

Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет

Доповідь

до захисту магістерської кваліфікаційної роботи на тему:

**“Оптимізація розподільної мережі 0,4 кВ за втратами  
активної потужності”**

Доповідач: ст.гр. ЕМ-14м

Хоменко О.О.

Науковий керівник: канд.техн.наук, професор

Терешкевич Л. Б.

Вінниця 2015

## АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

Однією із головних характеристик будь-якої продукції є її якість. Це твердження також стосується і електроенергії. Одним із таких показників, згідно ГОСТ 13109-97, є коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній та нульовій послідовності. Наявність несиметрії призводить до ряду небажаних явищ: зростання додаткових втрат в мережах та елементах електрообладнання; скорочення експлуатаційного терміну служби електрообладнання; збою в роботі електронного обладнання та пристроїв релейного захисту і автоматики; погіршення показників технологічних процесів на промислових підприємствах; негативного впливу на лінії зв'язку та пристрої автоблокування на електрифікованому транспорті; появи небезпечних рівнів наведених напруг на проводах ліній електропередач, що будуються.

Живлячі мережі 0,4 кВ енергопостачальних компаній мають розгалужений характер, а споживачі, які від них отримують електроенергію, розподілені нерівномірно, а також приєднуються як на фазну, так і на лінійну напругу. Рівномірний розподіл споживачів між напругами мережі можна виконати способом внутрішнього симетрування, який не потребує додаткових капітальних вкладень. Це дозволить зменшити несиметрію режиму та знизить негативний вплив вище наведених явищ.

## МЕТА, ЗАДАЧІ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Метою роботи** є зниження додаткових втрат активної потужності, зумовлених несиметрією режиму, що створюється електроприймачами, під'єднаними як до фазних, так і до лінійних напруг вузла мережі, шляхом впровадження системи заходів внутрішнього симетрування однофазних навантажень.

**Основними задачами дослідження** є такі:

- провести аналіз стану наукових досліджень з питань оптимізації електричної мережі 0,4 кВ;
- дослідити можливості впливу на параметри несиметрії електричного режиму однофазних навантажень;
- запропонувати можливий підхід до вирішення задачі оптимізації електричної мережі 0,4 кВ з несиметричним навантаженням;
- розробити математичні моделі внутрішнього симетрування режиму в лінії з однофазними навантаженнями та алгоритм розрахунку оптимального рішення.

**Об'єкт дослідження** – процес внутрішнього симетрування однофазних навантажень в чотири провідних розподільних мережах.

**Предмет дослідження** – математичні моделі внутрішнього симетрування однофазних навантажень в чотирипровідних розподільних мережах 0,4 кВ.

Втрати електричної енергії в розподільних мережах є одним із інтегральних показників, який одночасно оцінює: технічний стан мережі і її відповідність електричним навантаженням; досконалість систем обліку та вимірювання; рівень технічної експлуатації; стан якості електричної енергії; наявність оптимізуючих пристроїв та ефективність їх використання.

Експлуатація мереж 10 та 0,4 кВ енергопостачальних компаній характеризується несиметричним режимом їх роботи.

Чисельні дослідження, присвячені аналізу режимів роботи мереж низької напруги показали, що несиметрія струмів обумовлена роботою комунально-побутового навантаження, основну частину якого складають нерівномірно розподілені однофазні електроприймачі, що мають випадковий характер їх вмикання.

Одним із способів зменшення додаткових втрат електричної енергії є метод внутрішнього симетрування. Задача внутрішнього симетрування є вирішеною для цілої множини випадків вченими України та зарубіжжя, проте поза увагою залишився випадок, коли до вузла електричної мережі під'єднуються електроприймачі як до лінійної, так і до фазної напруг.

Метод внутрішнього симетрування є одним з найбільш економічно вигідних шляхів зниження несиметрії, оскільки для своєї реалізації не потребує додаткових капітальних затрат, у порівнянні із методами зовнішнього симетрування, для реалізації, яких необхідно застосовувати додаткові пристрої.

# МОЖЛИВІ ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

## Ієрархія задач внутрішнього симетрування в чотирипровідних розподільних мережах

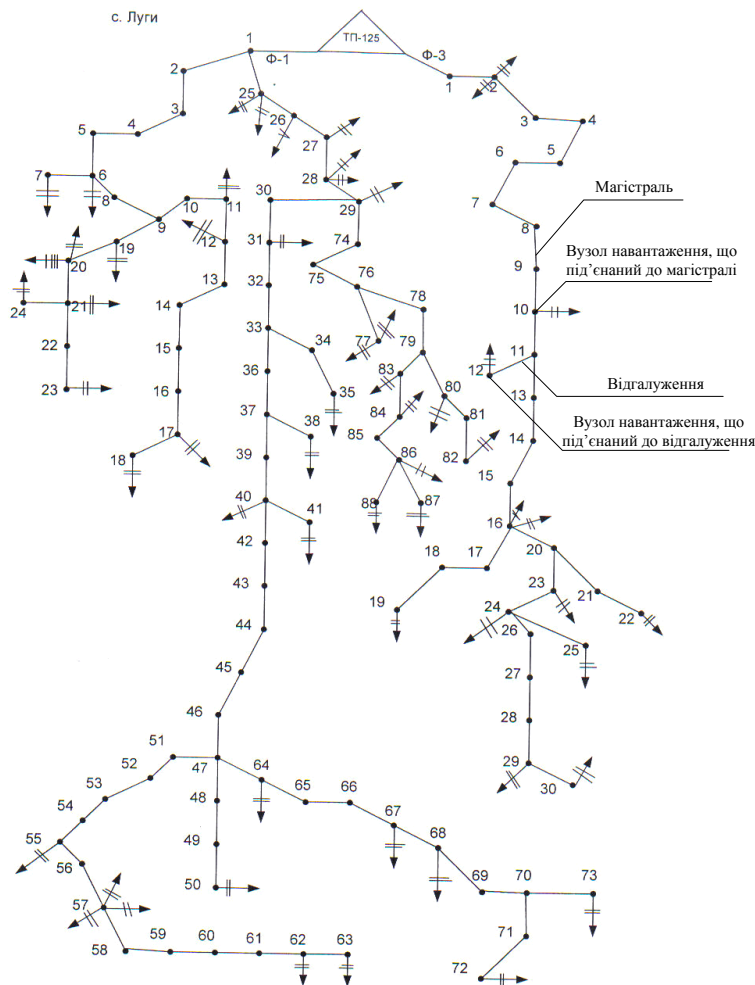


Рисунок 1 - Попорна схема ПЛ-0,4 кВ, ТП-125, с. Луги

Електричні режими вузлів навантаження формують режими в магістральних лініях, а останні – трансформаторної підстанції. Виходячи із згаданого принципу формування електричного режиму, можна встановити, що найбільш високим ієрархічним рівнем є ТП, далі магістральна лінія, і, накінець, самий низький рівень із тих, які розглядаються, - вузол навантаження.

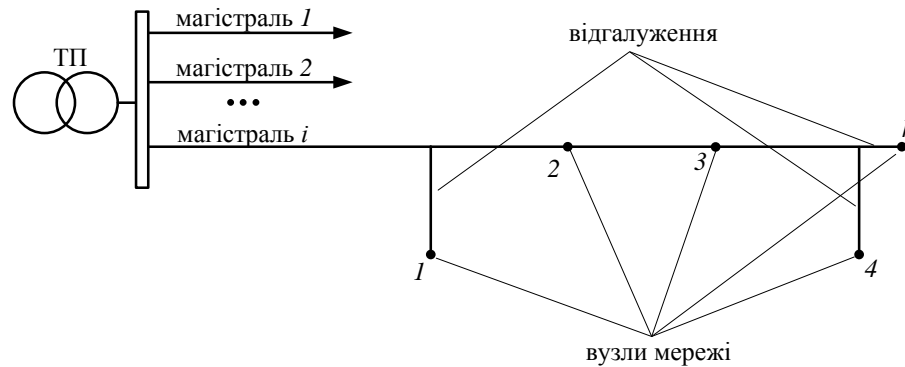


Рисунок 2 - Спрощена характерна схема розподільної мережі 0,4 кВ енергопостачальної компанії

Оптимальне завантаження розподільної мережі по фазах, досягається лише за умови реалізації розв'язків всіх розглянутих підзадач. Впровадження будь-якої із підзадач також буде супроводжуватись позитивним ефектом.

В даній роботі вирішується підзадача оптимального під'єднання групи однофазних електроприймачів до вузла мережі. Серед таких електроприймачів є електроприймачі напругою 380 В і вони мають бути під'єднаними до лінійної напруги і напругою 220 В, що мають бути під'єднаними до фазної напруги. Така задача залишається не вирішеною.



За своєю сутністю дана задача є оптимізаційною задачею розподілу навантажень, оскільки, з множини можливих допустимих розв'язків тільки один забезпечить максимальний симетруючий ефект. Розв'язання оптимізаційних задач можливе за допомогою застосування методів дослідження операцій, методологія яких передбачає побудову математичної моделі.

За кількісний критерій ефективності доцільно прийняти параметри режиму, які визначають збитки від несиметрії (збитки або їх складові функціонально залежать від даних параметрів).

Існує ряд параметрів електричного режиму, які дозволять здійснювати оцінку стану несиметрії в чотирипровідній електричній мережі.

Такий критерій (параметр) можна запропонувати і до задачі внутрішнього симетрування – це сумарні додаткові втрати активної потужності, зумовлені несиметрією режиму визначаються за формулою:

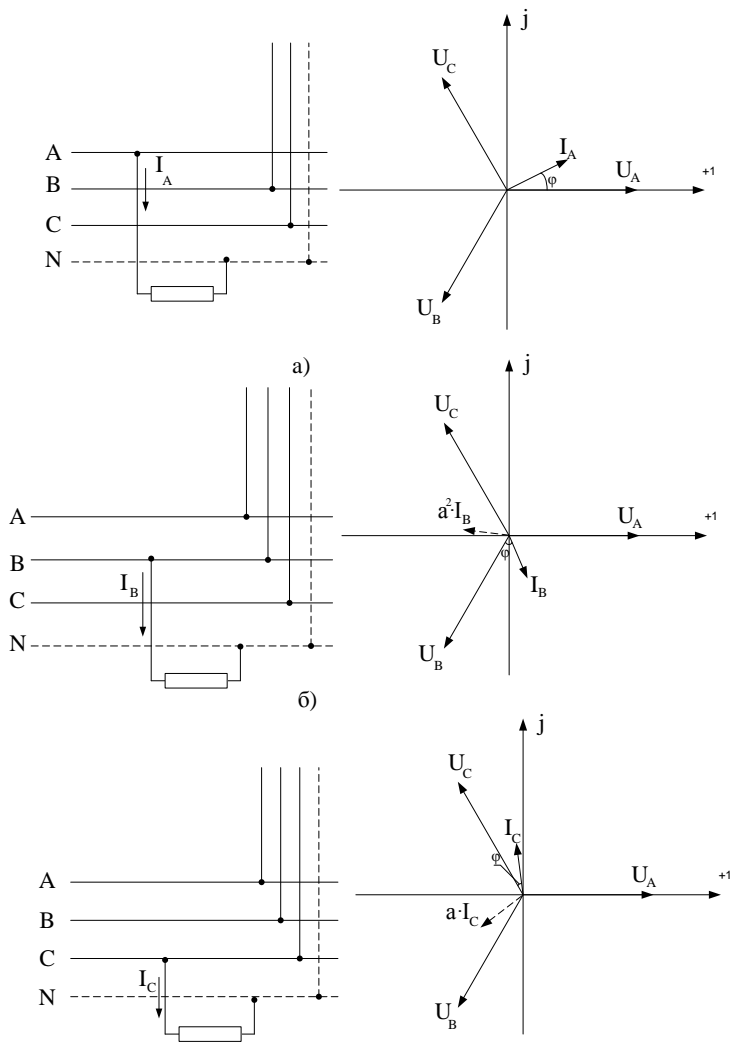
$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{II} + \Delta P_0.$$

Додаткові втрати потужності в елементах системи живлення, які взяті як критерій ефективності вирішення задачі, визначаються струмами зворотної та нульової послідовностей за відомими формулами:

$$\Delta P_{II} = 3 \cdot I_{II}^2 \cdot r_{II}; \quad \Delta P_0 = 12 \cdot I_0^2 \cdot r_0,$$

де  $I_{II}$  та  $I_0$  - струми зворотної та нульової послідовностей в лінії живлення відповідно.

# Аналітичні залежності $I_{II}$ та $I_0$ для електроприймачів, які під'єднуються до фазних напруг



$$I_{II} = \frac{1}{3} \cdot (I_A + a^2 \cdot I_B + a \cdot I_C).$$

$$\begin{cases} I_{II_i} = \frac{P_i}{3 \cdot U \cdot \cos \varphi_i} \cdot e^{-j\varphi_i} \text{ при під'єднанні однофазного навантаження до } U_A; \\ I_{II_i} = \frac{P_i}{3 \cdot U \cdot \cos \varphi_i} \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_i)} \text{ те саме, до } U_B; \\ I_{II_i} = \frac{P_i}{3 \cdot U \cdot \cos \varphi_i} \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_i)} \text{ те саме, до } U_C. \end{cases} \quad (1)$$

$$I_0 = \frac{1}{3} \cdot (I_A + I_B + I_C).$$

$$\begin{cases} I_{0_i} = \frac{P_i}{3 \cdot U \cdot \cos \varphi_i} \cdot e^{-j\varphi_i} \text{ при під'єднанні однофазного навантаження до } U_A; \\ I_{0_i} = \frac{P_i}{3 \cdot U \cdot \cos \varphi_i} \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_i)} \text{ те саме, до } U_B; \\ I_{0_i} = \frac{P_i}{3 \cdot U \cdot \cos \varphi_i} \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_i)} \text{ те саме, до } U_C. \end{cases} \quad (2)$$

Рисунок 3 – Схеми приєднання однофазних навантажень до фазної напруги і векторні діаграми.



# Аналітичні залежності $I_{II}$ для електроприймачів, які під'єднуються до лінійних напруг

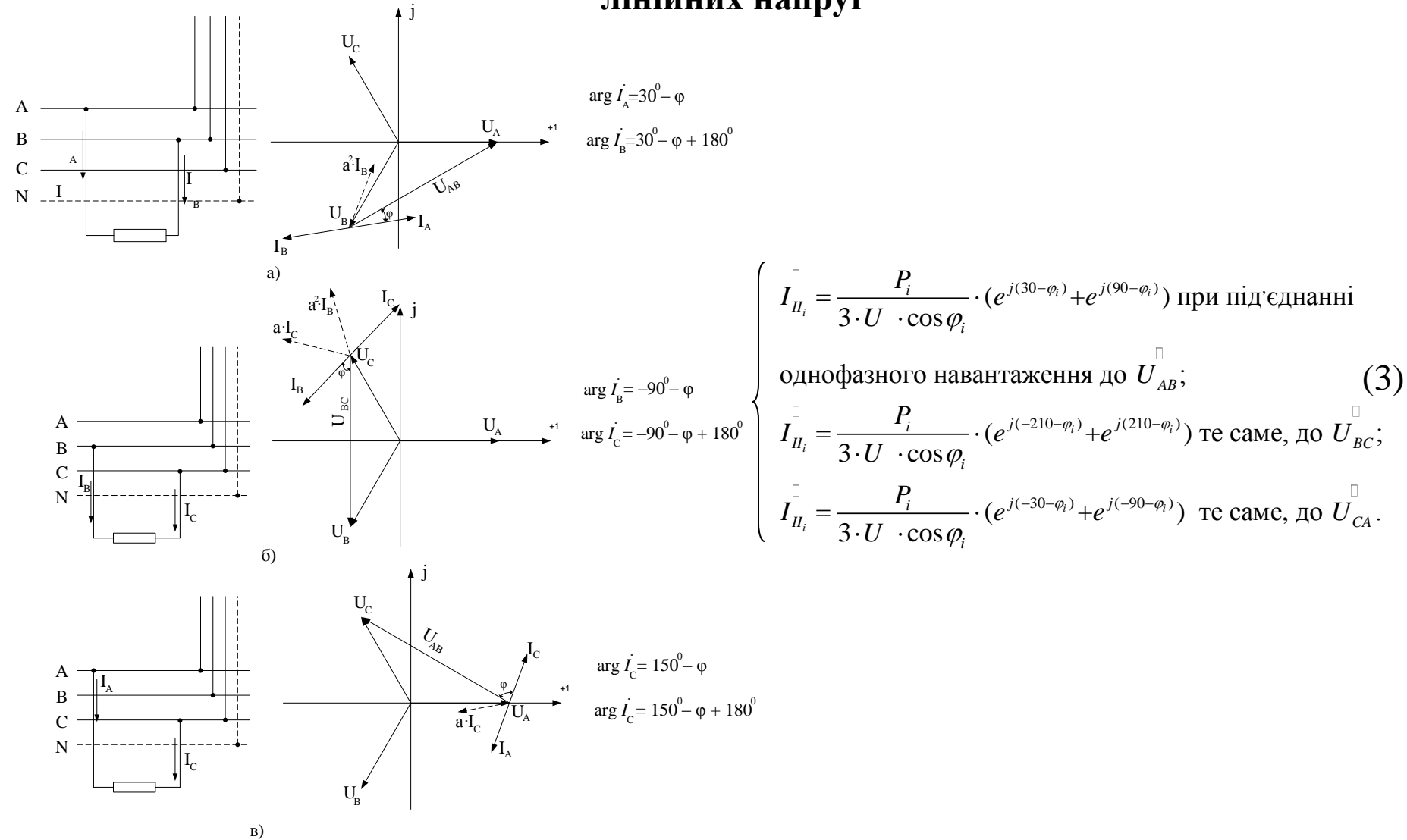


Рисунок 4 – Схеми під'єднання однофазного навантаження до лінійних напруг та векторні діаграми

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ, ЩО ВРАХОВУЮТЬ ВПЛИВ НА ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ

Прийняття технічного рішення з оптимізації мережі 0,4 кВ можливе при наявності необхідних математичних моделей.

Розроблені в розділі 3 математичні моделі дають можливість прийняти рішення з під'єднання до вузла мережі групи однофазних електроприймачів, серед яких є електроприймачі, що вмикаються до фазної напруги 220 В та до лінійної – 380 В.

Такий склад електроприймачів здійснює особливий вплив на електричну мережу. Електроприймачі, під'єднанні до фазної напруги генерують струми зворотної та нульової послідовностей, а ті, що під'єднанні до лінійної напруги – лише струми зворотної послідовності. Тому рішення про під'єднання електроприймачів по кожній із зазначених груп має бути погодженими.

Кінцеве рішення пропонується приймати в два етапи. На першому етапі, використовуючи відповідну математичну модель, - визначається оптимальне під'єднання до вузла мережі електроприймачів, які вмикаються на лінійну напругу, на другому, за іншою математичною моделлю – визначається оптимальне під'єднання електроприймачів до фазних напруг 220 В. Отримані рішення на цих етапах, погоджуються, забезпечуючи при цьому мінімум струму зворотної послідовності, що створюється усіма однофазними електроприймачами. Мінімум струму нульової послідовності забезпечується при оптимальному під'єднанні електроприймачів до фазних напруг і погодження рішень, що виконується на завершальному етапі, на їх значення не впливає.

# Математична модель внутрішнього симетрування групи електропримачів, які під'єднуються до лінійних напруг

Таблиця 1 - Вихідна інформація математичної моделі

№ нав.	$\dot{I}_{Iim}$		
	$U_{AB} (m=1)$	$U_{BC} (m=2)$	$U_{CA} (m=3)$
1	$\text{Re}\dot{I}_{I11} + j\text{Im}\dot{I}_{I11}$	$\text{Re}\dot{I}_{I12} + j\text{Im}\dot{I}_{I12}$	$\text{Re}\dot{I}_{I13} + j\text{Im}\dot{I}_{I13}$
2	$\text{Re}\dot{I}_{I21} + j\text{Im}\dot{I}_{I21}$	$\text{Re}\dot{I}_{I22} + j\text{Im}\dot{I}_{I22}$	$\text{Re}\dot{I}_{I23} + j\text{Im}\dot{I}_{I23}$
...	...	...	...
$N_I$	$\text{Re}\dot{I}_{IN_1} + j\text{Im}\dot{I}_{IN_1}$	$\text{Re}\dot{I}_{IN_2} + j\text{Im}\dot{I}_{IN_2}$	$\text{Re}\dot{I}_{IN_3} + j\text{Im}\dot{I}_{IN_3}$

Вектор змінних:  $\mathbf{X}^T = (x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{21}, x_{22}, \dots, x_{N_1 3})$ ,

Математична модель оптимального під'єднання групи електропримачів, які під'єднуються до лінійних напруг до вузла навантаження:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{\Sigma} = 3 \left\{ \left| \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{m=1}^3 \dot{I}_{Iim} x_{im} \right| \right\}^2 \cdot r_{II} \rightarrow \min \\ \sum_{m=1}^3 x_{im} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, N_1 \\ x_{im} \in \{1, 0\}. \end{array} \right. \quad (5)$$

## Математична модель внутрішнього симетрування групи електропримачів, які під'єднуються до фазних напруг

Таблиця 2 - Вихідна інформація математичної моделі

№ нав.	$\dot{I}_{Iim}$			$\dot{I}_{Oim}$		
	$U_A$ ( $m=1$ )	$U_B$ ( $m=2$ )	$U_C$ ( $m=3$ )	$U_A$ ( $m=1$ )	$U_B$ ( $m=2$ )	$U_C$ ( $m=3$ )
1	$\text{Re}\dot{I}_{I11} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{I11}$	$\text{Re}\dot{I}_{I12} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{I12}$	$\text{Re}\dot{I}_{I13} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{I13}$	$\text{Re}\dot{I}_{O11} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{O11}$	$\text{Re}\dot{I}_{O12} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{O12}$	$\text{Re}\dot{I}_{O13} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{O13}$
2	$\text{Re}\dot{I}_{I21} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{I21}$	$\text{Re}\dot{I}_{I22} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{I22}$	$\text{Re}\dot{I}_{I23} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{I23}$	$\text{Re}\dot{I}_{O21} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{O21}$	$\text{Re}\dot{I}_{O22} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{O22}$	$\text{Re}\dot{I}_{O23} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{O23}$
...	...	...	...	...	...	...
$N_2$	$\text{Re}\dot{I}_{In1} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{In1}$	$\text{Re}\dot{I}_{In2} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{In2}$	$\text{Re}\dot{I}_{In3} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{In3}$	$\text{Re}\dot{I}_{On1} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{On1}$	$\text{Re}\dot{I}_{On2} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{On2}$	$\text{Re}\dot{I}_{On3} +$ $+j\text{Im}\dot{I}_{On3}$

Вектор змінних:  $\mathbf{Y}^T = (y_{11}, y_{12}, y_{13}, y_{21}, y_{22}, \dots, y_{N_2,3})$ ,

Математична модель оптимального під'єднання групи електропримачів, які під'єднуються до фазних напруг, до вузла навантаження: :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{\Sigma} = 3 \left\{ \left\{ \sum_{i=1}^{N_2} \sum_{m=1}^3 \dot{I}_{Iim} y_{im} \right\}^2 \cdot r_{II} + 12 \left\{ \left\{ \sum_{i=1}^{N_2} \sum_{m=1}^3 \dot{I}_{Oim} y_{im} \right\}^2 \cdot r_0 \right\} \rightarrow \min \\ \sum_{m=1}^3 y_{im} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, N_2 \\ y_{im} \in \{1, 0\}. \end{array} \right. \quad (6)$$

Всі оптимізаційні методи передбачають пошук найкращого рішення здійснювати, виконуючи обмежений цілеспрямований перебір варіантів. Якщо оптимізаційна задача в неперервних змінних, то кількість варіантів допустимого розв'язку безмежна і найкращий (або близький до такого) може бути знайдено лише цілеспрямованим перебором варіантів. Так шукається розв'язок в задачах лінійного, нелінійного, квадратичного програмування.

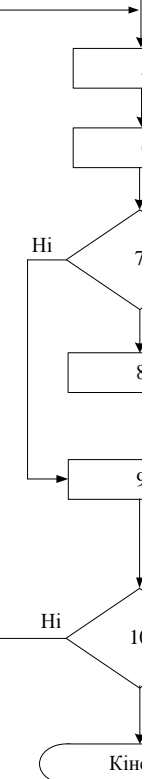
Задача, яку необхідно вирішити, це квадратична задача цілковито цілочислового програмування. Така задача має обмежену (хоча в деяких випадках і велику) кількість варіантів вирішення. Так задача внутрішнього симетрування групи однофазних навантажень має  $3^N$  варіантів допустимих розв'язків, де  $N$  – кількість однофазних навантажень, що під'єднані до вузла електричної мережі. Кількість варіантів для підзадачі під'єднання групи однофазних навантажень до лінійної напруги становить  $3^i$ , і для групи під'єднаних до фазної напруги також  $3^i$ , де  $i$  – кількість електроприймачів, що під'єднуються до лінійної напруги,  $i$  – те саме до фазної напруги. Такі задачі цілочислового програмування можна вирішувати шляхом суцільного перебору всіх можливих розв'язків, автоматизувавши процес розрахунку.

Розроблений метод суцільного перебору можливих варіантів передбачає збір вхідної інформації, необхідної для формалізації математичних моделей в числовому вигляді. Такою інформацією є параметри в фазних координатах  $I_A, I_B, I_C, \cos \varphi_A, \cos \varphi_B, \cos \varphi_C$  для кожного навантаження.

Таблиця 3 - Варіанти під'єднання однофазних навантажень до вузла електричної мережі

-  $U_i$ , яким  
гання групи  
жі -  $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$

Комбінація під'єднання	Однофазні навантаження та варіанти їх під'єднання									
	Навантаження 1			Навантаження 2				Навантаження N		
	$U_A$	$U_B$	$U_C$	$U_A$	$U_B$	$U_C$	...	$U_A$	$U_B$	$U_C$
1	1	0	0	1	0	0		1	0	0
2	1	0	0	1	0	0		0	1	0
3	1	0	0	1	0	0		0	0	1
4	1	0	0	0	1	0		1	0	0
5	1	0	0	0	1	0		0	1	0
6	1	0	0	0	1	0		0	0	1
7	1	0	0	0	0	1		1	0	0
8	1	0	0	0	0	1		0	1	0
9	1	0	0	0	0	1		0	0	1
...										
$3^{N_1}$	0	0	1	0	0	1		0	0	1



$U_{i1}$

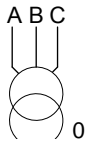
сті від

значення  
юфазних  
шляхом

Рисунок  
допусти.  
оптимал

електроприймачів до лінійної напруги.

суцільного переоору варіантів



Таблиця 4 - Результати суцільного перебору варіантів проведення розрахунків до параметрів однофазних електроприймачів, що під'єднані до фазних напруг: результати розрахунку

№	Вектор керування	$ I_{II} , A$	$\arg(I_{II})$	$ I_0 , A$	$\arg(I_0)$	$\Delta P_{\Sigma}, Вт$
6	100100010001	1,78	254,46	0,49	235,47	1,81
43	010010001100	1,78	14,47	0,49	115,42	1,81
74	001001100010	1,78	134,48	0,49	1,79	1,81

Ж – жила  
 Р – розподільні мережі  
 Т – трансформатор

Таблиця 5 - Результати розрахунку усіх варіантів під'єднання ЕП на лінійну напругу мережі: навантажень до лінійних напруг до вузла

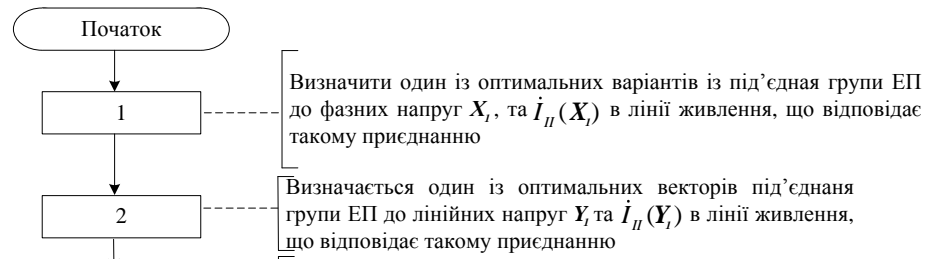
№	Вектор керування	$ I_{II} , A$	$\arg(I_{II})$	$\Delta P_{\Sigma}, Вт$
1	100100100	10,45	40,84	47,54
...	...	...	...	...
8	100001010	1,85	191,86	1,49
...	...	...	...	...
12	010100001	1,85	-48,14	1,48
...	...	...	...	...
22	001010100	1,85	71,87	1,49
...	...	...	...	...
27	001001001	10,46	-79,16	47,55

Еквівалентний опір живильних мереж  $0,022e^{j24,6^\circ} (\Omega)$   
 Еквівалентний опір розподільних мереж  $0,22e^{j51,7^\circ} (\Omega)$   
 Опір трансформатора  $0,021e^{j70,5^\circ} (\Omega)$

Рисунки 9 - Електричні схеми для розрахунку

# Погодження рішень з внутрішнього симетрування електроприймачів, що під'єднуються до фазних та лінійних напруг

Взаємна орієнтація оптимальних під'єднань групи ЕП, під'єднаних до лінійних напруг на кінцеві результати по нульовій послідовності позначається. Результуючий струм зворотної послідовності в лінії живлення навпаки



		На фазну напругу				На лінійну напругу		
№ електроприймача		<i>i=1</i>	<i>i=2</i>	<i>i=3</i>	<i>i=4</i>	<i>i=1</i>	<i>i=2</i>	<i>i=3</i>
Напруга приєднання	$X_3(001001100010)$	С	С	А	В	-	-	-
	$Y_3(001010100)$	-	-	-	-	СА	BC	AB

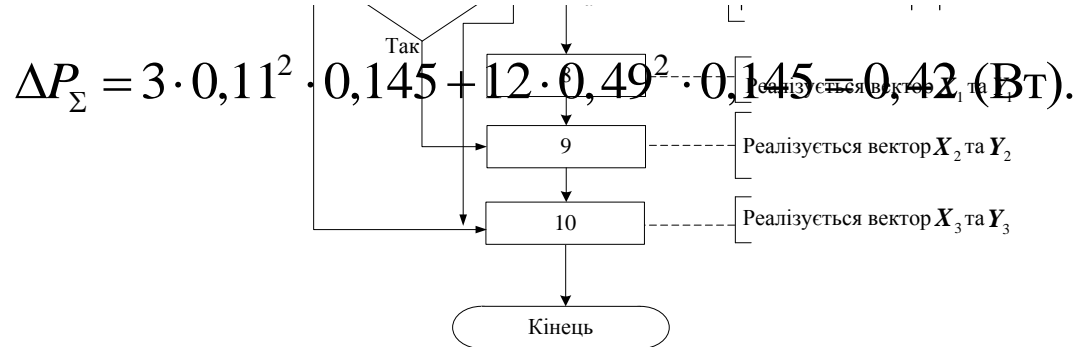


Рисунок 10 - Алгоритм погодження оптимальних рішень з під'єднання групи однофазних електроприймачів до фазних та до лінійних напруг



## Системний аналіз приводів теплонасосних установок

В теплоенергетиці однією із гострих проблем є енергозбереження паливно-енергетичних ресурсів, ціни на які зростають. У зв'язку з цим для відновлення конкурентно здатності наявних систем теплопостачання необхідно їх максимально модернізувати.

Найбільший ефект в енергозбереженні забезпечують комбінована когенераційно – теплонасосна технологія. використання біопаливних технологій, в якості робочого тіла когенераційних станцій, яке є більш екологічних екологічним, а іноді більш дешевими порівняно з типовим паливом (газ, дизельне пальне та ін.)

Порівняльна таблиця вартості палива  
станом на серпень 2015 р.

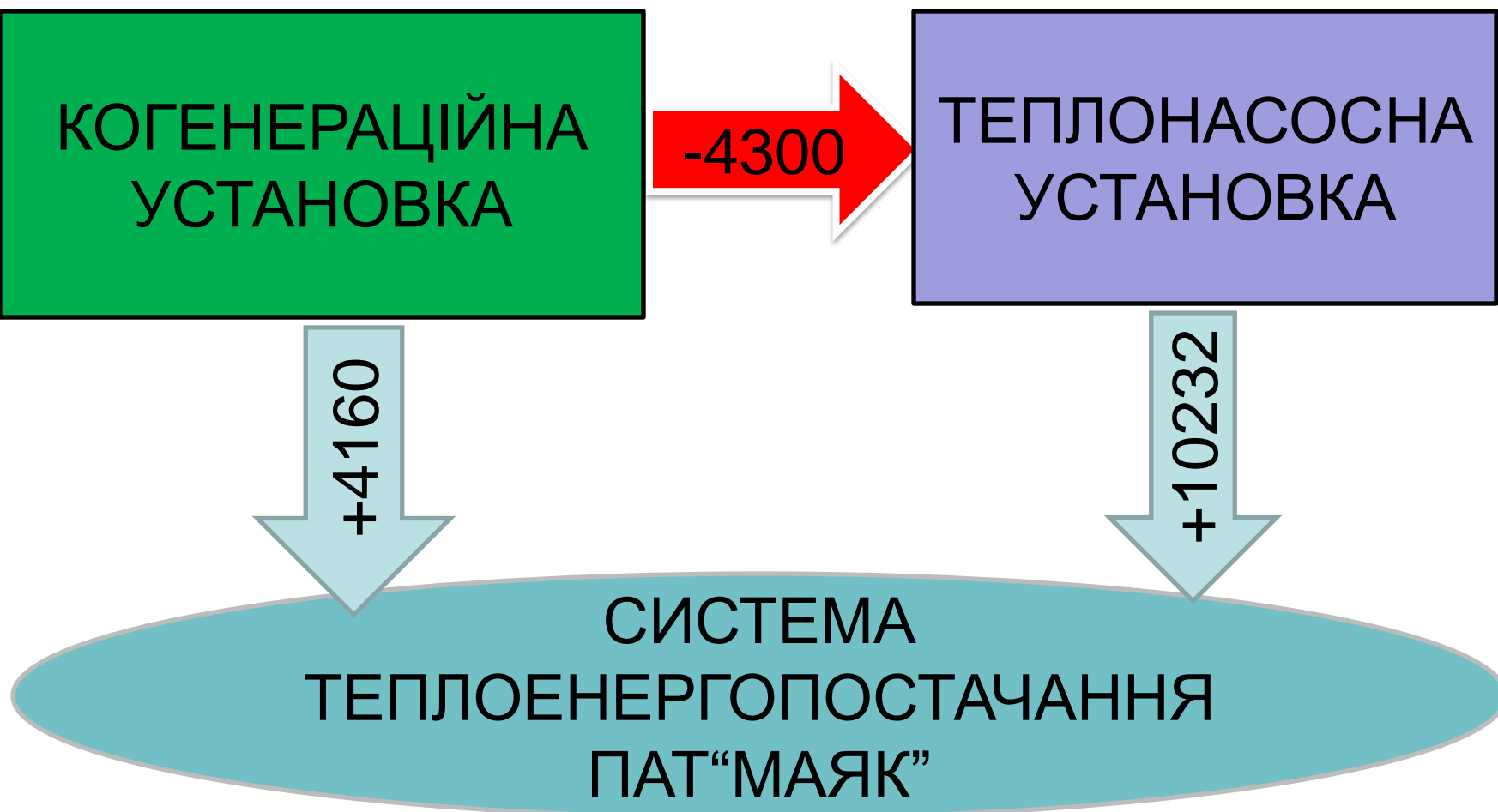
	Дизельне пальне	Природний газ	Біодизель В20	Біогаз
Вартість, у.о./кг (м <sup>3</sup> )	1,15	0,46	1,3	0,4

На основі огляду та аналізу робіт, які присвячені дослідженням з даних тем, ми склали таблицю для системного аналізу варіантів виконання КГУ та вибору із них найкращого.

	Капіталовкладення,	Затрати на паливо,	Затрати на капітальний ремонт,		Моторесурс, год	Рівень негативно го впливу на персонал, %	Ймовірність безвідмовної роботи, в.о.	Кількість капітальних витрат за 10 років	Викиди CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , біогазі, тон/рік	Теплова потужність генератора, кВт	Електрична потужність генератора, кВт	
	млн. у.о.	млн. у.о./рік	млн. у.о.	млн. у.о.								
ГПД на біогазі	Фубіція	2,61	0,66	0,64	240000	0,8	57,5	0,96	0,4	2373	0,8260	4300
ГПД на біодизелі B20	корисності	6,6	6,56	2,64	240000	57,5	0,96	1	12579	4160	4300	
ГПД на природному газі		6,6	2,79	2,64	240000	57,5	0,96	1	2266,79	4160	4300	
ГПД на дизелі		6,6	4,61	2,64	240000	57,5	0,96	1	10524	4160	4300	

- Дане дослідження проводилось для підприємства ПАТ “МАЯК”, і модернізація системи теплопостачання полягає у наступному:
- - встановлення ГПД на біогазі (+4160 кВт теплової енергії, +4300 кВт -електричної);
- - встановлення ТНУ з електроприводом приводом від ГПД (- 4300 кВт електричної енергії, +10232 кВт теплової);

В результаті отримуємо **14,392 МВт** теплової енергії.



## ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

## ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Електрична мережа буде безпечно працювати в діапазоні зміни магнітуди від 0 до 8,26 балів за шкалою Ріхтера.

Таблиця 6 – Економічні показники остаточного варіанту

Показник	Розмірність	Числове значення
Прибуток	млн. у.о./рік	3,34
Капіталовкладення	млн. у.о.	9,83
Термін окупності	років	2,9

## **Наукова новизна одержаних результатів роботи.**

Отримали подальший розвиток методи внутрішнього симетрування однофазних навантажень в чотири провідній електричній мережі, що дозволяє зменшити втрати активної потужності та знизити несиметрію напруги.

## **Практичне значення одержаних результатів.**

Впровадження розробленої системи заходів дозволяє:

- знизити додаткові втрати активної потужності від несиметрії режиму в чотирипровідних розподільних мережах;
- покращити показники якості електричної енергії в чотирипровідній електричній мережі;
- створити програмне забезпечення для автоматизованої системи управління несиметрією режиму в чотирипровідній розподільній мережі.

- Проведений аналіз технічної літератури свідчить, що можна суттєво поліпшити стан електричної мережі шляхом внутрішнього симетрування однофазних навантажень. Задачею внутрішнього симетрування займалось багато дослідників, але загальний підхід до вирішення всього комплексу таких взаємопов'язаних задач для складної електричної мережі залишився не розробленим, а також не розглядалися окремі випадки, наприклад коли частина однофазних навантажень під'єднується до фазних, а частина до лінійних напруг.
- Можливим підходом до оптимізації розподільної електричної мережі 0,4 кВ є підхід, що базується на вирішенні послідовності під задач внутрішнього симетрування для різних ієрархічних рівнів: спочатку на рівні вузла навантаження, потім на рівні магістральної лінії, а далі на рівні ТП.
- Розроблені математичні моделі, що дозволяють найкращим чином під'єднати групу однофазних електроприймачів, серед яких є електроприймачі з номінальною напругою 380 В та 220 В до одного вузла мережі. Одна із моделей дозволяє прийняти рішення по групі електроприймачів, що під'єднуються до фазних напруг, а інша – до лінійних.
- Отримані розв'язки необхідно погодити і це можна виконати за розробленим алгоритмом.
- Розроблено алгоритм розрахунку оптимального рішення, який оснований на суцільному переборі однієї третини можливих варіантів.

Дякую за увагу