

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
менеджменту

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до магістерської кваліфікаційної роботи**

магістр _____
(освітньо кваліфікаційний рівень)

на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТОВАРИСТВА З
ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ВІННИЦЯ-МЛИН**

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕСЕ-18м
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

_____ Сліпенький Д.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник _____ Терешкевич Л.Б.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Сліпенький Д.В. Підвищення якості електроенергії Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінниця-млин». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма – «Електротехнічні системи електроспоживання». – Вінниця, ВНТУ, 2019 – 80 с.

Іл.: 12 .

Табл.: 14 .

Бібліогр.: 17 .

В даній магістерській роботі розроблено математичну модель, яка дозволить приймати рішення із симетрування струмів за допомогою керованого симетруючого пристрою. Їх реалізація забезпечить зменшення несиметрії електричного режиму в мережах ТОВ «Вінниця-млин» і за рахунок цього підвищення якості електроенергії

Запропоновано алгоритм аналізу моделі, а його працездатність підтверджена розрахунками числового прикладу.

Ключові слова: несиметричний режим, симетрувальний пристрій, математична модель, критерій ефективності.

ANNOTATION

Slipenky DV Improving the quality of electricity of Vinnytsia-Mill, Limited Liability Company. Master's qualification work in specialty 141 "Electricity, electrical engineering and electromechanics", educational program - "Electrical engineering systems of electricity consumption". - Vinnitsa, VNTU, 2019 - p.

Ill .:. 12

Table:.14

Bibliogr .17:.

In this master's thesis, a mathematical model was developed that allows to make decisions on the symmetry of currents with the help of a controlled symmetric device with minimal capacitor power. The model analysis algorithm is proposed, and its operability is confirmed by numerical example calculations.

Keywords: asymmetric mode, device symmetry, mathematical model, efficiency criterion.

ЗМІСТ

ВСТУП	€
РОЗДІЛ 1. ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО, АНАЛІЗ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЖИМІВ	
1.1 Відомості про ТОВ «Вінниця млин»	8
1.2 Результати експериментальних досліджень якості електричної енергії, що проводились на об'єкті	8
1.3 Формулювання задач, що вирішуються в магістерській кваліфікаційній роботі	10
1.6 Висновки до розділу 1	
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СИМЕТРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО РЕЖИМУ В ЧОТИРИПРОВІДНІЙ МЕРЕЖІ	16
2.1 Дослідження впливу симетрувальних елементів, що під'єднуються до лінійних напруг	18
2.2 Дослідження впливу СП із симетрувальними елементами, що під'єднуються до фазних напруг	1
2.3 Впливи СП на значення втрат активної потужності в живильних мережах	9
2.4 Можливий підхід до оптимізації несиметричного режиму в мережах ТОВ «Вінниця–млин»	9
2.5 Висновки до розділу 2	
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИМЕТРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО РЕЖИМУ В ЧОТИРИПРОВІДНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ	22
3.1 Обґрунтування критерію ефективності оптимального керування	2
3.2 Технічні обмеження, які необхідно забезпечити при розв'язку задачі	5
3.3 Математичні моделі оптимізації несиметричного режиму	2
3.4 Розробка алгоритму аналізу математичної моделі	7

3.5 Висновки до розділу 3	2
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	8
4.1 Можливі підходи до оцінки ефективності впровадження виконаних досліджень	2
4.2 Висновки до розділу 4	9
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	2
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	9
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	
ДОДАТОК	3
	1
	3
	4
	3
	8
	5
	0
	5
	1
	5
	1
	5
	4
	5
	5

ВСТУП

Актуальність теми магістерської кваліфікаційної роботи.

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.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалася ВНТУ у рамках наукових досліджень, які проводяться на кафедрі ЕСЕМ

Мета і завдання 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;

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

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

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися: метод симетричних складових; методи дослідження операцій; теорія алгоритмів.

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 оперативного керування несиметрією режиму, вористовуючи для цього потужності батарей статичних конденсаторів, отримуючи крім ефекту з компенсації реактивних навантажень ще і ефект із симетрування електричного режиму.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням математичних методів під час доведення наукових положень, строгим виведенням аналітичних співвідношень.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення та результати магістерської кваліфікаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором одноособово.

Апробація результатів роботи. Результати роботи на конференціях не доповідались, публікації по темі роботи відсутні.

Обсяг і структура випускної кваліфікаційної роботи. Випускна кваліфікаційна робота складається із вступу, 4 розділів, списку використаних джерел і додатків, загальний обсяг роботи 80 сторінок, з яких основний зміст викладений на 63 сторінках друкованого тексту, містить 12 рисунків, 14 таблиць, список використаних джерел із 17 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО, АНАЛІЗ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЖИМІВ

Система електропостачання ТОВ «Вінниця млин» має певні характерні особливості. Ефективне поліпшення якості електроенергії в такій системі можливе лише за результатами аналізу, спрямованого вивчення згаданих особливостей.

1.1 Відомості про ТОВ «Вінниця млин»

Товариство з обмеженою відповідальністю "Вінниця-млин" було створено в 2007 на базі ВКХП №1. Реконструкція підприємства проведена в 2007-2008 роках, а саме - побудована лінія, до складу якої увійшли авторозвантажувач РАГ-50, зерносушка DELUX DPSL 14080, очисна башта з сепаратором БИС-100, а також відповідні механізми для транспортування зерна. Для запуску цієї лінії були прккладені нові електро та газові мережі. У 2009 році було проведено реконструкцію (поточної лінії) ДСП 32×2, що дало змогу здійснювати одночасне приймання і відвантаження зерна з продуктивністю 600т/добу. Також була проведена реконструкція лінії ДСП-32, було замінено сепаратор БЦС на БИС-100, і була перероблена схема приймання, це дало змогу застосовувати первинну очистку в процесі сушіння. В 2012 році був побудований новий авторозвантажувач У-АРГ-2180, що дало змогу приймати автомобілі з різними габаритами та масою. Також проведена реконструкція авторозвантажувача ГУАР-30, зокрема збільшена платформа та вантажопід'ємність. Проведена модернізація газового обладнання (побудоване нове ГРП, заміна пальників з автоматичним керуванням).

По виробничо - економічній діяльності ТОВ «Вінниця-млин» займається прийманням, сушінням, зберіганням та відвантаженням зернової продукції, як на територію України так і за її межі.

Територіально ТОВ «Вінниця-млин» знаходиться в м. Вінниця, вул. Данила Нечая, 7, рис. 1.1. в оточенні об'єктів комунально-побутового характеру. Живиться підприємство напругою 10 кВ від міських мереж. Субабонентами його трансформаторних підстанцій є багатоповерхові житлові будинки, що знаходяться поруч. Електроприймачі багатоповерхових будинків (як і все комунально-побутове навантаження) однофазного виконання, які негативно впливають на живильні мережі і, як наслідок, на мережі ТОВ «Вінниця-млин». Вплив, що здійснюється на електричні мережі, позначається на якості електроенергії в мережах підприємства.



Рисунок 1.1 – Місце розташування ТОВ «Вінниця-млин»

1.2 Результати експериментальних досліджень якості електричної енергії, що проводились на об'єкті

Несиметричні режими в електричних мережах формуються електроприймачами несиметричного виконання і характеризуються параметрами зворотної та нульової послідовностей. Прояв такого їх впливу на електричну мережу полягає в тому що струми зазначених послідовностей розтікаються в електричній мережі. Струми зворотної та нульової послідовностей розтікаються повсім віткам схеми тієї ступені трансформації, де під'єднані електроприймачі несиметричного виконання, а також трансформуватися на інші ступені трансформації. Оскільки мережі будь-яких споживачів під'єднані до мереж енергопостачальних та енергопередаючих організацій, то несиметричні режими можуть мати місце в системах електропостачання навіть таких споживачів, де відсутні електроприймачі несиметричного виконання.

На підприємстві ТОВ «Вінниця-млин» потужності електроприймачів несиметричного виконання (наприклад, освітлювальні прилади) становлять несуттєвий відсоток від загальної потужності підприємства. Але якщо проаналізувати характер електроприймачів споживачів, що знаходяться поблизу, то можна зробити припущення, що в системі електропостачання ТОВ «Вінниця-млин» має місце несиметрія електричного режиму. 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, рис. 1.2, все навантаження яких несиметричного виконання.

Дане припущення підтверджується результатами експериментального дослідження, рис. 1.3. Вимірювання проводились на вводі 0,4 кВ однієї із збірних шин ТП 630 кВА. Як видно, що в електричних мережах ТОВ «Вінниця-млин» мають місце несиметричні режими і їх усунення поліпшить якість електроенергії в мережах ТОВ «Вінниця-млин».

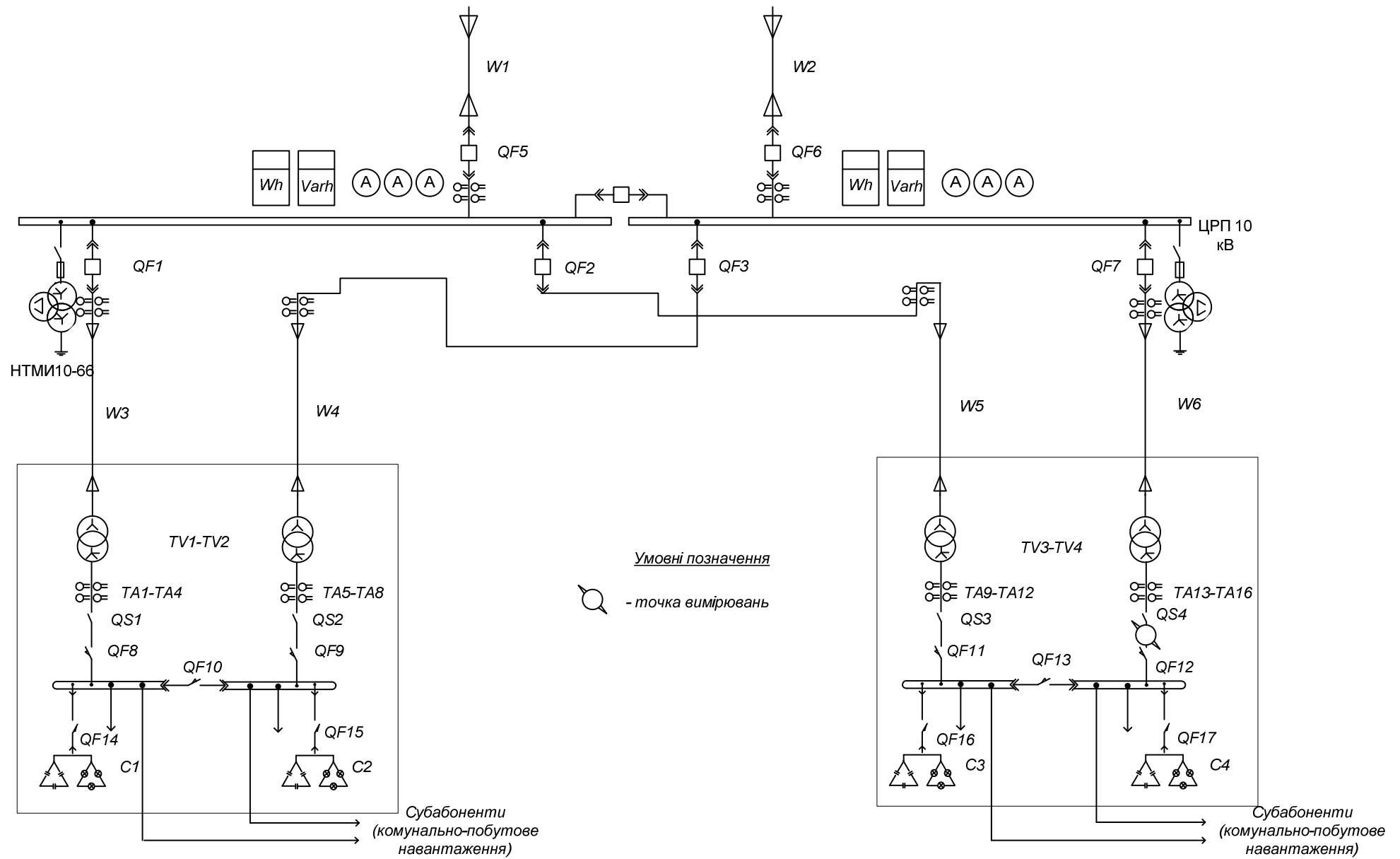


Рисунок 1.2 – Однолінійна схема електропостачання

	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	0,687	0,697
20	03.12.2009	9:05:30	70,4	62,7	60,5	0	0,741	0,661	0,693	0,7
21	03.12.2009	9:06:00	70,2	62,7	60,5	0	0,739	0,652	0,69	0,695
22	03.12.2009	9:06:30	73,8	66,6	64,4	0	0,717	0,638	0,674	0,678
23	03.12.2009	9:07:00	79,6	71,6	66	0	0,735	0,621	0,683	0,682
24	03.12.2009	9:07:30	74,5	67,2	65,3	0	0,726	0,653	0,691	0,691
25	03.12.2009	9:08:00	81,6	73,3	65,3	0	0,747	0,615	0,691	0,686
26	03.12.2009	9:08:30	75,3	67,5	64,4	0	0,737	0,653	0,696	0,697

Рисунок 1.3 – Параметри несиметричного режиму в точці вимірювань в фазних координатах

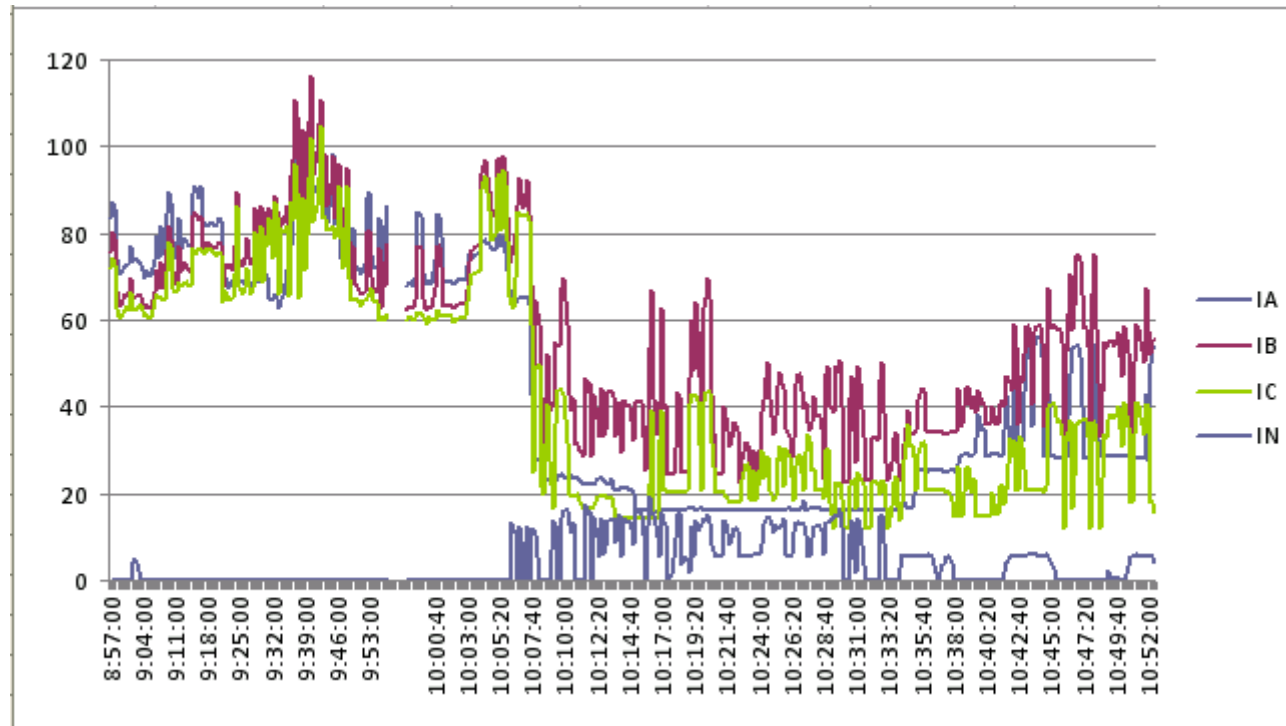


Рисунок 1.4 – Динаміка фазних струмів і струму в нульовому проводі

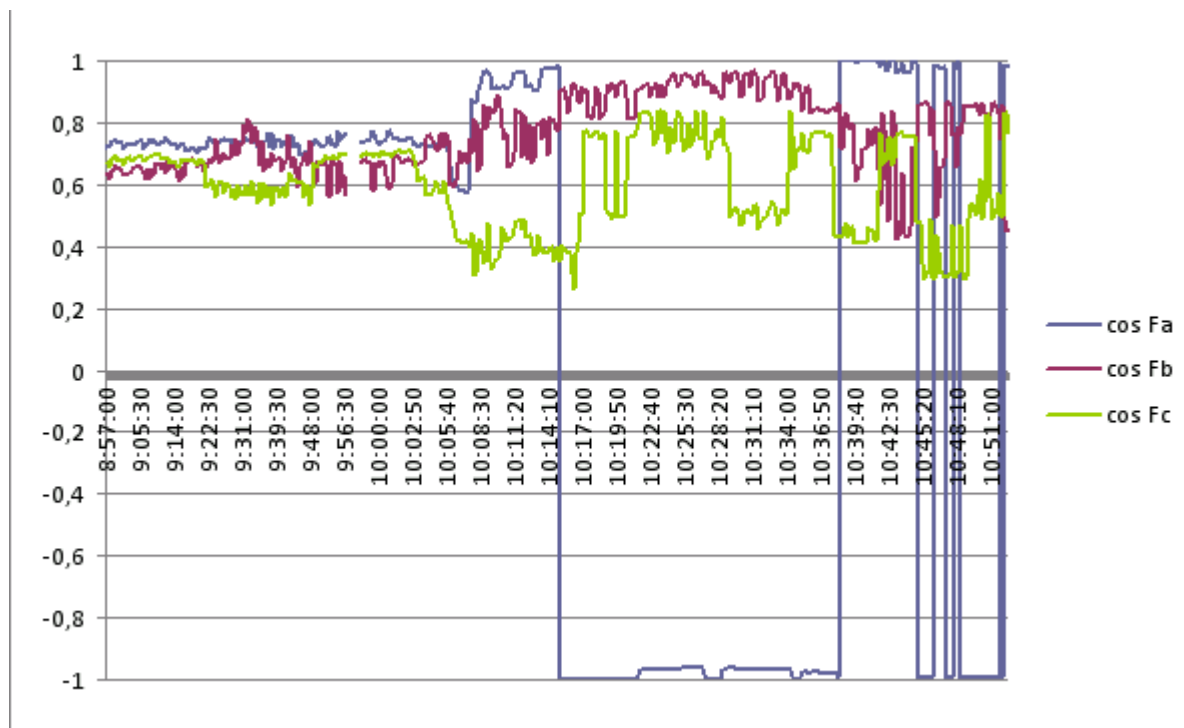


Рисунок 1.5 – Динаміка коефіцієнтів потужності, $\cos\varphi$

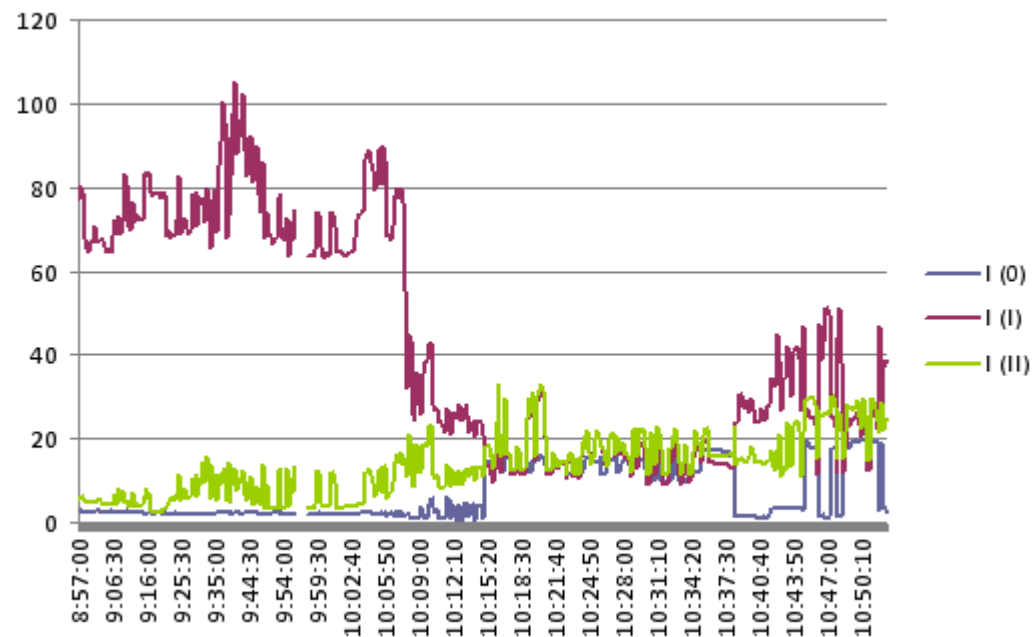


Рисунок 1.6 – Динаміка струмів прямої, зворотної та нульової послідовностей

1.3 Формулювання задач, що вирішуються в магістерській кваліфікаційній роботі

Існують різноманітні можливості, якими можна скористатись для підвищення якості електроенергії в мережах ТОВ «Вінниця млин» шляхом симетрування електричних режимів. Сутність та принципи симетрування, які реалізовані в різноманітних пристроях розглядаються в роботах [1, 3, 4, 7,]. Із множини можливих варіантів зупинимось на симетруючому пристрої (СП) у вигляді несиметричної батареї статичних конденсаторів. Симетрувальний ефект такого пристрою полягає в тому, що будучи несиметричним по виконанню, такий пристрій при його підключенні створює струм зворотної (нульової) послідовностей рівний за модулем і в протифазі векторам струмів зворотної (нульової) послідовностей вихідного електричного режиму. Перевагою такого варіанту є те, що пристрій одночасно із ефектом симетрування режиму здатний виконувати компенсацію реактивної потужності. Оскільки на ТОВ «Вінниця млин» є керовані конденсаторні батареї, які використовуються виключно для компенсації реактивних навантажень, рис. 1.7, 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 [3, 8], та секції, що під'єднані до фазних напруг і при їх включенні здійснюється вплив на струми зворотної та нульової послідовностей [3]. Вважаючи, що параметри електричного режиму змінюються в часі, СП повинен бути керованим, що дає технічну можливість, змінюючи його параметри, корегувати вплив на електричну мережу. Спрощена схема такого пристрою зображена на рис. 1.7. СП має окремі симетрувальні елементи, які увімкненням певних вимикачів під'єднуються до лінійної напруги АВ, те саме до напруг ВС та СА (таких елементів СП має певну кількість), а також певну кількість симетрувальних елементів, які увімкненням певних вимикачів під'єднуються до фазних напруг А, В, та С.

Маючи такий СП, можна симетрувати електричний режим в чотирипровідній електричній мережі.

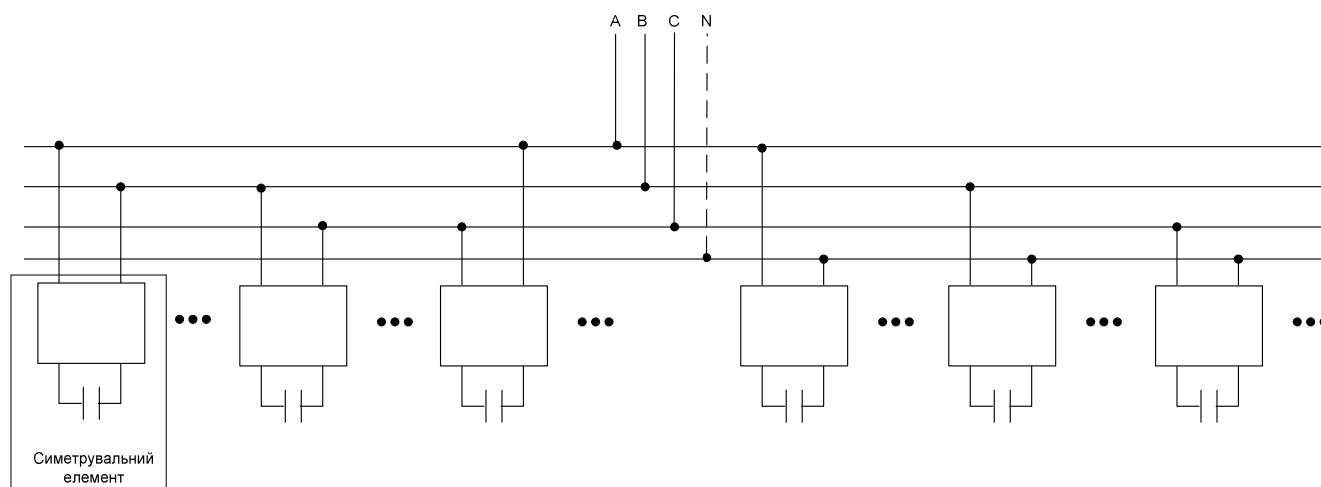


Рисунок 1.7 – Схема СП, для симетрування електричного режиму в чотирипровідній електричній мережі

Формування потужностей секцій, їх кількості, як взагалі, так і по фазах, є окремою технічною задачею і в даній роботі це питання не розглядається.

Маючи СП, що здійснює впливи на режими зворотної та нульової послідовностей, можна поліпшити якість електроенергії по несиметрії електричного режиму.

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. Саме виконанням цієї технічної задачі реалізується поставлена в роботі мета.

1.4 Висновки до розділу 1

1. В електричних мережах ТОВ «Вінниця-млин» мають місце несиметричні режими, параметри яких змінюються в часі.

2. Наявність несиметричних режимів підтверджується проведеними експериментальними дослідженнями, а їх природа пояснюється наявністю в безпосередній близькості потужного несиметричного комунально-побутового навантаження.

3. Електричні режими в системі електропостачання змінюються в часі. Тому для ефективного симетрування режиму необхідно мати керований СП.

4. Потужності батарей статичних конденсаторів, які встановлені на трансформаторних підстанціях і використовуються для компенсації реактивних навантажень, можна використати також і для симетризування електричного режиму. Ефект від компенсації реактивних навантажень при цьому буде не змінним. Для цього необхідно із наявних конденсаторних потужностей сформувати окремі секції, які вмикаються до фазних та лінійних напруг із можливістю пофазної їх комутації.

5. Приймати керуючі рішення (визначати комбінацію окремих секцій СП, що мають бути включеними) можна маючи математичну модель

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СИМЕТРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО РЕЖИМУ В ЧОТИРИПРОВІДНІЙ МЕРЕЖІ

У даному розділі пропонується огляд відомих схем СП і математичних моделей для їх управління, наведені результати досліджень керованого пристрою із симетрувальними елементами на основі конденсаторних батарей, що підключаються до лінійних і фазних напруг для симетрування режиму в чотирипровідній мережі.

2.1 Дослідження впливу симетрувальних елементів, що під'єднуються до лінійних напруг

Симетрування електричного режиму можна здійснити за допомогою СП на основі конденсаторних батарей. Доцільність використання саме конденсаторних батарей в схему СП зумовлена тим, що одночасно із симетруванням режиму такий пристрій ще і компенсує реактивну потужність. Розроблені різноманітні схеми СП на базі конденсаторних батарей [1]. Наприклад, схема СП з мінімальною кількістю симетрувальних елементів; схема СП з мінімальною кількістю БК; схема СП з двома конденсаторними батареями під один вимикач; схема СП з різними схемами симетруючих елементів; схема Штейметца та інші. Математичні моделі для кожної схеми мають свої відмінності, які враховують особливості кожної із них. Їх синтез може бути виконаний лише на базі знань властивостей самого пристрою, які мають аналітичний опис.

Для симетрування режиму в чотирипровідній мережі 0,4 кВ обов'язково в схемі СП мають симетрувальні елементи, що під'єднуються до лінійних напруг, рис. 2.1 [4, 6, 8,].

Такі елементи здійснюють вплив лише на режим зворотної послідовності і на реактивну потужність, тому в основному використовуються у трипровідних мережах (без додаткових елементів, що під'єднуються до фазних напруг) [3].

Можливості СП на основі батарей статичних конденсаторів такі, що вони можуть повністю усунути будь-яку несиметрію електричного режиму, [3, 14].

Розглянемо керований СП, із симетрувальними елементами, які під'єднуються до лінійних напруг, що мають схему, рис 2.1.

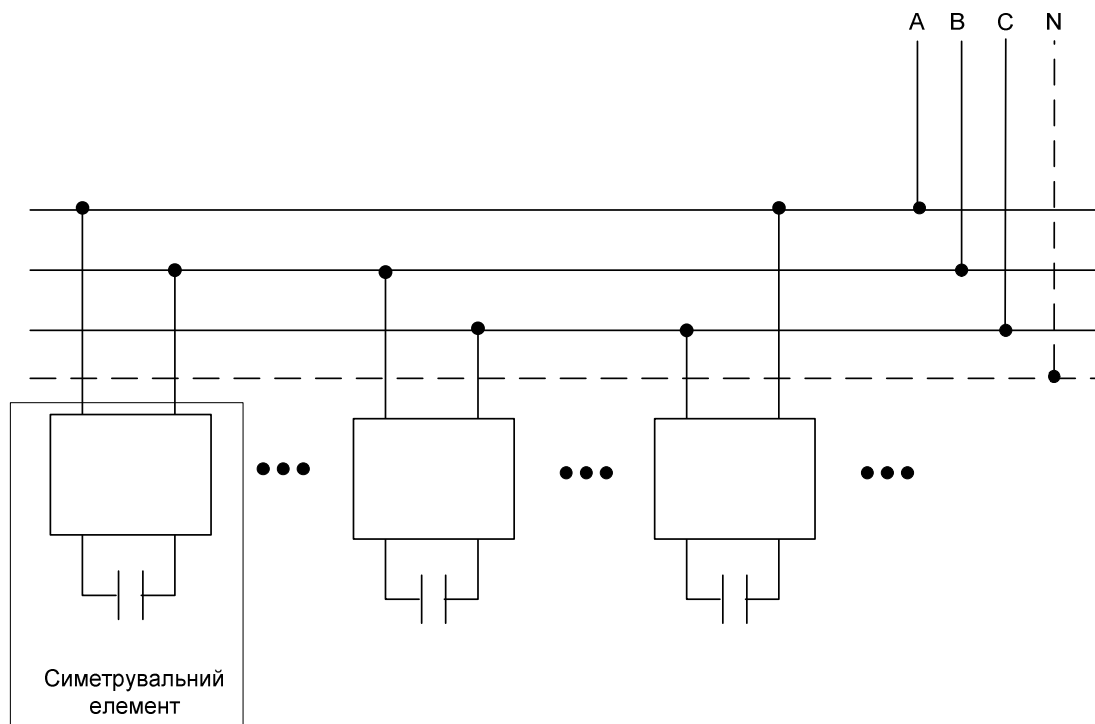


Рисунок 2.1 – Схема СП із симетрувальними елементами, що під'єднуються до лінійних напруг

Симетрувальний ефект такого пристрою буде залежити від того яка комбінація ввімкнень симетрувальних елементів прийнята до реалізації. Такий пристрій можна використати у випадках значних змін параметрів навантаження у ході технологічного процесу. Струм зворотної послідовності, що генерується кожним елементом, залежить від його потужності та тим, до якої напруги (U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}) він під'єдний.

В такому СП реалізовано принцип симетрування, який полягає в тому, що вектор струму зворотної послідовності $\dot{I}_2^{СП}$, при його накладанні на струм зворотної послідовності, що генерується навантаженням – \dot{I}_2^H утворював результуючий, з мінімальним за модулем.

Струм зворотної послідовності, що створюється таким пристроєм, визначається співвідношенням [3]:

$$\begin{aligned} \dot{I}_2^{\text{СП}} &= -\frac{j}{3} \cdot (a^2 \cdot \dot{I}_{C_{AB}} + \dot{I}_{C_{BC}} + a \cdot \dot{I}_{C_{CA}}) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot \left[-1,5 \cdot I_{C_{AB}} + 1,5 \cdot I_{C_{CA}} + j \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{C_{AB}} - \sqrt{3} \cdot I_{C_{BC}} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{C_{CA}} \right) \right], \end{aligned} \quad (2.1)$$

де a - оператор повороту трифазної системи;

$I_{C_{AB}}, I_{C_{BC}}, I_{C_{CA}}$ - конденсаторне навантаження (всіх секцій) у плечах А-В, В-С та С-А, що виражене через струми.

Вираз 2.1 отримано за умови, що дійсна вісь комплексної площини суміщенна вектором \dot{U}_A трифазної системи. Із (2.1) видно, що зміна струмів $I_{C_{AB}}, I_{C_{BC}}, I_{C_{CA}}$ призводить до зміни не тільки модуля, але і фази струму $\dot{I}_2^{\text{СП}}$. Для компенсації будь-якого режиму зворотної послідовності завжди достатньо конденсаторів як максимум в двох плечах СП [3].

Даний пристрій генерує лише на струм зворотної послідовності, а на струм нульової послідовності, який обов'язково має місце при несиметрії режиму в чотирипровідній мережі не впливає (симетрувальні елементи такого пристрою включаються лише до лінійних напруг). Аналітично струм нульової послідовності описується залежністю [3,6]:

$$\dot{I}_0^{\text{СП}} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{I}_{C_A} + \dot{I}_{C_B} + \dot{I}_{C_C}) = \frac{1}{3} \cdot [(\dot{I}_{C_{AB}} - \dot{I}_{C_{CA}}) + (\dot{I}_{C_{BC}} - \dot{I}_{C_{AB}}) + (\dot{I}_{C_{CA}} - \dot{I}_{C_{BC}})] = 0, \quad (2.2)$$

де $\dot{I}_{C_A}, \dot{I}_{C_B}, \dot{I}_{C_C}$ - струми в фазах мережі, що створюються ввімкненням СП.

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

$$\dot{I}_1^{\text{СП}} = \frac{j}{\sqrt{3}} \cdot (\dot{I}_{C_{AB}} + \dot{I}_{C_{BC}} + \dot{I}_{C_{CA}}), \quad (2.3)$$

а його потужність можна описати так:

$$\dot{S}_1^{\text{СП}} = -j \cdot Q_1^{\text{СП}} = -j \cdot (Q_{C_{AB}} + Q_{C_{BC}} + Q_{C_{CA}}), \quad (2.4)$$

де $\dot{S}_1^{\text{СП}}$ - комплекс повної потужності прямої послідовності СП;

$Q_1^{\text{СП}}$ - реактивна потужність СП;

$Q_{C_{AB}}; Q_{C_{BC}}; Q_{C_{CA}}$ - потужності симетруючих елементів, що під'єднані

відповідно до напруг $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$.

Із (2.4) видно, що СП, рис. 2.1, генерує реактивну потужність.

Проведений аналіз свідчить, що СП, рис. 2.1, може:

- симетрувати електричний режим;
- компенсувати реактивну потужність;
- регулювати напругу (генерація реактивної потужності супроводжується

появою добавки напруги певного значення).

Для симетрування електричного режиму в чотирипровідній мережі потрібно здійснювати ціленаправлені впливи на струми зворотної та нульової послідовностей. Впливи на струми нульової послідовності – I_0 здійснюються симетрувальними секціями, які під'єднані до фазної напруги.

2.2 Дослідження впливу СП із симетрувальними елементами, що під'єднуються до фазних напруг

Характерною ознакою несиметричного режиму в чотирипровідній мережі є наявність струму нульової послідовності. СП для такого випадку повинен мати властивість впливати на значення струму I_0 . Тому для зменшення

струму нульової послідовності слід вибрати симетруючі елементи, що під'єднані до фазних напруг. У разі великого діапазону зміни аргумента вектора струму I_0 можна використати пристрій у вигляді несиметричної зірки із заземленою нейтраллю, рис.2.2.

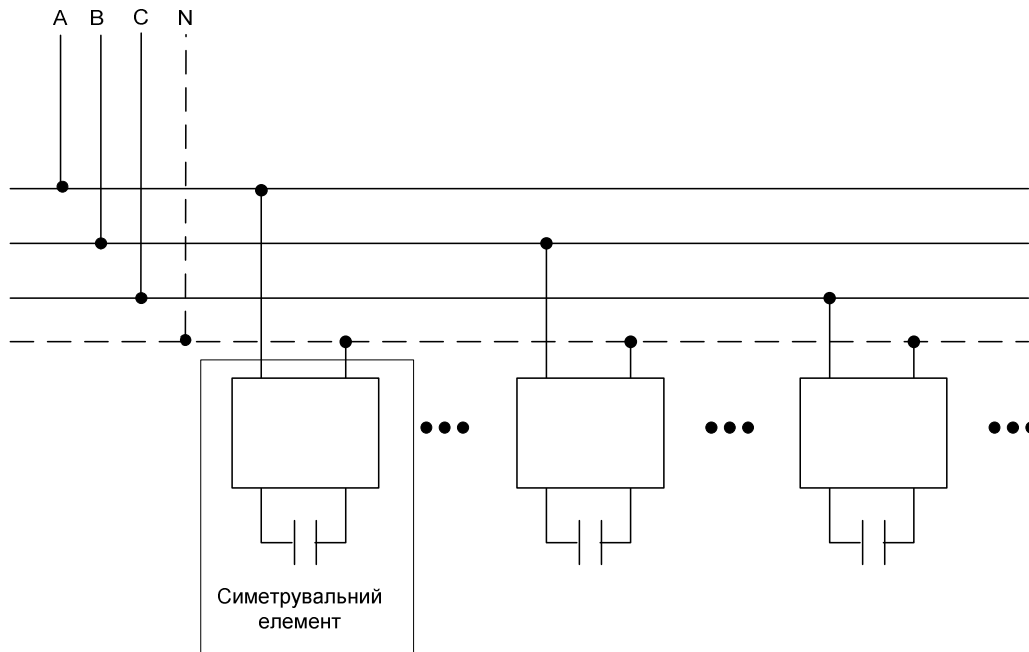


Рисунок 2.2 – Схема СП із симетрувальними елементами, що під'єднуються до фазних напруг

Симетручі елементи цього пристрою на відміну від пристрою, рис 2.1, під'єднуються до напруг U_A, U_B, U_C . Вмикання кожного із них супроводжується генерацією струмів $I_2^{СП}$ та $I_0^{СП}$. Вмикатись мають ті симетруючі елементи СП, рис. 2.2, які зменшують струм I_0^H , який генерується навантаженням.

Впливи СП на зворотну та нульову послідовності аналітично описуються так [3] (за умови суміщення лійсрої осі комплексної плрщини із вектором \dot{U}_A):

$$\begin{aligned} \dot{I}_2^{\text{СП}} &= \frac{1}{3} \cdot (\dot{I}_{C_A} + a^2 \cdot \dot{I}_{C_B} + a \cdot \dot{I}_{C_C}) = \frac{1}{3} \cdot (I_{C_A} \cdot e^{j90^\circ} + a^2 \cdot I_{C_B} \cdot e^{-j30^\circ} + a \cdot I_{C_C} \cdot e^{j210^\circ}) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot \left[\frac{\sqrt{3}}{2} (I_{C_C} - I_{C_B}) + j \cdot \left(I_{C_A} - \frac{1}{2} (I_{C_B} + I_{C_C}) \right) \right], \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_0^{\text{СП}} &= \frac{1}{3} \cdot (\dot{I}_{C_A} + \dot{I}_{C_B} + \dot{I}_{C_C}) = \frac{1}{3} \cdot (I_{C_A} \cdot e^{j90^\circ} + I_{C_B} \cdot e^{-j30^\circ} + I_{C_C} \cdot e^{j210^\circ}) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot \left[\frac{\sqrt{3}}{2} (I_{C_B} - I_{C_C}) + j \cdot \left(I_{C_A} - \frac{1}{2} (I_{C_B} + I_{C_C}) \right) \right], \end{aligned} \quad (2.6)$$

де I_{C_A} , I_{C_B} , I_{C_C} - сумарне конденсаторне навантаження симетруючих елементів у плечах, під'єднаних до фаз А, В та С, що виражене через струми.

Не завжди можна отримати бажаний ефект (зменшення одночасно $\dot{I}_0^{\text{Н}}$ та $\dot{I}_2^{\text{Н}}$). Дослідження, проведені в [10], знайшли підтвердження в прикладі розділу 3 (таблиця 3.3, результати за ввімкненням симетруючих елементів №№ 18, 19, 20) даної роботи. Впливи на несиметрію електричного режиму симетрувальних елементів, які під'єднуються до фазних напруг, в термінах відрмких оптимізаційних теорій [15, 16] – суперечливі (ввімкнення симетрувального елемента може бути, наприклад, таким, що зменшує струм нульової послідовності, збільшує струм зворотної послідовності і навпаки). З цієї причини в схемі СП для чотирипровідної мережі мають бути симетруючі елементи які під'єднуються до лінійних напруг та такі, що під'єднуються до фазних напруг. На практиці може використовуватись такий підхід: спочатку приймається рішення при зменшенні струму $\dot{I}_0^{\text{Н}}$. Отримане рішення фіксується, а потім за допомогою секцій, що під'єднуються до фазних напруг, та які не впливають на отриманий ефект зменшенню струму $\dot{I}_0^{\text{Н}}$, зменшують струм $\dot{I}_2^{\text{Н}}$ [10].

Приймати рішення з оптимізації несиметричного режиму (як будь-яке технічне рішення) треба враховуючи всі можливі наслідки. Оскільки серед всіх можливих випадків можуть бути і технічно недопустимі варіанти. Наприклад,

може скластись електричний режим, що характеризується суттєвою несиметрією і ждя його симетрування потрібні суттєві потужності СП. В той же час споживання реактивної потужності невелике. В результаті повне симетрування електричного режиму буде супроводжуватись появою зворотних перетоків (з мереж споживача в мережі енергосистеми) реактивної потужності, що є технічно недопустимим.

Таким чином, задача симетрування електричного режиму в чотирипровідній мережі за допомогою СП, рис. 2.2, має ознаки задачі багатокритеріальної оптимізації.

Можна перерахувати найбільш характерні ситуації, при яких можуть:

- 1) виникнути зворотні перетоки реактивної потужності із вузла навантаження у мережі енергосистеми;
- 2) збільшитись струми і напруги нульової послідовності при зменшенні струмів зворотної послідовності, що призведе до збільшення величини активних втрат;
- 3) з'являться перенапруги в системі живлення, особливо в часи мінімальних навантажень;
- 4) порушиться статична стійкість у вузлах навантаження [3, 10].

Звичайно, в кожній конкретній ситуації необхідно враховувати найбільш суттєві впливи.

2.3 Впливи СП на значення втрат активної потужності в живильних мережах

Зменшення втрат активної потужності актуальна задача для будь якої країни. На Україні втрати активної енергії на її передачу сягають в деяких енергосистемах до 10%. Несиметричні режими також супроводжуються додатковими втратами електроенергії.

Здійснюючи симетрування електричного режиму за допомогою СП (зменшуючи струми зворотної та нульової послідовностей), зменшується значення зазначених втрат.

Додаткові втрати, зумовлені протіканням струмів зворотної послідовності, ΔP_2 , описуються таким аналітичним виразом:

$$\Delta P_2 = 3 \cdot I_2^2 \cdot r, \quad (2.7)$$

де I_2 - струм зворотної послідовності, що протікає на ділянці мережі з опором r ;

r - опір ділянці мережі.

Якщо опір фазного і нульового проводу однаковий, то активні втрати від протікання струму нульової послідовності визначаються як сума втрат активної потужності в фазних провідниках від струму I_0 та в нульовому провіднику від струму $3I_0$ за такою формулою (через нульовий провід замикаються струми нульової послідовності всіх трьох фаз):

$$\Delta P_0 = I_0^2 \cdot r + I_0^2 \cdot r + I_0^2 \cdot r + (3 \cdot I_0)^2 \cdot r = 12 \cdot I_0^2 \cdot r, \quad (2.8)$$

де I_0 - фазний струм нульової послідовності, який протікає на ділянці мережі з опором r ;

Передача реактивної енергії по електричній мережі також супроводжується активними втратами і становить суттєвий відсоток від загальних втрат. Зменшити цю складову активних втрат можна шляхом компенсації реактивної потужності (шляхом її генерації безпосередньо біля електроприймача).

Втрати активної потужності, зумовлені передачею реактивних навантажень ΔP_Q описуються таким чином:

$$\Delta P_Q = \frac{Q^2}{U^2} \cdot r, \quad (2.9)$$

де Q - значення реактивної потужності, що протікає по лінії живлення споживачів;

U - номінальна напруга мережі живлення.

Співвідношення втрат потужностей ΔP_2 , ΔP_0 та ΔP_Q досліджені в [12] та доведено, що вони можуть бути співрозмірними та всіх їх треба брати до уваги.

Оскільки ΔP_2 , ΔP_0 та ΔP_Q залежать відповідно від величин I_2 , I_0 та Q , чим меншими вони будуть, тим меншими будуть втрати ΔP_Σ , $\Delta P_\Sigma = \Delta P_2 + \Delta P_0 + \Delta P_Q$. Симетруванні електричного режиму за допомогою СП, рис 1.2, досягається зменшенням I_2 , I_0 та Q . Як наслідок, зазначений вплив СП на значення ΔP_Σ можна прийняти до уваги при обґрунтуванні критерія ефективності для математичної моделі керування несиметрією режиму в чотирипровідній електричній мережі

2.4 Можливий підхід до оптимізації несиметричного режиму в мережах ТОВ «Вінниця–млин»

Беручи до уваги особливості електричних режимів, для вирішення практичної задачі оптимізації несиметричного режиму найбільш раціональним є підхід, що запропонований в [15]. Він полягає в тому, що задача оптимального управління (електричні режими по суті є процесами, а оптимальне управління це математичний апарат, призначений для оптимізації процесів) зводиться до вирішення послідовності задач математичного програмування. При цьому для дискретних моментів часу t_i на основі інформації про стан системи, звернувшись до відповідної математичної моделі (моделей), знаходиться, а потім реалізується

послідовність векторів управління. Такий підхід припускає, що на інтервалі часу $t_i - t_{i+1}$ втрати активної потужності залишаються незмінними.

Практична реалізація такого підходу потребує розробки множини моделей, проведення дослідження, спрямованого на виявлення найбільш ефективного методу їх аналізу і синтезу алгоритма розрахунку вектора управління для дискретних моментів часу – t_i .

2.5 Висновки до розділу 2

1. СП для симетрування електричного режиму в чотирипровідній мережі повинен містити симетруючі елементи, які під'єднуються до лінійних та до фазних напруг

2. Якщо використовувати СП, рис 1.7, який містить батареї статичних конденсаторів, то одночасно із симетруванням електричного режиму буде мати місце і компенсація реактивного навантаження.

3. Симетрування електричного режиму супроводжується зменшенням струмів I_2 , I_0 та реактивної потужності Q . Ці явища супроводжуються зменшенням сумарних додаткових втрат активної потужності та енергії.

4. Поставлену задачу оптимального керування несиметричним режимом у чотирипровідних електричних мережах можна вирішити шляхом вирішення послідовності задач дослідження операцій. Для цього потрібно розробити відповідні математичні моделі. Такий підхід також дозволяє приймати рішення, враховуючи найбільш суттєві для даного моменту часу фактори.

РОЗДІЛ 3

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИМЕТРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО РЕЖИМУ В ЧОТИРИПРОВІДНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

СП з симетрувальними елементами, рис 1.7, може здійснювати певну кількість (залежить від загальної кількості симетрувальних елементів) впливів на параметри якості електричної мережі і в результаті можна отримати той чи інший кінцевий ефект. Задача симетрування за таких умов полягає у знаходженні такого керуючого впливу і відповідно до нього комбінації ввімкнутих симетрувальних елементів СП, який забезпечує максимальний ефект. По суті таку задачу слід віднести до оптимізаційної і для її вирішення скористатись методами математичного програмування. Методологія математичного програмування передбачає розробку математичної моделі.

3.1 Обґрунтування критерію ефективності оптимального керування

Першим етапом вирішення оптимізаційної задачі є етап обґрунтування критерію ефективності.

Як розв'язування, так і математичний опис будь-якої оптимізаційної задачі можливі лише при наявності критерію ефективності. Критерій ефективності має бути кількісним, що дає змогу порівнювати різні варіанти розв'язку задачі, і в результаті чого відібрати оптимальний [10]. Як правило, для будь-якої оптимізаційної задачі можна указати декілька критеріїв як технічних, так і економічних. Для деяких задач розставивши пріоритети можна із загальної кількості відібрати один і знаходити розв'язки саме за цим критерієм. Такі задачі називаються однокритеріальними. Для таких задач добре розроблені методи їх вирішення.

Існують оптимізаційні задачі, в яких прийти до одного критерія ефективності немає змоги. Такі задачі класифікуються як багатокритеріальні [16]. Для таких задач в математиці розроблені декілька підходів. Найбільш

досконалим вважається знаходження множини розв'язків в розумінні Паретто. Крім того є такі: субоптимізація, жорсткого пріорітету, експертних оцінок, середньозваженого критерію.

Несиметрія електричного режиму в чотирипровідній мережі, як показано вище, характеризується режимами зворотної та нульової послідовності. Несиметричний режим можна розглядати як результат накладання режимів прямої, зворотної та нульової послідовностей. Саме наявність складових зворотної та нульової послідовностей відрізняє несиметричний режим від симетричного в таких мережах. Як показано вище, сутність явищ така, що цілеспрямовані впливи, що зменшують зворотною та нульову послідовності суперечливі (зменшуючи зворотною послідовність нульова може збільшуватися і навпаки). Тому вирішуватись задача лише за параметрами тільки зворотної послідовності (струм зворотної послідовності, напруга зворотної послідовності) або тільки нульової послідовності (струм нульової послідовності, напруга нульової послідовності) не може.

Розроблене математичне забезпечення для вирішення задачі, виконано виходячи із згаданого підходу вирішення багатокритеріальних задач – середньозваженого критерію. Сутність його в тому, що формується в загальному випадку фіктивний критерій, який в загальному випадку немає фізичного змісту та має ряд ряду складових. Кожна складова по суті є одним критерієм однієї із підзадач. Для даного випадку таким критерієм для задачі симетрування електричного режиму за допомогою СП, рис. 1.7, можуть бути сумарні додаткові втрати електроенергії (від протікання струмів зворотної, нульової послідовностей та передачі реактивної потужності) – ΔP_{Σ} [7, 8, 14]:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_2 + \Delta P_0 + \Delta P_Q, \quad (3.1)$$

де ΔP_2 , ΔP_0 , ΔP_Q – додаткові втрати активної потужності, зумовлені відповідно струмами зворотної, нульової послідовностей і реактивною потужністю.

Перераховані складові втрат активної потужності детально розглянуті в підрозділі 2.3.

Іншим критерієм для вирішення зазначеної задачі, який охоплює всі складові даної задачі, можуть бути сумарні збитки, пов'язані із несиметрією режиму. Але такий критерій описується складною функцією і тому вирішення задачі за цим критерієм пов'язана із рядом складнощів [17].

3.2 Технічні обмеження, які необхідно забезпечити при розв'язку задачі

Як правило, оптимізаційні задачі, що мають місце на практиці, вирішуються в умовах технічних обмежень різного фізичного змісту, які визначають область допустимих значень отримуваних розв'язків. Змістом таких обмежень в задачах оптимізації можуть бути, наприклад, обсяг грошових коштів для практичної реалізації отриманих результатів, обмеження потужності, обмеження в часі і т.д. Окремими обмеженнями можуть описуватись деякі умови які виключають із розгляду недопустимі розв'язки. Для задачі симетрування електричного режиму необхідно сформулювати і аналітично описати ряд саме таких обмежень.

1. Математична модель має містити систему обмежень, що вказує на можливі стани "вімкнено" або "вимкнено" кожного вимикача СП. Необхідність такого обмеження стає зрозумілою оскільки можливі рішення, які реалізуються ввімкненням за допомогою вимикача, наприклад, 0,5 потужності БСК симетруючого елемента, що, звісно, зробити не можна. Такий опис, наприклад, для i -ого вимикача можна зробити якщо ввести булеву змінну x_i , $x_i = 1 \vee 0$, (\vee - знак логічної операції «АБО»). Прийmemo, що якщо $x_i = 1$, то i -ий вимикач має бути у ввімкненому стані, якщо ж $x_i = 0$, то він бути вимкненим. Для i -го вимикача зазначений опис можна подати у такому аналітичному вигляді:

$$x_i + \bar{x}_i = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3.2)$$

де X_i – керована змінна, яка описує стан i -го вимикача СП;

\bar{X}_i – фіктивна змінна, яка фізичного змісту не має (вона пов'язана з відповідною змінною X_i так, що коли $X_i = 1$, то $\bar{X}_i = 0$ і навпаки);

n – кількість симетруючих елементів СП.

Система зазначених обмежень (3.2) як і інші обмеження, що наводяться нижче, необхідна лише для СП, рис 1.7. Можливо для інших схем СП таких обмежень встановлювати немає необхідності.

2. Як показано попередньо проведеним аналізом СП, рис. 1.7 крім симетрування електричного режиму генерує ще і реактивну потужність. І цю потужність можна спрямувати на компенсацію реактивних навантажень підприємства [14]. На значення реактивної потужності, що генерується можуть бути встановлені технічні обмеження. Наприклад, недопустимість зворотних потоків реактивної потужності із мереж споживача в мережі енергогенеруючої компанії та інші. Саме це обмеження можна описати так:

$$Q' - \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \cdot x_i \geq 0, \quad (3.3)$$

де Q' – природне (в припущенні, що всі секції СП відключені) споживання реактивної потужності по даному вузлу навантажень;

ΔQ_i – номінальна потужність i -ої секції СП.

Аналітичний опис, що дозволяє контролювати реактивну потужність для будь-якого можливого випадку виглядатиме так:

$$Q' - \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \cdot x_i \geq Q_{\text{доп}},$$

де $Q_{\text{доп}}$ – допустиме значення реактивної потужності на момент прийняття рішення із симетрування електричного режиму.

3. Генерація реактивної потужності СП супроводжується появою добавки напруги, яка збільшує напругу у візлі під'єднання СП. В загальному випадку напругу потрібно контролювати, наприклад, в режимах мінімальних навантажень енергосистеми напруги в усіх вузлах збільшуються і можливе перевищення її значення максимально допустимих меж. В іншому випадку можна встановлювати вимогу забезпечення мінімально допустимого значення напруги. Така потреба з'являється в режимах максимальних навантажень. Всі можливі випадки, що можуть трапитись, можуть бути описаними у вигляді такого технічного обмеження:

У деяких випадках актуальними можуть бути інші обмеження. Наприклад, на віддаленій лінії при підвищеному $\cos\phi$ відхилення напруги у вузлі приєднання споживача може перевищити допустимі межі, тому для даного випадку актуальним було б введення обмеження на величину допустимої напруги [11]. Таке технічне обмеження аналітично описується співвідношенням:

$$U_{\text{доп.мін}} \leq U' + \sum \Delta U_i \cdot x_i \leq U_{\text{доп.макс}}, \quad (3.4)$$

де ΔU_i – добавка напруги, що має місце у вузлі під'єднання СП при вимкненні i -ої секції;

$U_{\text{доп.мін}}$, $U_{\text{доп.макс}}$ – значення мінімально і максимально допустимого значення напруги, що визначено в стандарті на якість електроенергії [2] напруги;

U' – значення напруги у вузлі підключення СП в припущенні, що всі його симетрувальні елементи вимкнені.

Режими електропостачання змінюються в часі. Тому для одного моменту часу необхідна одна комбінація обмежень, а для іншого можливо знадобиться друга. Для таких умов можна запропонувати такий підхід до симетрування електричного режиму в електричній мережі. В полягає в тому що створюється множина математичних моделей, кожна із них призначена для використання в певній ситуації. За певними ознаками відбувається звернення до відповідної математичної моделі (яка враховує для даного моменту часу фактори) та розраховуються симетрувальні секції, які потрібно увімкнути

Шлях є найбільш доцільним якщо рішення приймається за допомогою мікропроцесорної системи, а такі системи мають обмежені обчислювальні можливості.

3.3 Математичні моделі оптимізації несиметричного режиму

Математична модель, яку слід використовувати для симетрування електричного режиму за допомогою СП, рис 1.7, у разі якщо слід контролювати реактивну потужність СП, а також забезпечити нормовані значення відхилення напруги має вигляд [10, 17]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P' - \sum_{i=1}^n \delta \Delta P_{\Sigma i} \cdot x_i \rightarrow \min \\ x_i + \bar{x}_i = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \\ Q' - \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \cdot x_i \geq Q_{\text{доп}} \\ U_{\text{доп.мін.}} \leq U' + \sum \Delta U_i x_i \leq U_{\text{доп.мах}} \\ x_i; \bar{x}_i = 1 \forall 0, \end{array} \right. \quad (3.5)$$

де $\Delta P'$ – величина сумарних втрат активної потужності, що мали місце у мережі за умови, коли всі секції СП вимкнені;

$\delta\Delta P_{\Sigma i}$ – приріст сумарних втрат активної потужності за умови увімкнення i -ої секції СП,

$$\delta\Delta P_{\Sigma i} = \delta\Delta P_{2i} + \delta\Delta P_{0i} + \delta\Delta P_{Qi}, \quad (3.6)$$

де $\delta\Delta P_{2i}$, $\delta\Delta P_{0i}$, $\delta\Delta P_{Qi}$ – прирости втрат активної потужності, зумовлені відповідно режимом зворотної, нульової послідовностей та передачею реактивної потужності;

\forall – знак логічної операції „АБО”.

Якщо рівні напруги на затискачах всіх електроприймачів забезпечені і контролювати із начення не має потреби, то рішення про увімкнення симетрувальних елементів СП можна за математичною моделлю:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P' - \sum_{i=1}^n \delta\Delta P_{\Sigma i} \cdot x_i \rightarrow \min \\ x_i + \bar{x}_i = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \\ Q' - \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \cdot x_i \geq 0 \\ x_i; \bar{x}_i = 1 \forall 0, \end{array} \right. , \quad (3.7)$$

Цільова функція математичної моделі вимагає знаходження значень для x_i , $i = 1, 2, \dots, n$, яким відповідають мінімальні сумарні втрати активної потужності в електричній мережі. Одне із обмежень математичної моделі вказує на можливі стани кожного із симетрувальних елементів СП: “увімкнений” або “вимкнений”, друге – встановлює допустиме значення на реактивну потужність вузла навантаження за результатами реалізації прийнятого рішення, а третім обмеженням встановлена вимога забезпечення за допомогою СП відхилення напруги в допустимих за стандартом [2] межах.

Вибір методу аналізу математичних моделей (3.6) та (3.7) можна зробити лише визначивши до якого класу вони відносяться оскільки універсального методу для вирішення будь-якої оптимізаційної задачі не існує. На підставі того, що змінні можуть набувати значень 1 або 0 математичні моделі слід віднести до класу дискретних. Цільові функції математичних моделей є квадратичною залежністю від змінних і тому моделі є квадратичними. Коефіцієнти цільової функції $\delta\Delta P_i$ за результатами кожної ітерації вирішення задачі набувають інших значень, що обумовлено фізичною сутністю задачі. Складова $\delta\Delta P_{2i}$ має такий аналітичний опис:

$$\delta\Delta P_{2i} = 3 \cdot r_2 \cdot \left(\left| I_{2_{\text{до}}} \cdot e^{j\alpha} \right|^2 - \left| I_{2_{\text{після}}} \cdot e^{j\beta} \right|^2 \right), \quad (3.8)$$

де r_2 – опір струму зворотної послідовності електричної мережі;

$I_{2_{\text{до}}}$, $I_{2_{\text{після}}}$ – струмам зворотної послідовності до увімкнення і-ої секції

СП та після;

α, β – фази відповідних струмів у прийнятій системі координат.

Струм $\dot{I}_{2_{\text{до}}}$ є результатом реалізації рішення, прийнятого на попередній ітерації, і від нього залежить $\delta\Delta P_{2i}$, який отримаємо при увімкненні і-ої секції СП. З іншої сторони, прийняття рішення про включення і-ої секції СП забезпечить струм $\dot{I}_{2_{\text{після}}}$, який відрізняється як модулем, так і фазою, що певним чином формулює вихідні умови для прийняття рішення на наступній ітерації.

Аналогічні висновки можна зробити і відносно складової $\delta\Delta P_{0i}$, яка має такий вигляд (якщо перерізи фазних і нульового проводів однакові і відповідно опори фазного і нульового проводу однакові):

$$\delta\Delta P_{oi} = 12 \cdot r_0 \cdot \left(\left| \left(I_{0_{до}} \cdot e^{j\gamma} \right)^2 - \left(I_{0_{після}} \cdot e^{j\phi} \right)^2 \right| \right), \quad (3.9)$$

де r_0 – опір струмам нульової послідовності електричної мережі;

$I_{0_{до}}$, $I_{0_{після}}$ – струми нульової послідовності до увімкнення i -ої секції СП та після;

γ, ϕ – фази відповідних струмів у прийнятій системі координат.

Складові формул (3.8) та (3.9) $\dot{I}_{2_{до}}$, $\dot{I}_{2_{після}}$ та $\dot{I}_{0_{до}}$, $\dot{I}_{0_{після}}$ визначаються за такими формулами:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{2_{до}} &= \dot{I}_2^H + \dot{I}_2^{СПi=1}; \\ \dot{I}_{0_{до}} &= \dot{I}_0^H + \dot{I}_0^{СПi=1}; \\ \dot{I}_{2_{після}} &= \dot{I}_{2_{до}} + \dot{I}_2^{СПi_k=1}; \\ \dot{I}_{0_{після}} &= \dot{I}_{0_{до}} + \dot{I}_0^{СПi_k=1}, \end{aligned} \quad (3.10)$$

де $\dot{I}_2^{СПi=1}$, $\dot{I}_0^{СПi=1}$ - сума комплексних значень струмів зворотної і нульової послідовностей, які генеруються тими секціями, рішення про включення яких було прийнято на попередніх етапах;

$\dot{I}_2^{СПi_k=1}$, $\dot{I}_0^{СПi_k=1}$ - комплексні значення струмів зворотної і нульової послідовностей, які генеруються секцією, рішення про включення якої прийнято на даному k -ому етапі.

Приріст втрат $\delta\Delta P_{Qi}$ від включення i -ої секції СП потужністю ΔQ_i запишеться у такому вигляді:

$$\delta\Delta P_{Qi} = \frac{2 \cdot Q_{до} \cdot \Delta Q_i - \Delta Q_i^2}{U_H^2} \cdot r, \quad (3.11)$$

де $Q_{до}$ – реактивна потужність, що споживається вузлом навантаження, до прийняття рішення на даній ітерації;

r – опір струму прямої послідовності;

U_n – номінальна напруга мережі.

Із (3.11) видно, що $\delta\Delta P_{Q_i}$ залежить не тільки від потужності секції ΔQ_i , але і від потужності $Q_{до}$, яка в свою чергу визначається рішенням, прийнятим на попередній ітерації і буде іншою на ітерації наступній.

Така особливість задачі оптимізації несиметричного режиму, коли коефіцієнти моделі є складною функцією прийнятих попередніх рішень, не дозволяє використати жоден із класичних алгоритмів аналізу математичних моделей, що потребує розробки обчислювального методу для вирішення задачі.

3.4 Розробка алгоритму аналізу математичної моделі

По суті процес розв'язування задачі є багатоетапним, оскільки на кожному етапі визначається до ввімкнення чергового симетруючого елемента СП. Найбільш ефективним (за трудомісткістю обчислень) для вирішення багатоетапних задач є метод динамічного програмування [15]. Тому його доцільно адаптувати до даного типу задач. На кожному етапі вирішення задачі за даним методом, як і у випадку класичного методу динамічного програмування, потрібно із всіх можливих варіантів вибирати найбільш ефективний. Забезпечити обмеження – нерівності математичних моделей (3.5), (3.7) на величину реактивних навантажень та на можливі значення напруг можна формуючи на кожному етапі k множину потужностей, допустимих до ввімкнення, симетруючих елементів СП – D_k , які задовільняють відповідну умову, з подальшим вибором симетруючого елемента до ввімкнення для включення саме з множини D_k .

ввімкнення, вилучається з подальшого розгляду при формуванні множин D_k на всіх наступних етапах: $D_{(k+1)}, D_{(k+2)}, \dots, D_\tau$.

Крок 4. Використовуючи отримані результати на k -ому етапі виконується перерахунок необхідних величин та формуються вхідні дані для множини D_{k+1} .
Перехід до кроку 1.

Крок 5. Кінець. Отриманий вектор змінних реалізується.

У більш деталізованому вигляді запропонований алгоритм реалізовано в блок-схемі, рис.3.1.

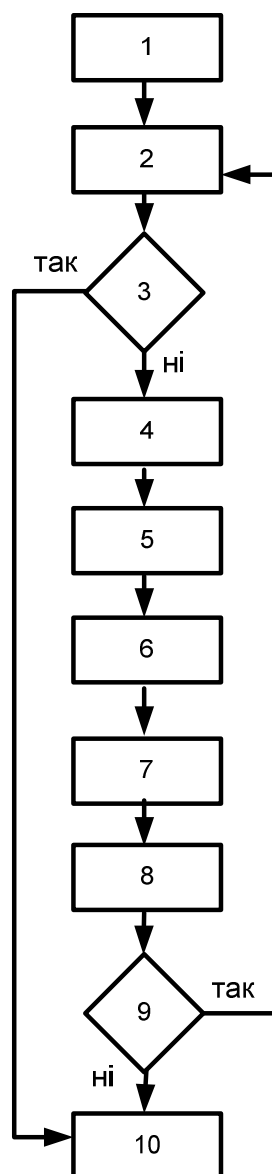


Рисунок 3.1 – Загальна блок-схема алгоритму розрахунку оптимального рішення щодо ввімкнення симетрувальних елементів СП

На рис 3.1:

1 – отримання початкових даних шляхом безпосереднього вимірювання;

2 – формування множини допустимих до ввімкнення потужностей симетрувальних елементів D_k ;

3 – множина D_k пуста?;

4 – визначення струмів I_2 , I_0 та реактивної потужності мережі за умови ввімкнення кожної із секцій множини D_k ;

5 – знаходження складових приростів втрат активної потужності, спричинених струмами I_2 та I_0 і реактивною потужністю, та їх суми за умови ввімкнення кожного із симетрувальних елементів множини D_k ;

6 – за рекурентними співвідношеннями Р. Беллмана із множини D_k визначається симетрувальний елемент для увімкнення, що забезпечує максимальне зменшення ΔP_Σ ;

7 – за результатами, отриманими на k -ому етапі, формується вектор змінних;

8 – виключення симетрувального елемента, про ввімкнення якого прийнято рішення на k -ому етапі, із множини D_k ;

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

10 – розрахунки припиняються. Отриманий вектор рішень реалізується.

ПРИКЛАД. Експериментальні дослідження свідчать про наявність несиметрії електричного режиму на трансформаторній підстанції 10/0,4 кВ. Із батареї статичних конденсаторів сформовано СП, який має 21 симетруючих елементів.

Необхідні для прийняття рішення з увімкнення симетруючих елементів СП вихідні дані, подані на рис. 3.2.

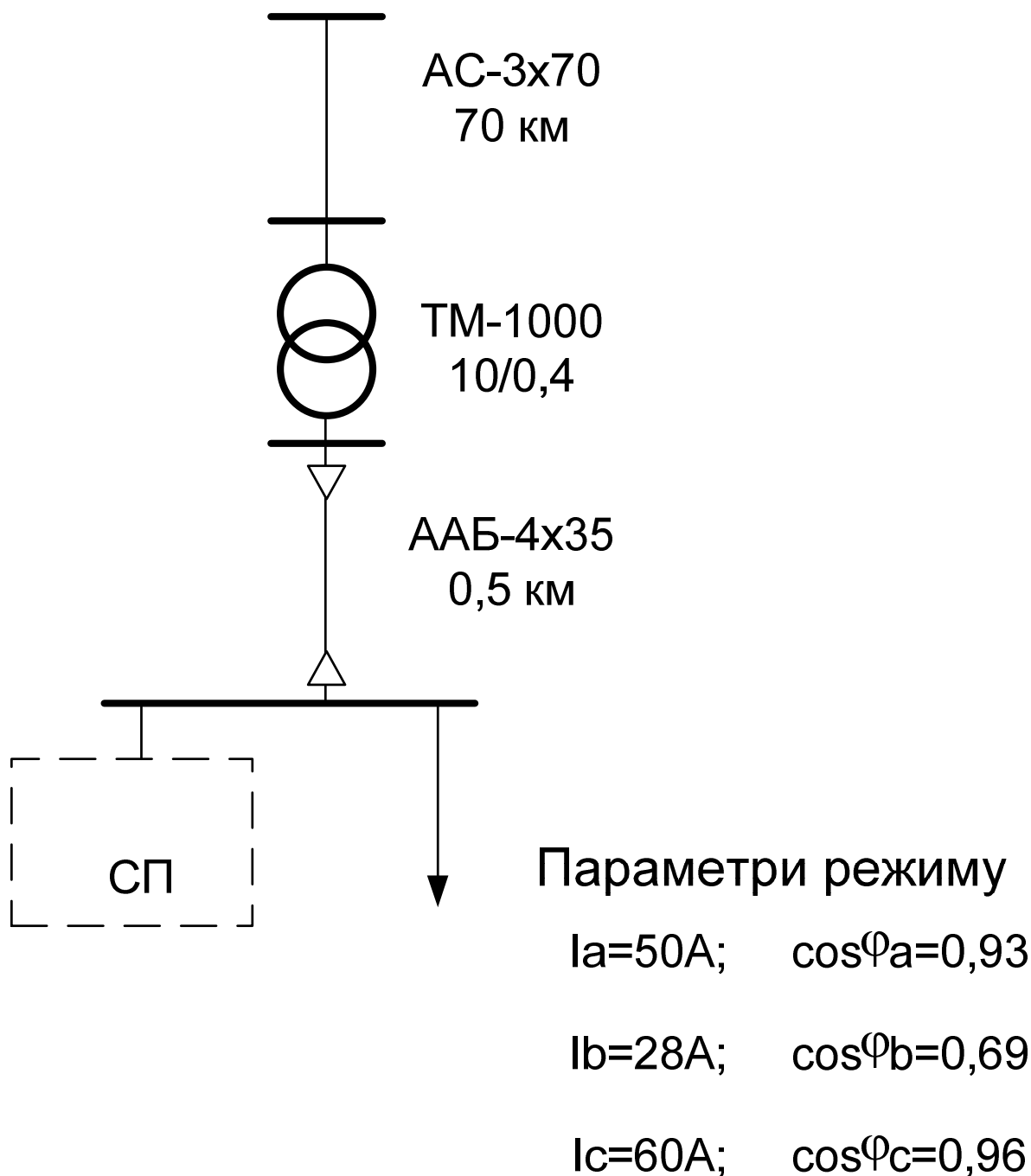


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема і вихідні дані тестової задачі

Допустиме значення реактивної потужності $Q_{\text{доп}}=0$. Значення відхилень напруги при всіх можливих рішеннях із увімкнення секцій СП грантовано буде заходитись в допустимих межах

Знайти вектор керування для СП, що забезпечить мінімальні втрати активної потужності в живильній мережі.

Секції СП мають такі параметри, табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри симетрувальних елементів СП

Симетрувальні елементи, що під'єднуються до напруг	Потужності, квар
U_{AB}	5; 3; 2; 1
U_{BC}	5; 3; 2; 1
U_{CA}	5; 3; 2; 1
U_A	3; 2; 1
U_B	3; 2; 1
U_C	3; 2; 1

Розв'язування

За умовою задачі виберемо для її вирішення математичну модель (3.7).

Складемо схему заміщення розрахункової ділянки електричної мережі у вигляді відповідно активних і реактивних електричних опорів та виконаємо розрахунок її параметрів в іменованих одиницях, приведених до напруги 0,4 кВ.

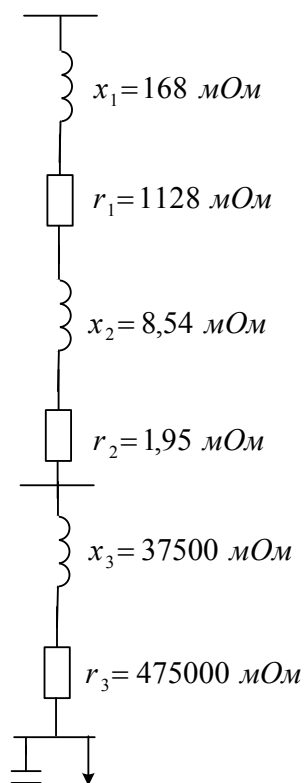


Рисунок 3.3 – Схема заміщення розрахункової ділянки електричної мережі

Розрахуємо сумарний опір:

$$x_{\Sigma} = x_1 + x_2 + x_3 = 0,000168 + 0,00000854 + 0,0375 = 0,038 \text{ (Ом)};$$

$$r_{\Sigma} = r_1 + r_2 + r_3 = 0,001128 + 0,00000195 + 0,475 = 0,476 \text{ (Ом)}.$$

По фазним параметрам розрахуємо значення струмів зворотної і нульової послідовностей:

$$\begin{aligned} \dot{I}_2^H &= \frac{1}{3} \cdot (I_A \cdot e^{j\varphi_A^\circ} + a^2 \cdot I_B \cdot e^{j\varphi_B^\circ} + a \cdot I_C \cdot e^{j\varphi_C^\circ}) = \frac{1}{3} \cdot (50 \cdot e^{j(-21,565)^\circ} + \\ &+ e^{j240^\circ} \cdot 28 \cdot e^{j(-166,37)^\circ} + e^{j120^\circ} \cdot 60 \cdot e^{j103,74^\circ}) = 3,681 - j \cdot 10,999 = 11,599 \cdot e^{j(-71,5)^\circ} \text{ (А)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_0^H &= \frac{1}{3} \cdot (I_A \cdot e^{j\varphi_A^\circ} + I_B \cdot e^{j\varphi_B^\circ} + I_C \cdot e^{j\varphi_C^\circ}) = \frac{1}{3} \cdot (50 \cdot e^{j(-21,565)^\circ} + \\ &+ 28 \cdot e^{j(-166,37)^\circ} + 60 \cdot e^{j103,74^\circ}) = 1,679 + j \cdot 11,102 = 11,228 \cdot e^{j81,4^\circ} \text{ (А)}. \end{aligned}$$

Розрахуємо реактивну потужність по фазах:

$$Q_A = U_{\text{ф.ном.}} \cdot I_A \cdot \sin \varphi_A = 0,231 \cdot 50 \cdot 0,368 = 4,244 \text{ (квар)};$$

$$Q_B = U_{\text{ф.ном.}} \cdot I_B \cdot \sin \varphi_B = 0,231 \cdot 28 \cdot 0,724 = 4,68 \text{ (квар)};$$

$$Q_C = U_{\text{ф.ном.}} \cdot I_C \cdot \sin \varphi_C = 0,231 \cdot 60 \cdot 0,28 = 3,88 \text{ (квар)}.$$

Вихідне значення реактивної потужності, що споживається вузлом навантаження, до прийняття будь-яких рішень:

$$Q_{\text{до}} = Q_A + Q_B + Q_C = 4,244 + 4,68 + 3,88 = 12,804 \text{ (квар)}.$$

Розрахуємо значення втрат активної потужності, яка відповідає вихідному режиму (при відключених секціях СП):

$$\Delta P_2 = 3 \cdot 0,476 \cdot 11,599^2 = 192,106 \text{ (Вт)};$$

$$\Delta P_0 = 12 \cdot 0,476 \cdot 11,228^2 = 720,132 \text{ (Вт)};$$

$$\Delta P_Q = \frac{12,804^2}{0,4^2} \cdot 0,476 = 487,758 \text{ (Вт)};$$

$$\Delta P_\Sigma = 192,106 + 720,132 + 487,758 = 1399,99 \text{ (Вт)}.$$

Розрахуємо конденсаторне навантаження СП у плечах, підключених до фаз А, В, С для схеми несиметричної зірки із заземленою нейтраллю, та А-В, В-С, С-А для схеми несиметричного трикутника, що виражене через струми за аналітичним виразом):

$$I_{Ci} = \frac{\Delta Q_{i_{\text{ном.}}}}{U_{\text{ном.}}}, \quad (3.12)$$

а струми зворотної $\dot{I}_2^{\text{СП}}$ та нульової $\dot{I}_0^{\text{СП}}$ послідовностей за формулами (2.1), (2.5) та (2.6).

Отримані дані представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку струмів $\dot{I}_2^{\text{СП}i_k=1}$ та $\dot{I}_0^{\text{СП}i_k=1}$, що генеруються кожним симетрувальним елементом СП при умові її ввімкнення

№ симетр елемент СП	Q, квар	На яку напругу вмикається	$\dot{I}_2^{\text{СП}i_k=1}$		$\dot{I}_0^{\text{СП}i_k=1}$	
			Re $\dot{I}_2^{\text{СП}}$	Im $\dot{I}_2^{\text{СП}}$	Re $\dot{I}_0^{\text{СП}}$	Im $\dot{I}_0^{\text{СП}}$
1	5	U_{AB}	-6,24	3,62	-	-
2	3	U_{AB}	-3,74	2,166	-	-
3	2	U_{AB}	-2,4	1,45	-	-
4	1	U_{AB}	-1,24	0,73	-	-
5	5	U_{BC}	0	-7,23	-	-
6	3	U_{BC}	0	-4,34	-	-
7	2	U_{BC}	0	-2,9	-	-

8	1	U_{BC}	0	-1,43	-	-
9	5	U_{CA}	6,254	3,61	-	-
10	3	U_{CA}	3,753	2,165	-	-
11	2	U_{CA}	2,56	1,44	-	-
12	1	U_{CA}	1,25	0,72	-	-
13	3	U_A	0	4,33	0	4,33
14	2	U_A	0	2,89	0	2,9
15	1	U_A	0	1,44	0	1,44
16	3	U_B	-3,75	-2,165	3,75	-2,165
17	2	U_B	-2,5	-1,45	2,5	-1,44
18	1	U_B	-1,25	-0,72	1,25	-0,72
19	3	U_C	3,75	-2,165	-3,75	-2,165
20	2	U_C	2,54	-1,44	-2,5	-1,44
21	1	U_C	1,254	-0,72	-1,25	-0,72

Етап 1.

Сформуємо множину D_1 :

$$D_1 = \{5 \ 3 \ 2 \ 1 \ 5 \ 3 \ 2 \ 1 \ 5 \ 3 \ 2 \ 1 \ 3 \ 2 \ 1 \ 3 \ 2 \ 1 \ 3 \ 2 \ 1\}.$$

Шляхом перебору всіх симетрувальних елементів, потужності яких увійшли до множини D_1 розрахуємо $\dot{I}_{2_{\text{після}}}$ та $\dot{I}_{0_{\text{після}}}$ у припущенні почергового увімнення кожної.

Результати розрахунків по всім симетрувальним елементам зведені до табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку струмів $\left| \dot{I}_{2\text{після}} \right|$ та $\left| \dot{I}_{0\text{після}} \right|$, що будуть після ввімнення і-ого симетрувального елемента СП на першому етапі

№ секції СП	$\text{Re } \dot{I}_{2\text{після}}$	$\text{Im } \dot{I}_{2\text{після}}$	$\left \dot{I}_{2\text{після}} \right $	$\text{Re } \dot{I}_{0\text{після}}$	$\text{Im } \dot{I}_{0\text{після}}$	$\left \dot{I}_{0\text{після}} \right $
1	-2,569	-7,39	7,82	-	-	-
2	-0,069	-8,83	8,83	-	-	-
3	1,181	-9,56	9,634	-	-	-
4	2,431	-10,279	10,56	-	-	-
5	3,681	-18,22	18,59	-	-	-
6	3,681	-15,33	15,766	-	-	-
7	3,681	-13,89	14,37	-	-	-
8	3,681	-12,439	12,97	-	-	-
9	9,931	-7,389	12,38	-	-	-
10	7,431	-8,84	11,54	-	-	-
11	6,181	-9,559	11,39	-	-	-
12	4,931	-10,22	11,401	-	-	-
13	3,681	-6,69	7,617	1,679	15,442	15,523
14	3,681	-8,11	8,91	1,679	13,992	14,09
15	3,681	-9,559	10,23	1,679	12,542	12,64
16	-0,069	-13,16	13,64	5,43	8,27	10,457
17	1,181	-12,44	12,495	4,179	9,662	10,527
18	2,431	-11,79	11,968	2,929	10,382	10,787
19	7,431	-13,164	15,117	-2,071	8,937	9,174
20	6,181	-12,439	13,890	-0,821	9,662	9,697
21	4,931	-11,719	12,714	0,429	10,382	10,391

У відповідності до (3.8), (3.9) та (3.11) розрахуємо прирости втрат активної потужності $\delta\Delta P_{2i}$, $\delta\Delta P_{0i}$, $\delta\Delta P_{Qi}$ (знак мінус свідчить про зростання відповідної складової та сумарного приросту втрат $\delta\Delta P_{\Sigma i}$).

Розрахункові дані зведені до табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку складових приростів втрат активної потужності, які будуть після ввімкнення i -ої симетрувального елемента СП на першому етапі

№ секції СП	$\delta\Delta P_{2i},$ Вт	$\delta\Delta P_{0i},$ Вт	$\delta\Delta P_{Qi},$ Вт	$\delta\Delta P_{\Sigma i},$ Вт
1	104,716	-	306,556	411,272
2	80,658	-	201,783	282,442
3	59,631	-	140,472	200,103
4	32,787	-	73,211	105,998
5	-301,242	-	306,556	5,313
6	-162,792	-	201,783	38,991
7	-102,711	-	140,472	37,761
8	-48,196	-	73,211	25,015
9	-26,695	-	306,556	279,860
10	1,811	-	201,783	203,595
11	7,066	-	140,472	147,539
12	6,505	-	73,211	79,716
13	109,245	-656,264	201,783	-345,236
14	78,857	-414,244	140,472	-194,914
15	42,274	-194,479	73,211	-78,994
16	-55,361	95,559	201,783	241,981
17	-30,839	87,137	140,472	196,771
18	-12,448	55,455	73,211	116,218
19	-134,208	239,415	201,783	306,991
20	-83,403	183,042	140,472	240,111
21	-38,730	103,407	73,211	137,888

Відповідно до рекурентних співвідношень (3.11) виконаємо оцінку станів системи:

$$f_1 = \min ((1399,99 - 411,27) (1399,99 - 282,44) (1399,99 - 201,1) (1399,99 - 106) (1399,99 - 5,3) (1399,99 - 38,99) (1399,99 - 37,76) (1399,99 - 25,02) (1399,99 - 279,86) (1399,99 - 203,59) (1399,99 - 147,54) (1399,99 - 79,72) (1399,99 + 345,24) (1399,99 + 194,91) (1399,99 + 78,99) (1399,99 - 241,98) (1399,99 - 196,77) (1399,99 - 116,22) (1399,99 - 306,99) (1399,99 - 240,11) (1399,99 - 137,89)) = 988,72 \text{ (Вт)}.$$

Отже, найбільш ефективним на 1-му етапі є ввімкнення 1-ї секції, тому $x_1=1$, а вектор змінних після першого етапу буде таким:

$$X = (1 \ 0)$$

Із загальної множини елементів, яка буде розглядатися на наступних етапах, виключаємо симетрувальний елемент, по якому прийнято рішення про його ввімкнення на 1-ому етапі, тобто елемент № 1.

Кінцеві результати, що отримані на наступних етапах вирішення задачі, подані в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку по етапах вирішення задачі

Етап вирішення задачі	Вектор керування X	Q , квар	ΔP_2 , Вт	ΔP_0 , Вт	ΔP_Q , Вт	ΔP_Σ , Вт
Вихідний стан	(0 0)	12,8	192,11	720,13	487,76	1399,99
1	(1 0)	7,8	87,39	720,13	181,20	988,72
2	(1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0)	4,8	132,34	480,72	68,67	681,72
3	(1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0)	1,8	205,54	278,055	9,69	493,28
4	(1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1)	0,8	223,43	210,26	1,925	435,62

На етапі 5 множина D_5 виявляється пустою, оскільки ввімкнення будь-якого елементу із числа тих, по яким не прийняті рішення, призведе до появи

зворотних перетоків реактивної потужності (від електроприймачів у мережі живлення). Отриманий розв'язок реалізується таким чином: необхідно ввімкнути такі секції: 5 квар на напрузі U_{AB} , 3 та 1 квар на напрузі U_C , і 3 квар на напрузі U_B . Втрати активної потужності в електричній мережі зменшаться з 1399,99 Вт до 435,62 Вт (в 3,21 раза).

3.5 Висновки до розділу 3

1. Задача оптимізації несиметричного режиму в чотиріпровідній мережі може вирішуватися як багатокритеріальна із врахуванням впливів СП на режим зворотної і нульової послідовностей та на величину реактивної потужності за критерієм мінімальних сумарних втрат активної потужності.

2. Для розрахунку вектора змінних у випадку установки СП, що має схему, рис. 1.7, можна скристати розробленою цілочисловою математичною моделлю.

3. Для аналізу математичної моделі може бути використаним розроблений алгоритм, рис.3.1 в основу якого покладено метод динамічного програмування.

4. Керування СП за розробленою математичною моделлю дозволить оптимізувати режим несиметрії і одночасно забезпечити вимоги з компенсації реактивних навантажень (що сприяє покращенню якості електроенергії в мережах споживача) та використовувати реактивну потужність СП з максимальною ефективністю.

5. Впровадження виконаних розробок дозволить суттєво знизити додаткові втрати активної потужності (для реальних умов тестового прикладу в 3,21 раза).

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

4.1 Можливі підходи до оцінки ефективності впровадження виконаних досліджень

Будь-яка технічна розробка потребує оцінки її економічної ефективності. При реалізації розробленого заходу суттєвих додаткових капіталовкладень не потрібно, тому що необхідні для синтезу СП конденсаторні потужності вже використовуються на підприємстві для компенсації реактивних навантажень. Сутність задачі, що вирішується, полягає в підвищенні ефективності використання існуючих батарей статичних конденсаторів, коли крім ефекту від зниження активних втрат за рахунок компенсації реактивної потужності отримуємо додатковий ефект від зменшення збитків від несиметрії електричного режиму. забезпеченні ефективної роботи СП. Тому затрати потрібні тільки на розробку математичного та програмного забезпечення, яке дозволить більш ефективно використати наявний СП та на монтажні роботи невеликих обсягів.

Оцінити економічний ефект від впровадження даної роботи можна кількісно визначивши обсяги зменшення збитків, зумовлених несиметрією режиму.

Несиметричні режими негативно впливають на роботу технологічного електрообладнання та електричні мережі.

Збитки, обумовлені несиметрією електричного режиму, в електродвигунах є наслідком таких явищ.

Опір зворотної послідовності індукційних машин в 5-8 разів менше опору прямої послідовності. Двигуни мають фільтруючі властивості по відношенню до струмів зворотній послідовності. Тому навіть відносно невелика несиметрія напруг (1%) створює значну несиметрію струмів (7-9%) в обмотках [1]. Струми зворотній послідовності викликають додатковий нагрів, зменшують корисний

момент і наявну потужність машин. При коефіцієнті несиметрії напруг яка дорівнює 3,5% температура обмоток двигуна підвищується на 25% [1]. Зменшується корисний момент двигуна. Тобто, зменшення корисного моменту приблизно дорівнює квадрату коефіцієнта несиметрії.

Якщо коефіцієнт несиметрії напруг дорівнює 5%, то, незважаючи на незначне зниження корисного моменту, різко збільшуються вібрація двигунів і нагрів їх обмоток. Встановлено, що несиметрія напруг 4% скорочує термін служби АД вдвічі [1]. При несиметрії напруг і підвищеному рівні напруги прямої послідовності наявна потужність електродвигунів знижується на 50-60% [1]. З урахуванням фільтруючих властивостей АД по відношенню до струмів зворотної послідовності в роботах [1, 8] рекомендується обмежувати напругу зворотної послідовності в мережі до 1%.

Збитки, обумовлені несиметрією електричного режиму, в трансформаторах є наслідком таких явищ.

Несиметрія вхідних напруг трансформатора, як і його навантажувальних струмів, призводить до появи несиметрії і невірноваженості вихідних напруг [1], обумовлених складовими відповідно зворотної та нульової послідовності. Особливо чутливі до несиметрії навантажень трансформатори зі схемою з'єднання обмоток «зірка - зірка з нулем», які мають великий опір нульової послідовності [1], що викликає виникнення істотно невірноваженої системи їх вихідних напруг

При розрахунку наявної потужності трансформаторів в нормальному режимі слід враховувати, що перегрів ізоляції на 8°C знижує термін її служби вдвічі [1]. У разі вибору граничного завантаження трансформатора за умовою рівності струму найбільш навантаженої фази номінальному його пропускну здатність в нормальному режимі зменшується на 42% потужності однофазного еквівалентного навантаження

Збитки, обумовлені несиметрією електричного режиму, в конденсаторах є наслідком таких явищ.

Конденсаторні батареї окремих фаз при коефіцієнті несиметрії напруг не в рівному нулю знаходяться під різними напругами, що може привести до їх перевантаження або недовантаження

Збитки, обумовлені несиметрією електричного режиму, в побутових навантаженнях є наслідком таких явищ.

Несиметричний режим викликає втрати напруги і потужності в електричних мережах, з'являються додаткові відхилення напруг на затискачах однофазних споживачів і, зокрема, освітлювальних і телевізійних приймачів, які дуже чутливі до зміни режиму напруг [1]. Наприклад, при збільшенні напруги на 5% світловий потік ламп розжарювання збільшується на 20%, а термін їх служби скорочується в 2 рази. При зменшенні напруги на 5% світловий потік ламп розжарювання зменшується на 18%, а люмінесцентні лампи починають працювати нестабільно. Телевізори нормально працюють при відхиленнях напруги від -5 до 10%.

Розрахунок зміни збитків від несиметрії електричного режиму в результаті впровадження магістерської кваліфікаційної роботи виконуються на підставі експериментальних досліджень, проведених до впровадження і після та відповідних їх обрахунків. Різниця отриманих значень це буде економічна ефективність поліпшення якості електроенергії, отримана в результаті впровадження.

В даному випадку точно врахувати все немає можливості і тому отримані результати треба оцінювати як наближені.

Позначимо через A величину затрат, які необхідні для розробки математичного та програмного забезпечення системи керування. Великою B позначимо величину зменшення річних збитків, пов'язаних з несиметрією електричного режиму

Відношення A до B називається нормативом ефективності – E_p :

$$E_p \leq 0,1.$$

Норматив ефективності визначає термін окупності затрат. Якщо термін

окупності складає 8 років та менше, то вкладання коштів вважається ефективним.

Для більш точної оцінки економічної ефективності даної розробки необхідно провести дослід для характерної доби і визначити величину B , тобто величину зекономлених коштів та оцінити норматив ефективності.

4.2 Висновки до розділу 4

1. Запропонований підхід дозволить, провівши числовий експеримент, зробити оцінку економічної ефективності використання СП, який синтезований на основі потужностей БСК, що використовуються в системі електропостачання для компенсації реактивної потужності, в умовах системи електропостачання ТОВ «Вінниця–хліб».

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У магістерській випусковій роботі розробляються заходи з підвищення якості електроенергії товариства з обмеженою відповідальністю «Вінниця-млин». ТОВ «Вінниця-млин» відноситься до підприємств з виробництва продовольчих товарів. В цехах передбачається створення належного температурного режиму, який забезпечує необхідні санітарно-гігієнічні норми праці і виробництва продовольчих товарів. Усі металеві не струмоведучі частини (корпуса електродвигунів, шаф, світильників, тощо), які можуть опинитися під напругою в наслідок пошкодження ізоляції, заземлюються шляхом приєднання до нульового проводу живлячої мережі.

Небезпечні та шкідливі виробничі факториза ГОСТ 12.003-74, які впливають на електромонтерів, що обслуговують технологічне обладнання:

фізичні:

- підвищена чи понижена температура повітря робочої зони;
 - рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
 - недостатнє освітлення робочої зони;
 - недостатність природного освітлення;
 - небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якої може відбутися через тіло людини;
 - підвищений рівень шуму на робочому місці;
 - підвищений рівень вібрації;
 - підвищена вологість повітря;
- психофізіологічні небезпечних та шкідливих виробничих фактори:
- фізичні перевантаження (динамічні);
 - нервово - психічні перевантаження (монотонність праці).

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Приміщення, в якому здійснюється діагностика асинхронних двигунів, має загальну площу 150,75 м², і висотою стелі 5,2 м. У приміщенні знаходиться 4 стенда для перевірки. Схема робочого приміщення зображена на рисунку 5.1.

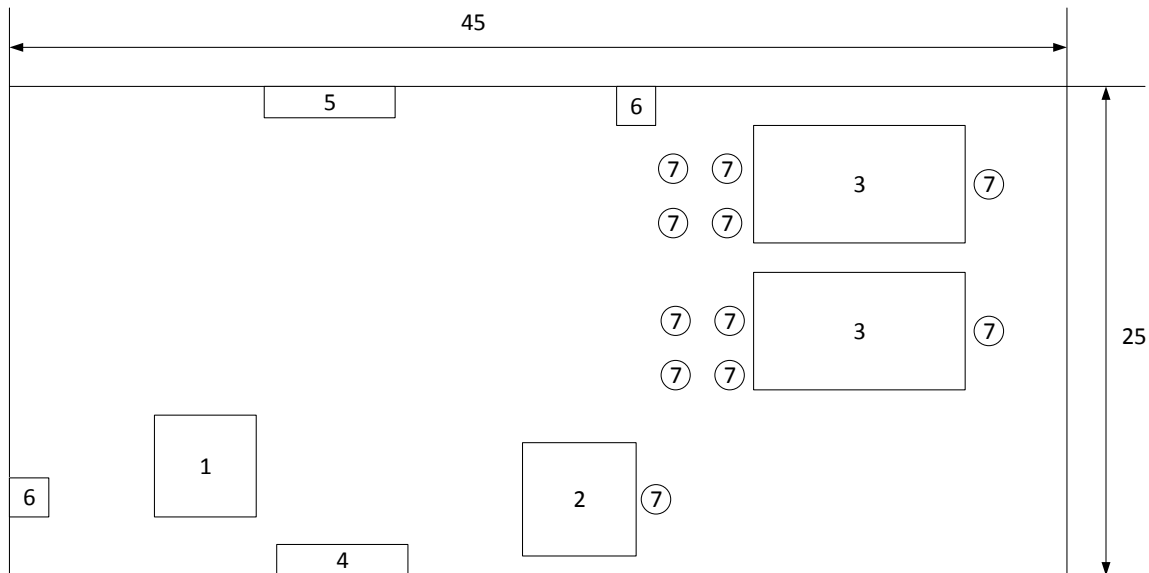


Рисунок 5.1 – Схема робочого приміщення

Умовні позначення: 1 – сушильна шафа; 2, 3 - стенди для перевірки параметрів електродвигунів; 4 - вентилятор; 5 – шафа для паперів; 6 – місце для аптечки і умивання; 7 – робочі місця.

Розташування сушильної шафи здійснено подалі від основних місць роботи персоналу, через негативний вплив на працівників та запиленості. Більшість робочого часу оперативно-ремонтний персонал знаходиться біля стендів діагностики двигунів.

5.1.2 Електробезпека

Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочому приміщенні є струмопровідною.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ – спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізольованими струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями - 5см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустановками. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробоя і створити небезпеку при дотику людини до ізольованих проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів віддільників і вимикачах навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: "Не включати - працюють люди". На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи таких апаратів, вивішується плакат: "Не відкривати - працюють люди".

Приміщення в якому розташовані стенди повинно бути сухим, світлим і теплим а також забезпечене роздягальною з вішалками для одягу.

Площа робочих приміщень повинна бути така, щоб на одного працюючого припадало не менше 4,5 м².

Стіни робочих приміщень мають бути світлих відтінків, а стеля повинна бути пофарбована в білий колір.

Неправильне поводження з електрообладнанням і джерелами електричної енергії може призвести до враження електричним струмом і виходу приборів з ладу, тому:

- не проводити будь-яких втручань, як відкриття руками, так і за допомогою інструмента і сторонніх предметів в електрообладнання при встановлених на контактний провід струмоприймачів. Це стосується не лише електрообладнання 550 В, але і електрообладнання 24 В;

- не допускати струми витoku більше 0,003 А. Контроль струмів витoku проводять щодня міліамперметром або спеціальним пристроєм для вимірювання стану електроізоляції;

- ретельно слідкувати, щоб не виникали обриви проводів і інші порушення цілісності електричних кіл;

Роботи по обслуговуванню електродвигунів.

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин електродвигуна або до обертових частин електродвигуна, який приводить в рух механізм, необхідно зупинити електродвигун та на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

При роботах за межами КРУ на відхідних ПЛ або КЛ на підключеному до них обладнанні візок з вимикачем необхідно вкочити з шафи; верхню заслінку або дверці закрити на замок та вивісити плакати "НЕ ВМИКАТИ!" або "НЕ ВМИКАТИ! РОБОТА НА ЛІНІЇ".

При накладенні заземлювачів у шафах КРУ у випадку роботи на відходячих ПЛ необхідно враховувати слідуєчі вимоги: ПЛ напругою вище 1000 В заземлюються в усіх РУ і у секційних комутаційних апаратах, де відключена лінія.

Якщо дозволяє конструктивне виконання апаратів та характер роботи, перераховані вище міри можуть бути замінені розшиновкою або від'єднанням кінців кабелю проводів від комутаційного апарату або обладнання, на якому повинна проводитись робота.

Розшиновку або від'єднання кабеля при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огорожені.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами.

В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені. Необхідність та можливість встановлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок та підключеного до них обладнання визначає працівник, який видає наряд (розпорядження).

Перед допуском до роботи на електродвигунах насосів, димососів та вентиляторів, якщо можливо обертання електродвигунів від з'єднаних з ними механізмів, повинні бути закриті та заперті на замок засувки цих механізмів, а також прийняті заходи для гальмування ротора електродвигунів.

Випробування електроприводів разом з виконуючим механізмом потрібно проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені.

При видачі робиться запис в оперативному журналі технологічного цеху, а отриманні цього дозволу - в оперативному журналі цеху (ділянки), який проводить випробування.

Ремонт і наладку електросхем електроприводів, не з'єднаних з виконуючим механізмом, регулюючих органів та запірної арматури, можна проводити по розпорядженню. Дозвіл на їх випробування дає працівник, який дав розпорядження на вивід електропривода в ремонт, наладку. Про це повинен бути зроблений запис при оформленні розпорядження.

При роботі на електродвигуні заземлення встановлюється на кабелі (з від'єднанням або без від'єднання його від електродвигуна) або на його приєднанні в РУ.

Вмикання електродвигуна для перевірки до повного закінчення роботи проводиться після виводу бригади з робочого місця.

Після випробування проводиться повторний допуск з оформленням в наряді. При виконанні роботи по розпорядженню на повторний допуск розпорядження дається заново.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [8] встановлюють оптимальну та допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 5.1 - Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

Період року	Категорія	Допустимі		
		t	W, %	V, м/с
Теплий	Середньо важкої	1	65	0,2-
Холодний		1	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше їм.

3. Для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³.

При переробці молока виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно до [18] наведено в таблиці .2.

Таблиця .2 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні верстатника

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середня добова	
Пил	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ГОСТу 12.1.004-91. ССБТ проектом передбачені наступні рішення [15]:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами , які встановленні безпосередньо на дільницях біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;

- необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;

- застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

5.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: - природне освітлення - освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові пройми в зовнішніх огорожених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО (ϵ). КПО - відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

КЕО при природному та сумісному освітленнях.

Характеристика зорової роботи - роботи середньої точності;

Розряд - IV;

Підрозряд зорової роботи - а;

Контраст об'єкту розпізнавання - незалежно від характеристик фону і контрасту об'єкту з фоном;

Характеристика фону - незалежно від характеристик фону і контрасту об'єкту з фоном;

Бокове КЕО, %:

-природне 1,5;

-суміщене 0,9

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна. Нормоване значення КПО для даного виробничого приміщення розраховуємо за формулою:

$$e_N = e_h \cdot m_N,$$

m_N - коефіцієнт світлового клімату, $m_N=0,9$ при орієнтації вікон на ПН.

природне $e_N = 1,5 \cdot 0,9 = 1,4\%$,

суміщене $e_N = 0,9 \cdot 0,9 = 0,8\%$.

Штучне освітлення.

- штучне освітлення буває двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення - освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання. Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місьцеве освітлення - освітлення, яке створюється світильниками, концентруючими світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Штучне освітлення, лк:

- загальне 75лк;

- комбіноване 150 лк.

Для забезпечення нормативного значення e_{min} передбачено:

Штучне освітлення в приміщенні цеху забезпечується світильниками типу РСР08×250 (однолампові) з лампами ДРЛ-250.

5.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \cdot \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) = 20 \cdot \lg \left(\dots \right) \quad (5.2)$$

де L - рівень шуму, дБ;

P -звуковий тиск, Па;

U_0 - коливальна швидкість, $5 \cdot 10^{-8}$ м/с;

P_0 - нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні

шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 5.2-Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах								
	07	5	7	2	8	5	3	1	9
Постійні робочі місця в промисл	7	5	7	2	8	5	3	1	9

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати малошумові вентилятори.

5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної

нервової, серцево-судиної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У нашому цеху присутня вібрація типу - За. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються установка купажу води та лінія розливу води, які відносяться до типу загальної вібрації.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3-Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарно-гігієнічній групі	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot s^{-2}$	ДБ	$m \cdot s^{-1}$	ДБ
Загальна	Z_0	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу,

затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Вільна зручна поза, можливість зміни пози (сидячи, стоячи) за бажанням працівника. Знаходження в позі стоячи до 40% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 250

Нахили корпуса (вимушені, більше 30), кількість за зміну: до 50

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км

По горизонталі: до 4

По вертикалі: до 2

Інтелектуальні навантаження: Відсутня необхідність прийняття рішення

Зміст роботи: Сприймання сигналів, але без потреби в корекції дій, Обробка та виконання завдання, Робота за індивідуальним планом

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) до 25

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи до 75

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження до 5

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) до 2

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) до 16

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль в роботі з боку працівника

Ступінь ризику для власного життя – Виключений

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – Виключений

Монотонність навантажень:

Кількість елементів (приймів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово більше 10

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) більше 100

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) менше 75

Режим праці

Фактична тривалість робочого дня (год.) 6–7

Змінність роботи Однозмінна робота (без нічної зміни)

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість Перерви регламентовані, достатньої тривалості 7% і більше часу зміни

5.3 Дослідження стійкості роботи СЕС ТОВ «Вінниця-млин» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Всі системи електропостачання є досить вразливими до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних ситуаціях. ТОВ «Вінниця-млин» відноситься до підприємств перебої в роботі якого можуть спричинити гуманітарну катастрофу. Тому важливим питанням є забезпечення високої стійкості роботи СЕС.

Дія радіації на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання є електронне обладнання систем управління СЕС. Серед елементів є напівпровідники, блок живлення, блок керування та силові елементи, транзистори, діоди. Через впливи на ізоляцію в

трансформаторах можливі замикання обмоток, а відповідно і загорання трансформаторів.

В результаті опромінення системи в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понизиться напруга пробою і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність.

Серед загрозливих чинників надзвичайних ситуацій особливо великий вплив на СЕС має вплив електромагнітного імпульсу. Він може призвести до загорання електронних елементів, зокрема транзисторів та діодів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Ці наслідки в подальшому призводять до пожеж на підприємстві, а в подальшому розвитку можливі і вибухи. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання.

5.3.1 Дослідження стійкості роботи СЕС ТОВ «Вінниця-млин» в умовах дії іонізуючих випромінювань

Визначаємо граничні значення дози опромінення $\ddot{A}_{\text{до}}$, для елементної бази системи, при яких виникають незворотні зміни [15]. Отримані дані заносимо в таблицю 5.8.

Таблиця 5.8 – Граничні значення експозиційних доз СЕС

№	Блоки СЕС	Елементна база СЕС	$D_{\text{гр}}$, Р	$D_{\text{гр}}$, Р
1	Блок живлення	Мікросхема К 155 РЕЗ	10^5	10^4
2	Блок керування СВП-4	Транзистори КТ-646	10^4	
		Діоди Д220А	10^4	
		Конденсатори СП5-30	10^7	

		Резистори ПЭВ 100-150 Ом	10^7	
3	Силові елементи	Трансформатор ТМ-100/6	10^7	
		Тиристори Т171-320-1.6	10^5	
		Дросель PLM3216	10^5	
		Резистори МЛТ	10^4	1

Проаналізувавши дані таблиці 5.8 визначили, що самим уразливим елементом системи з мінімальною дозою $D_{\text{грi}} = 10^4 \text{ P}$ є транзистори та діоди а також елементи блоку живлення. Блок живлення в разі дії на нього іонізуючих випромінювань можна перенести в підвальне приміщення, що збільшить його стійкість. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_{\text{м}} = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_{\text{k}}} - \sqrt{t_{\text{п}}})}{K_{\text{осл}}}, \quad (5.1)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 5,72 \text{ P/год}$);

t_{k} – час кінця опромінення ($t_{\text{k}} = 131400 \text{ год}$ (5 років));

$t_{\text{п}}$ – час початку опромінення ($t_{\text{п}} = 1 \text{ год}$).

$K_{\text{осл}}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{\text{осл}} = 2$).

$$D_{\text{м}} = \frac{2 \cdot 5,72 (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{2} = 2067,73 \text{ (P)}.$$

Оскільки $D_{\text{грi}} > D_{\text{м}}$, то дана система електроспоживання стійка до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою:

$$t_{\text{д}} = \frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (5.2)$$

$$t_{\text{д}} = \frac{10^4 \cdot 2 + 4 \cdot 5,72 \cdot \sqrt{1}}{4 \cdot 5,72} = 875,12 \text{ (год)}.$$

Отже, можливо доза опромінення елементної бази $D_m = 2067,73 \text{ Р}$, а допустима – 10^4 Р . Отже, система СЕС є умовно стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи в заданих умовах становить 875,12 год., при рівні радіації 5,72 Р/год.

5.3.2 Дослідження стійкості роботи СЕС ТОВ «Вінниця-млин» в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_r = E_v \cdot 10^{-3}, \text{ кВ/м},$$

$$E_r = 12,32 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 12,32 \text{ (В/м)}.$$

Визначаємо горизонтальну та вертикальну напругу наводки [15].

$$U_{ri} = E_v \cdot l_{ri}, \text{ В},$$

$$U_{ri} = 12,32 \cdot 10^3 \cdot 0,45 = 5480 \text{ (В)}.$$

$$U_{vi} = E_r \cdot l_v, \text{ В},$$

$$U_{vi} = 12,32 \cdot 0,445 = 5,48 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_d = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N, \quad (5.3)$$

де N – відсоток допуску.

$$U_d = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ (В)},$$

$$U_d = 24 + \frac{24}{100} \cdot 5 = 25,2 \text{ (В)},$$

$$U_a = 380 + \frac{380}{100} \cdot 5 = 399 \text{ (В)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кожної ділянки:

$$K_6 = 20 \cdot \lg \frac{U_d}{U_{r(v)}} \geq 40 [\text{дБ}],$$

Горизонтальної:

$$K_{б_{г1}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{5480} = -52,47 \text{ (дБ)},$$

$$K_{б_{г2}} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{5480} = -46,45 \text{ (дБ)},$$

$$K_{б_{г3}} = 20 \cdot \lg \frac{399}{5480} = -22,46 \text{ (дБ)}.$$

Вертикальної:

$$K_{б_{в1}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{5,48} = 7,5 \text{ (дБ)},$$

$$K_{б_{в2}} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{5,48} = 13,54 \text{ (дБ)},$$

$$K_{б_{в3}} = 20 \cdot \lg \frac{399}{5,48} = 37,53 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 5.9.

Таблиця 5.9 – Значення коефіцієнтів безпеки системи електропостачання

№	Найменування блоків	$K_{б_{г}}$, дБ	$K_{б_{в}}$, дБ	Результат дії
1	Блок живлення, 12 В	-52,47	7,5	Нестійкий
2	Блок управління, 24 В	-46,45	13,54	Нестійкий
3	Силові елементи, 380 В	-22,46	37,53	Нестійкі

Границя стійкості системи керування $K_{б_{мін}} = -52,47$ дБ, а $K_{б_{гр}} = 37,53$.

Отже, система є нестійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості необхідно використовувати екранування напівпровідникових елементів та горизонтальних струмопровідних елементів.

Перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі:

$$A = 40 + K_{\text{бмін}}, \quad (5.4)$$

Для БЖ:

$$A_1 = 40 + 52,47 = 92,47 \text{ (дБ)};$$

Для БУ:

$$A_2 = 40 + 46,45 = 86,45 \text{ (дБ)};$$

Для СЕ:

$$A_3 = 40 + 22,46 = 62,46 \text{ (дБ)}.$$

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.5)$$

де f - найбільш характерна частота, ($f = 15$ кГц).

Для БЖ:

$$t_1 = \frac{92,47}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,1 \text{ (см)};$$

Для БУ:

$$t_2 = \frac{86,45}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,096 \text{ (см)};$$

Для СЕ:

$$t_3 = \frac{62,46}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,079 \text{ (см)}.$$

Отже, при екрануванні блоку живлення та блоку керування з використанням екрану товщиною до 1 мм зі сталі, система керування буде стійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу, при екрануванні силових елементів з використанням екрану товщиною 0,8 мм вони будуть стійкими в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Висновки.

В умовах дії іонізуючого випромінювання система електропостачання залишається стійкою. Тому іонізуюче випромінювання для обладнання не є таким небезпечним, як для обслуговуючого персоналу. Для нормальної роботи об'єкта під час аварій з такими наслідками, як іонізуюче випромінювання, потрібно розраховувати робочі зміни для обслуговуючого персоналу з врахуванням їх допустимої дози опромінення.

Після проведених розрахунків визначено, що робота системи електропостачання буде стійка протягом 875,12 год., при рівні радіації 5,72 Р/год. До дії ЕМІ система керування виявилась нестійкою. Застосування екранування систем електропостачання суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування пасивних екранів до блоків системи вона буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 12,32 кВ/м. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії ЕМІ є зменшення струмопровідних довжини провідників за рахунок ізоляції довгих провідників, більш якісної трасировки плат та вдосконалення схемокомпоновки елементів СЕС. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення, а також застосувати прилади, які б вимикали електронні схеми на період впливу ЕМІ.

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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузнецов В. Г. Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях [Текст] / В. Г. Кузнецов, А. С. Григорьев, В. Б. Данилюк. – К.: Наукова думка, 1992.–240 с.
2. ДСТУ EN 50160-2014. “Національний стандарт України. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах” (на заміну ДСТУ EN 50160-2014). – К.: Мінекономрозвитку України – Чинний з 10. 01. 14.
3. Аввакумов В. Г. Вопросы качества электрической энергии тяговых подстанций [Текст] / В. Г. Аввакумов – Омск: Изд-во ОМИИТа, 1970. – 66 с.
4. Мельников Н. А. Симметрирование неполнофазного режима с помощью конденсаторов поперечной компенсации [Текст] / Н. А. Мельников // Электричество. – 1962. – №2. – С. 10–13.
5. Рогальський Б. С. Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління. II частина [Текст] / Б. С. Рогальський. – Вінниця: ВДГУ, 2006. – 104 с.
6. Бурбело М. Й. Аналіз втрат потужності в електричних мережах за умов несиметрії та несинусоїдності напруг і струмів [Текст] / М. Й. Бурбело та ін. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – №6.– С. 138–141.
7. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю.С. Железко. – М.: Энергоатомидат, 1989. – 176 с
8. Шишкин С.А. Симметрирование и компенсация реактивной мощности несимметрических низковольтных нагрузок с помощью конденсаторных батарей / С.А. Шишкин // Электротехника. – 2006. – №8. – С. 38–45.
9. Наумов И.В. Исследование показателей несимметрии в действующих электрических сетях / И.В. Наумов, Д.А. Иванов // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХЛ». – 2008. – Выпуск 30. – С. 78–84.

10. Авакумов В.Г. Методы нескалярной оптимизации и их приложения / В.Г. Авакумов. – К.: Вища школа, 1990. – 188с. – ISBN S-II-001321-7.
11. Терешкевич Л.Б. Математичні методи керування несиметрією напруг в системах електропостачання / Л.Б. Терешкевич, М.І. Цибульський // Технічна електродинаміка. – 2006. – №2. – С. 64–67.
12. Терешкевич Л. Б. Додаткові втрати активної потужності у разі симетрування напруг / Л.Б. Терешкевич, І.О. Бандура, М.І. Цибульський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №5. – С. 83–89.
13. Власенко В. Несиметрія навантажень в мережах 0,4 кВ та її негативний вплив на якість напруги та витрати електроенергії / В. Власенко // Новини енергетики. – 2005. – №5. – С. 33 – 34.
14. Авакумов В.Г. Про показники для оцінювання впливу БСК на несиметрію режиму електричної мережі / В.Г. Авакумов, Л.Б. Терешкевич, Т.М. Червінська // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2010. – №666. – С. 3 – 9.
15. Саати Т. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы / Т. Саати. – М.: Мир, 1973. – 302 с.
16. Хемди А. Таха. Введение в исследование операций / А. Таха Хемди. – М.: Вильямс, 2007. – 912 с. – ISBN 0-13-032374-8.
17. Терешкевич Л.Б. АСУ в електроспоживанні. Навчальний посібник. Вінниця, ВНТУ, 2016. – 129 с.

ДОДАТОК

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

_____ 2019 р.
“ ” _____

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й. _____
“ ” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

«Підвищення якості електроенергії Товариства з обмеженою
відповідальністю «Вінниця-млин»
08-17.МКР.014.05.100 ТЗ

Науковий керівник:

проф. Терешкевич Л.Б. _____

(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕСЕ - 18м

Сліпенький Д.В. _____

(підпис)

Вінниця 2019 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № ____ від ____ . ____ 2019 р.

Дата початку роботи 5 вересня 2019 р.

Дата закінчення роботи 3 грудня 2019 р.

2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

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

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) вихідні дані для виконання МКР:

генплан підприємства (об'єкта); план цеха (об'єкта, ділянки, приміщення) із розташуванням обладнання; відомості про особливості технологічних процесів та навколишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); відомості про електричні навантаження підприємства (цеха, об'єкта, ділянки, приміщення); відомості про джерела живлення, їх віддаленість; графіки електричних навантажень (для діючого підприємства, енергетичного району); основні техніко-економічні показники.

3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студентами спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад. Л. Б. Терешкевич, О. Д. Демов, Ю. А. Шулле. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 28 с.

3.2 Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - X .: Міненерговугілля України, 2014.

3.3. М.Й. Бурбело «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків».- Вінниця: ВНТУ, 2005р.

3.4. Демов О. Д. «Економія електроенергії на промислових підприємствах».
– Вінниця: ВНТУ, 2006р.

4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи
	1 Відомості про підприємство та характеристики електроприймачів.	25.10.2019
	2 Дослідження процесів симетрування електричного режиму в чотирипровідній мережі	31.10.2019
	3 Математичні моделі керування несиметрією режиму в чотирипровідній електричній мережі	10.11.2019
	4 Економічна частина роботи	15.11.2019
	5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	25.11.2019
	Написання пояснювальної записки	6.12.2019

5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ДЕК.

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ Не передбачається

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».

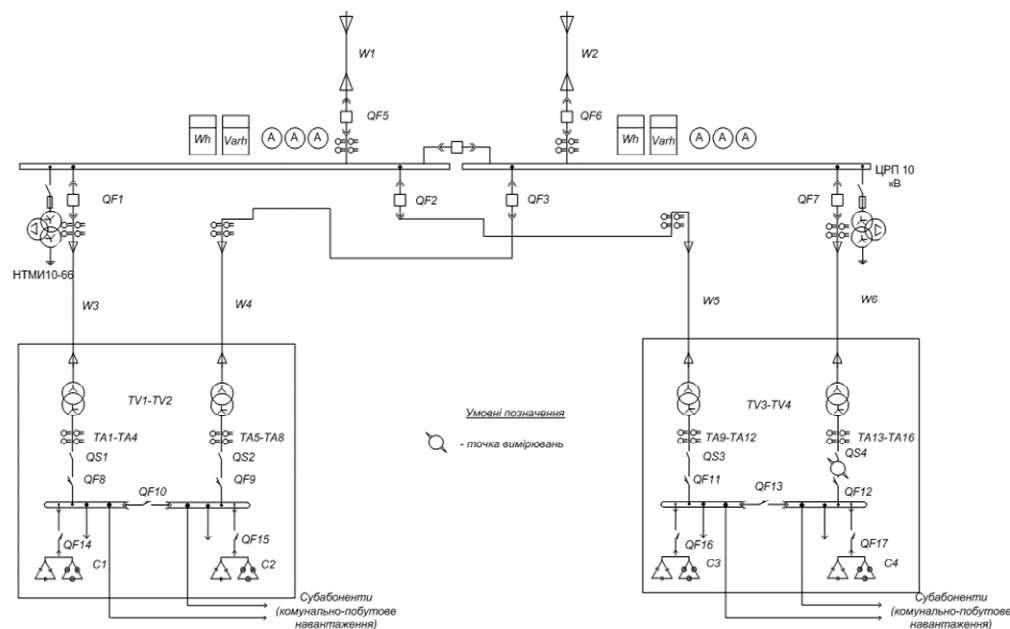
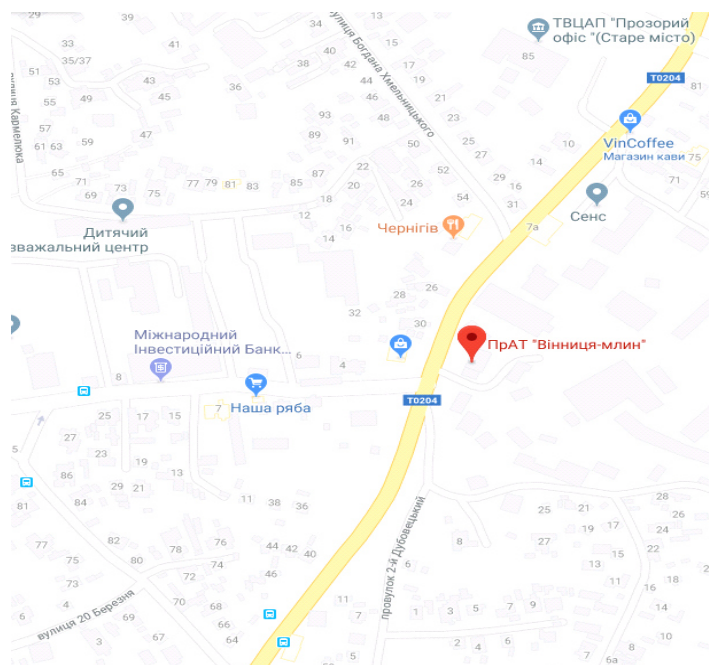
МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

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»

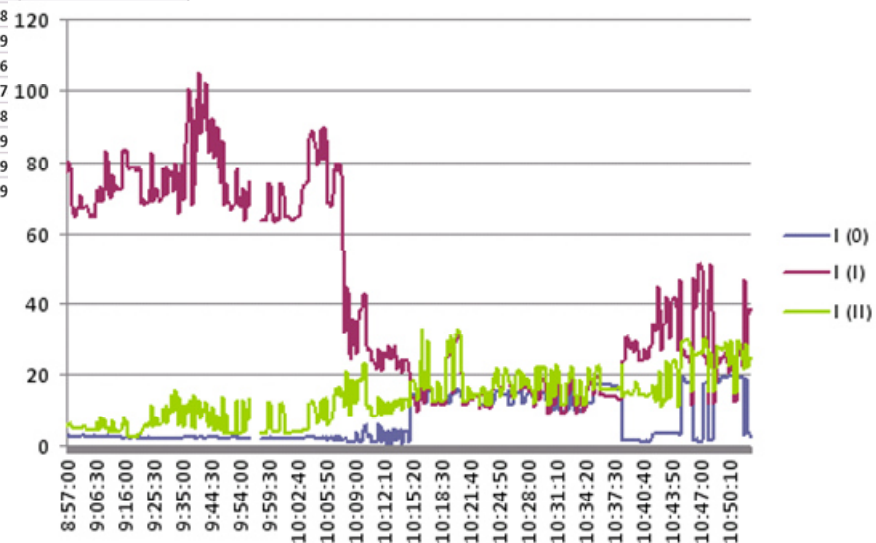


Від живильних мереж, до яких під'єднані мережі ТОВ «Вінниця-млин», живиться комунально-побутове навантаження. Сучасне комунально-побутове навантаження має суттєву потужність і в мережах таких споживачів має місце суттєва несиметрія. Крім цього до трансформаторних підстанцій ТОВ «Вінниця-млин» під'єднані 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	0,69
21	03.12.2009	9:06:00	70,2	62,7	60,5	0	0,739	0,652	0,6	0,6
22	03.12.2009	9:06:30	73,8	66,6	64,4	0	0,717	0,638	0,67	0,67
23	03.12.2009	9:07:00	79,6	71,6	66	0	0,735	0,621	0,68	0,68
24	03.12.2009	9:07:30	74,5	67,2	65,3	0	0,726	0,653	0,69	0,69
25	03.12.2009	9:08:00	81,6	73,3	65,3	0	0,747	0,615	0,69	0,69
26	03.12.2009	9:08:30	75,3	67,5	64,4	0	0,737	0,653	0,69	0,69

Струми прямої, зворотної та нульової послідовності

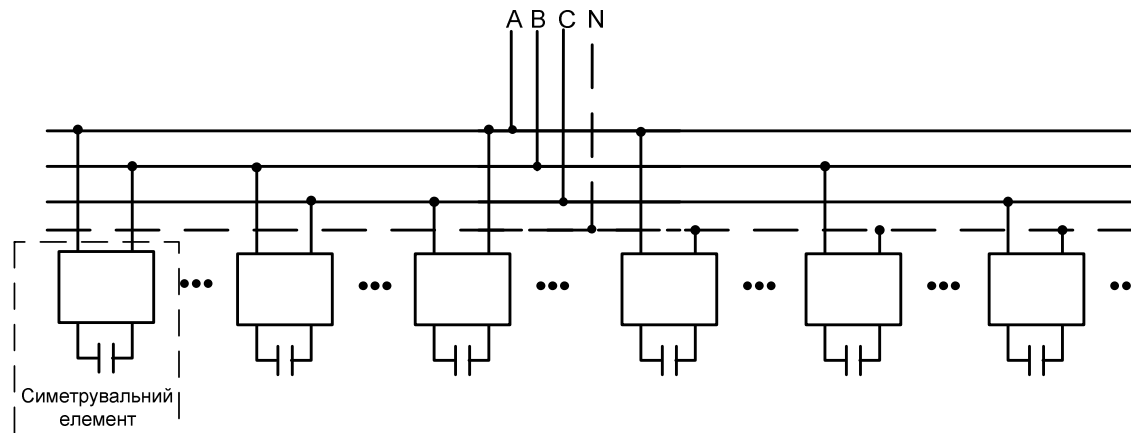


Формулювання задач, що вирішуються в магістерській кваліфікаційній роботі

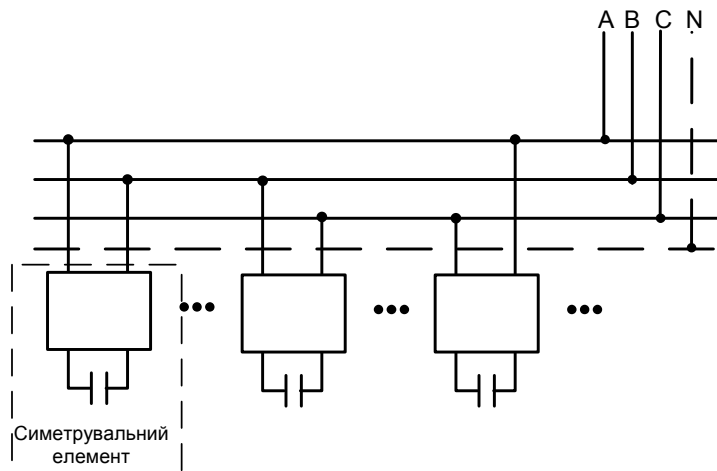
Оскільки на ТОВ «Вінниця млин» є керовані конденсаторні батареї, які використовуються виключно для компенсації реактивних навантажень то, виконавши певну зміну в їх схемі з'єднань, отримати можливість пофазної комутації окремих їх секцій. Причому мають бути секції, які під'єднані до лінійних напруг і 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.

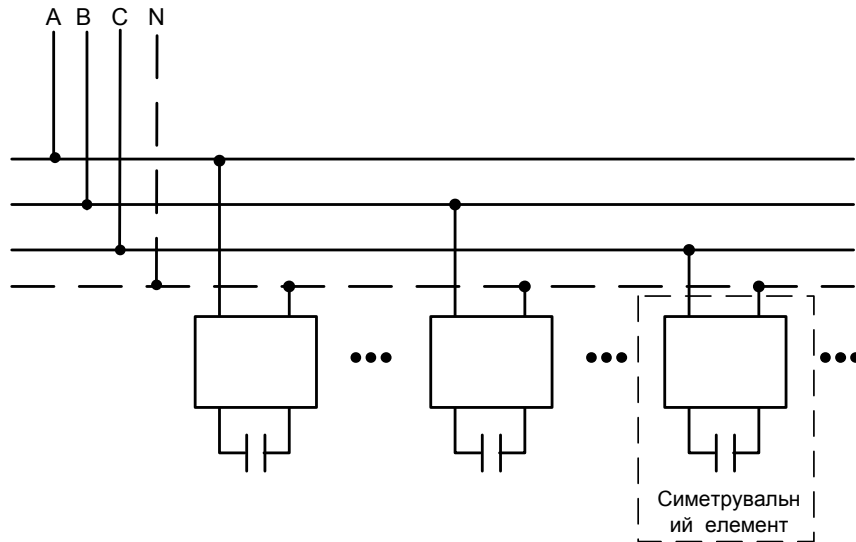
Принцип симетрування полягає в тому, щоб генерувати струм зворотної послідовності такий за величиною модуля і аргумента, щоб при складанні його зі струмом зворотної послідовності, що генерується навантаженням, максимально зменшити модуль утвореного сумарного струму.

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

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

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

7



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

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

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

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 нульової послідовності

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

Критерій ефективності

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

Додаткові втрати, зумовлені протіканням струмів зворотної послідовності

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

Реактивні навантаження, що протікають по лінії живлення спричиняють активні втрати

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

Математична модель керування

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

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.

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

13

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.