

Б. С. Рогальський, О. Д. Демов, Л. Б. Терешкевич,  
Ю. П. Войтюк

# ***ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ***

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

Б. С. Рогальський, О. Д. Демов, Л. Б. Терешкевич, Ю. П. Войтюк

## **ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як лабораторний практикум для студентів напряму підготовки 6.050701 - "Електротехніка та електротехнології" всіх спеціальностей. Протокол № 9 від 26 лютого 2008 р.

Вінниця ВНТУ 2009

УДК 621.311

*Рецензенти:*

**М. Й. Бурбело**, доктор технічних наук професор

**М. П. Свиридов**, кандидат технічних наук професор

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

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

**Рогальський Б. С., Демов О. Д., Терешкевич Л. Б., Войтюк Ю. П.**  
**Енергозбереження. Лабораторний практикум.** - Вінниця: ВНТУ, 2009. - 64 с.

В практикумі описані технічні заходи з економії електроенергії на промислових підприємствах. Приведені лабораторні роботи, в яких розглянуто конкретні заходи з оптимізації електроспоживання на промислових підприємствах. Лабораторний практикум розроблений у відповідності з планом кафедри та програмами дисциплін “Основи енергозбереження” і “Енергозбереження”.

УДК 621.311

© Б. Рогальський, О. Демов, Л. Терешкевич, Ю. Войтюк, 2009

## Зміст

Вступ .....	4
1. Лабораторна робота № 1 “Автоматичне керування компенсувальними установками за допомогою регулятора реактивної потужності Б 2201” .....	5
Література.....	19
2. Лабораторна робота № 2 Оптимальне (за критерієм мінімальних втрат) керування батареями конденсаторів за допомогою групи локальних регуляторів.....	20
Література.....	39
3. Лабораторна робота № 3 Керування максимумом активного навантаження електросталеплавильного цеху.....	40
Література.....	53
4. Лабораторна робота № 4 Керування несиметрією режиму в системі електропостачання з потужними однофазними навантаженнями.....	54
Література.....	61
5. Словник.....	62

## Вступ

Проблема підвищення ефективності електроспоживання актуальна для всіх країн, галузей і окремих підприємств хоча б тому, що зменшення енергоємності продукції дозволяє знижувати її собівартість і підвищувати конкурентноздатність. Актуальність проблеми посилюється з обмеженими енергоресурсами і стає надзвичайно актуальною в умовах кризового стану економіки, коли відсутня альтернатива енергозбереженню.

Окрім методичного, фінансового, технічного забезпечення енергозбереження, потрібне ще кадрове забезпечення. З цією метою в ряді університетів України відкрита нова спеціальність - "Енергетичний менеджмент". Відповідно до навчального плану даної спеціальності, введено дисципліни "Основи енергозбереження" і "Електрозбереження в технологічних процесах та установах". За навчальним планом першої дисципліни заплановані лабораторні роботи. У відповідності з цим планом були створені комплексні лабораторні стенди за окремими напрямками енергозбереження: компенсація реактивної потужності, вирівнювання добових графіків електричних навантажень, облік електроенергії і втрат. Основою стендів є фізичні моделі електричної мережі промислового підприємства. На одному зі стендів змонтовано лічильник обліку втрат, що дає можливість визначити зниження втрат від впровадження компенсації реактивних навантажень.

В найближчі роки планується розширити лабораторну базу дисциплін енергозбереження за рахунок створення комп'ютерних моделей лабораторних робіт.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### “Автоматичне керування компенсувальними установками за допомогою регулятора реактивної потужності Б 2201”

Метою лабораторної роботи є освоєння монтажу, налагодження та експлуатації автоматичних регуляторів конденсаторних батарей Б 2201.

Лабораторна робота розрахована на 4 години і 2 години домашньої підготовки.

В процесі виконання роботи студенти повинні:

#### ***Вивчити:***

- загальні положення про керування компенсувальними установками в електричних мережах промислових підприємств;
- електричну принципову схему лабораторного стенда (рис.3);
- опис регулятора;
- структурну схему;
- опис конструкції;
- порядок встановлення регулятора;
- схему під'єднання регулятора до мережі (рис.2);
- операції з підготовки до роботи;
- операції з перевірки дієздатності;
- методику розрахунку уставок регулювання;
- операції з регулювання і налагодження регулятора;
- обсяг технічного обслуговування в процесі експлуатації.

#### ***Виконати:***

- під'єднання регулятора до мережі;
- операції з підготовки до роботи;
- перевірка дієздатності;
- розрахунок уставок регулювання та їх виставлення;
- вимірювання параметрів регулювання і налагодження.

***Оформити звіт про виконання лабораторної роботи.*** В звіті мають бути:

- загальні відомості про регулятор;
- структурна схема регулятора та її опис;
- схема під'єднання регулятора до мережі та її опис;
- результати вимірювання опору ізоляції і випробування її електричної міцності;
- результати перевірки дієздатності;
- результати розрахунку уставок регулювання;
- результати вимірювань параметрів, налагодження і регулювання;
- результати розрахунку зниження втрат електроенергії за даними вимірювання струмів, напруги і  $\cos \varphi$ . Увімкнення компенсувальних установок.

### ***Загальні відомості***

Регулятор реактивної потужності типу Б2201 призначений для багатоступеневого автоматичного і диспетчерського регулювання реактивної потужності конденсаторних установок напругою 0,38 – 0,66 кВ.

Умовне позначення регулятора Б2201-9А УХЛЗ.1:

Б – вид конструкторського виконання;

22 – функціональне призначення;

01 – порядковий номер розробки;

9 – кількість керуючих секцій;

А – виконання за кодом роботи:

А – код 1:1:1:1;

В – код 1:1:2:2;

УХЛЗ.1 – кліматичне виконання за ГОСТ 15152-69.

### ***Технічні дані:***

- живлення здійснюється від мережі змінного струму частоти 50 Гц з номінальною напругою 220 В і допустимими відхиленнями номінального значення від +10% до –20%;
- габаритні розміри: висота – 200 мм, довжина – 260 мм, глибина – 230 мм.;
- маса – 6 кг;
- номінальне значення вимірювального струму – 5 А;
- номінальне значення вимірювальної напруги 100 і 380 В;
- потужність споживача в колах вимірювального струму і напруги, не більше 3 ВА по кожному колу;
- потужність споживача у колі живлення, не більше 35 ВА при номінальній напрузі живлення;
- регулятор має дві уставки регулювання за реактивною потужністю (параметр регулювання): одна уставка дорівнює нулю, друга уставка регулюється в межах від 0,1 до 0,6 номінального значення повної вимірюваної потужності, що визначається як добуток номінального вимірюваного струму на номінальну вимірювану напругу (є можливість зміни знака уставки);
- вибір уставки регулювання здійснюється автоматично, в залежності від вхідного вимірювального струму, уставка якого регулюється в межах від 0,1 до 0,7 номінального значення; перша уставка – при вимірювальному струмі більшого значення від уставки на величину (5% - 10%) номінального значення вимірювального струму; друга уставка – при вимірювальному струмі меншого значення від уставки. (Примітка: регулювання за першою уставкою здійснюється при найбільших навантаженнях і в період позапікового споживання у вузлі, а за другою – в період мінімальних навантажень у вузлі; другий режим навантажень визначається за величиною вимірювального струму);

- уставка ширини зони нечутливості параметра регулювання встановлюється в межах: від 0,02 до 0,24 номінального значення повної вхідної потужності;
- витримка часу на увімкнення (вимкнення) секцій конденсаторних батарей залежить від сигналу неузгодженості параметра регулювання з межею зони нечутливості і змінюється в межах від 5 до 180 сек.;
- регулятори забезпечують увімкнення (вимкнення) до 9 чи до 6 секцій конденсаторних батарей за кодом 1:1:1:1 чи 1:1:2:2;
- регулятор має світлову індикацію наявності команд на увімкнення і вимкнення секцій конденсаторних батарей;
- в регуляторі передбачена можливість ручного керування увімкненням і вимкненням секцій конденсаторних батарей;
- вихідні контакти регулятора забезпечують можливість комутації кіл змінного струму частотою 50 Гц напругою 220 В зі струмом увімкнення до 2,5 А;
- напрацювання на відмову регулятора не менше 1000 год.;
- середній термін експлуатації до середнього (капітального) ремонту не менше 6 років;
- середній час відновлювання – не більше 8 годин;
- комутаційна зносостійкість вихідних контактів регулятора – не менше  $0,5 \cdot 10^6$  спрацьовувань;
- електричний опір ізоляції між електрично не з'єднаними колами регулятора, а також між цими колами та корпусом, не менше 10 МОм.

### ***Структурна схема***

Структурна схема регулятора зображена на рис.1.1.

Вимірювальний струм (лінійний струм навантаження) подається на вхід широтно-імпульсного регулятора **3**. На вході елемента **3** формуються імпульси прямокутної форми однакової амплітуди, тривалість яких пропорційна струму навантаження. Сигнал з виходу елемента **3** надходить на вхід амплітудно-імпульсного модулятора **2**, на другий вхід якого падається вимірювальна напруга мережі (лінійна напруга). При цьому струм і напруга вибираються так, щоб між ними було додаткове зміщення фаз на  $90^\circ$  (струм випереджає напругу).

На виході елемента **2** формуються імпульси, тривалість яких пропорційна миттєвому значенню струму навантаження, а амплітуда – миттєвому значенню напруги мережі. Площа цих імпульсів пропорційна миттєвому значенню потужності, а середнє значення напруги на виході елемента **2** пропорційна реактивній потужності і визначається за формулою:

$$U_{CP} = K \cdot U_{BC} \cdot I_A \cdot \cos(90^\circ - \varphi) = K \cdot U_{BC} \cdot I_A \cdot \sin\varphi \quad (1.1)$$



де  $U_{cp}$  - середнє значення напруги на виході амплітудно - імпульсного модулятора;  $K$  - коефіцієнт пропорційності;  $U_{BC}$  - лінійна напруга;  $I_A$  - лінійний струм;  $\varphi$  - кут зсуву між фазними напругою і струмом.

Стала складова вихідної напруги елемента **2** виділяється фільтром середнього значення **5**. Пристрій порівняння **4** здійснює порівняння струму навантаження зі значенням уставки струму і керує пристроєм перемикачів **6** параметра регулювання. При струмі навантаження, більшому від значення уставки струму, елемент **6** формує на виході нерегульовану уставку параметра регулювання  $U_{Q1}$ , а при струмі, меншому від значення уставки – регульовану уставку  $U_{Q2}$ , значення яких надходять на входи елемента **6** з відповідних виходів задавача уставок параметра регулювання **7**.

Пристрій порівняння **8** формує на виході сигнал неузгодження  $\Delta U_Q$  між уставкою і поточним значенням реактивної потужності  $U_Q$ .

Цей сигнал надходить на вхід комутатора зі зміною знака вихідної напруги **10** і на вхід компаратора **9**, який визначає знак напруги неузгодження  $\Delta U_Q$  та напрямок регулювання (вмикати чи вимикати секції КБ). Вихідний сигнал елемента **9** керує зміною знака коефіцієнта передачі елемента **10** так, що при будь-якому знакові напруги неузгодження  $\Delta U_Q$  на його вході, знак напруги неузгодження на його виході не змінюється, тобто елемент **10** виділяє модуль сигналу неузгодження  $\Delta U_Q$  (виконує функцію випрямляча).

Вихідний сигнал  $\Delta U_Q$  з елемента **10** подається на пристрій порівняння **12**. Елемент **12** здійснює порівняння сигналу  $\Delta U_Q$  зі значенням сигналу уставки зони нечутливості параметра регулювання  $\Delta U_{Q3}$ , надходячи від пристрою уставки **2**. Напруга неузгодження  $\Delta U_Q - \Delta U_{Q3}$ , відповідаючи неузгодженню поточного значення реактивної потужності з межею зони нечутливості, з виходу елемента **12** надходить на компаратор **13** і на перетворювач напруги в частоту **14**, а з виходу останнього – на лічильник імпульсів **15**. На елементах **14** і **15** реалізований елемент витримки часу, величина якої залежить від сигналу неузгодження поточного значення реактивної потужності з межею зони нечутливості.

Компаратор **13** формує сигнал заборони роботи лічильника при перебуванні сигналу ( $\Delta U_Q$ ) в зоні нечутливості. При перевищенні сигналом ( $\Delta U_Q$ ) значення уставки  $U_{Q1(2)}$ , на вхід лічильника **15** надходять імпульси з виходу елемента **14**, частота проходження яких залежить від величини неузгодження.

Через те, що сигнал заборони з виходу елемента **13** відсутній, лічильник **15** починає відлік цих імпульсів, і з витримкою часу на його виході з'являється команда на ввімкнення чи вимкнення секції КБ, яка надходить на вхід програматора **16**. Сигнал з виходу елемента **9**, який

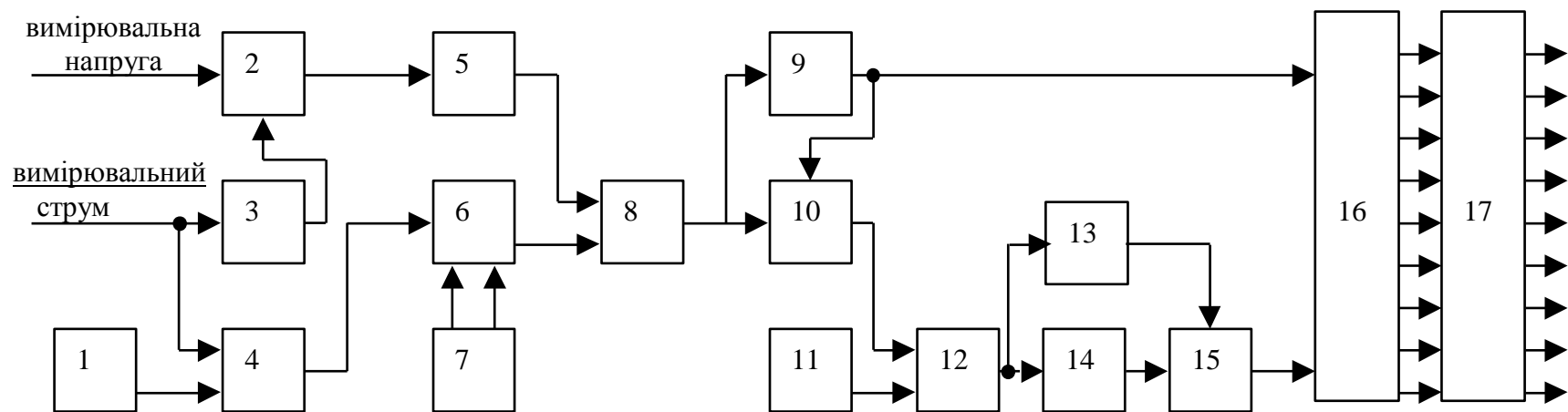


Рисунок 1.1 – Структурна схема регулятора Б – 2201:

1 – пристрій уставки струму;  
 2 – амплітудно - імпульсний модулятор;  
 3 – широтно-імпульсний модулятор;  
 4 – пристрій порівняння струму;  
 5 - фільтр середнього значення;  
 6 – пристрій перемикання уставок;  
 7 – пристрій уставок параметра регулювання;  
 8 – пристрій порівняння;

9 – компаратор;  
 10 – комутатор зі зміною знака вихідної напруги;  
 11 – пристрій уставки зони нечутливості;  
 12 – пристрій порівняння;  
 13 – компаратор;  
 14 – перетворювач напруги в частоту;  
 15 – лічильник;  
 16 – програматор;  
 17 – комутатор.

надходить на другий вхід програматора, визначає напрямок регулювання (вмикати чи вимикати секції).

Програматор **16** починає формувати команди керування секціями КБ. Після видачі чергової команди, на лічильнику **15** покази скидаються і, якщо сигнал ( $\Delta U_Q$ ) не ввійшов в зону нечутливості, починається формування повторної команди з витримкою часу. Комутатор **17** здійснює перетворення потенційних сигналів, які надходять з елемента **16** в релейні, необхідні для керування виконавчими елементами (магнітними пускачами) конденсаторної установки.

### ***Опис конструкції***

Конструктивно регулятор виконаний одним блоком і є металевою касетою з пластмасовими боковими та верхньою і нижньою кришками. Принципова схема реалізована на п'яти зйомних модулях (помножувач, формувач, стабілізатор, програматор і комутатор), які вставляються в регулятор по напрямних лицьової панелі. Електричне з'єднання модулів виконується за допомогою електричних з'єднувачів, відповідні частини яких розміщені на з'єднувальній платі. На лівій боковині встановлені три трансформатори, вимірювальні трансформатори струму і напруги та трансформатор живлення.

На лицьову панель винесені всі органи керування і сигналізації регулятора. Доступ до елементів схеми обмежений двома пломбами, розміщеними на верхній і нижній кришках. Кріплення регулятора здійснюється на вертикальних металевих заземлених щитах і панелях чотирма гвинтами з боку задньої стінки регулятора. Органи сигналізації та керування виведені на лицьову панель регулятора і мають пояснювальні надписи.

### ***Порядок встановлення***

Регулятор кріпиться чотирма гвинтами, які входять в комплект поставки, в середині чи на дверцятах шафи конденсаторної установки.

### ***Схема під'єднання до мережі***

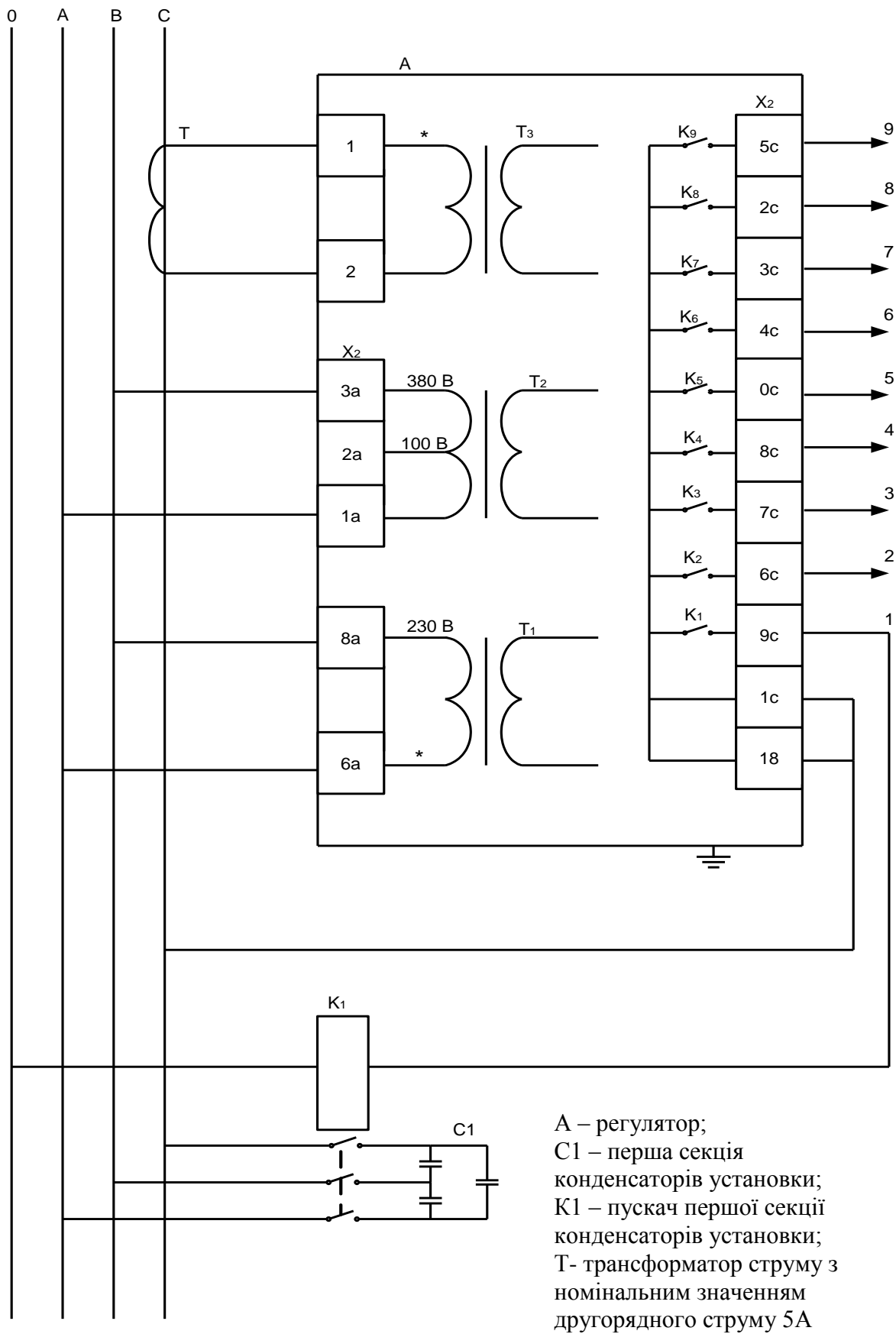
Схема під'єднання зображена на рис. 1.2, а на рис. 1.3 – схема лабораторного стенда. Напруга живлення 230 В подається на контакти **X2**; 6а,8а (табл.1). Вимірювальна напруга 100 чи 380В подається на контакти. Вимірювальний струм 5А подається на затискачі **X2**: 1,2.

Обмотки пускачів, контактами яких здійснюється увімкнення секції КБ, під'єднуються до контактів **X2**: 1с-0с, у відповідності з умовним позначенням номера секції (**1-9**).

### ***Підготовка до роботи***

При підготовці регулятора до введення в експлуатацію необхідно виконати такі операції:

- зовнішній огляд;
- вимірювання електричного опору ізоляції;
- перевірку дієздатності ;



А – регулятор;  
 С1 – перша секція конденсаторів установки;  
 К1 – пускач першої секції конденсаторів установки;  
 Т- трансформатор струму з номінальним значенням другорядного струму 5А

Рисунок 1.2 – Схема під'єднання до мережі

- розрахунок виставлення уставок регулювання;
- вимірювання параметрів, регулювання і налагодження.

При зовнішньому огляді перевіряється відсутність механічних пошкоджень і наявність пояснювальних надписів на органах керування та регулювання, а також перевіряється можливість механічного керування органами регулювання і керування.

Вимірювання електричного опору ізоляції виконують між колами, вказаними в таблиці 1.1, а також між цими колами і корпусом мегомметром на напругу 500 В, контакти кожного кола з'єднуються між собою.

Перевірку електричної міцності ізоляції здійснюють між колами, вказаними в таблиці 1, випробувальною напругою змінного струму частотою 50 Гц величиною 1500 В протягом 60 с (при відсутності такого джерела, перевірку можна виконати за допомогою мегомметра на напругу 2,5 кВ).

Таблиця 1.1 – Номери кіл і контактів регулятора

Номер кола	1	2	3	4
Контакти	X2:6a,8a	X2:1a,2a,3a	X1:1,2	X2:1c,2c,3c, 4c,5c,6c, 7c,8c,9c,0c.

### ***Перевірка дієдатності***

Перевірку дієдатності регулятора виконують при вимірювальному струмі, що не перевищує 0,7 номінального значення, і реактивної потужності навантаження, меншої від потужності конденсаторних батарей. При перевірці дієдатності контролюють споживану реактивну потужність трифазної мережі за показами лічильника реактивної енергії (при виконанні даної лабораторної роботи – за фазометром). Реактивне навантаження і вимірювальний струм виставляються за допомогою ручок керування ЛАТРів (рис.1.3).

Далі вмикають режим ручного керування, для цього короткочасно натискають кнопку (кнопка повинна зафіксуватися в натисненому положенні). Далі натискають кнопку “+” і утримують її в такому положенні. При цьому засвічується індикатор “+” і з витримками часу 3-5 секунд починають вмикатися секції КБ. При ввімкненні чергової секції спостерігається зменшення  $\cos \varphi$  (спостереження за фазометром).

Одночасно перевіряють правильність роботи світлових індикаторів “1-9” регулятора.

Кнопку “+” відпускають і натискають кнопку “-“, утримуючи її в такому положенні. При цьому повинен засвітитися індикатор “-“ з витримкою часу 3-5 сек. Починають вимикатися секції КБ. Споживана реактивна потужність повинна збільшуватись на величину потужності секції, що вимикається (на фазометрі буде спостерігатися зменшення

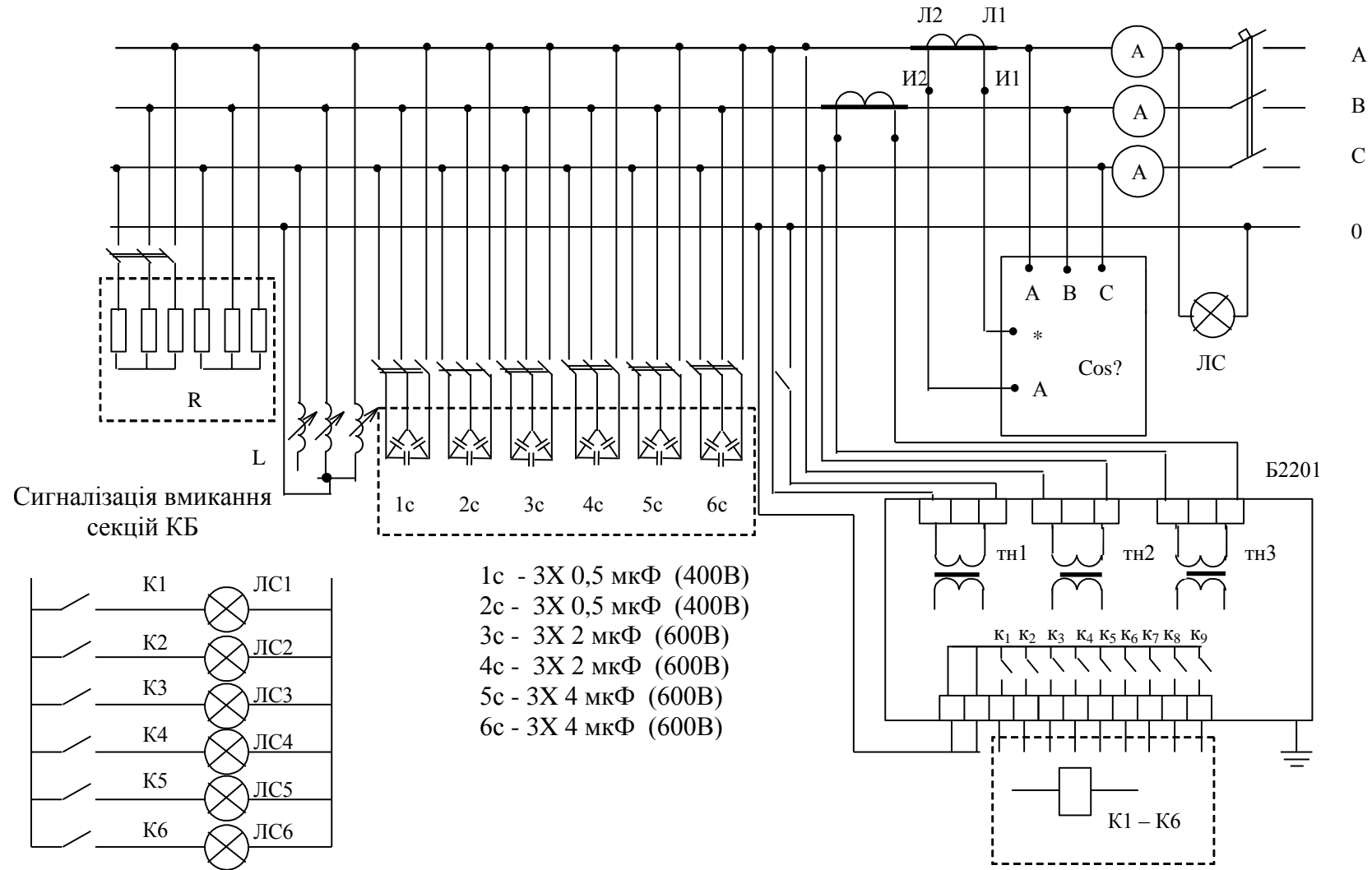


Рисунок 1.3 – Схема лабораторного стенда

$\cos \varphi$ ). Одночасно переконуються в правильності роботи індикаторів “1-9” регулятора (*примітка: знак “+” означає, що секція ввімкнена, знак “-” – що секція вимкнена*).

Наступна перевірка здійснюється в автоматичному режимі.

Регулювальні резистори “ $\Delta Q / Q_0$ ” і “ $I / I_0$ ” виставляються в крайнє ліве положення. Перехід на автоматичний режим здійснюється шляхом короткочасного натискання кнопки, кнопка повинна повернутись у вихідне (не натиснуте) положення. При цьому повинен засвітитись індикатор “+”, при умові, що навантаження мережі має індуктивний характер, чи індикатор “-“, якщо навантаження мережі має ємнісний характер.

Характер навантаження можна спостерігати також за показами фазометра. Якщо замість індикатора “+” (“-“) засвічується індикатор “-“ (“+”), необхідно змінити фазування під’єднання вимірювальної напруги чи струму. При індуктивному характері навантаження спостерігається увімкнення секцій КБ. Витримка часу на ввімкнення чи вимкнення залежить від різниці між фактичним значенням реактивної потужності в мережі і уставкою; тому ввімкнення (вимкнення) кожної наступної секції КБ відбувається з більшою витримкою часу; якщо потужність КБ достатня для компенсації реактивної потужності мережі, то повинен з’явитися коливальний процес увімкнення-вимкнення секції КБ (після чергового вимкнення секції засвічується індикатор “-“, а тоді видається команда на вимкнення секції; після вимкнення секції знову засвічується індикатор “+” і видається команда на ввімкнення секції).

Для припинення коливального процесу резистор “ $\Delta Q/Q_0$ ” виставляється в крайнє праве положення. При цьому індикатори “+” і “-“ не повинні світитися. Далі в крайнє положення переводиться резистор “ $I/I_0$ ”. Тоді при умові, що струм навантаження менший на 0,7 від номінального значення, повинен засвітитися індикатор “-“, а секції КБ почнуть вимикатися.

### ***Розрахунок і введення уставок регулювання***

Уставка вимірювального струму “ $I/I_0$ ” визначає умову автоматичного переходу регулятора з режиму роботи з повною компенсацією реактивної потужності на режим часткової компенсації; якщо уставка регулювання відповідає значенню  $Q_{E2}$ , що не дорівнює нулю, це задається енергосистемою для годин мінімального навантаження і виставляється резистором “ $\Delta Q/Q_0$ ”.

Коли фактичне значення відносної величини вимірювального струму  $I/I_0$  більше від встановленого за шкалою “ $I/I_0$ ” значення на величини 0,05 – 0,1, регулятор працює в режимі повної компенсації реактивної потужності. При зниженні фактичного значення відносної величини вимірювального струму меншого від значення уставки “ $I/I_0$ ”, регулятор переходить на режим часткової компенсації.

Уставка ширини зони нечутливості у відносних одиницях розраховується за формулою:

$$\Delta Q / Q_0 = \frac{Q_C \cdot 1,5}{\sqrt{3} \cdot I_H \cdot n_{TT} \cdot U_H \cdot n_{TH}}, \quad (1.2)$$

де  $Q_C$  – потужність найменшої секції КБ, Вар; 1,5 – коефіцієнт запасу;  $I_H$  – номінальний вимірювальний струм, А;  $n_{TT}$  – коефіцієнт трансформації первинного вимірювального трансформатора струму;  $U_H$  – номінальна вимірювальна напруга, В;  $n_{TH}$  – коефіцієнт трансформації первинного вимірювального трансформатора напруги.

При відсутності первинного трансформатора струму і напруги, значення  $n_{TT}$  і  $n_{TH}$  приймаються рівними 1.

Ємності секцій конденсаторної батареї приведенні на рис. 3. Реактивну потужність найменшої секції і уставку ширини зони нечутливості вираховують за формулою.

Уставка вимірювального струму в відносних одиницях визначається за формулою:

$$I / I_0 = \frac{Q_{E2}}{\sqrt{3} \cdot I_H \cdot n_{TT} \cdot U_H \cdot n_{TH}} \quad (1.3)$$

де  $Q_{E2}$  – задана енергосистемою вхідна реактивна потужність на ввіді підприємства в години її мінімальних активних навантажень, Вар.

Значення  $Q_{E2}$  для мережі, реалізованої в даному лабораторному стенді, береться з таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Значення величини  $Q_{E2}$  по варіантах завдання

Варіант завдання	1	2	3	4	5
Значення $Q_{E2}$ , Вар	0	500	700	1000	1400

Одержанні значення уставки виставляються за шкалою “ $\Delta Q / Q_0$ ”.

### ***Вимірювання параметрів, регулювання і налагодження***

Регулювання і налагодження регулятора виконують за схемою (рис.1.4) в автоматичному режимі в такій послідовності:

1. Під'єднують вольтметр постійного струму до вихідного кола +14В стабілізатора і резистором  $R_8$  виставляють вихідну напругу  $14 \pm 0,2$ В.
2. Під'єднують той самий вольтметр до вихідного кола +24В стабілізатора, і резистором  $R_8$  виставляють вихідну напругу  $24,0 \pm 0,5$ В.



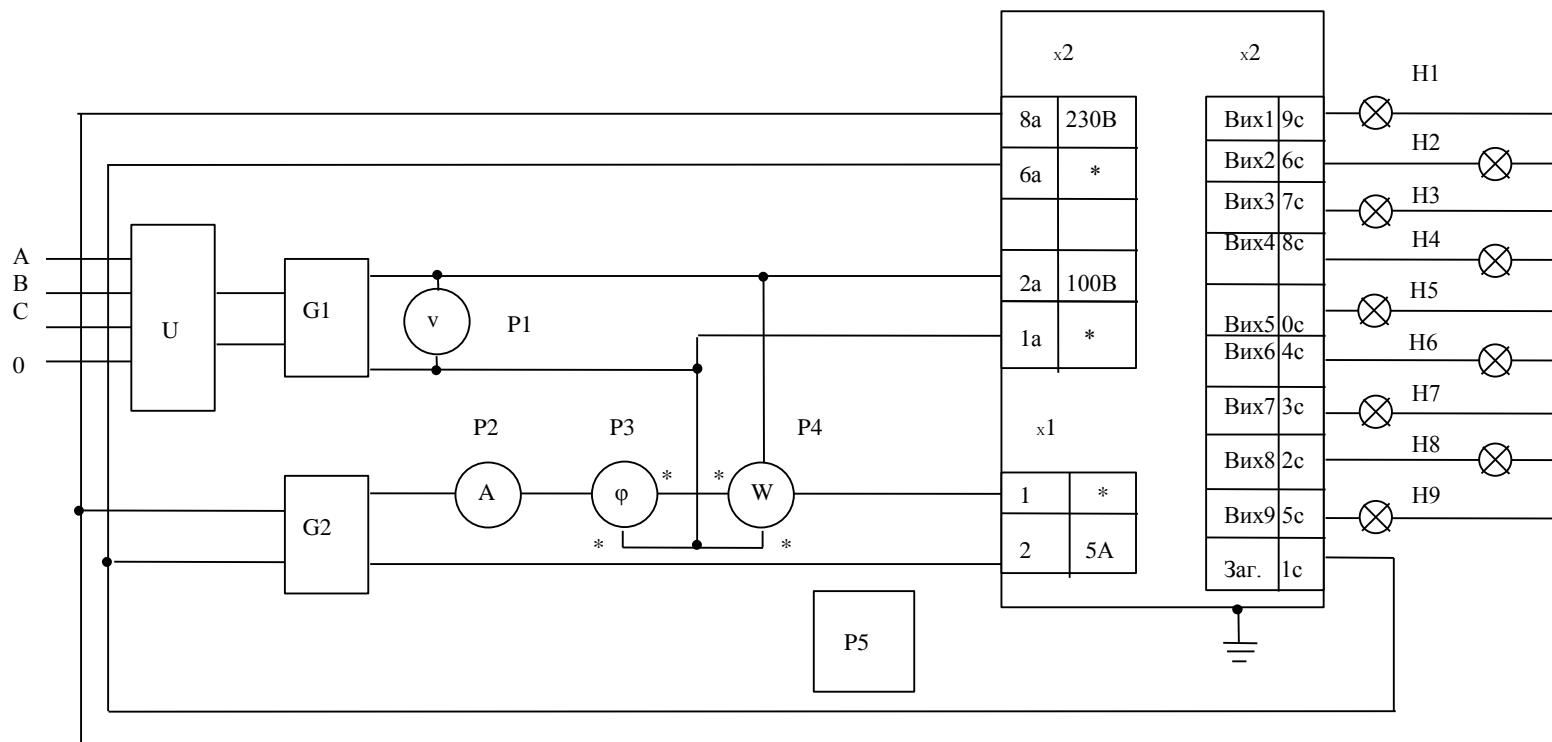


Рисунок 1.4 – Вимірювання параметрів, регулювання і налагодження регулятора

A – регулятор; G1 – джерело змінної напруги стабілізоване, регульоване (80 – 120) В; 50 Гц, нестабільність не більше  $\pm 0,5\%$ , вихідна потужність не менше 20 ВА; G2 – джерело змінного струму стабілізоване регульоване, (0,5-6) А, 50Гц, нестабільність не більше  $\pm 0,5\%$ , вихідна потужність не менше 20 ВА; H1 – H9 – лампи на 220 В, потужність не більше 15 Вт; P1 – вольтметр змінного струму, межа вимірювання 150 В, клас точності не нижче 0,5; P2 – амперметр змінного струму, межі 0,25 – 5 – 10А, клас точності не нижче 0,5; P3 – фазометр типу Д578; P4 – ватметр малокосинусний, клас точності не нижче 1,0; P5 – секундомір з ручним керуванням, клас 3; U – фазорегулятор з межами регулювання кута зсуву між первиною і вторинною напругою  $0 \pm 120^\circ$

3. Виставляють резистори “ $Q/Q_0$ ”, “ $\Delta Q/Q_0$ ” і “ $I/I_0$ ” в крайнє лїве положення і від’єднують джерело  $G_2$ .
4. До виходу ОУДІ формувача приєднують осцилограф і резистором  $R_{20}$  на платі помножувача домагаються мінімальної напруги на виході вказаного формувача.
5. Під’днують джерело  $G_2$  і встановлюють за амперметром  $P_2$  струм джерела 5 А.
6. Фазорегулятором  $V$  виставляють за фазометром  $P_3$  кут зміщення між струмом та напругою  $90^\circ$  (струм випереджає напругу) і резистором  $R_3$  помножувача домагаються мінімальної напруги на виході ОУДІ формувача.
7. Виставляють за шкалою “ $\Delta Q/Q_0$ ” значення “0,24” і приєднують до виходу ОДД4 формувача вольтметра постійного струму (клас точності не нижче 0,5; вхідний опір не нижче 5 кОм).
8. Виставляють резистори “ $Q/Q_0$ ” в крайнє праве положення, а за шкалою “ $I/I_0$ ” – значення “0,7”. Плавнo зменшують струм джерела  $G_2$ , фіксуючи його значення в момент появи від’ємної напруги на виході ОУДІ формувача. Значення струму, яке повинно бути 3,5 А, налагоджується резистором помножувача.
9. Виставляють струм джерела  $G_2$  – 3 А, а за шкалою “ $Q/Q_0$ ” - значення “0” і заміряють вольтметром вихідну напругу ОУДІ формувача, яка повинна бути 7,2 В. Налагодження рівня цієї напруги здійснюють  $R_{35}$  помножувача.
10. Виставляють струм 2,5 А джерела  $G_2$ , фазорегулятором  $V$  – нульове фазове зміщення між струмом і напругою, резистор “ $I/I_0$ ” – в крайнє лїве положення і заміряють вихідну напругу на виході ОУДІ формувача, яка повинна бути +6 В. Налагодження рівня цієї напруги здійснюється резистором помножувача.

### ***Визначення втрат електроенергії***

Втрати активної потужності за виміряними струмами в мережі (до і після увімкнення конденсаторів) та її опорамі визначаються за формулою:

$$\Delta P = n \times I^2 \times R \times 10^{-3} \text{кВт}, \quad (1.3)$$

де  $n$  – кількість фаз;

$I$  – фазний струм до або після ввімкнення конденсаторів, А;

$R$  – активний опір фази мережі, Ом.

Втрати активної електроенергії визначаються за формулою:

$$\Delta W_a = n \times I^2 \times R \times T \times 10^{-3} \text{кВт/год}, \quad (1.4)$$

де  $T$  – час вимірювання, год.

### ***Технічне обслуговування***

Для регулятора встановленні такі види технічного обслуговування: - профілактичний контроль, профілактичне відновлення .

Профілактичний контроль здійснюють не рідше одного разу на два роки в такому обсязі:

1. Зовнішній огляд.
2. Вимірювання електричного опору ізоляції.

Профілактичне відновлення виконується не рідше одного разу в такому обсязі:

1. Зовнішній огляд.
2. Внутрішній огляд.
3. Перевірка електричної міцності ізоляції.
4. Вимірювання електричного опору ізоляції.
5. Перевірка електричних характеристик за схемою на рис. 4 (перевірка дієздатності нульової уставки параметра регулювання, регулюємо уставки вимірювального струму і перемикання, уставок параметра регулювання, уставки ширини зони нечутливості, витримки часу).

При відхиленні електричних характеристик регулятора від заданих, виконується налагодження і регулювання відповідно до розділу 3.9.

### ***Запитання для самоперевірки***

1. Які вимоги висуває енергопостачальна організація до споживання реактивної потужності з її мережі?
2. Які вимоги промислових підприємств до компенсації реактивної потужності в їх мережах?
3. Які функції повинен виконувати автоматичний регулятор, щоб відповідати вимогам, сформульованим в п. 1 і 2?
4. Основні технічні дані, призначення і галузь використання автоматичного регулятора конденсаторних батарей Б2201, його переваги і недоліки.
5. Чи відповідає регулятор Б2201 вимогам, сформульованим в пунктах 1 і 2?
6. Як досягається додатковий ефект (додаткове зниження втрат електроенергії) при оптимальному керуванні компенсувальними установками?
7. Як визначається режим навантаження при визначенні уставок регулювання?
8. Як впливає витримка часу на ввімкнення (вимкнення) секції конденсаторної батареї?
9. Як формуються команди керування секціями КБ?
10. В чому полягає відмінність роботи регулятора за кодами 1:1:1:1 і 1:1:2:2?
11. Як працює стабілізатор напруги (за принциповою схемою)?
12. Як здійснюється сигналізація про ввімкнення (вимкнення) секції КБ?

13. Як програматор виробляє команди на ввімкнення (вимкнення) секції КБ?
14. Призначення комутатора.
15. Як здійснюється приєднання регулятора до мережі?
16. Як здійснюється кріплення регулятора на конденсаторній установці?
17. Яким випробуванням підлягає регулятор перед введенням його в експлуатацію?
18. Порядок перевірки дієздатності регулятора.
19. Як визначається уставка ширини зони нечутливості?
20. Як визначається уставка вимірювального струму?
21. Як визначається уставка регулювального параметра в режимі часткової компенсації?
22. Порядок налагодження регулятора.
23. Обсяг технічного обслуговування регулятора.

### *Література*

1. Регулятор реактивной мощности типа Б2201. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Рига: Торапринт ПО «Полиграфист», 1986.
2. Поспелов Г. Е., Сыч Н. М., Федин В. Т. Компенсирующие и регулирующие устройства в электрических системах. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1983.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### “Оптимальне (за критерієм мінімальних втрат) керування батареями конденсаторів за допомогою групи локальних регуляторів”

#### *Про оптимальне керування компенсувальними установками*

Необхідність автоматичного керування компенсувальними установками зумовлюється такими чинниками:

- графіки активних і реактивних навантажень у вузлах енергосистеми (ЕС) і споживачів протягом доби мають переважно змінний характер, а це вимагає відповідної зміни потужності в компенсувальних установках;
- відповідно з діючою “Методикою розрахунків плати за реактивну енергію...”, енергопостачальні організації можуть задавати споживачам генерацію реактивної потужності в їх мережу (в період максимальних активних навантажень енергосистеми) або її споживання (в період мінімальних активних навантажень енергосистеми) з метою покращення якості електроенергії. Виконання вимог енергосистеми можливе за умови використання автоматичних засобів керування потужністю компенсувальних установок;
- у випадках, коли ЕС не регламентує споживання реактивної потужності (РП) з її мережі (в позапікові періоди чи протягом доби), цілком природне бажання споживачів досягти нульових перетоків РП через межу розподілу їх мереж, що теж вимагає застосування автоматичних засобів керування (нульові перетокі забезпечують нульову плату за реактивну енергію і нульові втрати в мережах ЕС від передавання РП даному споживачу );
- відомо, що при споживанні підприємством однієї і тієї ж вхідної реактивної потужності, втрати в його мережі можуть бути різними (найменші втрати будуть при оптимальному розподілі РП – обернено пропорційно активним опорам мережі). Оптимальний розподіл РП можна забезпечити в процесі керування шляхом застосування спеціальних пристроїв, здатних виконувати функцію мінімізації втрат в електричних мережах.

Необхідно відмітити, що описаний (лабораторна робота №1) автоматичний регулятор потужності конденсаторних батарей серійного виробництва Б2201 був, у свій час, найкращим з відомих регуляторів. В ньому був застосований перемикач уставки вхідної реактивної потужності для характерних зон активних навантажень енергосистеми протягом доби (зони пікових, позапікових і мінімальних навантажень). Але в даному регуляторі відсутня функція мінімізації втрат при певній заданій вхідній реактивній потужності. Окрім того, даний пристрій не дозволяє виконувати вимог енергосистеми до споживання реактивної потужності з її мережі. Основна причина – невдалий вибір параметра переключення

установок. Таким параметром є загальний струм вузла, який не характеризує режиму навантажень енергосистеми. До того ж, даний пристрій не здійснює регулювання за напругою, не враховується робота регуляторів РПН (якщо вони встановлені на трансформаторах ГПП).

На кафедрі “Електротехнічних систем електроспоживання та енергозбереження” розроблений спеціальний регулятор РРАН-1, який призначений для оптимального (за критерієм мінімальних втрат) керування потужністю компенсуючих установок. За допомогою групи таких регуляторів виконуються вимоги енергосистеми щодо споживання реактивної потужності з її мережі, автоматичне перемикання уставок і мінімізація втрат в мережах споживача. Використання таких регуляторів дозволяє отримати додаткове зниження втрат електроенергії за рахунок оптимізації поточного розподілу недокомпенсованої реактивної потужності. На основі фізичної моделі мережі споживача і даних регуляторів, побудована лабораторна робота. Опис змісту лабораторної роботи та регулятора РРАН-1 приводяться нижче.

### ***Зміст лабораторної роботи***

Метою лабораторної роботи є засвоєння студентами монтажу, налагодження та експлуатації автоматичних регуляторів конденсаторних батарей локальної дії РРАН-1. Лабораторна робота розрахована на 2 години і 2 години домашньої підготовки.

В процесі виконання роботи студенти повинні:

#### ***Вивчити:***

- електричну принципову схему лабораторного стенда (рис.2.1);
- опис регулятора (загальні відомості);
- схему приєднання регулятора до мережі (рис.2.2);
- порядок встановлення регулятора;
- операції з підготовки до роботи;
- операції з перевірки дієздатності;
- технічне обслуговування в процесі експлуатації;
- спосіб оптимального (за критерієм мінімальних втрат) керування потужністю конденсаторних батарей за допомогою групи спеціальних регуляторів локальної дії;
- структурну схему регулятора і принцип його роботи;
- алгоритм керування потужністю компенсуючих установок за допомогою групи локальних регуляторів.

#### ***Виконати:***

- під'єднання регулятора і необхідних приладів до мережі (лабораторних фазометра і амперметрів);
- операції з підготовки до роботи;
- перевірку готовності до роботи;

- виставити струм навантаження 5А в кожній фазі (за допомогою ЛАТРів L<sub>1</sub>–L<sub>9</sub>). Контроль здійснюється лабораторними амперметрами РА<sub>1</sub>–РА<sub>3</sub>;
- фіксування показів лічильників Varh, Varh1, Varh2, Varh3 та лічильника втрат ΔР і фазометра (коефіцієнта потужності);
- фіксування показів лічильників Varh, Varh1, Varh2, Varh3 та лічильника втрат і фазометра за проміжок часу t (наприклад, 10 хв.);
- увімкнення живлення регулятора РРАН-1, перехід на ручний режим керування, почергове увімкнення секцій БК, фіксування зміни коефіцієнта потужності (лабораторним фазометром), та струмів навантаження (лабораторними амперметрами);
- фіксування показів лічильників Varh, Varh1, Varh2, Varh3 та лічильника втрат через 10 хвилин після переходу на ручний режим керування;
- перехід на автоматичний режим керування (при уставці за вхідною реактивною потужністю, рівною “0”) та фіксування показів лічильників реактивної енергії і втрат (через 10 хвилин після переходу на автоматичний режим керування);
- зміну навантаження (з 5А до 3А), фіксуючи при цьому зміну коефіцієнта потужності і спрацювання РРАН-1 через відповідний проміжок часу (цикл керування) та покази лічильників (через 10 хвилин після зміни навантаження);

Оформити звіт про виконання лабораторної роботи. У звіті мають бути:

- загальні відомості про регулятор;
- структурна схема регулятора та її опис;
- схема під'єднання регулятора до мережі і її опис;
- результати вимірювань втрат електроенергії в режимах: відсутності компенсації реактивних навантажень, ручного керування компенсувальними установками, автоматичного керування компенсувальними установками і зменшення реактивних навантажень;
- результати розрахунків втрат електроенергії у всіх зазначених вище режимах і їх порівняння з результатами вимірювання втрат за допомогою лічильника, втрат з визначенням різниці (у %);
- результати визначення зниження втрат при застосуванні компенсації;
- висновки щодо ефективності компенсації реактивних навантажень і регулятора.

Втрати активної потужності і електроенергії за виміряними струмами і параметрами мережі визначаються за формулами:

$$\Delta P = n \times I^2 \times R \times 10^{-3} \text{ кВт}; \quad (2.1)$$

$$\Delta W_a = n \times I^2 \times R \times T \times 10^{-3} \text{ кВт / год}, \quad (2.2)$$

де n – кількість фаз;

I – фазний струм;

T – час вимірювання, год.

***Хід роботи:***

- Ввімкнути автоматичний вимикач QF.
- За допомогою ЛАТРів L1-L9 виставити струм навантаження 5А. Контроль струму навантаження здійснюється амперметрами PA1-PA3.
- За проміжок часу  $t$  (вказується викладачем) зафіксувати зміну показів лічильників Varh, Varh1, Varh2, Varh3 та лічильника втрат  $\Delta P$ . Записати коефіцієнт потужності.
- Ввімкнути живлення регулятора РРАН-1. Перейти на ручний режим керування. Почергово вмикати секції КУ, фіксуючи зміни коефіцієнта потужності та струму навантаження. За проміжок часу  $t$  і певним значенням коефіцієнта потужності, зняти покази з лічильників Varh, Varh1, Varh2, Varh3 та лічильника втрат  $\Delta P$ .
- Змінювати струм навантаження від 5 до 2А, повторюючи п. 3 та п. 4. Результати занести в таблицю 1 .
- Перейти на автоматичний режим керування регулятора. Виставити струм навантаження в межах від 5 до 2А. Проконтролювати роботу регулятора в даному режимі.
- Зробити висновки.

На основі аналізу режимів електроспоживання РП на промислових підприємствах, вимог енергосистеми до споживання реактивної потужності з її мережі і споживачів до компенсації реактивної потужності в їх мережах, з викладених вище причин, які зумовлюють необхідність застосування автоматичного керування КУ, діючих нормативних документів з КРП, сформульовані принципи оптимального автоматичного керування компенсуючими установками і вимоги до технічних засобів, що створюються:

- виконання вимог енергосистеми до споживання реактивної потужності з її мережі;
- забезпечення мінімуму втрат електроенергії в мережах споживачів у всіх можливих режимах добового електроспоживання;
- забезпечення рівнів напруги в допустимих межах;
- максимальне використання діючих КУ в періоди, коли енергосистема не регламентує споживання реактивної потужності і енергії з її мережі (наприклад, в періоди позапікового електроспоживання і ін.);
- забезпечення контролю фактичної вхідної реактивної потужності на вводах підприємства і окремих вузлах його мережі;
- визначення і задання оптимальних значень уставок вхідної реактивної потужності на вводах підприємства та окремих вузлах для характерних добових режимів електроспоживання і забезпечення можливості їх автоматичного перемикавання при зміні цих режимів;



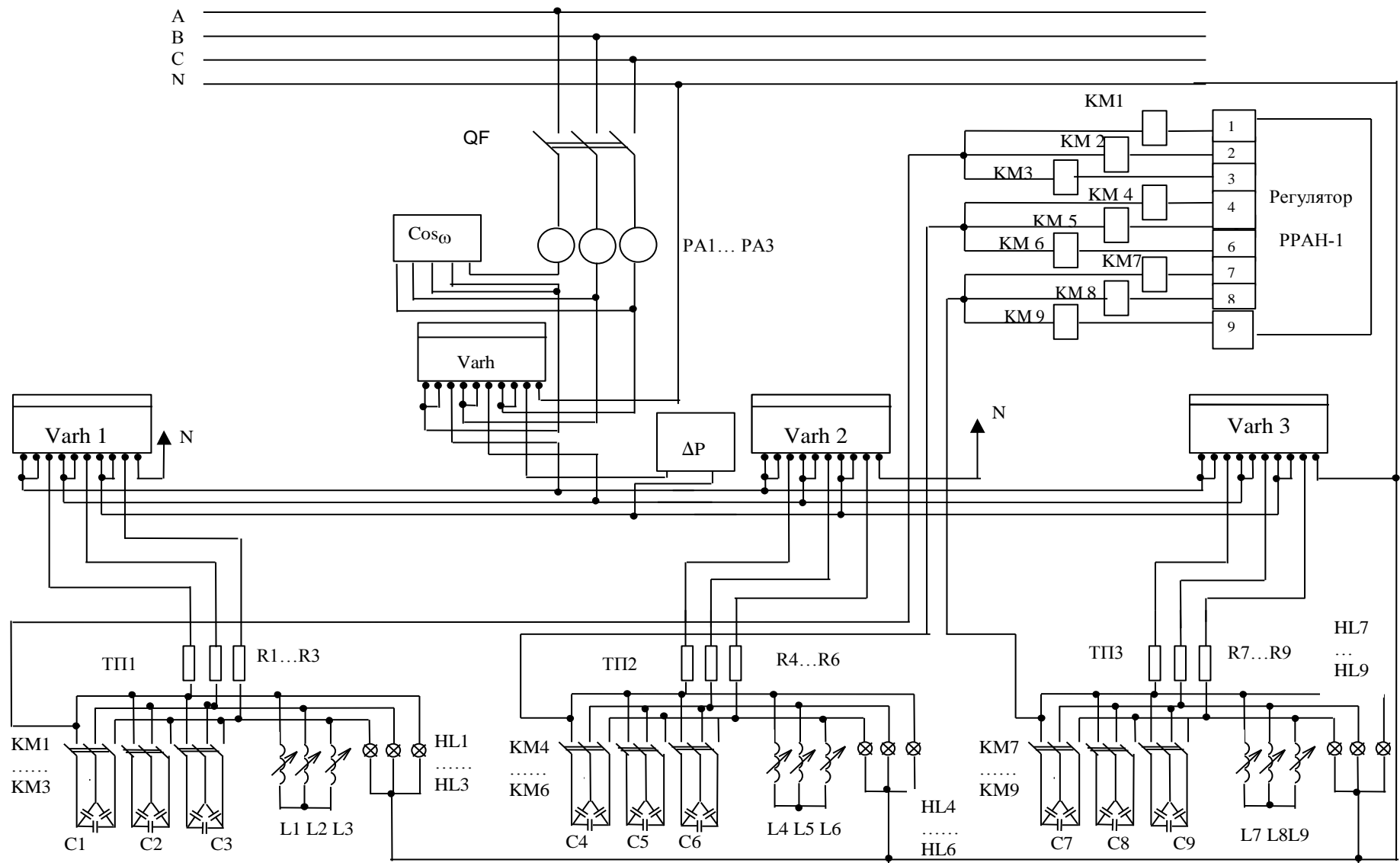


Рисунок 2.1 – Електрична принципова схема лабораторного стенда

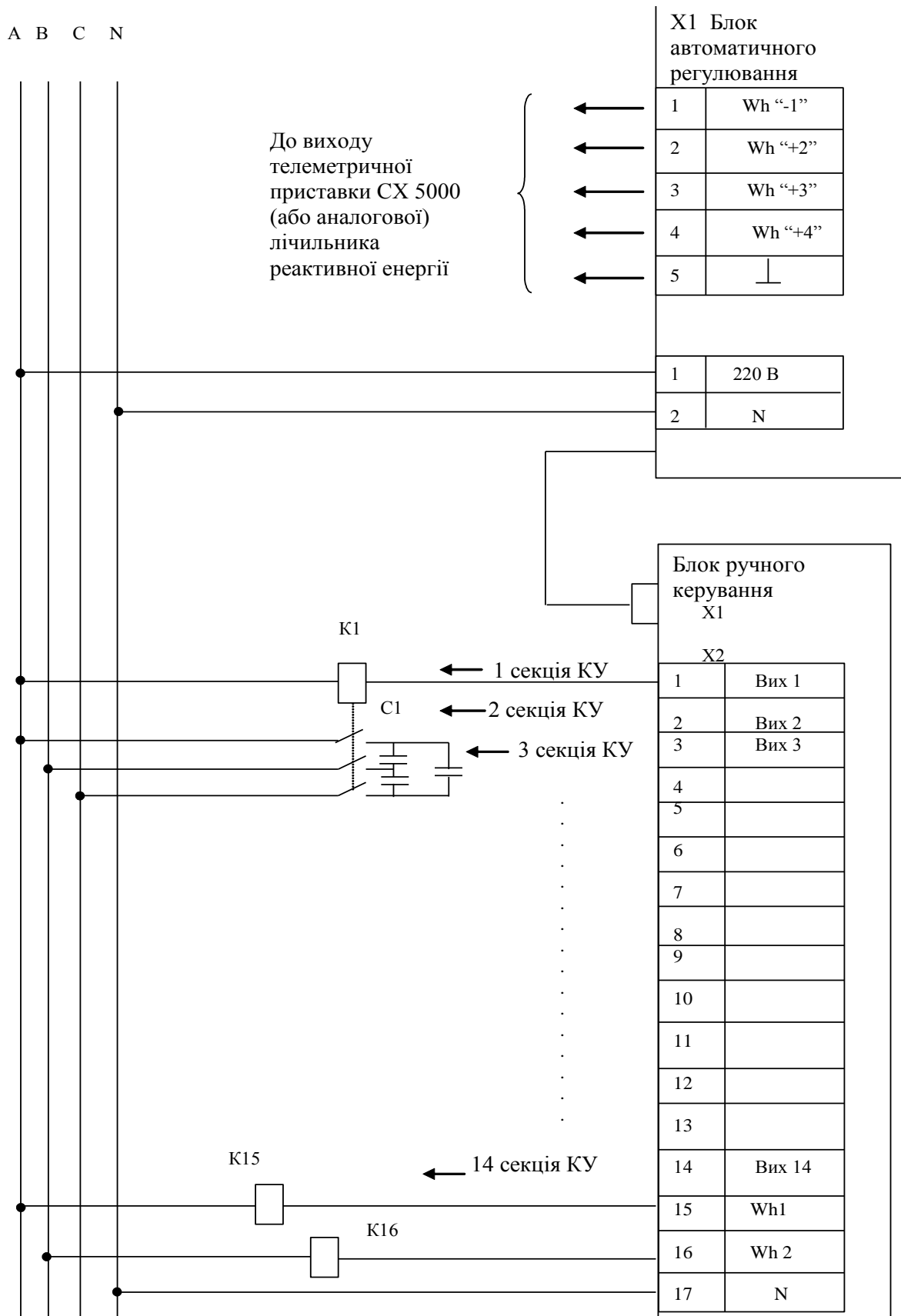


Рисунок 2.2 – Схема приєднання регулятора до мережі

- забезпечення індикації на інформаційному табло поточного значення вхідної реактивної потужності, поточного часу доби, проходження сигналу від лічильників-датчиків до системи, наявності напруги джерела живлення;

- забезпечення роботи в автоматичному, диспетчерському і місцевому режимах.

В табл. 2.1 наведені відомі пристрої і системи управління КУ та їх класифікація. Загальними недоліками відомих пристроїв та систем локального і централізованого управління КУ, представлених в таблиці 1.2, є такі:

- не забезпечується виконання вимог ЕС щодо споживання реактивної потужності з її мережі;

- не вирішується завдання мінімізації втрат в електричних мережах;

- відсутній контроль ВРП на вводах підприємства і контроль вузлів;

- не враховується наявність трансформаторів з РПН;

- не визначаються уставки ВРП з позиції споживача з врахуванням використання для компенсації СД;

- не враховуються втрати в лініях, які живлять СД;

- не враховується порушення умови оптимальності керування при зміні кількості ввімкнених в роботу КУ.

Таблиця 2.1 – Відомі технічні засоби керування КУ і їх класифікація

Тип технічних засобів керування	Принципи, параметри і моделі керування	Характеристика систем керування
ВАКО	За відхиленням; $I$ ; $Q_k(t) = f[\Delta I(t)]$	Замкнена, зі зворотним зв'язком, локальної дії.
АРКОН [33, 34]	За відхиленням і збуренням; $I$ і $U$ ; За відхиленням; $I$ $Q_k(t) = f[\Delta I(t), U(t)]$  За збуренням; $U$ ; $Q_k(t) = f[U(t)]$	Замкнена, комбінована, зі зворотними головним і компенсвальним зв'язками, локальної дії.  Розімкнена, локальної дії
Регулятори фірми VEB	За відхиленням; $I_p$ ; $Q_k(t) = f[\Delta I_p(t)]$	Замкнена, зі зворотним зв'язком, локальної дії.
На основі програмного електрогодинника	За часом доби; $Q_k(t) = f[Q_c(t)]$	Розімкнена, централізованого керування
Регулятори фірми NOKIA	За відхиленням; $Q$ ; $Q_k(t) = f[\Delta Q(t)]$	Замкнена, зі зворотним зв'язком, локальної дії

Продовження таблиці 2.1

Керування РП підприємства за допомогою групи СД	За відхиленням; $Q$ ; $Q_k(t) = f[\Delta Q(t)]$	Замкнена, зі зворотним зв'язком, централізованого керування
Системи диспетчерського керування на основі ЦТ-5000, ИИСЭ. – I, II, III, IV.	За відхиленням; $Q$ ; $Q_k(t) = f[\Delta Q(t)]$	Централізованого керування (зворотний зв'язок через диспетчера).
Місцеві схеми керування [41, 42]	За відхиленням; $\cos \varphi$ ; $Q_k(t) = f[\Delta \cos \varphi(t)]$ Сумісне керування з виробничими механізмами;	Замкнена, зі зворотним зв'язком, локальної дії централізованого або локального керування
Регулятор Б-2201	За відхиленням і заданою дією; $Q$ і $I_H$ ; $Q_k(t) = f[\Delta Q(t), Q_e(I_H(t))]$	Замкнена, комбінована, зі зворотними головним та компенсвальним зв'язками, локальної дії
Регулятор коефіцієнта потужності РКМ-1	За відхиленням : $\cos \varphi_i$ [ $Q$ і $I_H$ ] ; $Q_k(t) = f[\Delta \cos \varphi(t)]$	Замкнена, зі зворотним зв'язком, локальної дії
Регулятор коефіцієнта потужності РКП 12-2(600)	За відхиленням : $\cos \varphi_i$ ; $Q_k(t) = f[\Delta \cos \varphi(t)]$	Замкнена, комбінована, зі зворотними головним і компенсвальним зв'язками, локальної дії

Проведений аналіз відомих способів і пристроїв керування компенсвальними установками показав, що: - в сьогоденні відсутні способи і системи, які повністю відповідають сформульованим вище вимогам енергозбереження; - нові способи і пристрої, які розробляються, повинні ґрунтуватись на використанні принципу комбінованого керування, який поєднує в собі принцип керування за відхиленням (підтримання  $Q_{вх}(t)$ ,

рівної  $Q_e$ ) і принцип керування за збуренням (перемикання уставок в залежності від зміни характерного добового режиму електроспоживання).

Для досягнення цих якостей необхідно розробити комплекс нових способів, програмних і технічних засобів оптимального керування компенсувальними установками, які б відповідали зазначеним вище вимогам і охоплювали всі можливі галузі їх застосування.

Розроблені і описані в [1] способи, пристрої та системи централізованого керування БК відповідають сучасним вимогам щодо керування і енергозбереження. Але для їх впровадження у виробництво потрібні кабелі зв'язку. Дефіцит кабелів і відсутність серійного виробництва технічних засобів стримує впровадження централізованих систем керування у виробництво. Окрім того, на малих підприємствах при невеликій кількості БК централізовані системи можуть бути економічно недоцільні. В цих випадках застосовують локальні регулятори.

Найбільш сучасним з відомих пристроїв є регулятор Б-2201 (табл. 2.1). Однак він не дозволяє виконувати вимог 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 [1], який здійснює керування потужністю БК за двома параметрами:  $Q$  і  $U$ . Але всі інші недоліки регулятора Б-2201 властиві даному пристрою. Окрім того, в даному пристрої команда на ввімкнення або вимкнення секції БК надходить на виконавчі органи тільки тоді, коли значення  $Q$  і  $U$  перевищать верхній чи нижній допустимий рівень.

Пропонується автоматичний регулятор конденсаторних батарей локальної дії АРКОН (Л), який дозволяє уникнути описаних вище недоліків відомих пристроїв [1]. Мінімізація втрат від перетоків некомпенсованої реактивної потужності досягається шляхом визначення оптимальних уставок вхідної реактивної потужності на вводах окремих вузлів мережі підприємства для характерних добових режимів електроспоживання енергосистеми і підприємства  $Q_{ej}$  та їх забезпечення за допомогою запропонованих регуляторів.

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

**I-й етап:** визначаються оптимальні значення вхідної реактивної потужності вузлів  $Q'_{ej}$  без врахування втрат реактивної потужності в живильних лініях, які живлять ці вузли. Для розрахунків використовується модель:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta m_j = \frac{10^{-3}}{U^2} \sum_{i=1}^n Q_{eij}^2 \cdot R_{ei} \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^n Q_{eij} = Q_{ej} \text{ або } \sum_{i=1}^n (Q_{\phi ij} - p_i Q_{\kappa ij}) - Q_{ej} = 0, \\ Q_{eij} \leq Q_{\phi ij} \text{ або } p_i Q_{\kappa ij} \geq 0, \\ Q_{eij} \leq (Q_{\phi ij} - Q_{\kappa ij}). \end{array} \right. \quad (2.3)$$

З умов  $\partial F / \partial Q_{ei} = 0$  і  $\partial F / \partial \lambda = 0$  знаходимо:

$$Q_{eij} = Q_{\phi ij} (1 - p_i) + \frac{p_i \left[ \sum_{i=1}^n Q_{\phi ij} (1 + p_i) - Q_{ej} \right]}{R_{ei} \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{R_{ei}}} \quad (2.4)$$

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

$$\Delta Q_{eij} = \frac{10^{-3}}{U^2} \sum_{i=1}^n (Q'_{eij})^2 \cdot X_{ei}, \quad (2.5)$$

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

**3-й етап:** визначаються оптимальні значення вхідної реактивної потужності на ввіді i-го вузла для j-го характерного режиму з врахуванням втрат реактивної потужності в лініях, що живлять ці вузли:

$$Q_{eij} = Q'_{eij} + \Delta Q_{eij}. \quad (2.6)$$

Значення  $Q_{eij}$  у вигляді уставок вводяться в регулятор, який підтримує оптимальні значення реактивної потужності у вузлі. Для врахування спільної роботи з РПН трансформатора використаний перемикач, який забезпечує роботу регулятора в таких режимах: “з РПН” і “без РПН” (рис.2.29). За допомогою групи запропонованих регуляторів реалізується такий спосіб керування БК. Регулятори встановлюють в окремих вузлах розподільчих 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:

$$\left. \begin{array}{l} U_{\min.\partial} < h \cdot U_{\phi i}(\Delta t) < U_{\max.\partial} \\ Q_{ej}^H \leq h Q_{\phi i}(\Delta t) \leq Q_{eij}^B \end{array} \right\} Y_{вух} = 0. \quad (2.7)$$

Регулятор спрацює, якщо один із параметрів вийде з допустимих меж, а другий буде знаходитись в допустимих межах:

$$a) \left. \begin{array}{l} hU > 1,1U_H \vee hU < 0,95U_H \\ Q_{ej}^H \leq h \cdot Q < Q_{ej}^B \end{array} \right\} Y_{ВИХ} = 1 \quad (2.8)$$

$$б) \left. \begin{array}{l} 0,95U_H \leq hU \leq 1,1U_H \\ hQ < Q_{ej}^H \vee hQ > Q_{ej}^B \end{array} \right\} Y_{ВИХ} = 1 \quad (2.9)$$

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

$$\left. \begin{array}{l} hU > 1,1U_H \vee hU < 0,95U_H \\ hQ < Q_{ej}^B \vee hQ > Q_{ej}^B \end{array} \right\} Y_{ВИХ} = 1 \quad (2.10)$$

Враховуючи вирази (7 - 10) 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 управління здійснюється за параметром Q в межах  $Q'_{ej} \leq hQ \leq Q_{ej}^{%}$ , а за параметром U виконується до тих пір, поки Q знаходиться в допустимих межах. Якщо Q виходить за допустимі межі в результаті керування 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 ввімкнення секції БК, але їх можна вимикати, якщо це необхідно для підтримання величини  $Q_{ej}$ ; при  $U < 0,9U_H$  регулятор блокує подальше вимкнення секцій БК, якщо параметр U виходить за допустимі межі). Параметри вибирають в залежності від вимог до рівнів напруги у вузлах розподільчої мережі підприємства і наявності трансформаторів з РПН. Згідно з вибраними параметрами чи їх комбінаціями реалізуються такі моделі керування:
- тільки за параметром Q (підтримання допустимих рівнів напруги забезпечується РПН трансформаторів):

$$\begin{aligned} Q_{\phi i}(\Delta t) < Q_{ej} &\Rightarrow Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) - Q_{ci}; \\ Q_{\phi i}(\Delta t) > Q_{ej} &\Rightarrow Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) + Q_{ci}; \end{aligned} \quad (2.11)$$

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

$$(U_{\phi i}(\Delta t) < U_{\min. \text{доп}}) \Rightarrow Q_{ki}(t+\Delta t) = Q_{ki}(t) + Q_{ci}; \quad (2.12)$$

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

- з пріоритетом за параметром Q:

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\text{TM}_i}(\Delta t) > Q_{eij}^B \\ Q_{ej}^H \leq Q_{\phi i}(\Delta t) < Q_{eij}^B \quad I \quad U_{\phi i}(\Delta t) < U_{\min. \text{доп}} \end{array} \right\} Q_{ki}(t + \Delta t) = Q_{ki}(t) + Q_{ci} \quad (2.13)$$

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\phi i}(\Delta t) < Q_{eij}^H \\ Q_{ej}^H \leq Q_{\phi i}(\Delta t) < Q_{eij}^B \quad I \quad U_{\phi i}(\Delta t) > U_{\max. \text{доп}} \end{array} \right\} Q_{ki}(t + \Delta t) = Q_{ki}(t) - Q_{ci}$$

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\phi i}(\Delta t) < Q_{eij}^H \quad I \quad U_{\text{TM}_i}(\Delta t) > U_{\max. \text{доп}} \\ Q_{\phi i}(\Delta t) < Q_{eij}^H \quad I \quad U_{\text{TM}_i}(\Delta t) < U_{\min. \text{доп}} \end{array} \right\} Q_{ki}(t + \Delta t) = Q_{ki}(t) - Q_{ci} \quad (2.14)$$

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\phi i}(\Delta t) > Q_{eij}^B \quad I \quad U_{\phi i}(\Delta t) > U_{\max. \text{доп}} \\ Q_{\phi i}(\Delta t) > Q_{eij}^B \quad I \quad U_{\phi i}(\Delta t) < U_{\min. \text{доп}} \end{array} \right\} Q_{ki}(t + \Delta t) = Q_{ki}(t) + Q_{ci}$$

- з пріоритетом за параметром U:

$$\left. \begin{array}{l} U_{\phi i}(\Delta t) < U_{\min. \text{доп}} \\ U_{\min. \text{доп}} \leq U_{\phi i}(\Delta t) \leq U_{\max. \text{доп}} \quad I \quad Q_{\phi i}(\Delta t) > Q_{eij}^B \end{array} \right\} Q_{ki}(t + \Delta t) = Q_{ki}(t) + Q_{ci}$$

$$\left. \begin{array}{l} U_{\phi i}(\Delta t) > U_{\max. \text{доп}} \\ U_{\min. \text{доп}} \leq U_{\phi i}(\Delta t) \leq U_{\max. \text{доп}} \quad I \quad Q_{\text{TM}_i}(\Delta t) > Q_{eij}^H \end{array} \right\} Q_{ki}(t + \Delta t) = Q_{ki}(t) - Q_{ci} \quad (2.15)$$

$$\left. \begin{array}{l} U_{\phi i}(\Delta t) < U_{\min. \text{доп}} \quad I \quad Q_{\phi i}(\Delta t) > Q_{eij}^B \\ U_{\phi i}(\Delta t) < U_{\min. \text{доп}} \quad I \quad Q_{\phi i}(\Delta t) < Q_{eij}^H \end{array} \right\} Q_{ki}(t + \Delta t) = Q_{ki}(t) + Q_{ci} \quad (2.16)$$

$$\left. \begin{array}{l} U_{\phi i}(\Delta t) > U_{\max. \text{доп}} \quad I \quad Q_{\phi i}(\Delta t) > Q_{eij}^B \\ U_{\phi i}(\Delta t) > U_{\max. \text{доп}} \quad I \quad Q_{\phi i}(\Delta t) < Q_{eij}^H \end{array} \right\} Q_{ki}(t + \Delta t) = Q_{ki}(t) - Q_{ci}$$



- за параметром  $Q$  і з коригуванням за параметром  $U$ :

$$\begin{aligned}
 Q_{ej}^H \leq Q_{\phi i}(\Delta t) \leq Q_{eij}^B \quad I U_{\phi i}(\Delta t) < U_{\min, \text{доп}} &\Rightarrow Q_{\text{к}\mu}(t+\Delta t) = Q_{\text{к}\mu}(t) + Q_{\text{с}i} \\
 Q_{ej}^H \leq Q_{\phi i}(\Delta t) \leq Q_{eij}^B \quad I U_{\phi i}(\Delta t) > U_{\max, \text{доп}} &\Rightarrow Q_{\text{к}\mu}(t+\Delta t) = Q_{\text{к}\mu}(t) - Q_{\text{с}i} \\
 Q_{\phi i}(\Delta t) > Q_{eij}^B \quad I U_{\phi i}(\Delta t) < U_{\min, \text{доп}} &\Rightarrow Q_{\text{к}\mu}(t+\Delta t) = Q_{\text{к}\mu}(t) + Q_{\text{с}i} \\
 Q_{\phi i}(\Delta t) > Q_{eij}^B \quad I U_{\phi i}(\Delta t) > U_{\max, \text{доп}} &\Rightarrow Q_{\text{к}\mu}(t+\Delta t) = Q_{\text{к}\mu}(t) - Q_{\text{с}i} \\
 Q_{\phi i}(\Delta t) < Q_{eij}^H \quad I U_{\phi i}(\Delta t) < U_{\min, \text{доп}} &\Rightarrow Q_{\text{к}\mu}(t+\Delta t) = Q_{\text{к}\mu}(t) + Q_{\text{с}i} \\
 Q_{\phi i}(\Delta t) < Q_{eij}^H \quad I U_{\phi i}(\Delta t) > U_{\max, \text{доп}} &\Rightarrow Q_{\text{к}\mu}(t+\Delta t) = Q_{\text{к}\mu}(t) - Q_{\text{с}i}
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

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

Регулятори, підтримуючи задані уставки у всіх вузлах, забезпечують оптимальний розподіл потоків недокомпенсованої реактивної потужності в електричних мережах і задані значення реактивної потужності на ввіді підприємства. На рис. 2.3 представлена структурна блок-схема локального регулятора потужності БК, який реалізує описаний спосіб.

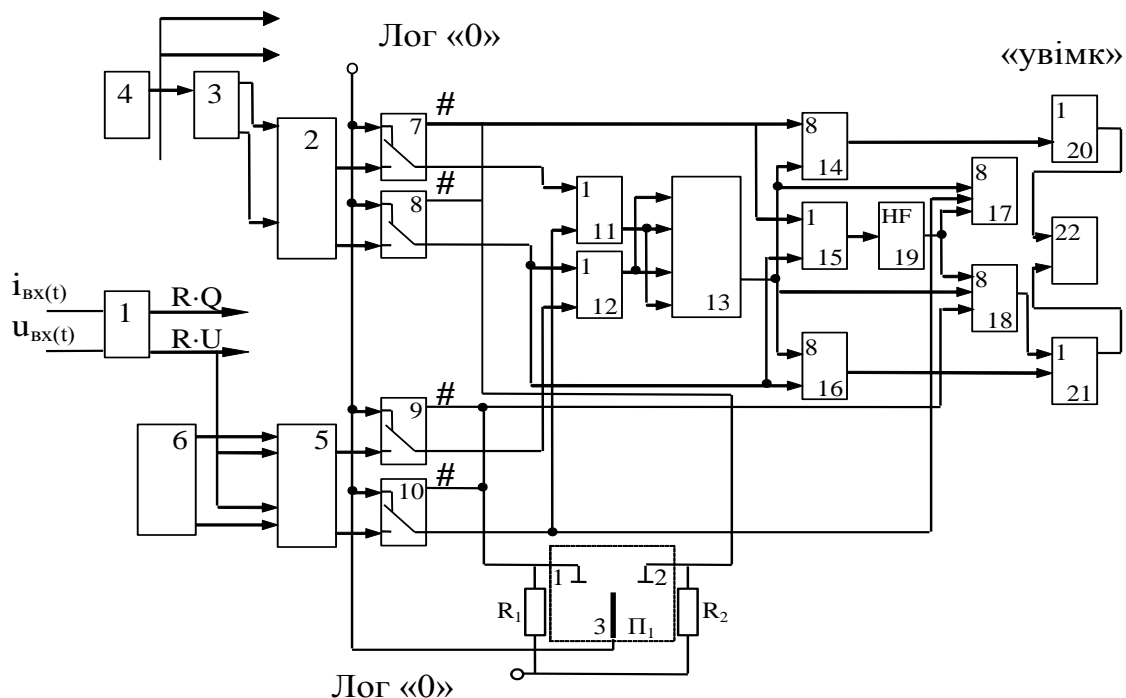


Рисунок 2.3 – Структурна блок-схема спеціального автоматичного регулятора потужності БК локальної лінії

Пристрій складається з таких блоків: 1 - вимірювальний перетворювач; 2 - пороговий блок; 3 - задавач уставок за реактивною потужністю; 4 - автоматичний перемикач уставок; 5 - блок порівняння; 6 - блок уставок за напругою; 7,8,9,10 - електронні ключі; 11,12,15,20,21 -

елементи АБО; 13 - генератор імпульсів; 14,16,17,18 - елементи І; 19 - елемент НІ; 22 - виконавчий орган.

Принцип роботи пристрою описаний в [1, 2]. Блок-схема алгоритму керування потужністю БК за допомогою описаного пристрою показана на рис. 2.4, також подано 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  $Q_{eij}$  для відповідного j-го режиму (блок 2). Згодом виконується введення фактичного значення реактивного навантаження у вузлі  $Q_{\phi i}(\Delta t)$  і фактичного рівня напруги  $U_{\phi i}(t)$  (блок 3). У блоці 4 відбувається визначення одного з трьох режимів роботи регулятора (опитування перемикача режимів). Якщо це не перший режим, то здійснюється контроль рівня напруги (блоки 9, 11) і, якщо напруга виходить за допустимі межі, здійснюється вимкнення секції БК (блок 10) або увімкнення (блок 12). Отже за допомогою блоків 9, 10, 11, 12 реалізується другий режим роботи регулятора. Далі визначається: чи знаходиться перемикач режимів в позиції 3. Якщо ні, то на цьому цикл керування закінчується. Якщо ж перемикач режимів встановлений в позицію 3, то виконуються операції, які 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) та 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 простішими 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:

$$T_j^{\Pi} \leq t \leq T_j^K \Rightarrow N(t) = N_j, \quad (2.18)$$

де  $t$  - поточний час доби;  $T_j^{\Pi}$  - початок j-го часового періоду;  $T_j^K$  - 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 керування (6) реалізована в регуляторі на основі однокристалевої мікро-ЕОМ, структурна блок-схема якого показана на рис. 2.4.

Основою регулятора є однокристалева мікро-ЕОМ (ОМ ЕОМ). Клавіатура і табло служать для задання уставок ( $T_j^{\Pi}$  і  $T_j^K$ ) і кількості

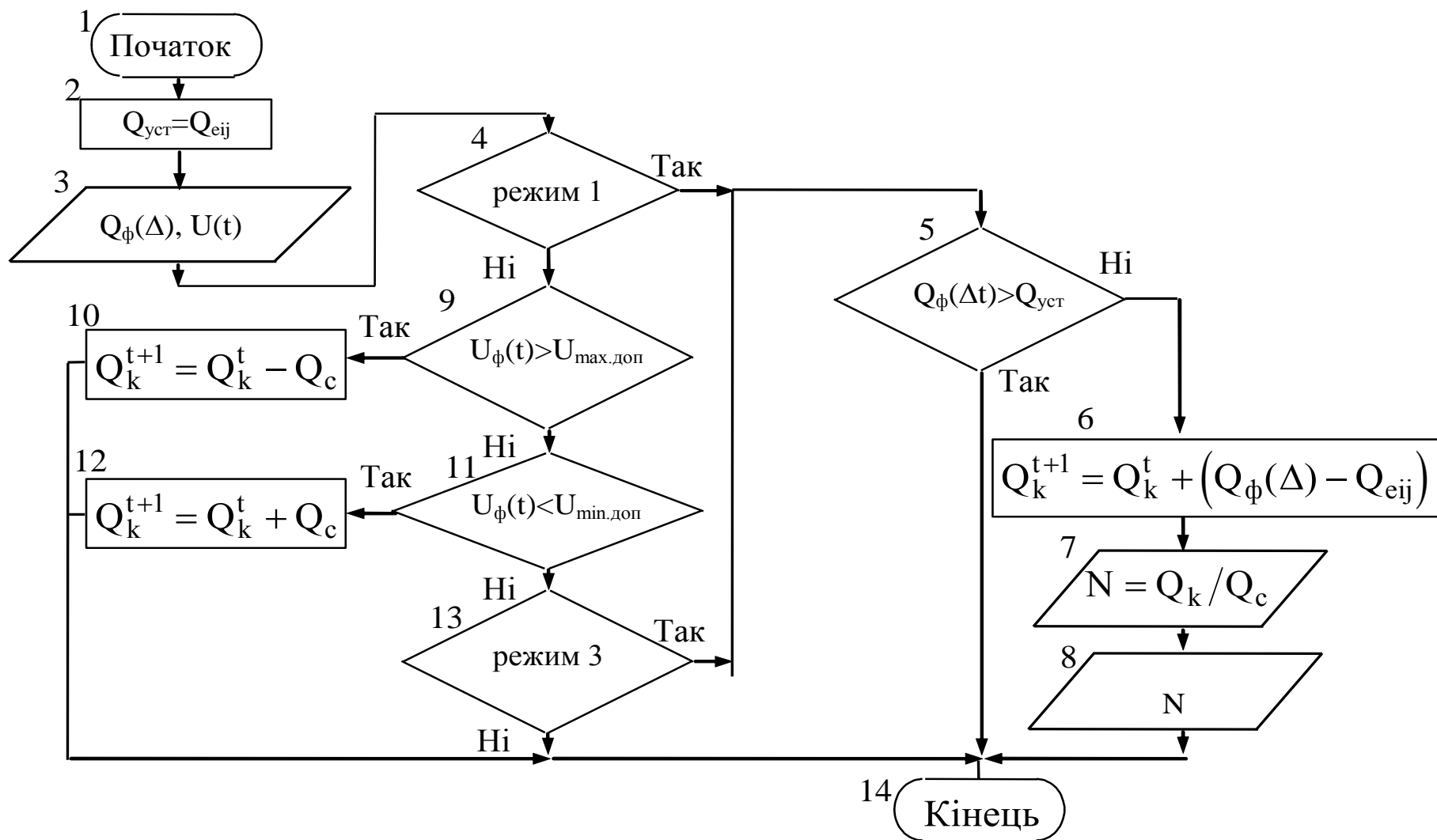


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму роботи локального регулятора потужності БК

секцій ( $N_j$ ). Годинник відліковує поточний час доби. ОМ ЕОМ, одержуючи 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 поданий на рис.2.5.

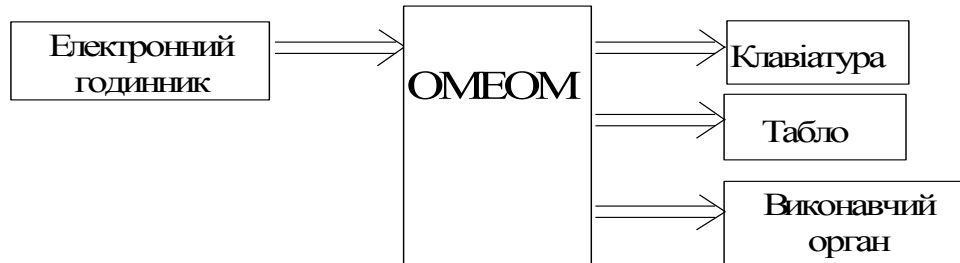


Рисунок 2.5 – Структурна блок-схема регулятора керування потужністю БК для вузлів, добові графіки реактивних навантажень в яких повторюються

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 до рівнів напруги [3]. В той же час, в мережах підприємства можуть бути вузли, від яких одержують живлення електроприймачі і споживачі з підвищеними вимогами до рівнів напруги.

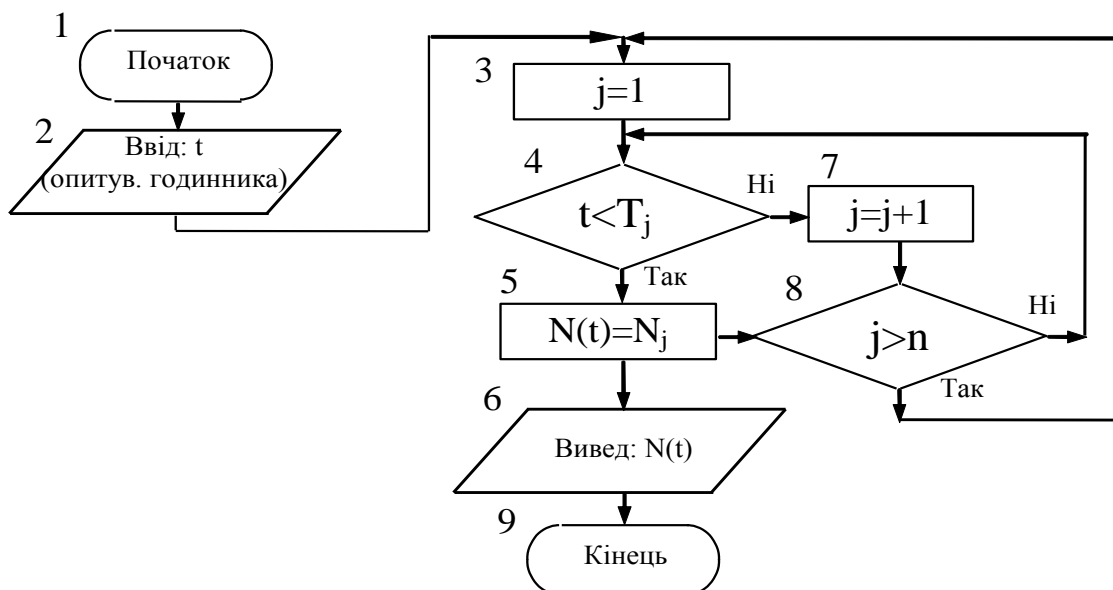


Рисунок 2.6 – Блок-схема алгоритму керування потужністю БК за часом доби

З врахуванням викладених вище міркувань і інших факторів, розроблено 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” [1]. 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 бути ввімкнена в момент часу  $t$  в  $i$ -му вузлі в  $j$ -му режимі (модель керування):

$$Q_{kij}(t) = Q_{kij}(t-1) + (Q_{\phi ij}(t) - Q_{eij}) \quad (2.19)$$

або

$$Q_{kij}(t) = Q_{kij}(t-1) \pm \Delta Q_{ij}(t), \quad (2.20)$$

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

$Q_{kij}(t-1)$  - потужність БК в попередній момент часу  $t-1$ ;

$Q_{\phi ij}(t)$  - фактичне реактивне навантаження  $i$ -го вузла в момент часу  $t$ ;

$\Delta Q_{ij}(t)$  - потужність секції БК, яку необхідно ввімкнути або вимкнути в  $i$ -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 параметрами “Q” або “U” регулятор не спрацьовує, якщо ці параметри знаходяться в допустимих межах, тобто:

$$\left. \begin{array}{l} 0,95 \cdot U_H < U_{ij} < 1,1 \cdot U_H \\ Q_{ej}^H < Q_{\phi ij} < Q_{eij}^B \end{array} \right\} Y_{ВИХ} = 0, \quad (2.21)$$

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

$$\left. \begin{array}{l} U_{ij} > 1,1 \cdot U_H \vee U_{ij} < 0,95 U_{Hj} \\ Q_{\phi ij} > Q_{eij}^B \vee Q_{\phi ij} < Q_{eij}^H \end{array} \right\} Y_{ВИХ} = 1. \quad (2.22)$$

При цьому регулятор вмикає секцію БК при  $Q_{\Gamma mij} > Q_{eij}$  або  $U_{ij} < 0,95U$ , і вимикає при  $Q_{\phi i} < Q_{ej}^H$  або  $U_{ij} > 1,1U$ . Структурна блок-схема пристрою керування потужністю БК за параметрами “Q” або “U” на основі однокристалевої мікро-ЕОМ показана на рис. 2.7.

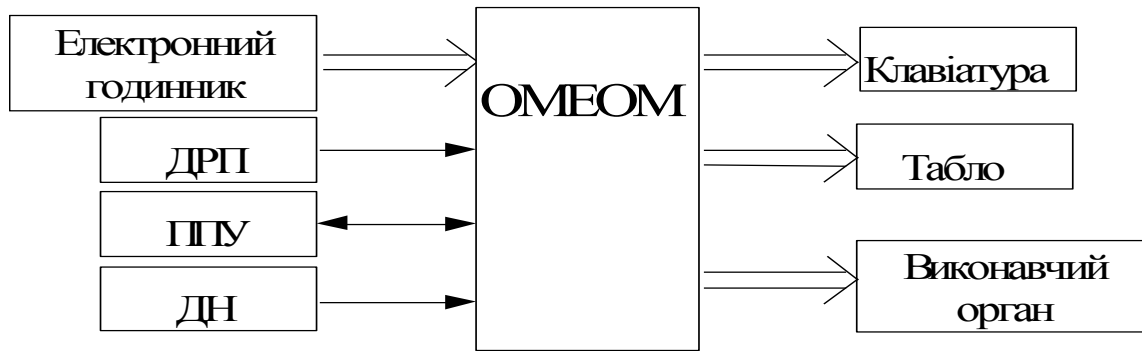


Рисунок 2.7 – Структурна блок-схема пристрою керування потужністю БК за параметрами “Q” або “U” на основі однокристалевої мікро-ЕОМ

Призначення основних блоків і їх взаємодія аналогічні регулятору, зображеному на рис. 2.5. Окрім того, додатково в схему включені: датчик реактивної потужності ДРП, перемикач параметра керування ППУ і датчик напруги ДН. Блок-схема алгоритму роботи пристрою подана на рис. 8, а його опис і технічні дані наведені нижче. Зовнішній вигляд пристрою показаний на рис. 9.

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  $Q_{eij}$  для відповідного j-го режиму (блок 2). Згодом виконується введення фактичного значення реактивного навантаження у вузлі  $Q_{\phi ij}(\Delta t)$  і фактичного рівня напруги  $U_{\phi i}(\Delta t)$  (блок 3). У блоці 4 відбувається визначення одного з трьох режимів роботи регулятора (опитування перемикача режимів). Якщо це не перший режим, то здійснюється контроль рівня напруги (блоки 9 і II) і, якщо напруга виходить за допустимі межі, то здійснюється вимкнення секції БК (блок 10) або ввімкнення (блок 12). Отже, за допомогою блоків 9, 10, 11, 12 реалізується другий режим роботи регулятора. Далі визначається чи знаходиться перемикач режимів в позиції 3. Якщо ні, то на цьому цикл керування закінчується. Якщо перемикач режимів установлений в позицію 3, то виконуються операції, 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) та 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 батарей конденсаторів і електролічильниками багатозонового 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. Режими керування секціями БК	- автоматичний, місцевий
10. Ширина зони нечутливості при керуванні:	-1/2 від потужності секції БК, приєднаної:
за параметром "Q"	до каналу 1;
за параметром "U"	- 210÷230 В.

11. Користувач має можливість змінювати уставки за вхідною реактивною потужністю і напругою вузла та часу початку і закінчення зон електроспоживання ЕС.

12. У пристрої забезпечується світлова індикація поточної вхідної реактивної потужності вузла, кількості увімкнених секцій БК, наявності напруги живлення і команд увімкнення або вимкнення секції БК.

В додатку Б подана структурна блок-схема і короткий опис програми керування для локального регулятора, виконана на основі мікропроцесора К 1816 ВЕ 31. Програма написана на мові "Асемблер".

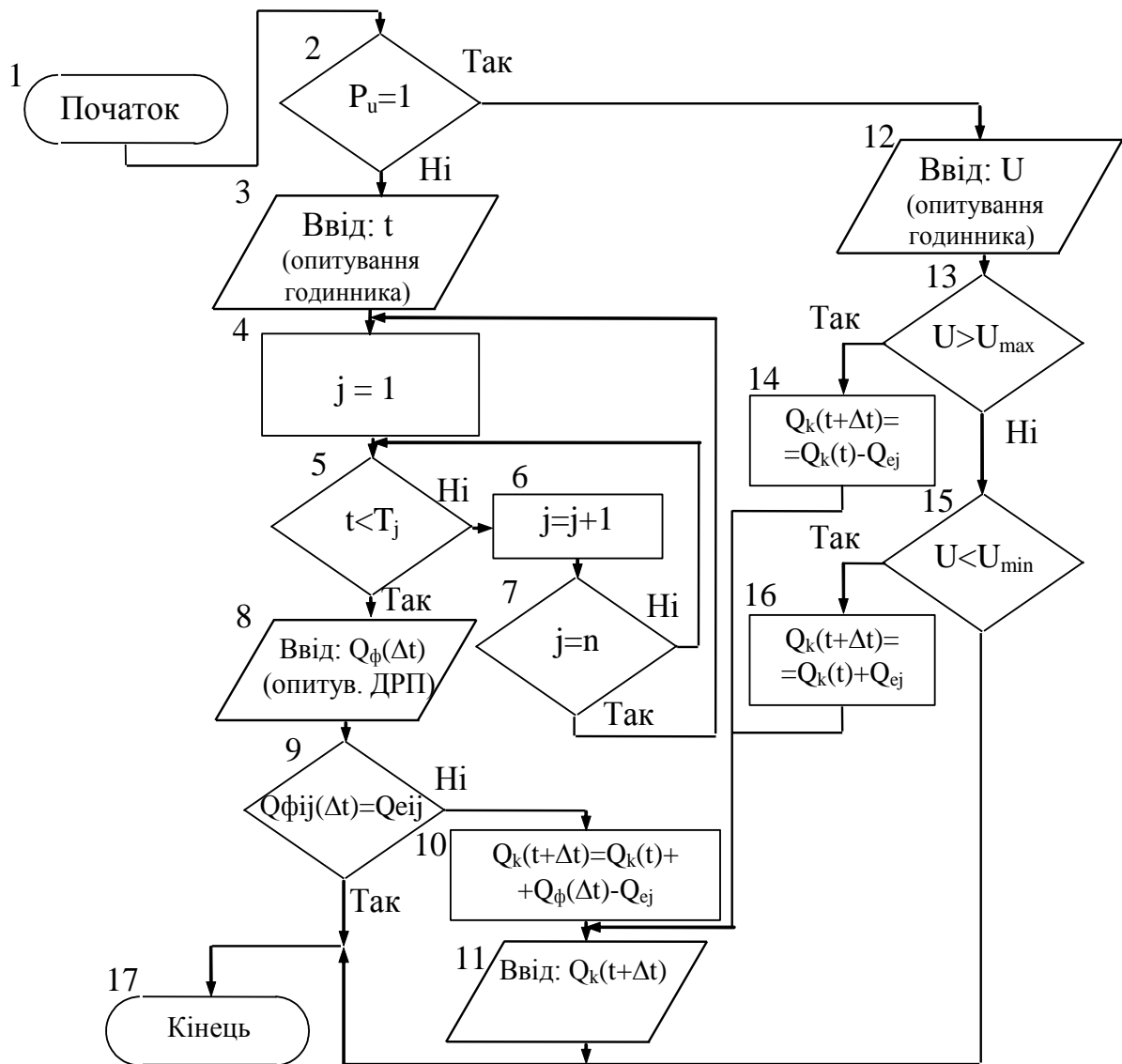


Рисунок 2.8 – Блок-схема керування потужністю БК за допомогою пристрою локальної дії (на основі ОМЕОМ) за параметром “Q” або “U”

### Література

1. Рогальський Б. С. Компенсація реактивної потужності. Способи та технічні засоби управління. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, – 2006. – 236 с.
2. А.С. 1449973(СССР), МКИ С 05 Р1/70. Способ автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей /Рогальский Б. С., Дмитраш А. В. //Заявл. 07,01,87; Опубл. 07,01,89; Бюл. №1.- 5с.; ил.



### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

#### *“Керування максимумом активного навантаження електросталеплавильного цеху”*

Метою лабораторної роботи є навчитися на практиці виконувати вирівнювання графіка навантажень електросталеплавильного цеху на основі зміни часових зсувів між графіками навантажень дугових сталеплавильних печей (ДСП).

В процесі виконання лабораторної роботи студенти повинні:

#### ***Вивчити:***

- основні теоретичні принципи регулювання максимуму активного навантаження підприємства;
- принципи формування максимуму групового графіка активного навантаження ДСП;
- способи зниження максимуму групового графіка активного навантаження ДСП.

#### ***Виконати:***

Визначення максимумів сумарних графіків навантажень для двох випадків,  $D_{1i \text{ à } \delta}$ ,  $D_{2i \text{ à } \delta}$ . Порівняти ці випадки і знайти глибину регулювання максимуму навантаження за виразом:

$$\Delta D = D_{1i \text{ à } \delta} - D_{2i \text{ à } \delta},$$

де  $D_{1i \text{ à } \delta}$ ,  $D_{2i \text{ à } \delta}$  - максимумами сумарного графіка навантаження підприємства, відповідно, для синфазної роботи печей і роботи із часовими зсувами. Для 1-го і 2-го режимів у відповідності з результатами вимірювань, виконати побудову графіків навантажень окремо для кожної печі та сумарного графіка.

У відповідності з прикладом, приведеним у теоретичних відомостях і отриманим графіком для однієї печі, виконати розрахунок часових зсувів 2-ої, 3-ої, 4-ої печей відносно першої. Розрахунок виконати для випадків, коли працюють дві, три, чотири печі.

У відповідності з результатом, отриманим в п. 3, побудувати сумарний графік навантаження для двох, трьох і чотирьох печей.

Порівняти результати розрахунку з експериментальними даними (для чотирьох печей).

#### ***Теоретичні відомості***

Регулювання максимуму активного навантаження підприємства – це здійснення організаційно-технічних заходів, які забезпечують зниження цієї величини.

Максимумом навантаження  $P(t)$  є максимальне, з середніх значень навантажень, на проміжку тривалістю  $\Theta$ . У відповідності з вимогами енергосистеми –  $\Theta = 30$  хв.

Навантаження електрометалургійного комбінату:

$$P(t) = P_0(t) + P_i(t) \quad (3.1)$$

де  $P_0(t)$  – загальнозаводське навантаження;  $P_i(t)$  – навантаження дугових сталеплавильних печей (ДСП),  $i = 1, 2, 3, 4$ .

Графіки навантажень  $P_0(t)$  і  $P_i(t)$  показані на рис. 3.1, 3.2. Графіки  $P_i(t)$  відрізняються один від одного тільки початковою фазою:

$$P_1(t + \tau_1) = P_2(t + \tau_2) = P_3(t + \tau_3) = P_4(t + \tau_4) \quad (\text{рис. 3.2}) \quad (3.2)$$

В роботі розглядається два випадки регулювання:

- а) регулювання навантаження  $P_i(t)$  здійснюється шляхом зміни  $\tau_i$  для декількох печей;
- б) регулювання шляхом зміни  $\tau$  для однієї печі.

Перше регулювання більш ефективно, ніж друге, але воно потребує зміни організації виробництва і, відповідно, великих додаткових витрат.

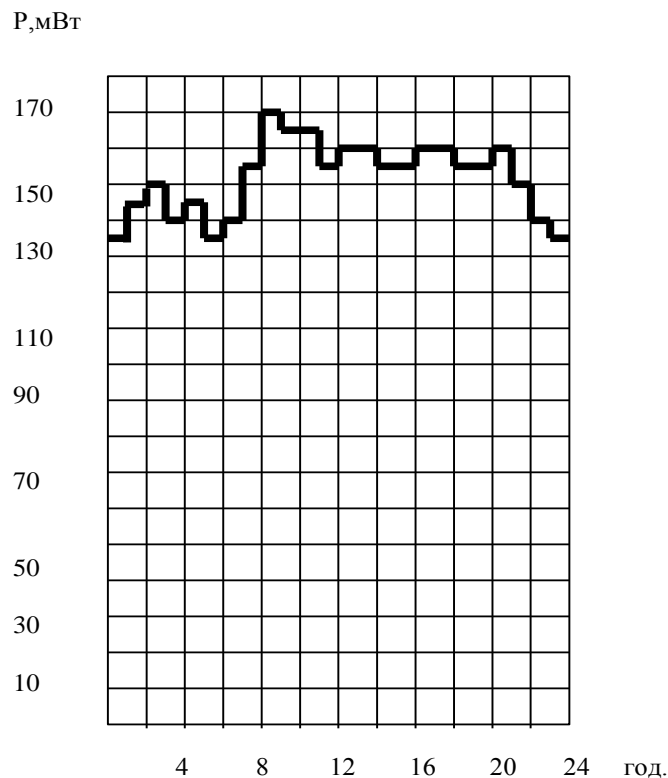


Рисунок 3.1 – Добовий графік загальнозаводського навантаження

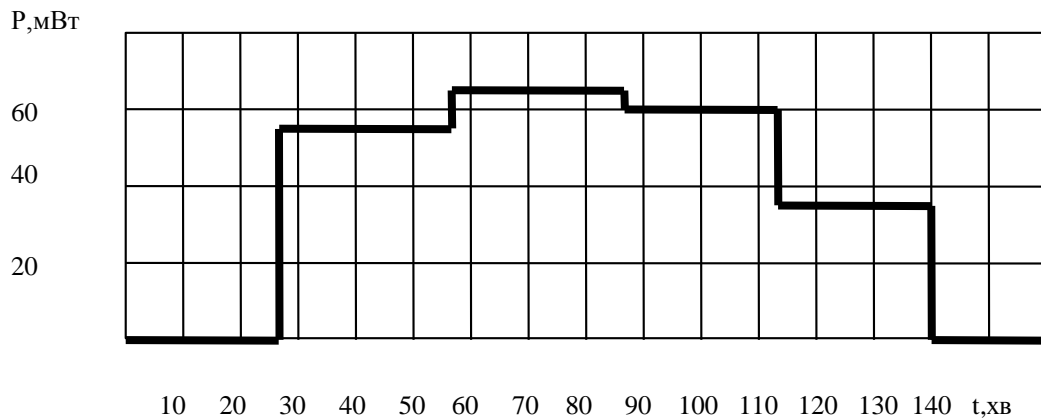


Рисунок 3.2 – Графік навантаження однієї плавки ДСП

### **Регулювання максимуму навантаження за допомогою декількох печей**

Зниження максимуму навантаження відповідає зниженню дисперсії групового графіка печей:

$$DP = \sum_{i=1}^4 DP_i + 2 \sum_{i \leq j} K(t_{ij}) \quad (3.3)$$

де  $DP_i$  – дисперсія графіка  $i$ -ої печі ( $i = 1 - 4$ );  $K(t_{ij})$  – взаємно кореляційні моменти графіка навантаження  $i$ -ої та  $j$ -ої печей;  $t_{ij}$  – часовий зсув між графіками  $i$ -ої та  $j$ -ої печей.

Значення  $DP_i$  можна знайти у відповідності до характеру технологічного процесу. Зменшити дану величину можна лише зміною технологічного процесу і така задача не розглядається.

Зменшити величину  $DP$ , знайдену за формулою (3.3), можна також зменшенням другого доданку в правій частині цієї формули, яка називається кореляційною складовою дисперсії:

$$D_k = 2 \sum_{i \leq j} K(t_{ij}) \quad (3.4)$$

Розв'язання задачі вирівнювання групового графіка складається із знаходження зсувів  $t_{ij}$  між моментами вмикання електроприймачів, що приводять до мінімуму величину  $D_k$ .

**Приклад** Розглянемо розв'язання задачі для печей ДСП, графіки навантажень яких однакові (див. рисунок 2). Даний графік можна представити п'ятьма ступенями тривалістю 28 хв.:

$$P(t) = \{52; 60,9; 60; 34,3; 3; 0\} \text{ МВт.}$$

### Розв'язування

#### А. Дві печі

Враховуючи всі можливі зсуви графіка навантаження однієї печі відносно графіка навантаження іншої, формуємо матрицю навантажень, мВт:

$$P := \begin{pmatrix} 52 & 60,9 & 60 & 34,3 & 0 \\ 0 & 52 & 60,9 & 60 & 34,3 \\ 34,3 & 0 & 52 & 60,9 & 60 \\ 60 & 34,3 & 0 & 52 & 60,9 \\ 60,9 & 60 & 34,3 & 0 & 52 \end{pmatrix}$$

Знаходимо середнє значення  $m_p$  та дисперсію  $DP_i$  графіка  $P(t)$ :

$$m_p = \frac{52 + 60,9 + 60 + 34,3 + 0}{5} = 41,4 \text{ мВт}$$

$$DP_i = \frac{(52 - 41,4)^2 + (60,9 - 41,4)^2 + (60 - 41,4)^2}{5} +$$

$$+ \frac{(34,3 - 41,4)^2 + (0 - 41,4)^2}{5 - 1} = 650,7 \text{ мВт}^2$$

і величини взаємно кореляційних моментів між першим рядком матриці  $P$  та іншими рядками:

$$K_{12} = \frac{(52 - 41,4) \cdot (0 - 41,4) + (60,9 - 41,4) \cdot (52 - 41,4) + (60 - 41,4) \cdot (60,9 - 41,4)}{4} +$$

$$+ \frac{(34,3 - 41,4) \cdot (60 - 41,4) + (0 - 41,4) \cdot (34,3 - 41,4)}{4} = 48,1 \text{ мВт}^2$$

В результаті отримуємо такі значення взаємно кореляційних моментів:

$$K = \{650,7 \quad 48,1 \quad -398,4 \quad -398,4 \quad 48,1\} \text{ мВт}^2$$

У відповідності з мінімумом величини  $K$ , знаходимо зсув для двох печей:

$$\min\{650,7 \quad 48,1 \quad -398,4 \quad -398,4 \quad 48,1\} = -398,4 \text{ мВт}^2$$

Мінімальне значення  $K_{12} = -398,4$  відповідає зсуву графіка другої печі відносно першої на два ступені,  $t_{12} = 2 \cdot 28 = 56$  хв.

На рисунках 3.3 та 3.4 приведені відповідні графіки другої печі і сумарний двох печей. З рисунка 3.4 видно, що 30-хвилинне значення максимуму групового графіка двох печей для даного випадку  $P_{m_2} = 112,9$  мВт.

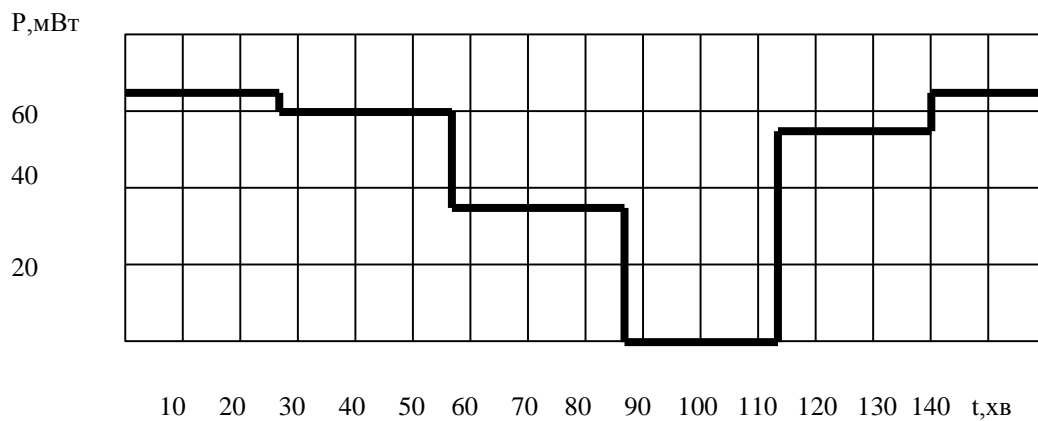


Рисунок 3.3 – Графік навантаження 2-ої печі

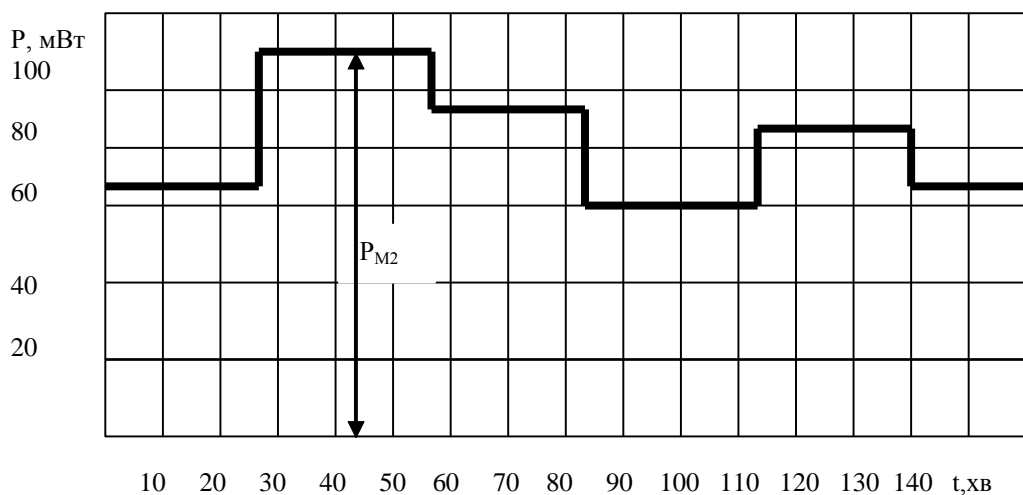


Рисунок 3.4 – Сумарний графік навантаження 1-ої та 2-ої печей

### Б. Три печі

Величина  $D_k$  для трьох печей:

$$D_{k3} = 2 \cdot (K_{12} + K_{13} + K_{23}).$$

В таблиці 1 приведені можливі варіанти значень  $D_{k3}$ . Мінімальне значення  $D_{k3}$ :

$$D_{k3} = -748,8 \text{ мВт}$$

Розв'язання задачі для трьох печей:  
Таблиця 1– Розрахункові дані

Взаємно кореляційний момент між графіками навантажень 1-ї та 2-ї печей $K_{12}$ , мВт <sup>2</sup>	Взаємно кореляційний момент між графіками навантажень 1-ї та 3-ї печей $K_{13}$ , мВт <sup>2</sup>	Часовий зсув між графіками 2-ї та 3-ї печей $t_{23}$ , хв.	Взаємно кореляційний момент між графіками навантажень 2-ї та 3-ї печей $K_{23}$ , мВт <sup>2</sup>	Дисперсія графіка навантаження $D_{K3}$ , мВт <sup>2</sup>
-398,4	650,7	-56	398,4	-146,1
-398,4	48,1	-28	48,1	-302,2
-398,4	-398,4	0	650,7	-146,6
-398,4	-398,4	28	48,1	-748,8
-398,4	48,1	56	-398,4	-748,8

Цьому розв'язку відповідає  $t_{12} = 56$  хв. і  $t_{13} = 84$  хв. (див. рис. 3.2, 3.3, 3.5).

На рис. 3.6 показано сумарний графік навантаження трьох печей, з якого видно максимальне сумарне навантаження  $P_{M3} = 144$  мВт.

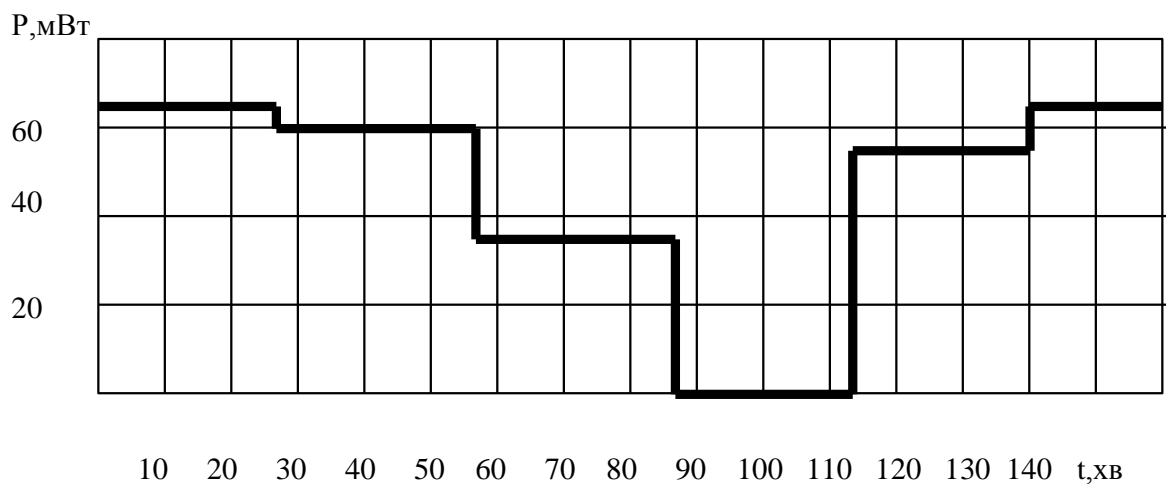


Рисунок 3.5 – Графік навантаження 3-ої печі

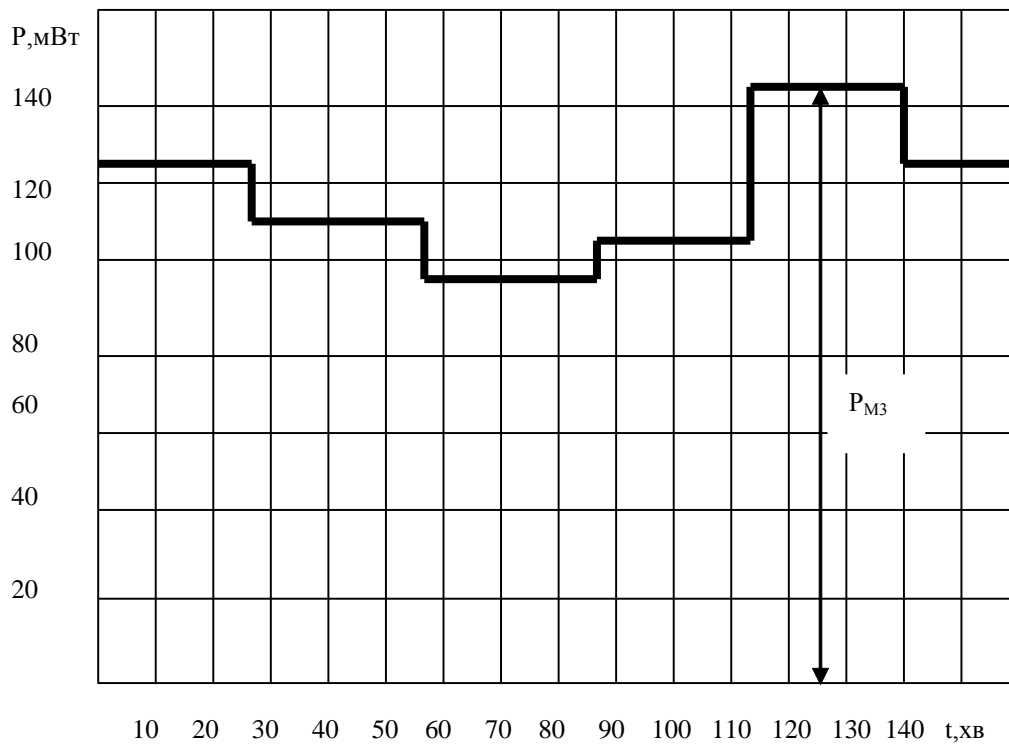


Рисунок 3.6 – Сумарний графік навантаження трьох печей

#### Д. Чотири печі

Для чотирьох печей задача розв'язується аналогічно (див. табл. 2)

Розв'язання задачі для 4-ох печей

Таблиця 3.2 – Розрахункові дані

Дисперсія графіка навантаження $D_{K3}$ , мВт <sup>2</sup>	Взаємно кореляційний момент між графіками навантажень 1-ї та 4-ї печей $K_{14}$ , мВт	Часовий зсув між графіками 2-ї та 4-ї печей $t_{24}$ , хв.	Взаємно кореляційний момент між графіками навантажень 2-ї та 4-ї печей $K_{24}$ , мВт <sup>2</sup>	Часовий зсув між графіками 3-ї та 4-ї печей $t_{34}$ , хв.	Взаємно кореляційний момент між графіками навантажень 3-ї та 4-ї печей $K_{34}$ , мВт <sup>2</sup>	Дисперсія графіка навантаження $D_{K4}$ , мВт <sup>2</sup>
-748,8	650,7	-56	-398,4	-84	-398,4	-894,9
-748,8	48,1	-28	48,1	-56	-398,4	-1051
-748,8	-398,4	0	650,7	-28	48,1	-448,4
-748,8	-398,4	28	48,1	0	650,7	-448,4
-748,8	48,1	56	-398,4	28	48,1	-1051

Величини  $D_{к4}$  і  $t_{24}$  визначаються як:

$$D_{K4} = 2 \cdot (D_{K3} + K_{14} + K_{24} + K_{34})$$

$$t_{24} = t_{14} - t_{12}; \quad t_{34} = t_{14} - t_{13}$$

Відповідно знаходимо  $t_{12} = 56$  хв;  $t_{13} = 84$  хв;  $t_{14} = 28$  хв. За цими розрахунками на рисунках 7, 8 приведені графіки. З рис. 8 видно, що  $P_{m4} = 172$  мВт. Оскільки на практиці періоди розплавів на всіх печах часто збігаються, то практичне значення максимуму навантаження 4-ох печей:

$$P'_{m4} = 4 \cdot 60 = 240 \text{ мВт.}$$

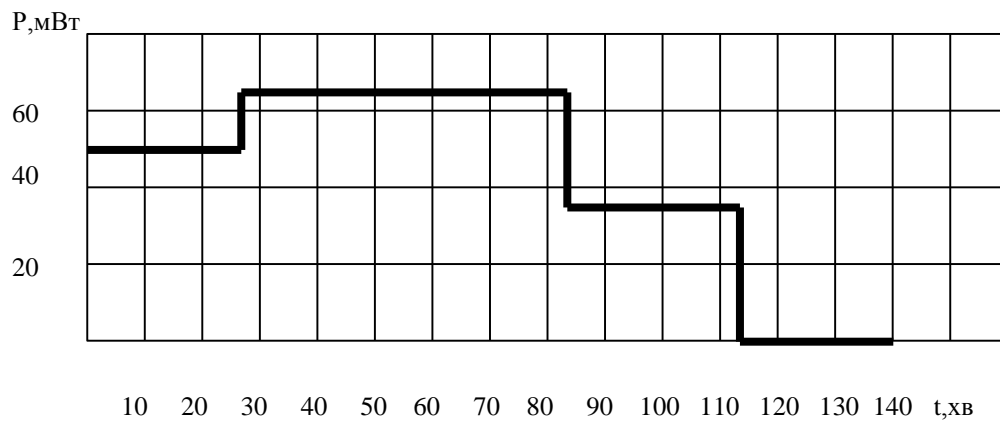


Рисунок 3.7 – Графік навантаження 4-ої печі

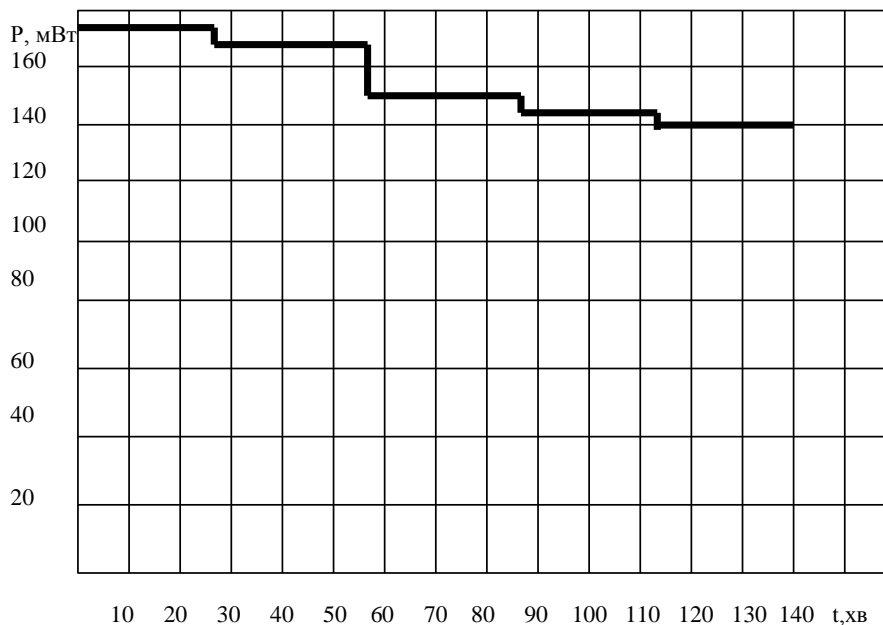


Рисунок 3.8 – Сумарний графік навантаження 4-ох печей



Отже, впровадження результатів за запропонованим методом могло б дати зниження максимуму навантаження підприємства в період максимуму навантаження енергосистеми на величину  $240 - 172 = 68$  мВт.

### *Регулювання максимуму навантаження за допомогою однієї печі*

Для розв'язання задачі можна використати допоміжну функцію:

$$Z(\lambda) = \frac{1}{30} \cdot \int_{\lambda-30}^{\lambda} P(t) dt, \quad (3.5)$$

де  $\lambda$  - закінчення періоду усереднення графіка  $P(t)$ ;  $\lambda - 30$  - початок періоду усереднення цього графіка.

З (3.5) видно, що функція  $Z(\lambda)$  визначає середнє значення навантаження  $P(t)$  за проміжок від  $\lambda - 30$  до  $\lambda$ .

Наявність цієї функції дозволяє знайти середнє значення навантаження групового графіка  $P_2(t)$  в момент часу  $\lambda$  за минулі 30 хв.:

$$P_i = \sum_1^n Z_i(t). \quad (3.6)$$

Вираз (3.6) показує, що зниження  $P_2$  може бути досягнуте за рахунок зменшення одного з доданків  $Z_i(\lambda)$ . Очевидно, що чим більший доданок  $Z_i(\lambda)$ , тим більше можливості для регулювання максимуму навантаження підприємства.

На рис. 3.9 зображена функція  $Z(\lambda)$  для сталеплавильної печі ДСП-150. З рисунка видно, що зміна максимуму навантаження печі на ділянці 0 може досягати 53 мВт. Це дає можливість значно знижувати максимум навантаження підприємства за рахунок зміни фази увімкнення печі (затримка увімкнення). Ефективність регулювання максимуму навантаження підприємства, в цьому випадку, буде рівна  $\frac{53}{30} = 1,7$  мВт/хв.

За допомогою графіка 1, показаного на рис. 3.9, можна знайти можливе зниження максимуму навантаження підприємства при кожній затримці увімкнення печі-регулятора. Наприклад, при затримці на 10 хв. можливе зниження максимуму навантаження, воно буде:  $\Delta P = 18$  мВт. При цьому вважається, що в точці а проходить накладення максимуму навантаження печі з максимумом навантаження підприємства.

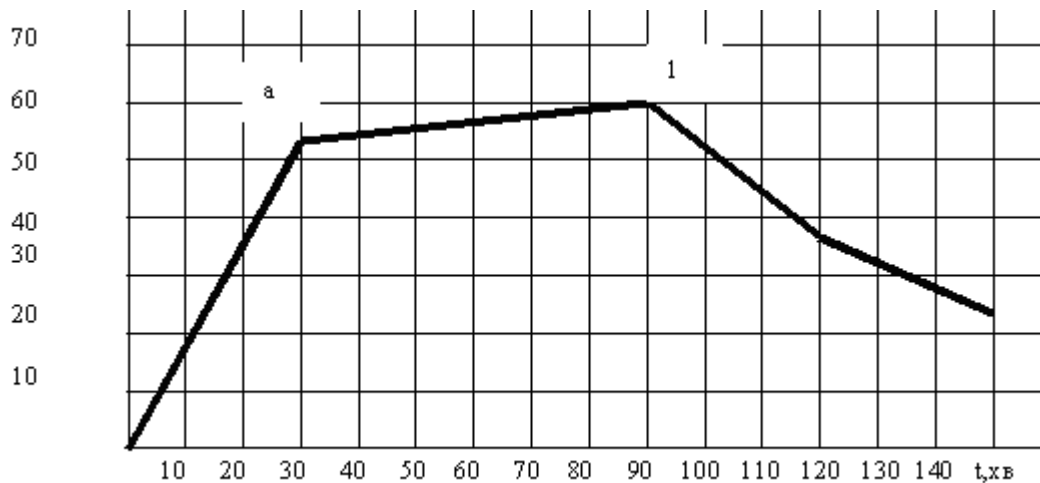


Рисунок 3.9 – Графік допоміжної функції  $Z(\lambda)$

### **Опис лабораторної установки**

Лабораторна установка моделює розподільчу мережу металургійного заводу (рис. 3.10). Схема установки складається з центрального розподільчого пункту (ЦРП), з'єднаного за схемою подвійної секційної системи шин. Від ЦРП по радіальній схемі живляться три двотрансформаторні підстанції (ТП1, ТП2, ТП3) з активно-індуктивним навантаженням і чотири ДСП. На ТП моделюється загальнозаводське навантаження, а навантаження печей моделюється типовими графіками активної потужності виплавлення сталі на ДСП-150 при одношлаковому процесі.

На рисунку 3.11 подана схема керування моделлю.

Графіки навантаження ТП і установки печей моделюються зміною відпайок трансформаторів за допомогою крокуючих шукачів. Імпульси котушок крокуючих шукачів формуються за допомогою реле часу, яке вмикається тумблером "S". Ввімкнення крокуючих шукачів здійснюється тумблерами S18, S19, S20, S21. Часові зсуви між ввімкненнями печей встановлюються за допомогою реле РВ2.

### **Опис роботи електричної схеми керування**

Установка працює в двох режимах.

#### **Перший режим**

При натисканні кнопки "S" подається живлення на котушку реле часу ( $KT_1$ ) і вона починає циклічно замикати (розмикати) свої контакти, що забезпечує циклічну роботу проміжкового реле ( $K_L$ ), яке, в свою чергу, забезпечує роботу крокового реле ( $ШР_1$ ) при натиснутій кнопці, S18.

Через контакти ШР1 подається живлення на трансформатори Т1, Т2, Т3, Т4 і на заводське навантаження в такому порядку:

Перша доріжка ШР1.1 – Т1;

Друга доріжка ШР1.2 – Т2;

Третя доріжка ШР1.3 – Т3;

Четверта доріжка ШР1.4 – Т4.

При роботі ШР1 його рухомий контакт під'єднується до виходів обмоток трансформаторів Т.1 – Т.4. При цьому режимі всі чотири печі працюють від ШР1 з однаковими синфазними графіками навантаження.

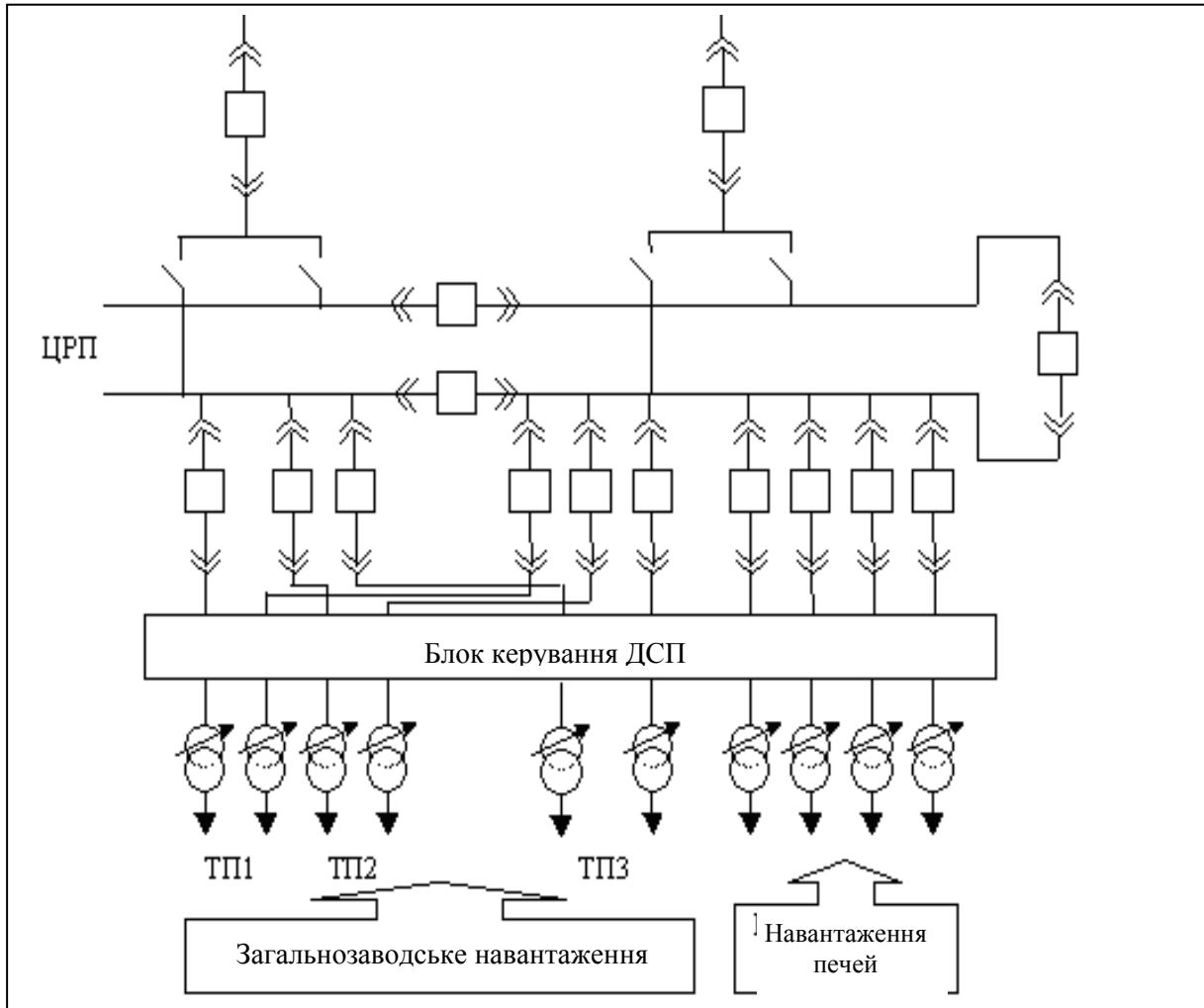


Рисунок 3.10 – Схема розподільчої мережі металургійного заводу

### Другий режим

При натисканні кнопки “S”, при визначеному положенні рухомого контакту ШР1, отримує живлення котушка КМ. При цьому замикається контакт КМ<sub>1</sub> і забезпечує живлення котушки КМ. Крім цього, замикається контакт КМ і подає живлення на реле часу (АКТ2). При цьому реле часу АКТ<sub>2</sub> з витримкою часу замикає свої контакти АКТ<sub>2.1</sub>, АКТ<sub>2.2</sub>, АКТ<sub>2.3</sub> і по чергово подає живлення на котушки ШР2, ШР3, ШР4.

При цьому режимі кожний трансформатор вмикається самостійно з відповідними витримками часу через відповідні реле.

Заводське навантаження живиться так само, як і в першому режимі від ШР1.1. Отже, всі трансформатори працюють з однаковими графіками навантаження, але зсунутими в часі у відповідності з витримками часу.

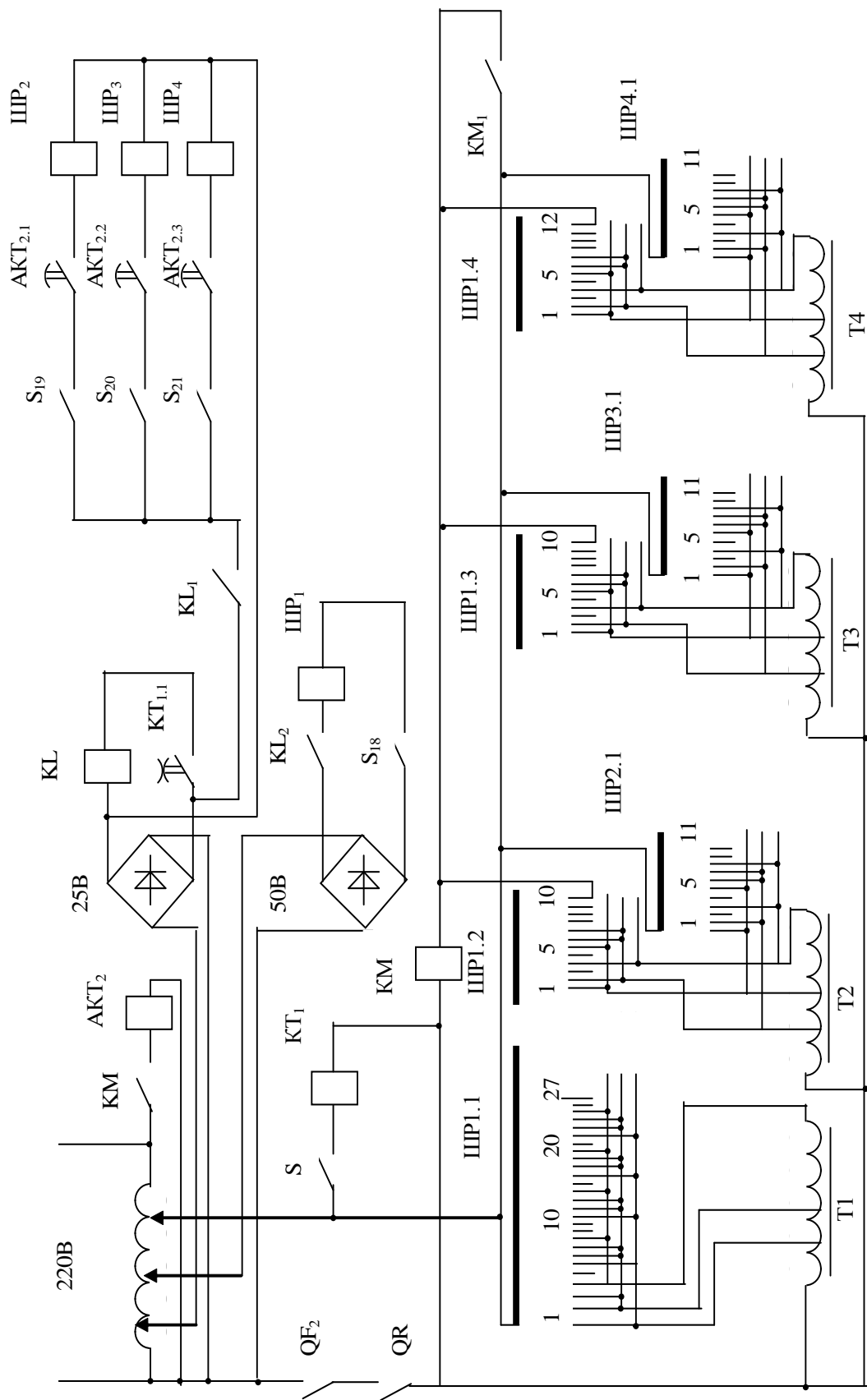


Рисунок 3.11 - Схема керування моделлю

### ***Порядок виконання роботи***

1. Вивчити основні теоретичні принципи регулювання максимуму активного навантаження підприємства і електричну схему стенда.
2. Ввімкнути живлення схеми (тумблер “S”). При ввімкненні цього тумблера засвічується табло “Початок роботи”.
3. Здійснити ввімкнення схеми для роботи у першому режимі (вмикаємо S18). В цьому режимі всі печі працюють синфазно.
4. Записуємо груповий графік навантаження досліджуваної мережі. При цьому фіксуємо графік навантаження окремої печі. Вимірювання проводимо до тих пір, поки не засвітиться табло “Перша частина роботи закінчена”. Після цього тумблерами S і S18 вимикаємо всю схему.
5. Встановлюємо за допомогою реле часу КТ<sub>2</sub> часові затримки роботи печей відносно першої печі  $t_{12} = 1$  хв.,  $t_{13} = 2$  хв.,  $t_{14} = 3$  хв. Вмикаємо схему тумблерами S, S18, S19, S20, S21.
6. Записуємо груповий сумарний графік навантаження в другому режимі. В даному режимі печі працюють з часовими зсувами відносно одна до одної. Запис навантаження проводимо до тих пір, поки не почнуть засвічуватися індикатори. При цьому відповідні тумблери S18, S19, S20, S21 вимикаються. В кінці роботи засвічується табло “Робота закінчена”.
7. Після закінчення роботи вимикаємо тумблери, які були ввімкненні в п. 3.

Про виконання всіх пунктів лабораторної роботи студент оформляє звіт.

### ***В звіт необхідно включити такі розділи***

1. Загальні відомості про лабораторний стенд.
2. Результати розрахунків зсувів фаз увімкнення двох, трьох і чотирьох печей.
3. Структурну схему стенда.
4. Основні теоретичні принципи регулювання максимуму активного навантаження.
5. Графік навантаження окремої печі.
6. Груповий графік навантаження чотирьох печей без зсуву фаз увімкнення печей.
7. Груповий графік навантаження чотирьох печей з зсувом фаз увімкнення печей.
8. Висновки по роботі.

### *Запитання для самоперевірки*

1. Як знайти максимум активного навантаження промислового підприємства?
2. Як формується графік навантаження металургійного заводу?
3. З яких основних елементів складається лабораторна установка?
4. Як можна знизити максимум навантаження заводу?
5. Як зміна фази ввімкнення печей приводить до зниження максимуму навантаження металургійного заводу?
6. Як розраховуються взаємкореляційні моменти графіків навантаження печей?
7. Як забезпечується мінімум дисперсії сумарного графіка для трьох печей?
8. Як забезпечується мінімум дисперсії сумарного графіка для чотирьох печей?

### *Література*

1. Гордеев В. Н. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. М.: Энергоиздат, 1986.
2. Демов О. Д. Планування електроспоживання промислових підприємств та управління ним. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2001.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### “Керування несиметрією режиму в системі електропостачання з потужними однофазними навантаженнями”

Метою лабораторної роботи є набуття практичних навичок керування несиметрією електричних режимів і оцінки величини додаткових втрат активної потужності та енергії, зумовлених такими режимами. Лабораторна робота розрахована на 4 години та 2 години самостійної роботи.

В процесі виконання лабораторної роботи студенти повинні:

**Вивчити:**

- конструкцію фізичної моделі системи електропостачання електродного заводу;
- схему симетрувального пристрою;
- принципи побудови монограми для прийняття рішень з керування симетрувальним пристроєм.

**Виконати:**

- вимірювання таких параметрів режиму:  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$ ,  $\cos \varphi_a$ ,  $\cos \varphi_b$ ,  $\cos \varphi_c$  в лінії, що живить несиметричне навантаження;
- розрахування вектора струму зворотної послідовності, що створюється симетричним навантаженням за формулою:

$$I_2^* = \frac{1}{3} \left\{ \begin{array}{l} \left[ I_a \cdot \cos \varphi_a + I_b \cdot \cos(120 - \varphi_b) + I_c \cdot \cos(240 - \varphi_c) \right] + \\ + j \left[ -I_a \cdot \sin \varphi_a + I_b \cdot \sin(120 - \varphi_b) + I_c \cdot \sin(240 - \varphi_c) \right] \end{array} \right\}.$$

- розрахунок параметрів симетричного пристрою, користуючись монограмою, рис. 4.1;
- необхідні ввімкнення в схемі симетрувального пристрою;
- вимірювання параметрів  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$ ,  $\cos \varphi_a$ ,  $\cos \varphi_b$ ,  $\cos \varphi_c$  в живильній лінії несиметричного навантаження;
- розрахування вектора зворотної послідовності, що відповідає оптимізованому режимові;
- побудову векторних діаграм до та після симетрування навантажень;
- оцінку додаткових втрат активної потужності від несиметрії режимів до та після симетрування режиму за формулою:

$$\Delta P_2 = 3(I_2^k \cdot m_I)^2 r_{2\Sigma} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт},$$

де  $I_2^k$  - струм зворотної послідовності в лінії живлення групи несиметричних навантажень;

$m_I$  - масштаб фізичної моделі за струмом,  $m_I = \frac{I_{\text{реального об'єкта}}}{I_{\text{фізичної моделі}}} m_I = 1000$ ;  
 $r_{2\Sigma}$  - сумарний опір мережі струмам зворотної послідовності; в розрахунках прийняти  $r_{2\Sigma} = 12$  Ом (величина приведена до напруги 35кВ).

***Оформити звіт з лабораторної роботи за таким змістом:***

- мета роботи;
- характеристики фізичної моделі;
- результати вимірювань параметрів режиму, необхідні розрахунки та параметри секцій симетрувального пристрою для ввімкнення;
- векторні діаграми до та після симетрування режиму;
- розрахунки додаткових втрат активної потужності від несиметрії режиму до та після ввімкнення симетрувального пристрою.

***Загальні відомості про фізичну модель системи електропостачання електродного заводу***

Фізична модель системи електропостачання моделює промислову розподільчу мережу електродного заводу. Фізична модель може використовуватись для відпрацювання алгоритмів, перевірки дієздатності моделей оптимального керування режимом, тренування чергових диспетчерів, які керують технологічним процесом на етапі впровадження АСУЕ. Тому фізичне моделювання системи електродного заводу виконано як приблизне. Фізична модель має такі можливості:

- блок несиметричного навантаження дозволяє моделювати режим мережі, складова зворотної послідовності якого змінювалась би в часі в широких межах;
- комплектувальні блока несиметричного навантаження – фізичні моделі печей графітизації відтворюють графік навантаження, подібний графіку оригіналу;
- наявність технічної можливості зміни відносної фази ввімкнення фізичних моделей печей графітизації (шляхом перемикання SA5) дозволяє отримати різні реалізації несиметричного режиму;
- схема фізичної моделі системи електропостачання дозволяє багаторазово відтворювати одну і ту ж саму реалізацію режиму та змінювати фазування фізичних моделей печей графітизації;
- симетрувальний пристрій дискретного керування виконаний за схемою трикутника статичних конденсаторів, має такі характеристики:
  - плече А – В секція 1 – 1 мкФ;
  - секція 2 – 4 мкФ;
  - секція 3 – 8 мкФ;для плечей В – С і С – А параметри секцій і їх кількість така ж сама;



- вимірювальний блок забезпечує інформацією, необхідною для керування режимом: напруга обмоток ВН, СН, НН живильного трансформатора, фазні струми і  $\cos \varphi$  по фазах блока несиметричного навантаження. Окрім цього, схема передбачає можливість під'єднання самописців струму і напруги, а також осцилографа;
- блок симетричного навантаження відображає характерний графік електроспоживання ремонтно-механічного підприємства. Потужність навантаження змінюється при перемиканні за певним законом відгалужень обмотки трансформатора (магнітні пускачі KV1-KV6);
- блок нелінійного навантаження складається з фізичних моделей печей графітизації і живиться від джерела, виконаного за дванадцятифазною схемою випрямлення.

Принципова схема і схема кіл керування показані, відповідно, на рис. 4.1 і рис. 4.2.

### ***Принцип побудови номограми для керування симетрувальним пристроєм***

Як відомо, струм зворотної послідовності, який задається для симетрування режиму електричної мережі, визначається за виразом:

$$I_{II}^{*SU} = I_{II}^{*K} - I_{II}^{*H}$$

де  $I_{II}^{*SU}$  - струм зворотної послідовності, який задається для симетру-

вального пристрою;  $I_{II}^{*K}$  - компенсований струм зворотної послідовності;

$I_{II}^{*H}$  - вектор струму зворотної послідовності загального навантаження.

Для керуваного симетрувального пристрою можна отримати

множину значень  $I_{II}^{*SU}$ , які визначаються різними комбінаціями ввімкнення його плечей і ступенів. Ідеальним випадком для симетрування буде такий,

коли одне із можливих значень  $I_{II}^{*SU}$  рівне  $(-I_{II}^{*SU})$ . Якщо дана умова не виконується, то зміст задачі полягає в знаходженні з множини можливих розв'язків для ввімкнення симетрувального пристрою такого, який

забезпечить найменше значення модуля  $I_{II}^{*K}$ . На рис. 4.3 зображено

множину векторів  $I_{II}^{*SU} \{ I_{II_1}^{*SU}, I_{II_2}^{*SU} \}$ , які можуть бути створені деяким

симетрувальним пристроєм, і  $I_{II}^{*H}$  - вектор, який підлягає компенсації.

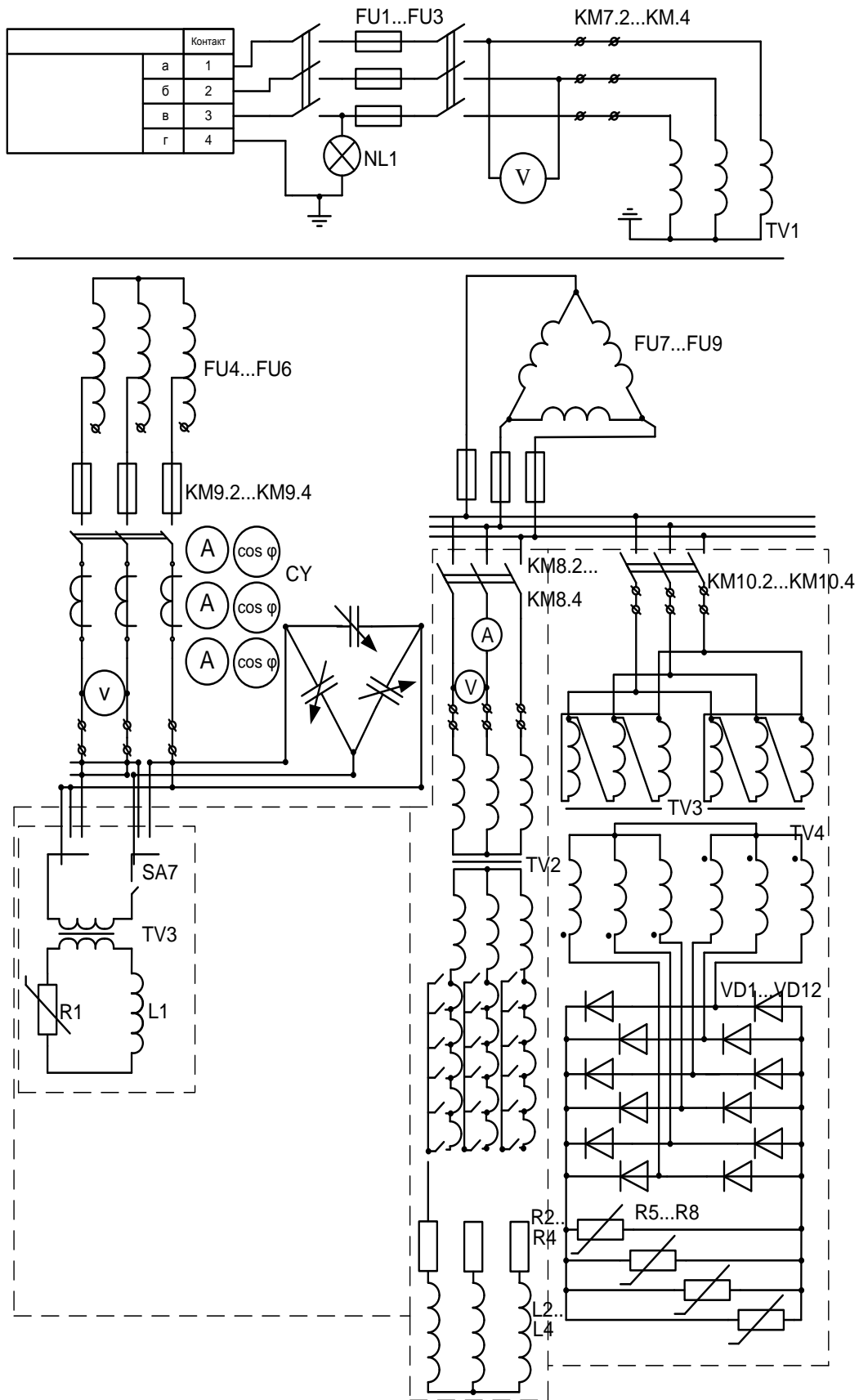


Рисунок 4.1 – Схема силової частини фізичної моделі

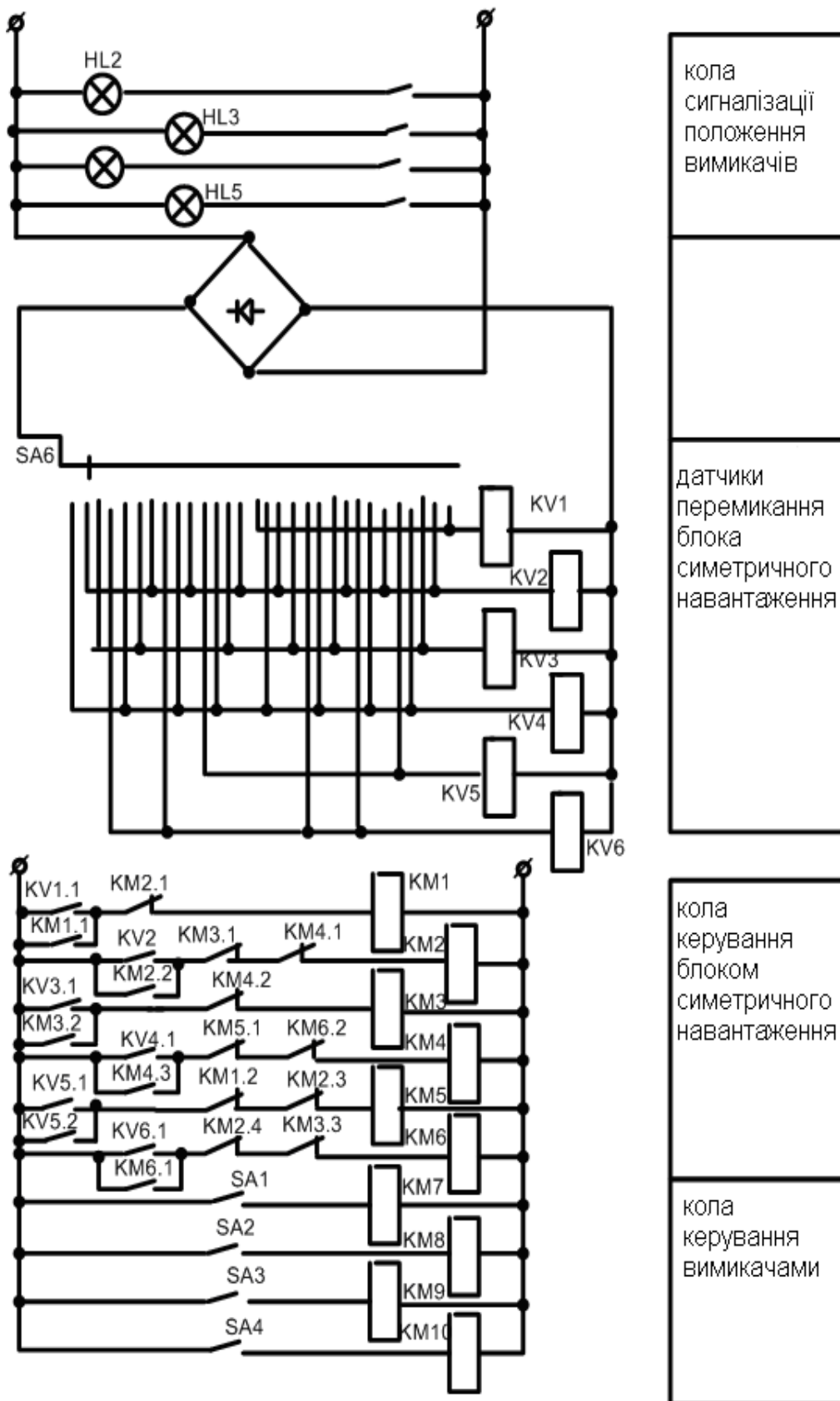


Рисунок 4.2 – Схеми кіл керування фізичної моделі

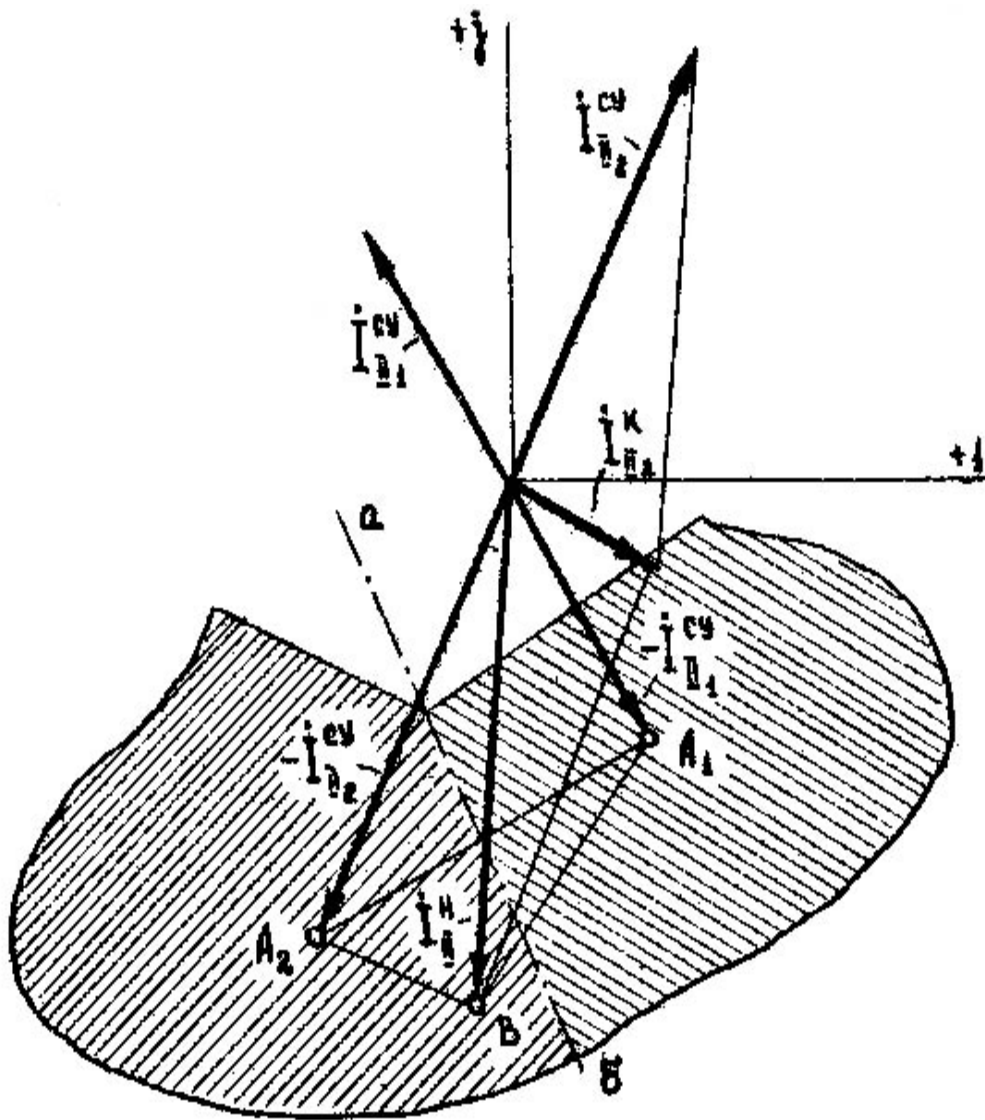


Рисунок 4.3 – Векторна діаграма до вибору ступеня симетрувального пристрою для симетрування режиму в живильній мережі

Як видно із побудови, модуль результуючого вектора  $I_{II}^{*K}$  дорівнює відрезку, який з'єднує кінці векторів  $I_{II}^{*H}$  і, відповідно, реалізованого -  $I_{II}^{*CY}$ . Лінія аб – перпендикуляр, проведений через середину  $A_1A_2$  – геометричне місце точок, рівновіддалених від кінців відрізка. Можна зробити висновок: якщо кінець вектора  $I_{II}^{*H}$  (точка В) знаходиться зліва від лінії аб, то ввімкнення ступеня, який створює  $I_{II2}^{*CY}$ , більш вигідне, ніж  $I_{II1}^{*CY}$ , тому що  $A_2B \leq A_1B$ , а якщо справа, – то навпаки. При розміщенні кінця вектора  $I_{II}^{*H}$  на лінії аб, одне і друге рішення рівноцінні. Сказане має смисл лише для

заштрихованої зони, бо тут завжди можна отримати  $I_{II} \leq I_{II}^{*K *H}$ . Дана зона обмежується перпендикуляром до середини  $-I_{II_1}^{*СП}$  і  $I_{II_2}^{*СП}$ .

Такий аналіз дає можливість на комплексній площині навколо точки  $A_1$  виділити зону, при попаданні в яку кінця вектора  $I_{II}^{*H}$ , буде виконуватись  $I_{II_1}^{*K} = \left| I_{II}^{*H} + I_{II_1}^{*СП} \right| \leq I_{II_2}^{*K} = \left| I_{II}^{*H} + I_{II_2}^{*СП} \right|$  і  $I_{II} \leq I_{II}^{*K *H}$ . Виділена зона показує множину векторів  $I_{II}^{*H}$ , які будуть найбільш ефективно компенсовані реалізацією вектора  $I_{II_1}^{*СП}$ . Засобами, які є в наявності, отримати краще рішення неможливо. Те ж саме можна побудувати і для  $A_2$ .

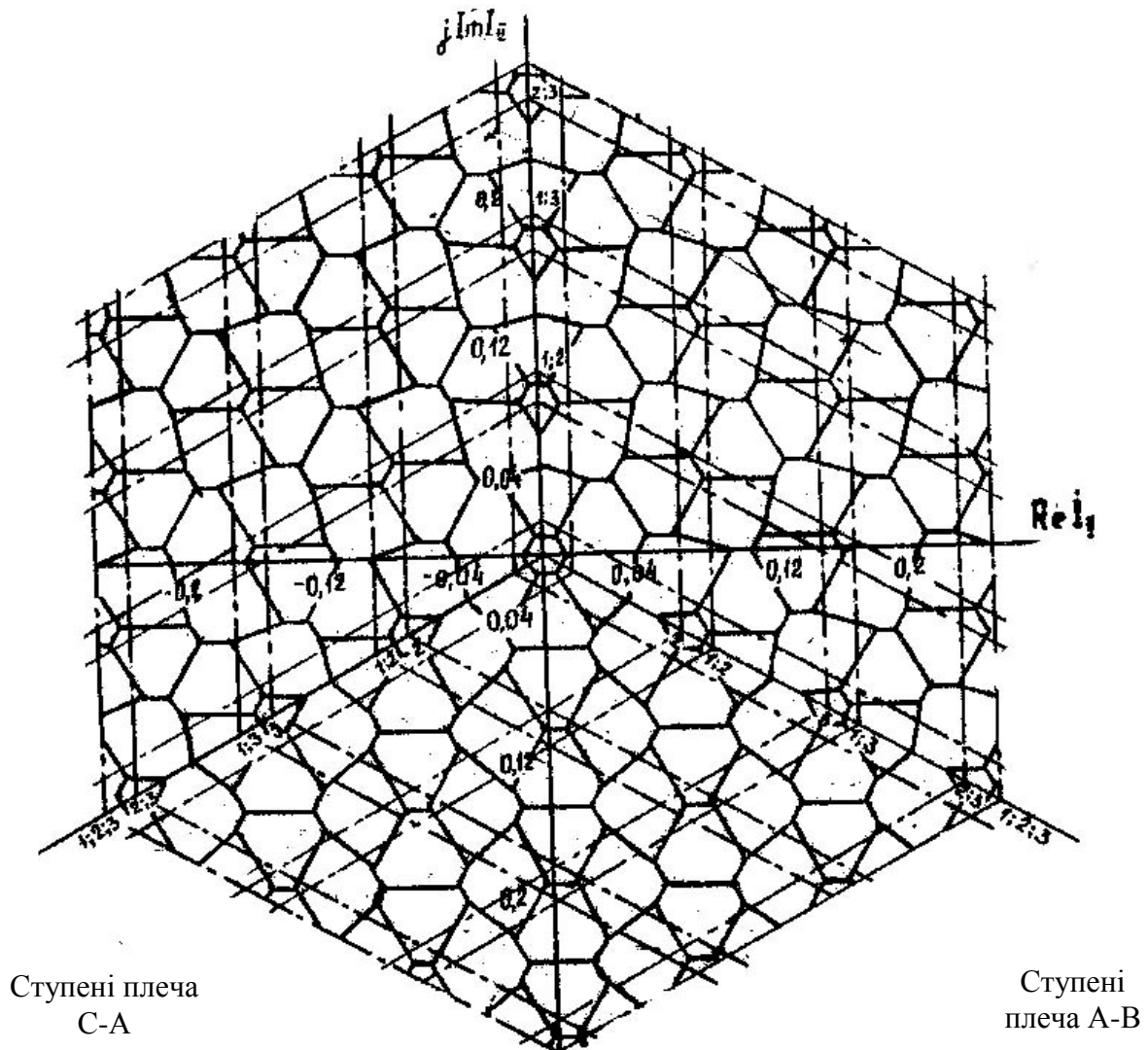


Рисунок 4 – Номограма для визначення вектора керування симетрувальним пристроєм фізичної моделі

Номограма для вибору керувального вектора є комплексною площиною, розділеною на зони. Знайшовши положення кінця вектора  $I_{\Pi}^*$ , який підлягає компенсації на площині, можна отримати оптимальний вектор керування. Номограма для визначення вектора керування симетрувальним пристроєм фізичної моделі системи електропостачання електродного заводу зображена на рис. 4 і побудована за розглянутими принципами.

#### *Література*

1. Зыкин Ф. А., Каханович В. С. Измерение и учет электрической энергии. М.: Энергоатомиздат, 1982.

## СЛОВНИК

Монтаж	Editing
Керування	Management
Принципова схема	Of principle chart
Конструкція	Construction
Регулятор	Regulator
Компенсувальна установка	Compensating setting
Конденсаторна батарея	Condenser battery
Параметр	Parameter
Опір ізоляції	Resistance of isolation
Реактивна потужність	Reactive-power
Фільтр	Filter
Регулювання	Adjusting
Пускач	Allow
Резистор	Resistor
Компенсація	Indemnification
Вольтметр	Voltmeter
Джерело живлення	Source of feed
Перемикач	Switch
Енергосистема	Grid
Експлуатація	Exploitation
Амперметр	Ammeter
Лічильник	Meter
Коефіцієнт потужності	Power-factor
Навантаження	Loading
Еквівалентний опір	Equivalent resistance
Модель	Model
Індикатор	Indicator
Сталеплавильна піч	Steel-smelting stove
Вимірювання	Measuring
Дисперсія	Dispersion
Кореляційний момент	Cross-correlation moment
Графік навантаження	Load-graph
Розподільча мережа	Distributive network
Система шин	System of tires
Центральний розподільчий пункт	Central distributive point
Сигналізація	Signaling
Реле часу	Relay of time
Трансформатор	Transformer
Несиметрія	Unsymmetry
Монограма	Monogram
Векторна діаграма	Vectogram
Масштаб	Scale

*Навчальне видання*

Броніслав Станіславович Рогальський,  
Олександр Дмитрович Демов,  
Леонід Борисович Терешкевич,  
Юрій Петрович Войтюк

**Енергозбереження**  
Лабораторний практикум

Оригінал-макет підготовлено Л. Б. Терешкевичем

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

Науково-методичний відділ ВНТУ  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25.12.2001  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку  
Формат 29,7x42  $\frac{1}{4}$   
Друк різнографічний  
Тираж прим.  
Зам. №

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

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького національного технічного університету  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25.12.2001  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ