому програма з усіма необхідними підпрограмами подана в машинних кодах, записана в постійно запам'ятовувальній пристрій (мікросхема К 573 РО 6А).

Основна програма після отримання сигналу "скид" здійснює обнулення регістрів та комірок оперативної пам'яті і записує константи у відведені для них комірки. Наступним кроком є перехід до підпрограми ініціалізації зовнішнього таймера. Ця підпрограма програмує таймер на роботу і записує необхідні константи в оперативну пам'ять таймера. Після цих операцій здійснюється перехід в основну програму.

Основна програма запускає два внутрішні таймери, з переривання яких йде обслуговування динамічного дисплея. Наступним кроком є опитування клавіатури і, якщо клавіатура задіяна, переходить на підпрограму обслуговування переривань від клавіатури, яка періодично переривається внутрішнім таймером для виведення інформації на дисплей. По закінченню програми обслуговування переривань від клавіатури процесор виходить на виконання основної програми.

Якщо з клавіатури були введені необхідні параметри для регулювання реактивної потужності, здійснюється обслуговування телеметричного датчика-лічильника реактивної енергії, з якого знімається інформація про реактивну енергію, що споживається. Після цього виконуються розрахунки про необхідну кількість секцій БК, які включаються, і подавання сигналів на виконавчі органи. Після переривання таймерів на дисплей виводиться по чергово інформація про реактивну потужність, яка споживається, і поточний час. Перекодування символів, що виводяться на дисплей, виконується за допомогою таблиці констант, які знаходяться в основній програмі.

Роботу програми можна також прослідкувати за її структурною блок-схемою, представленою на рис. Б. 1 в укрупненому вигляді.

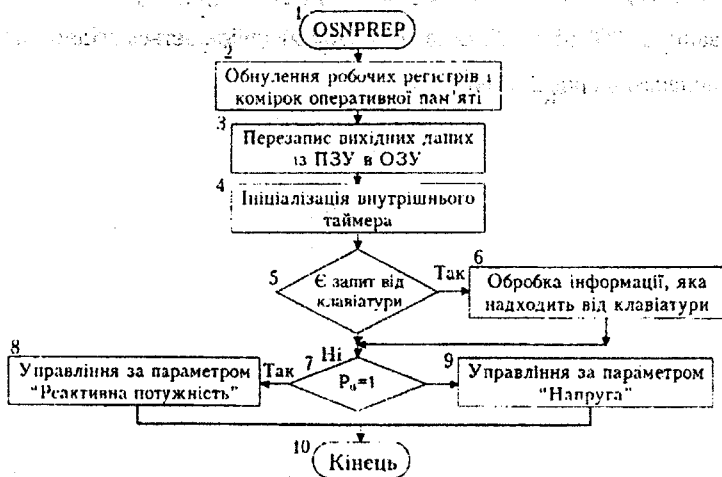


Рисунок Б1 – Структурна блок-схема програми управління локального регулятора

В блоці 2 проводиться обнулення всіх робочих регістрів обох банків та комірок оперативної пам'яті, оскільки при включенні регулятора, внаслідок перехідних процесів, там може з'явитись якась невизначена інформація, яка при подальшій роботі мікропроцесора може призвести до його

"зависання". В блоці 3 проходить перезаписування вхідних даних, якими є мітки часу ( $T$ ), при яких відбувається перехід з однієї зони електроспоживання в іншу, уставки за реактивною потужністю ( $Q_{\text{ст}}$ ) для кожної зони електроспоживання; кількість секцій ( $K_c$ ); потужність однієї секції ( $Q_c$ ); параметр керування за "Q" чи за "U"; найбільше та найменше допустиме значення напруги ( $U_{\text{max}}$ ,  $U_{\text{min}}$ ), з ПЗУ в ОЗУ. В блоці 4 проводиться ініціалізація внутрішнього таймера, за перериванням якого буде проводитись обслуговування дисплея на семи-сегментних елементах. В блоці 5 вияснюється чи була натиснута будь-яка кнопка на клавіатурі, якщо так, то в блоці 6 проводиться обробка сигналів, що надходять з клавіатури, завдяки чому можна коригувати раніше вказані вхідні дані. В блоці 7 з'ясовується за яким параметром буде відбуватися регулювання: за "Q" чи за "U". Регулювання за "Q" (блок 8) чи за "U" (блок 9) здійснюється згідно з алгоритмом, поданим на рис.2.6 (розд. II).

Навчальне видання

Броніслав Станіславович Рогальський

**КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ. МЕТОДИ  
РОЗРАХУНКУ, СПОСОБИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ**  
II частина

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено автором

Редактор В.О. Дружиніна  
Коректор Ю.І. Франко

Навчально-методичний відділ ВДТУ  
свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25. 12. 2001 р.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ

Підписано до друку *24.06.2003р.*  
Формат 29,7 x 421/4  
Друк різнографічний  
Наклад *85* прим.  
Зам. № *2.003 - 105*

Гарнітура Times New Roman  
Папір офсетний  
Ум. друк. арк. *54*

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького державного технічного університету  
свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25. 12. 2001 р.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95