

Сліпенький Дмитро Вікторович

**Підвищення якості електроенергії  
Товариства з обмеженою  
відповідальністю „Вінниця-млин”**

Магістерська кваліфікаційна робота

Керівник :

Терешкевич Леонід Борисович

*Кандидат технічних наук, професор*

## **Актуальність.**

Характерною ознакою для системи електропостачання ТОВ «Вінниця млин», як і для інших споживачів є незадовільна якість електроенергії, що підтверджується експериментальними дослідженнями. Наслідком незадовільної якості електроенергії є поява збитків, пов'язаних із відхиленнями від нормованих показників якості електроенергії. Тому для ТОВ «Вінниця млин», актуальною є технічна задача підвищення якості електроенергії

**Об'єкт дослідження** – система електропостачання ТОВ «Вінниця млин».

**Предмет дослідження** – несиметричні режими в системі електропостачання ТОВ «Вінниця млин».

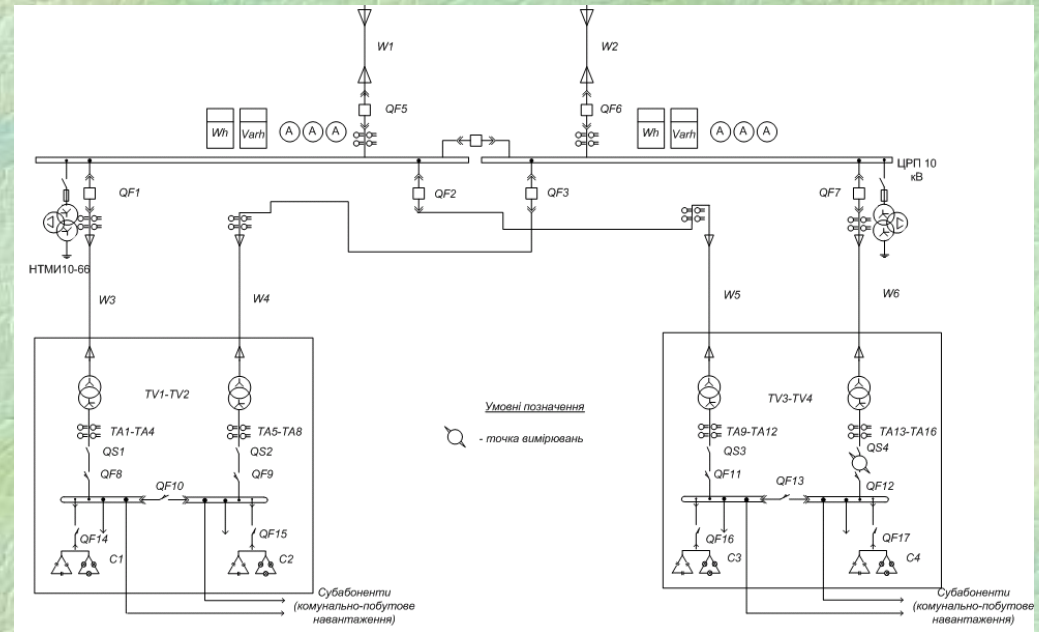
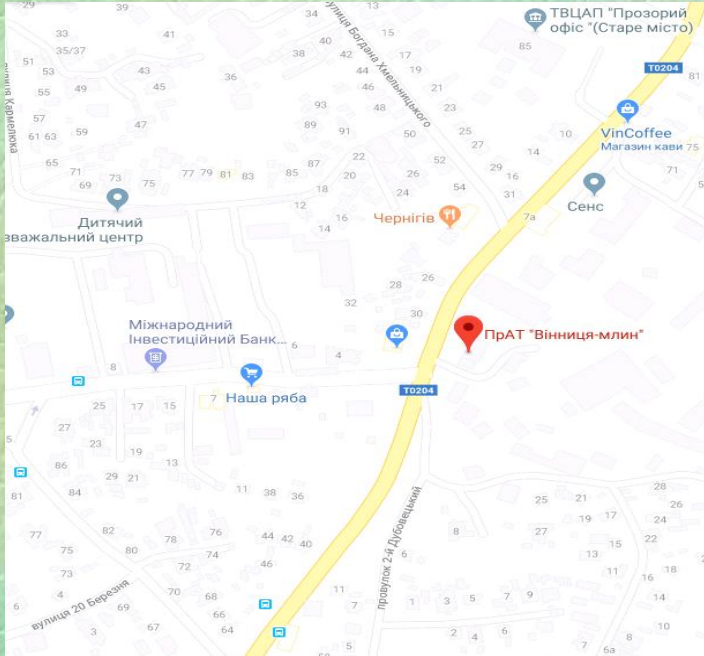
## **МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

**Метою роботи є підвищення якості електроенергії в мережах ТОВ «Вінниця млин» шляхом використання потужностей діючих батарей статичних конденсаторів для симетрування електричного режиму**

**Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:**

- провести аналіз існуючих методів і засобів симетрування електричних режимів;**
- дослідити особливості системи електропостачання ТОВ «Вінниця млин»**
- розробити математичну модель, яка дозволяє проводити розрахунки керуючих рішень;**
- провести тестові розрахунки та зробити висновки по отриманим результатам;**

## ВІДОМОСТІ ПРО ТОВ «ВІННИЦЯ МЛИН»

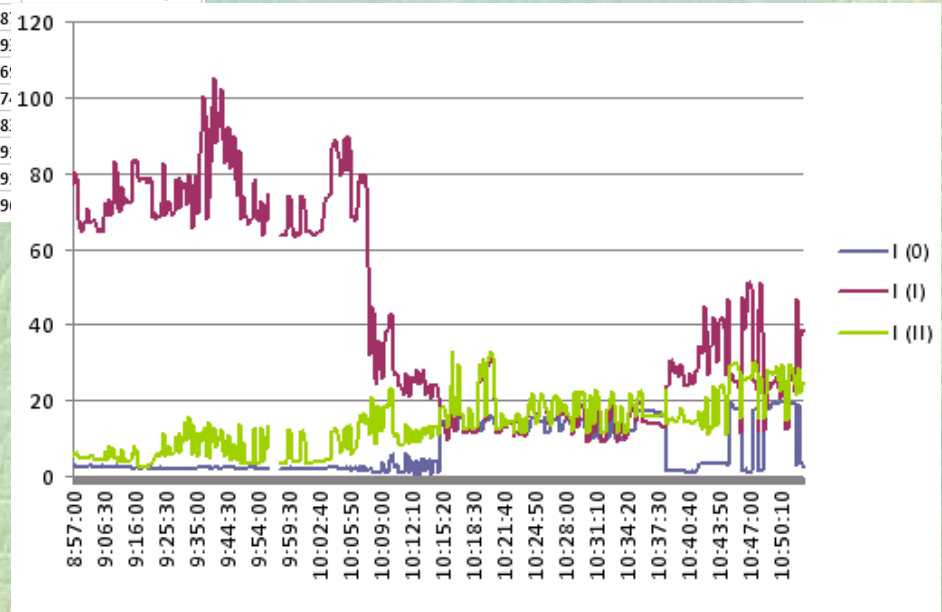


Від живильних мереж, до яких під'єднані мережі ТОВ «Вінниця-млин», живиться комунально-побутове навантаження. Сучасне комунально-побутове навантаження має суттєву потужність і в мережах таких споживачів має місце суттєва несиметрія. Крім цього до трансформаторних підстанцій ТОВ «Вінниця-млин» під'єднані субабоненти все навантаження яких несиметричного виконання.

# ПАРАМЕТРИ НЕСИМЕТРИЧНОГО РЕЖИМУ В ТОЧЦІ ВИМІРЮВАНЬ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Дата	Время	I среднее	I среднее	I среднее	I среднее N	COS PHI L1	COS PHI L2	COS PHI L3	COS PHI суммарный
2			A	A	A	A				
3	03.12.2009	8:57:00	83,5	75,7	71,9	0	0,713	0,636	0,67	0,674
4	03.12.2009	8:57:30	87,4	80,5	74,1	0	0,725	0,633	0,668	0,677
5	03.12.2009	8:58:00	85,9	78,9	72,8	0	0,719	0,621	0,66	0,669
6	03.12.2009	8:58:30	74,1	67	62,6	0	0,738	0,641	0,684	0,689
7	03.12.2009	8:59:00	71,4	64,4	61	0	0,741	0,65	0,687	0,694
8	03.12.2009	8:59:30	70,4	63,2	60,5	0	0,749	0,664	0,698	0,705
9	03.12.2009	9:00:00	72,3	66	62,4	0	0,736	0,649	0,678	0,689
10	03.12.2009	9:00:30	73,1	65,8	63,1	0	0,736	0,651	0,684	0,692
11	03.12.2009	9:01:00	72,8	65,5	62,4	0	0,733	0,642	0,679	0,687
12	03.12.2009	9:01:30	77	69,5	66,6	0	0,714	0,632	0,664	0,672
13	03.12.2009	9:02:00	73,6	65,3	62,2	4,3	0,728	0,633	0,681	0,683
14	03.12.2009	9:02:30	74,3	65,5	62,4	5	0,733	0,636	0,69	0,688
15	03.12.2009	9:03:00	74	65,5	62,6	4,3	0,731	0,636	0,687	0,687
16	03.12.2009	9:03:30	73	65,5	63,6	0	0,726	0,645	0,679	0,685
17	03.12.2009	9:04:00	71,4	64,3	62,2	0	0,731	0,656	0,682	0,691
18	03.12.2009	9:04:30	69,9	62,6	60,7	0	0,737	0,658	0,69	0,696
19	03.12.2009	9:05:00	71,4	63,9	60,9	0	0,743	0,656	0,68	0,687
20	03.12.2009	9:05:30	70,4	62,7	60,5	0	0,741	0,661	0,69	0,692
21	03.12.2009	9:06:00	70,2	62,7	60,5	0	0,739	0,652	0,6	0,677
22	03.12.2009	9:06:30	73,8	66,6	64,4	0	0,717	0,638	0,67	0,683
23	03.12.2009	9:07:00	79,6	71,6	66	0	0,735	0,621	0,68	0,687
24	03.12.2009	9:07:30	74,5	67,2	65,3	0	0,726	0,653	0,69	0,692
25	03.12.2009	9:08:00	81,6	73,3	65,3	0	0,747	0,615	0,69	0,692
26	03.12.2009	9:08:30	75,3	67,5	64,4	0	0,737	0,653	0,69	0,692

Струми прямої, зворотної та нульової послідовності

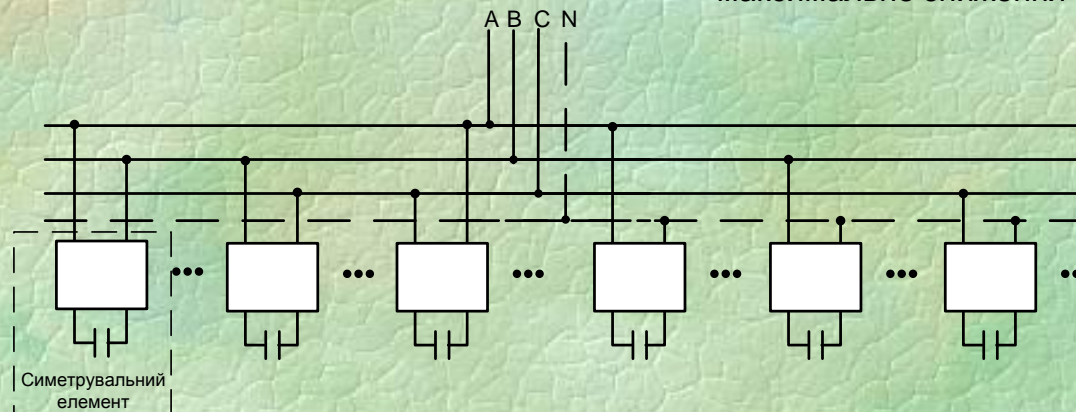


## Формулювання задач, що вирішуються в магістерській кваліфікаційній роботі

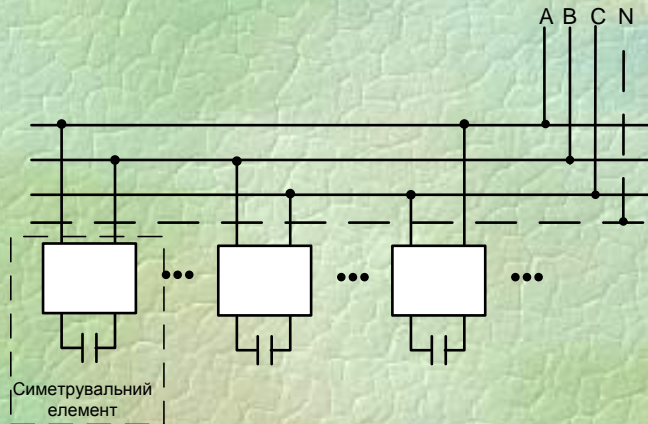
Оскільки на ТОВ «Вінниця млин» є керовані конденсаторні батареї, які використовуються виключно для компенсації реактивних навантажень то, виконавши певну зміну в їх схемі з'єднань, отримати можливість пофазної комутації окремих їх секцій. Причому мають бути секції, які під'єднані до лінійних напруг і які при їх включенні здійснюють вплив на струм зворотної послідовності, та секції, що під'єднані до фазних напруг і при їх включенні здійснюється вплив на струми зворотної та нульової послідовностей.

Вважаючи, що параметри електричного режиму змінюються в часі, СП повинен бути керованим, що дає технічну можливість, змінюючи його параметри, корегувати вплив на електричну мережу.

Ефективне використання СП можливе лише за умови наявності математичної моделі, яка на основі інформації про параметри електричного режиму та параметри СП дозволить розрахувати таку комбінацію вимикачів симетрувальних елементів для їх включення, якій відповідає максимальне зниження несиметрії режиму.



## Дослідження впливу на електричну мережу симетрувальних елементів, що під'єднуються до лінійних напруг



Пристрій є джерелом реактивної потужності.

$$\dot{S}_1^{\text{СП}} = -j \cdot Q_1^{\text{СП}} = -j \cdot (Q_{C_{AB}} + Q_{C_{BC}} + Q_{C_{CA}})$$

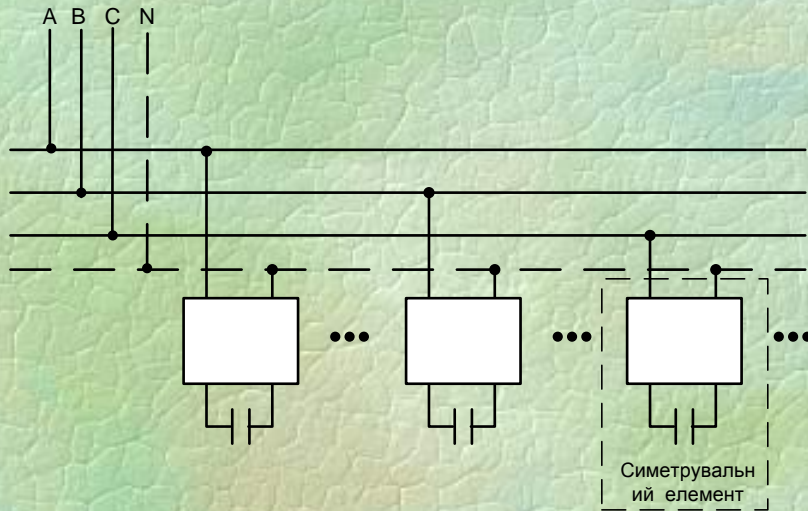
При використанні таких пристроїв у чотирипровідних мережах слід мати на увазі, що вони мають вплив лише на струм зворотної послідовності, тому в такому випадку необхідне використання додатково симетрувальних елементів, які б могли зменшувати струм нульової послідовності.

**Принцип симетрування** полягає в тому, щоб генерувати струм зворотної послідовності такий за величиною модуля і аргумента, щоб при складанні його зі струмом зворотної послідовності, що генерується навантаженням, максимально зменшити модуль утвореного сумарного струму.

Струм зворотної послідовності такого пристрою при симетричній нарузі в вузлі його під'єднання визначається співвідношенням

$$\begin{aligned} \dot{I}_2^{\text{СП}} &= -\frac{j}{3} \cdot (a^2 \cdot \dot{I}_{C_{AB}} + \dot{I}_{C_{BC}} + a \cdot \dot{I}_{C_{CA}}) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot \left[ -1,5 \cdot \dot{I}_{C_{AB}} + 1,5 \cdot \dot{I}_{C_{CA}} + j \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \dot{I}_{C_{AB}} - \sqrt{3} \cdot \dot{I}_{C_{BC}} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \dot{I}_{C_{CA}} \right) \right], \end{aligned}$$

## Дослідження керованого СП із симетрувальними елементами, що під'єднуються до фазних напруг



Впливи на електричну мережу симетрувальних елементів, що під'єднуються до фазних напруг, суперечливі (впливи, що зменшують струм нульової послідовності, збільшують струм зворотної послідовності і навпаки)

В чотирипровідній мережі, слід вибрати симетруючі елементи, що під'єднані до фазних напруг. Такі симетруючі елементи утворюють пристрій у вигляді несиметричної зірки із заземленою нейтраллю

СП, здійснює впливи як на режим зворотної, так і нульової послідовності

$$\begin{aligned} \dot{I}_2^{\text{СП}} &= \frac{1}{3} \cdot (\dot{I}_{C_A} + a^2 \cdot \dot{I}_{C_B} + a \cdot \dot{I}_{C_C}) = \frac{1}{3} \cdot (\dot{I}_{C_A} \cdot e^{j90^\circ} + a^2 \cdot \dot{I}_{C_B} \cdot e^{-j30^\circ} + a \cdot \dot{I}_{C_C} \cdot e^{j210^\circ}) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot \left[ \frac{\sqrt{3}}{2} (\dot{I}_{C_C} - \dot{I}_{C_B}) + j \cdot \left( \dot{I}_{C_A} - \frac{1}{2} (\dot{I}_{C_B} + \dot{I}_{C_C}) \right) \right], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_0^{\text{СП}} &= \frac{1}{3} \cdot (\dot{I}_{C_A} + \dot{I}_{C_B} + \dot{I}_{C_C}) = \frac{1}{3} \cdot (\dot{I}_{C_A} \cdot e^{j90^\circ} + \dot{I}_{C_B} \cdot e^{-j30^\circ} + \dot{I}_{C_C} \cdot e^{j210^\circ}) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot \left[ \frac{\sqrt{3}}{2} (\dot{I}_{C_B} - \dot{I}_{C_C}) + j \cdot \left( \dot{I}_{C_A} - \frac{1}{2} (\dot{I}_{C_B} + \dot{I}_{C_C}) \right) \right], \end{aligned}$$



## Дослідження впливу СП на складові втрат активної потужності в живильних мережах

Мінімум втрат активної потужності при симетруванні електричних режимів за допомогою розглянутих СП досягається шляхом компенсації реактивної потужності та зменшення струмів зворотної і нульової послідовностей.

Додаткові втрати, зумовлені протіканням струмів зворотної послідовності

$$\Delta P_2 = 3 \cdot I_2^2 \cdot r$$

Додаткові втрати, зумовлені протіканням струмів нульової послідовності

$$\Delta P_0 = I_0^2 \cdot r + I_0^2 \cdot r + I_0^2 \cdot r + (3 \cdot I_0)^2 \cdot r = 12 \cdot I_0^2 \cdot r$$

Реактивні навантаження, що протікають по лінії живлення спричиняють активні втрати

$$\Delta P_Q = \frac{Q^2}{U^2} \cdot r$$

Критерій ефективності

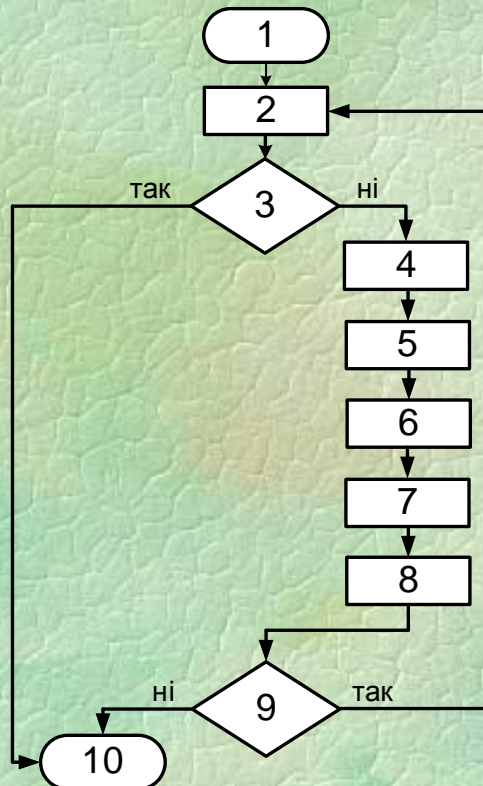
$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_2 + \Delta P_0 + \Delta P_Q$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P' - \sum_{i=1}^n \delta \Delta P_{\Sigma i} \cdot x_i \rightarrow \min \\ x_i + \bar{x}_i = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \\ Q' - \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \cdot x_i \geq 0 \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0, \end{array} \right.$$

Коефіцієнти моделі є складною функцією прийнятих попередніх рішень, що не дозволяє використати жоден із класичних алгоритмів аналізу математичних моделей. Це потребує розробки обчислювального методу для вирішення задачі

Математична модель відноситься до класу цілочислових, що обумовлено особливістю конструктивного виконання СП, які дозволяють здійснювати комутацію окремих секцій дискретної потужності.

## Алгоритм аналізу математичної моделі



1 – отримання початкових даних шляхом безпосереднього вимірювання;

2 – формування множини допустимих до включення потужностей секцій СП  $D_k$ ;

3 – множина  $D_k$  пуста?;

4 – визначення струмів зворотної, нульової послідовностей та реактивної потужності мережі за умови включення кожної із секцій множини  $D_k$ ;

5 – знаходження складових приростів втрат активної потужності, спричинених струмами зворотної, нульової послідовностей і реактивною складовою прямої послідовності (реактивною потужністю), та їх суми за умови включення кожної із секцій множини  $D_k$ ;

6 – із множини  $D_k$  визначається секція, яку необхідно включити для забезпечення максимального зменшення  $\Delta P_\Sigma$  у відповідності до рекурентних співвідношень Р. Беллмана;

7 – формування вектора керування за результатами, отриманими на  $k$ -ому етапі;

8 – виключення секції, по якій прийнято рішення про включення на  $k$ -ому етапі із загальної множини, яка буде використовуватися на наступних етапах;

$$9 - Q' - \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \cdot x_i \geq 0 ?;$$

10 – розрахунки припиняються. Вектор керування, що отримано, реалізується.



### **Наукова новизна одержаних результатів**

Удосконалено математичні моделі симетрування електричного режиму які, на відміну від існуючих, забезпечують знаходження оптимальних варіантів увімкнення окремих секцій симетруючого пристрою в умовах чотирипровідної мережі.

### **Практичне значення одержаних результатів**

Полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних положень розроблені математичні моделі які дозволяють знаходити дискретні розв'язки для симетрування електричного режиму, використовуючи для цього потужності батарей статичних конденсаторів, отримуючи крім ефекту з компенсації реактивних навантажень ще і ефект із симетрування електричного режиму і тим самим поліпшити якість електроенергії ТОВ „Вінниця-млин”

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. В системі електропостачання ТОВ «Вінниця млин» мають місце несиметричні режими, зумовлені комунально-побутовим навантаженням, яким оточена територія підприємства. Зменшення несиметрії дозволить покращити якість електроенергії на підприємстві.
2. Для симетрування електричних режимів у чотирипровідній електричній мережі можуть використовуватися СП на базі батарей статичних конденсаторів, які обов'язково мають містити симетруючі елементи, що підключаються до лінійних та до фазних напруг, щоб виконувати необхідні керовані впливи на параметри як зворотної, так і нульової послідовностей.
3. СП доцільно синтезувати із батарей статичних конденсаторів, які є на підприємстві. В цьому випадку можна отримати додатковий ефект із симетрування режиму за умови того ж ефекту, який є за рахунок компенсації реактивної потужності
4. Синтезована цілочислова математична модель керування СП та розроблений алгоритм її аналізу можуть бути використаними для отримання мінімального рівня несиметрії в електричній мережі за умови забезпечення вимог з компенсації реактивних навантажень.
5. Практична реалізація виконаних наукових розробок дозволить покращити якість електроенергії на ТОВ «Вінниця млин» шляхом зменшення несиметрії електричного режиму в системі електропостачання і одночасно забезпечить вимоги з компенсації реактивних навантажень.