

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
Кафедра електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «**ВИКОРИСТАННЯ НЕРЕГУЛЬОВАНИХ
КОНДЕНСАТОРНИХ БАТЕРІЙ В МЕРЕЖАХ 10 кВ**»

Виконав: студент VI курсу, групи ЕЕм-61,
спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Харевич Віктор Ігорович

(прізвище та ініціали)

Керівник Оробчук Б.Я.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Вакуленко О.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедра Електричної інженерії

Освітньо-кваліфікаційний рівень - магістр

Галузь знань 14 – «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
Електричної інженерії

д.т.н., проф. Тарасенко М.Г.

“ 05 ” жовтня 2021
року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Харевичу Віктору Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Використання нерегульованих конденсаторних батарей в мережах 10 кВ»

керівник роботи Оробчук Богдан Ярославович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 29 вересня 2021р. № 4/7-807

2. Строк подання студентом роботи - грудень 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: Типова схема електромережі 10 кВ, середньостатистичні графіки навантаження за літній і зимовий періоди, схема розподільчих електромереж 10/0,4 кВ Чортківського району електричних мереж (ПС-63, РП-190) ВАТ «Тернопільобленерго», дані сезонних навантажень трансформаторних пунктів, паспортні дані діючих трансформаторів та ліній електропередачі.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунково-дослідницький розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Актуальність теми, предмет і об'єкт дослідження, поставленні задачі та шляхи їх розв'язку

2. Схема ділянки мережі від ПС-63 і заміщення розподільної мережі 10 кВ

3. Графіки сезонних електричних навантажень трансформаторних пунктів

4. Схема заміщення розподільної мережі для зимового періоду

5. Схема заміщення з батареями статичних конденсаторів на шинах ТП-04 кВ

6. Загальні висновки до дипломної роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Гурик О.Я., к.т.н., доцент</i>		
	<i>Клепчик В.М., ст. викладач</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Вакуленко О.О., ст. викладач</i>		

7. Дата видачі завдання - вересень 2021 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Аналітичний розділ</i>		
2	<i>Проектно-конструкторський розділ</i>		
3	<i>Розрахунково-дослідницький розділ</i>		
4	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>		
5	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>		
6	<i>Оформлення графічної частини</i>		

Студент

Харевич В. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Оробчук Б. Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Харевич В.І. Використання нерегульованих конденсаторних батарей в мережах 10 кВ, 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕМ-61. – Тернопіль: ТНТУ, 2021

Стор. - 71; рис. - 28; табл. - 9; плакатів - 7; джерел – 28.

У даній кваліфікаційній роботі було розглянуто проблеми зниження втрат електричної енергії в міських електричних мережах, виконано оптимізаційний розрахунок розміщення нерегульованих батарей статичних конденсаторів на шинах трансформаторних пунктів напругою 10/0,4 кВ та розрахунок навантажувальних втрат типової схеми без компенсації реактивної потужності і з встановленням нерегульованих батарей на шинах ТП 10 кВ і 0,4 кВ.

Отримані розрахунки за допомогою типової схеми розміщення нерегульованих конденсаторних батарей на шинах трансформаторних пунктів 10 кВ і 0,4 кВ розподільчої електромережі показали, що максимальне зниження річних втрат можна отримати при їх встановленні на шинах ТП 0,4 кВ, що дозволяє отримати кращий ефект від компенсації реактивної потужності у розподільній мережі та значно знизити втрати електричної енергії і, відповідно, відтермінувати будівництво нових силових потужностей, що є надзвичайно актуальною проблемою на сьогоднішній день.

Ключові слова: компенсація реактивної потужності, конденсаторні батареї, трансформаторний пункт, розподільча електрична мережа, активна потужність, реактивна потужність, втрати потужності

ABSTRACT

Harevych Viktor. Use of unregulated capacitor banks in 10 kV power grids. 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering. Chair of Electrical Engineering, group EEM-61. – Ternopil: TNTU, 2021

Page – 71; Illustrations – 28; Tables – 9; Blueprints – 7; Sources – 28.

In this qualification work the problems of reduction of electric energy losses in city electric networks were considered, optimization calculation of placement of unregulated batteries of static capacitors on busbars of transformer points with voltage 10 / 0,4 kV and calculation of loading losses of the standard scheme without compensation of reactive power and with installation of unregulated batteries on 10 kV and 0.4 kV busbars.

The calculations obtained using a typical scheme of placement of unregulated capacitor banks on the busbars of transformer points 10 kV and 0.4 kV of the distribution network showed that the maximum reduction of annual losses can be obtained by installing them on busbars 0.4 kV, which allows to obtain better effect of reactive power compensation in the distribution network and significantly reduce electricity losses and, accordingly, delay the construction of new power plants, which is an extremely important issue today.

Key words: reactive power compensation, capacitor banks, transformer substation, electrical distribution network, active power, reactive power, power losses

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Аналіз втрат електроенергії в розподільних мережах 10/0,4 кВ	10
1.2 Аналіз режимів роботи в розподільних мережах 10/0,4 кВ	13
1.3 Заходи щодо зниження втрат в мережах 10/0,4 кВ	17
1.4 Способи компенсації реактивної потужності в мережах 10/0,4 кВ	20
1.5 Проблеми компенсації реактивної потужності в міських мережах	23
1.6 Висновки до розділу 1	26
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	27
2.1 Визначення вхідних даних	27
2.2 Вибір потужності конденсаторних батарей	30
2.3 Вибір місця встановлення конденсаторної батареї	34
2.4 Висновки до розділу 2	36
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	37
3.1 Визначення вихідних даних для проведення розрахунку	37
3.2 Розрахунок втрат потужності у нормальному режимі	47
3.3 Вибір нерегульованих батарей статичних конденсаторів	50
3.4 Втрати електроенергії на шинах ТП 0,4 кВ при встановленні НБСК	51
3.5 Втрати електроенергії на шинах ТП 10 кВ при встановленні НБСК	54
3.6 Використання нерегульованих конденсаторних батарей на шинах трансформаторних пунктів 0,4 кВ	57
3.7 Висновки до розділу 3	59
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	60
4.1 Заходи безпеки при експлуатації пристроїв компенсації реактивної потужності	60
4.2 Захист персоналу у діючих електроустановках	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	69

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток сучасної енергетики ґрунтується на поліпшенні технічних і економічних параметрів силового обладнання, підвищення їх надійності, рівня автоматизації та пропускної спроможності лінії електропередачі при постійному підвищенні якості електричної енергії і, відповідно, зменшенням втрат. Одним із найважливіших на сьогоднішній день питань при зростанні споживаної потужності залишається проблема зниження втрат та підвищення пропускної здатності, що в свою чергу вимагає розробки заходів щодо оптимізації параметрів режиму мережі з відповідним їх технічним і економічним обґрунтуванням.

Зазначені проблеми оптимізації роботи міських розподільчих мереж не є чимось новим – вони розглядається вже на протязі довгого часу [1]. Зазвичай поставлені задачі оптимізації параметрів і режимів роботи потрібно вирішувати ще на стадії проектування, розвитку або реконструкції таких електричних мереж. На даний час усі міські розподільні мережі виконані у вигляді замикаючої ланки в енергетичній системі, яка забезпечує споживачів потрібною електричною енергією [2].

Варто відмітити, що сучасні міські поселення на теперішній час характеризуються доволі високою густиною електричних навантажень з питомою часткою споживання електричної енергії на малій території, що обумовлює збільшення втрат електричної енергії. В результаті доволі значного застосування електричних приймачів нового покоління, які споживають з мережі також і значну частку реактивної потужності поряд з активною потужністю, мають місце значні втрати електричної енергії в електромережах 10/0,4 кВ.

Відомо, що використання пристроїв компенсації реактивної потужності в електричних мережах дозволяє на досить високому рівні поліпшити технічні і економічні параметри електричної мережі [3]. Зокрема, метод компенсації реактивної потужності (КРП) за допомогою використання батарей статичних конденсаторів (БСК) є одним із найефективніших технічних заходів, який

дозволяє знизити втрати потужності і електричної енергії в розподільних електричних мережах 10/0,4 кВ міського типу.

В даний час стрімко зростають абсолютні і відносні втрати електричної енергії, де значну частку технічних втрат (до 60%) припадають на втрати від перетоків реактивної потужності, зокрема істотна частина припадає на розподільні мережі 10/0,4 кВ.

Хоча роботи по компенсації реактивної потужності продовжують виконувати, але питання місця встановлення конденсаторних батарей на сьогодні залишається невирішеним. Вважається, що найбільш доцільним місцем встановлення конденсаторних батарей є шини кожного трансформаторного пункту 10/0,4 кВ, але питання, на яких шинах - 0,4 чи 10 кВ - встановлення конденсаторних батарей буде найефективнішим, залишається актуальним.

Мета і завдання досліджень. Метою цієї кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності функціонування розподільних міських електромереж шляхом використання установок компенсації реактивної потужності з метою зменшення втрат потужності та оптимізації режиму напруги.

Для досягнення мети були поставлені та вирішені такі завдання:

- проведено аналіз методів розрахунку компенсації реактивної потужності та використання конденсаторних установок в розподільних електричних мережах, обґрунтовано необхідність розробки системи комплексного їх впровадження в ці мережі;

- складено дослідну схему з усередненими параметрами міської електричної мережі 10/0,4 кВ;

- проведено розрахунок втрат електроенергії на дослідній схемі без компенсації реактивної потужності, визначено потужність і кількість нерегульованих батарей статичних конденсаторів;

- проведено розрахунок втрат електроенергії з встановленням нерегульованих батарей статичних конденсаторів на шинах ТП 10 кВ і 0,4 кВ;

- на базі реальної схеми реальної ділянки міської мережі 10/0,4 кВ проведено аналіз даних за її навантаженням і параметрами;

- виконано моделювання схеми реальної ділянки міської електромережі та розрахунок втрат електричної енергії за допомогою програмного комплексу RastrWin для різних режимів;

- визначено річні втрати при встановленні нерегульованих батарей, обґрунтовано ефективність їх застосування на шинах ТП 10 кВ 0,4 кВ.

Об'єктом дослідження є режим роботи розподільної міської електричної мережі 10/0,4 кВ.

Предметом дослідження є оптимізаційні методи і моделі вибору місць встановлення компенсуючих пристроїв та процеси їх впровадження і використання в розподільних міських електричних мережах 10/0,4 кВ.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в запропонованій методиці визначення потужності і місця встановлення конденсаторів, розроблених заходах комплексного підходу до вирішення задачі компенсації реактивної потужності з використанням наявних засобів та методів регулювання.

Практичне значення одержаних результатів роботи. У кваліфікаційній роботі отримано наукові результати, які мають практичне значення щодо підвищення ефективності функціонування міських розподільних електромереж, в обґрунтуванні раціонального застосування пристроїв компенсації реактивної потужності в реальній електричній мережі 10/0,4 кВ, внаслідок чого отримано зниження втрат і забезпечення норм якості електроенергії.

Апробація результатів магістерської роботи.

Основні положення роботи і її результати доповідалися на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 25-26 листопада 20120 р. (м. Тернопіль)

Публікації.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 1 тезу доповідей «Математична модель системи управління насосної установки». Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 лист. 2020) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]: ТНТУ, 2021 – Т.2, С. 129-130.

Структура роботи.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (28 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини: 71 сторінка, 9 таблиць, 28 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз втрат електроенергії в розподільних мережах 10/0,4 кВ

Величина втрат електричної енергії в міських електромережах є одним із основних показників їх роботи, наочне відображення стану системи обліку електричної енергії, ефективної роботи організації енергопостачання [1].

Розподільні електромережі 10/0,4 кВ представляють собою замикаючу ланку енергосистеми, що забезпечує споживачів електричною енергією. Працездатність цих мереж в багатьох випадках визначає надійність, ефективність та якісну роботу в цілому загального електроенергетичного комплексу.

Актуальною на сьогоднішній день залишається проблема зниження втрат енергії в електромережах, так як дозволяє визначити ефективність роботи будь-якого електромережевого підприємства, де в якості критерію такої ефективності виступає зниження величини втрат при передачі та розподілі електричної енергії [4]. Аналіз структури втрат енергії в мережах проводили різні дослідники та організації, а усереднені результати цих досліджень показано на рис. 1.1



Рисунок 1.1 – Структура втрат електроенергії в мережах 10/0,4 кВ, %

Аналіз рис. 1.1 показує, що навантажувальні втрати електричної енергії в розподільних мережах складають в середньому 70%, а втрати холостого ходу в трансформаторах становлять 30% від загальної кількості втрат енергії. Зазначене співвідношення електричних втрат в міських мережах пояснюється

тим, що активна складова опору в лініях електропередачі суттєво вища ніж в трансформаторах, а також високим завантаженням обладнання електромереж повним навантажувальним струмом.

Втрати електричної енергії є невід'ємною складовою при генерації, передачі та розподілі цієї енергії [5]. Основною проблемою передачі і розподілу електричної енергії завжди спостерігається і є проблема зниження втрат енергії в електромережах всіх класів напруги. Зважаючи на умови ринкової економіки, де параметр величини втрат електричної енергії має надзвичайно важливе значення, так як напряду пов'язаний із собівартістю генерації та передачі, тарифами на електроенергію, енергозбереженням та іншими складовими, які визначають ефективність діяльності усіх підприємств електроенергетичної галузі, а також інших галузей промисловості [5].

Будь-які заходи, які дають ефект зниження втрат електроенергії, можуть бути застосовані для підвищення пропускнуєї спроможності, технічного переоснащення, реконструкції та збільшення надійності роботи електромереж.

Схеми постачання міських електромереж 10/0,4 кВ мають деякі відмінності від схем електропостачання промислових підприємств. оскільки в міських розподільчих мережах в більшості випадків схеми електропостачання виконані за радіальним типом з двостороннім живленням, розімкнутою перемичкою та автоматичним вимикачем резерву (АВР) [5]. Зростання забудови міських поселень вимагає також відповідного розвитку розподільних електромереж, які основного елементу системи електропостачання будь-якого міста.

В даний час в містах України і, зокрема на досліджуваному об'єкті в м. Чорткові, спостерігається зростання індивідуального житлового будівництва зі значним навантаженням. Так як житлові масиви займають великі території, то з економічних міркувань їх електропостачання здійснюється в більшості випадків кабельними лініями.

Швидкі темпи розвитку економіки, промисловості, будівництва сучасних житлових будинків, торговельно-розважальних центрів та міської інфраструк-

тури дають поштовх до розвитку розподільчих електричних мереж, включаючи деякі особливості, які характерні тільки для міських мереж. У цьому випадку міські розподільні мережі можна охарактеризувати наступним чином:

- високим завантаженням за струмом повітряних і кабельних ліній;
- високим завантаженням за струмом трансформаторів;
- нерівномірним завантаженням кабельних і повітряних ліній;
- різною віддаленістю споживачів від трансформаторних і розподільних пунктів.

Основна частина ЛЕП в міських електричних мережах напругою від 0,4 до 10 кВ припадає на розподільні лінії 10/0,4 кВ, що становить біля 80%. Отже, відносно велика довжина основної частки навантажувальних втрат припадає на мережі 10/0,4 кВ [6].

Базовий ефект щодо зниження технічних втрат електроенергії можна отримати за рахунок виконаної реконструкції, технічного переоснащення, підвищення пропускної здатності електромереж, їх надійної роботи та збалансованості режимів, тобто за рахунок суттєвих капіталомістких заходів з довгостроковими термінами [7].

Величина втрат від перетікання реактивної потужності в елементах електромережі може становити до 40% від втрат активної потужності (біля 10%). За даними [4], Реактивна потужність, яка споживається в режимах найбільших навантажень за нормальних умов роботи мережі, десь в 2 рази більша від загальної встановленої активної потужності генераторів електростанцій.

В даний час в сучасних містах спостерігається інтенсивне зростання індивідуального житлового будівництва, де присутнє значне питомиє навантаження в електромережах і, відповідно, доля втрат в міських мережах 10/0,4 кВ збільшилася. Реактивна потужність, яка на даний час споживається в містах, становить біля 70% від максимальної споживаної активної потужності навантаження і в подальшому буде зростати. Збільшення індуктивного навантаження є наслідком використання побутових і технологічних електроприладів нового покоління, яке споживає багато реактивної потужності.

Варто відмітити, що не дуже часто на сьогоднішній момент застосовуються пристрої компенсації реактивної потужності у розподільних мережах комунально-побутових споживачів з однофазним навантаженням, що змінюється за індивідуальним режимом. Зважаючи на те, що за останні роки витрата електричної енергії на 1 м² міської житлової площі зросла втричі, середньозважена потужність силових трансформаторів міських електромереж досягла 330 кВА, зона використання їх трансформаторної потужності також зросла і знаходиться в межах 300-450 кВА, то необхідність застосування компенсаторів реактивної потужності є актуальною задачею [7].

1.2 Аналіз режимів роботи в розподільних мережах 10/0,4 кВ

Основними проблемами сучасної енергетики є проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування енергосистем і, відповідно, зменшення втрат електричної енергії [1]. Використовуючи програмне моделювання, за допомогою оптимізації можна вирішити багато проблем.

Розроблені на сьогоднішній день методи оптимізації на в повній мірі відображають дійсні умови в електромережах та не враховують усі їх особливості [1]. Вони дозволяють розробити створити та максимально наблизити її реальних умов. Тоді завдання оптимізації полягає у плануванні та створенні найбільше наближеного до реальних умов процесів моделювання.

Щоб задовільнити критерій економічної оптимальності при оптимізації енергетичних систем необхідно вибрати оптимальний варіант розвитку системи. Ці критерії оптимізації розвитку енергосистем базуються на скороченні витрат на розвиток системи та її функціонування.

Більшість питань функціонування можна вирішити, використовуючи системний підхід, який при пошуку варіанту має відповідати наступним вимогам:

- 1) розроблений алгоритм послідовності порядку дій;
- 2) можливості поєднання воедино різних алгоритмів;
- 3) наявність повної інформації про досліджуваний об'єкт.

Враховуючи системний підхід до підготовки алгоритмів, значно складнішим випадком при створенні оптимального варіанту є наявність неповної та неточної інформації щодо досліджуваного об'єкту. При цьому системний підхід виступає методом постановки задач, а не засобом для вирішення задач [7].

Оптимізація режиму передбачає пошук екстремуму деякої цільової функції при виконанні накладених обмежень [8]. Задачі оптимізації можна розділити на технічні, економічні та техніко-економічні. Відповідно до кількості обмежень, їх нелінійністю, а також розмірністю сформованої задачі знаходження оптимуму можна виконувати, використовуючи різні методи: градієнтним, невизначених множників Лагранжа, прямим, і ін.

Вирішення основних завдань при оптимізації режиму:

1) оптимізація режиму електромережі з метою зменшення сумарних втрат активної потужності в мережі - оптимальний вибір потужності та місця розміщення компенсуючих пристроїв (градієнтний метод);

2) комплексна оптимізація - знаходять потужності і місця розміщення компенсуючих пристроїв, модулів та фаз напруги у всіх вузлах при врахуванні технічних обмежень;

3) здійснюють вибір оптимального складу технічного обладнання.

Проведення розрахунку оптимального режиму - це знаходження такого режиму, коли отримуємо мінімум цільової функції $F(x, y) = \min$, в якості якої для оптимізації режиму приймають втрату електроенергії, а також і витрати на генерацію та передачу [9].

При вирішенні часткової задачі оптимізації режиму електромережі за напругою, реактивною потужністю і коефіцієнтом трансформації в якості цільової функції беруть мінімум загальних втрат активної потужності в електромережах: $\Delta P_{\Sigma} = \min$. Після багаторазових розрахунків, де загальні втрати активної потужності мінімальні та витримані певні технічні обмеження:

- напруга в усіх вузлах не має виходити за технічно допустимі значення відповідно до закону зустрічного регулювання напруги;
- поточкорозподіл має відповідати пропускну здатності електромережі;

- потужність компенсуючих пристроїв має бути в межах технічно допустимих значень.

Залежно від поставленої задачі, кожне із завдань оптимізації можна вирішувати різними методами, або будь-який метод можна застосовувати для розв'язку багатьох задач.

Використовують наступні методи оптимізації:

- скалярний (оптимізація за одним критерієм);
- векторний (оптимізація за багатьма критеріями);
- аналітичний (диференціальне числення, варіаційне числення та ін.);
- обчислювальний (математичне програмування).

Задача оптимізації режиму мережі за реактивною потужністю і напругою (задача зменшення втрат) не завжди вирішується в повному обсязі через відсутність відповідних засобів регулювання та управління режимом. В деяких випадках відсутні потрібні резерви реактивної потужності, відсутні або є недостатніми засоби регулювання напруги, автоматичні регулятори напруги на трансформаторах, які деколи працюють ненадійно - на практиці їх намагаються не використовувати при здійсненні автоматичного управління режимом.

Оптимізацію режиму мережі зазвичай виконують з урахуванням наявних засобів управління та реактивної потужності. Відповідно в інженерній практиці велике значення отримали часткові задачі оптимізації режиму електромережі за напругою та реактивною потужністю. Ці часткові задачі необхідно вирішувати за допомогою автоматизованої системи диспетчерського управління на різних рівнях часового і територіального розподілу диспетчерського управління. Окремий розв'язок кожної з цих часткових задач оптимізації режиму електромережі за напругою і потоком реактивної потужності дає відносні мінімуми втрат потужності і є досить важливим та доцільним у певних випадках.

Рівень напруги в мережі живлення представляє собою деяке усереднене його значення для електромережі даного ступеня трансформації в цілому або певної її частини чи окремої лінії. Уява про рівень напруги є настільки необхід-

ною і доцільною, що його регулювання виступає в якості найефективніших заходів з метою зниження втрат активної потужності мережі живлення.

При підвищенні рівня напруги можна добитися зменшення втрат потужності в мережі. Для прикладу візьмемо навантажувальні втрати потужності у вихідному режимі у відносних одиницях $\Delta P_n = 1$. Тоді навантажувальні втрати при підвищенні напруги на величину ΔU можна оцінити таким чином:

$$\Delta P_{\Delta U} = \frac{1}{(1 + \Delta U)^2} = \frac{1}{1 + 2\Delta U + \Delta U^2}. \quad (1.1)$$

Знехтуємо ΔU^2 в останньому виразі в знаменнику як малою величиною і помножимо чисельник та знаменник на $1 - 2\Delta U$. Тоді отримаємо:

$$\Delta P_{\Delta U} = \frac{1}{1 + 2\Delta U} = \frac{1 - 2\Delta U}{1 - (2\Delta U)^2}. \quad (1.2)$$

Якщо ще раз знехтувати в знаменнику величиною $(2\Delta U)$, то при в цьому випадку навантажувальні втрати можна записати наступним чином:

$$\Delta P_{\Delta U} = 1 - 2\Delta U. \quad (1.3)$$

При одночасному збільшенні всіх напруг на ΔU на підставі виразу для втрат в поперечній індуктивності відносні втрати холостого ходу можна визначити наступним чином:

$$\Delta P_{\Delta U} = (1 + 2\Delta U)^2. \quad (1.4)$$

Якщо знехтувати в формулі (1.4) значенням ΔU^2 , то отримаємо:

$$\Delta P_{\Delta U} = 1 - 2\Delta U. \quad (1.5)$$

Отже, навантажувальні втрати при підвищенні рівня напруги будуть зменшуватися. При збільшенні всіх напруг на величину ΔU втрати холостого ходу в трансформаторах зростуть відповідно приблизно на $2\Delta t$. Необхідно відмітити, що втрати холостого ходу в трансформаторах залежать не від рівня напруги в мережі, а від підведеної до їх відгалуження напруги.

1.3 Заходи щодо зниження втрат в мережах 10/0,4 кВ

Зазвичай оптимізація управління режимами енергетичних систем є надзвичайно складною задачею оптимізації з багатьма обмеженнями і змінними. При вирішенні таких задач в більшості випадків використовують метод декомпозиції, який зводить вирішення загальної задачі до розв'язку часткових задач оптимізації. Ці часткові задачі ієрархічно пов'язані і поділяються в часовому, територіальному або в випадковому рівні. Відповідно часового аспекту можна виділити задачі довгострокового, короткострокового, оперативного і автоматичного управління режимами енергетичних систем [9].

Базовим критерієм на початку оптимізаційного процесу є наявність вихідного допустимого за напругою режиму [1]. Такий алгоритм має два логічних блоки: перший знаходить допустимий за напругою режим, а другий виконує оптимізацію режиму розподільних мереж. Сталий режим є допустимим у тому випадку, коли відхилення напруги у всіх його вузлах живлення 10 і вузлах 0,4 кВ робочих трансформаторів 10/0,4 кВ коливається в межах $\pm 5\%$ від номінального. Коли нема вихідного допустимого режиму, його знаходять за допомогою 1-го блоку обчислення допустимого режиму, який складається з 3-х субблоків: перший знаходить допустимий режим регулюванням відгалуженнями трансформаторів 10 кВ, другий - встановленням конденсаторних батарей в трансформаторних вузлах 10 кВ, а третій здійснює регулювання відгалуження робочих трансформаторів 10 кВ. Якщо не вдалося отримати допустимий режим, то процес завершується і знайдений режим є ближчим до допустимого, ніж вихідний. У випадку визначення допустимого режиму розпочинається процедура оптимізаційного процесу.

При допомозі регулювання відгалуженням розподільних трансформаторів 10 кВ здійснюється зниження втрат електричної енергії в мережах [11]. Далше встановлюють конденсаторні батареї на шинах 10 кВ або вводах 0,4 кВ силових трансформаторів. Для реалізації зазначеної моделі використовують метод координатного спуску.

Технічні заходи в електромережах живлення передбачають встановлення компенсуючих установок. Для енергетичних систем з недостатньою кількістю реактивної потужності компенсуючі пристрої використовуються в якості засобів регулювання напруги. Бувають випадки, коли навіть при нормальному рівні напруги є доцільним встановлення компенсуючих пристроїв, оскільки це дозволить знизити втрати потужності в електромережі [3]. Встановлення батарей конденсаторів (БК) вважається найефективнішим способом зниження втрати потужності.

Одним із основних організаційних заходів зниження втрат електричної енергії вважається оптимізація режиму електромережі живлення за реактивною потужністю, напругою та коефіцієнтом трансформації є [1]. У цьому випадку під час оптимізації необхідно визначити усталений режим електромережі, при якому втрати активної потужності і технічні обмеження в цій мережі зводяться до мінімуму.

Відомо, що розподільні електромережі напругою 10 кВ виконані за радіальним типом електропостачання, тобто в них практично неможливе управління потоками активної потужності при пошуку оптимального режиму. В цьому випадку найкращим способом оптимізації режимів розподільних електромереж 10 кВ вважається управління потоками реактивної потужності за допомогою встановлення джерела реактивної потужності у вузлах навантаження.

Підвищення економічності електропостачання та поліпшення якості енергії для потреб споживачів в розподільних електричних мережах є основними задачами оптимізації режимів електромережі.

Основна маса промислових підприємств та комунально-побутових споживачів на даний мають високе питома споживанням реактивної потужності, тобто високе навантаження по струму розподільних мереж 10 кВ, що зумовлює високий рівень навантажувальних втрат за рахунок протіканням активного і реактивного струму [11].

Отже, основною метою оптимізації режиму в міських розподільних електромережах є зниження втрат електричної енергії знаходженням оптимальної

потужності та вибору місць встановлення компенсуючих пристроїв в електромережах з дотриманням граничних рівнів відхилення напруги та балансу реактивної потужності [1].

Під час експлуатації енергетичних системи необхідно забезпечити оптимальні умови роботи електромережі з метою зниження експлуатаційних витрат на передачу та розподіл електричної енергії. Можна виділити наступні традиційні способи оптимізації:

- мінімізація втрат активної потужності при змінних потоках реактивної потужності;
- мінімізація потужності регулюванням напруги на джерелах живлення;
- мінімізація втрат активної потужності зміною потоків реактивної потужності;
- мінімізація потужності при встановленні компенсуючих пристроїв на шинах низької напруги підстанцій або трансформаторів.

Так як реактивна складова завжди присутня в роботі більшості промислових пристроїв, то її виключена повністю неможливо, але варто застосовувати засоби для зменшення її споживання з електромережі живлення.

Іноді згенерована в електричному колі реактивна енергія буває рівною споживаній реактивній енергії. Враховуючи те, що більшість промислового обладнання споживає реактивну енергію, то необхідність в реактивній потужності перевищує можливості покриття її стандартним методом за допомогою генераторів на електростанціях [12]. Потрібно виконати дослідження додаткового обладнання, яке подає в енергосистему реактивну потужність. Таким обладнанням, або компенсаторами, можуть бути синхронні компенсатори і двигуни, батареї конденсаторів та статичні джерела реактивної потужності. Якщо брати до уваги номінальне навантаження, то генератори дають біля 60% необхідної реактивної потужності, ЛЕП з напругою вище 110 кВ – біля 20%, виробляють, розташовані на підстанціях (або у споживачів) компенсуючі пристрої також генерують біля 20%.

Виконані аналітичні дослідження показують, що технічно і економічно доцільно встановлювати джерела покриття реактивної потужності поряд з місцями її споживання та зменшувати отримувану реактивну потужність з енергетичної системи. Такі засоби дозволить значно розвантажити живлять лінії живлення електропередачі та силові трансформатори від реактивної потужності [14].

1.4 Способи компенсації реактивної потужності в мережах 10/0,4 кВ

Основними параметрами при роботі електромереж та систем електропостачання є зазвичай реактивна потужність та напруга. Реактивна потужність виступає непродуктивною частиною повної потужності та завантажує мережу додатковим струмом, тобто викликає додаткові втрати, зменшує пропускну здатність ЛЕП, впливає на режими роботи та рівень напруги.

Більшість цих втрат становлять технічні втрати, викликані протіканням струму проводами і обмотками трансформаторів та перемагнічуванням в трансформаторах і електродвигунах [14].

Близько 60% технічних втрат припадають на втрати від перетоків реактивної потужності, зокрема на розподільні мережі 10/0,4 кВ. Це можна пояснити недостатністю реактивної потужності в вузлах навантажень, що створює труднощі при забезпеченні нормованих рівнів напруги для споживачів [14].

Бачимо, що рівень втрат в електромережах постійно зростає, відповідно, на перспективу оптимізація режимів електромереж за реактивною потужністю та регулюванням напруги залишається актуальною задачею.

Так як зі сторони енергопостачальних організацій поставлено жорсткі вимогами щодо підвищення коефіцієнта потужності, то системи електропостачання пром підприємств повинні бути оснащеними конденсаторними установками [11].

Достатньо відомі на даний час заходи щодо зниження втрат електроенергії в електромережах. При додаткових капіталовкладеннях на оптимізацію

конфігурації мереж, зменшенням радіусу їх дії і збільшення перетину дроту, а також застосуванням конденсаторних батарей та засобів місцевого регулювання можна добитися зниження втрат електричної енергії від перетікань реактивної потужності в розподільних електромережах 0,4-10 кВ [14]. Тобто для вирішення цього завдання необхідно використовувати конденсаторні батареї, застосування яких в розподільних електромережах 10/0,4 кВ є ще недостатнім.

Огляд літературних за тематикою компенсації реактивної потужності в розподільних мережах показав, що в більшості випадків зазвичай розглядається установка нерегульованих конденсаторних батарей та виконується оптимізація їх розміщення в вузлах складної замкнутої електрмережі. Для мінімального і максимального режимів виконують розрахунки з перевіркою відповідності нормованих значень рівнів напруги для споживачів. Але цей підхід не забезпечує повного вирішення задачі і при зміні схеми мережі потрібно виконувати перерахунки [14].

Встановлення конденсаторних батарей на шинах кожного трансформаторного пункту 10/0,4 кВ в вважається найбільш реальною і технічно досяжною умовою, де необхідно вирішити завдання щодо визначення потужності конденсаторів з можливістю їх регулювання. В цьому випадку визначають економічний ефект не тільки за рахунок зниження втрат електроенергії від перетоків реактивної потужності, а також за рахунок зростання активної потужності генераторів електростанцій, збільшення пропускної спроможності ЛЕП і трансформаторів, будівництва нових ТП і ін. [14].

Конденсаторні батареї вважаються найефективнішим пристроєм компенсації реактивної потужності в міських електромережах. Якщо встановлювати компенсуючі пристрої у вузлі навантаження або біля споживача, то можна досягнути максимального зниження втрат. Тому місця встановлення конденсаторних батарей можуть бути наступними:

- біля побутових електричних приймачів;
- в щитках сходових майданчика (біля квартирних лічильників електроенергії);

- в кабельних силових ящиках багатоповерхових будинків;
- на шинах 0,4 кВ трансформаторних підстанцій.

При встановленні компенсуючих пристроїв в перерахованих місцях потрібно вирішити також додаткові проблемні завдання, які досить важко реалізувати практично.

До найефективніших технічних заходів по зниженню втрат потужності і електричної енергії в розподільних електромережах міського типу відноситься компенсація реактивної потужності, яку виконують за допомогою встановлення батарей статичних конденсаторів. Практичне використання батарей статичних конденсаторів знаходиться поки що отримало широкого розповсюдження, а в міських розподільчих мережах 10/0,4 кВ вони практично не використовуються, оскільки відсутні затверджені методики вибору та місця розміщення цих батарей. Але для вирішення цієї проблеми вже здійснюються перші кроки.

В загальному випадку конденсаторна установка складається зі звареної каркасної металоконструкції, в якій знаходиться обладнання управління, вимірювання та сигналізації (рис. 1.2).

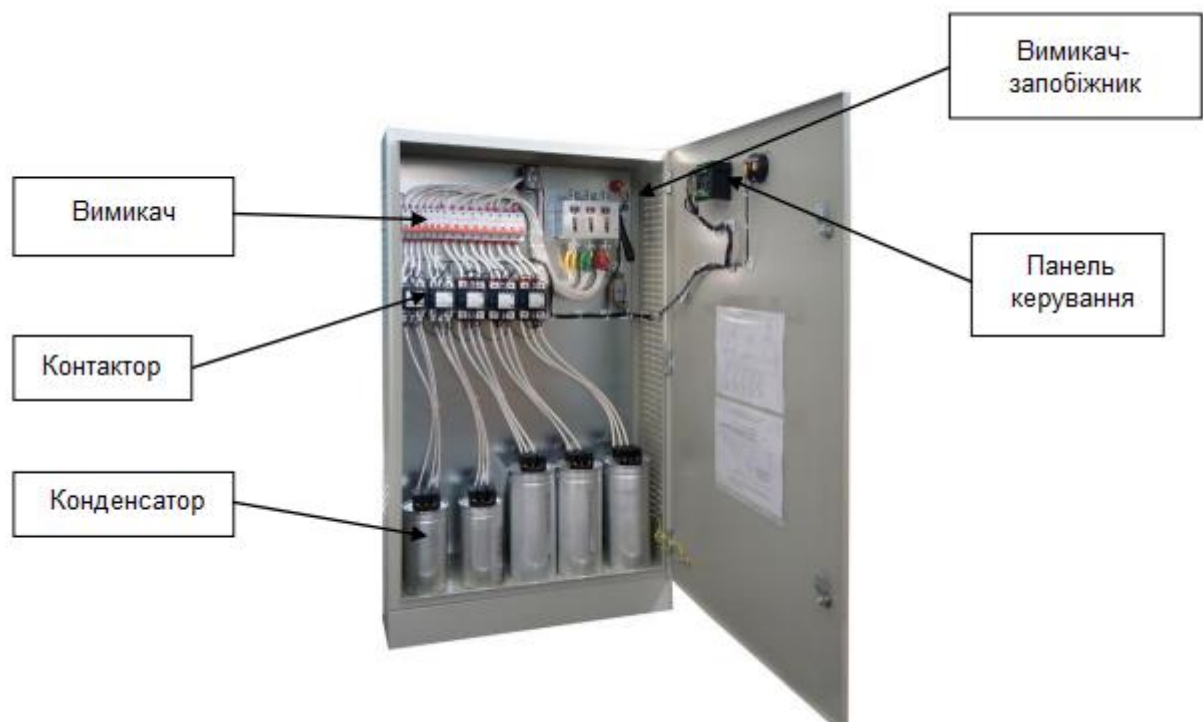


Рисунок 1.2 - Шафа батареї конденсаторів

На дверцятах шафи знаходиться вимикач головного кола. Всередині шафи знаходиться ввідний автомат, запобіжники для захисту конденсаторів, конденсатори на задану номінальну потужність і розрядні резистори.

Розміщення конденсаторів і контакторів виконано в модулях, які з'єднані між собою і проводами за певною схемою в залежності від величини потужності ступені. Модульне розміщення конденсаторів і контакторів дозволяє при необхідності легко їх замінити. Плавкими запобіжниками здійснюється захист установки від струмів короткого замикання. У випадку декомпенсації мережі паралельно з конденсаторами можна підключити і компенсуючі дроселі.

Надійність роботи конденсаторної установки забезпечується використанням екологічних нешкідливих трифазних силових конденсаторів, що можуть самовідновлюватися після пробою в діелектрику.

1.5 Проблеми компенсації реактивної потужності в міських мережах

Доволі довго не звертали достатньої уваги щодо проблем компенсації реактивної потужності в розподільних електромережах напругою 0,4 - 10 кВ. Це можна пояснити тим, що комунально-побутове навантаження має в більшості випадків активний характер діючих електроприймачів, зокрема лампи розжарювання, електричні плити, електричні нагрівачі і ін.). Але внаслідок масового розповсюдження сучасних електричних приймачів (мікрохвильовок, кондиціонерів, люмінесцентних світильників, комп'ютерів і ін.), які нарівні із активною потужністю споживають з мережі живлення також досить реактивної потужності, суттєво і кардинально змінився характер комунально-побутового навантаження [9].

Так як споживачі не мають чіткої уяви про значення реактивної енергії в мережі та її негативних наслідків, то її компенсація в міських електромережах на даний час не приймається до уваги, оскільки відсутні стандартні методики, рекомендації з розрахунку, налагодження та монтажу.

Доволі довгим і дорогим процесом є здійснення компенсацію реактивної потужності безпосередньо у споживача, але він вважається найбільш ефектив-

ним. З метою отримання швидкого та відчутного результату спочатку необхідно виконати компенсацію реактивної потужності на підстанціях для розвантаження мережі, що дозволить отримати енергозбереження в межах до 20%. Перед цим на підстанціях в електромережах 0,4 кВ здійснюють вирівнювання навантажень фаз шляхом перемикання частини споживачів з перевантажених фаз на недовантажені [13]. Для деяких непромислових споживачів, наприклад, житлові будинки з однофазним навантаженням, таке вирівнювання фаз виконати неможливо через непостійну величину характер навантаження. В даному випадку компенсацію реактивної потужності необхідно проводити на кожній окремій фазі: тут враховують гармонійні складові і пристрої компенсації реактивної потужності повинні бути обладнані фільтрами з автоматичним регулюванням ємності. Відповідно, необхідно технічно правильно провести підбір фільтро-компенсуючого пристрою.

Отже, при вирішенні задачі компенсації реактивної потужності проводять роботу, яка складається з наступних кроків:

1. *Централізована компенсація* - здійснюється на підстанціях, включаючи моніторинг параметрів якості електричної енергії, вирівнювання фаз, фільтрацію струму і пристрій компенсації реактивної потужності.

2. *Індивідуальна компенсація* - на рівні кожної квартири або паралельно до навантаження, за допомогою підключення пристроїв компенсації реактивної потужності. Цей крок дозволяє забезпечити синусоїдність струму, тобто суттєво зменшити технічні втрати. Аналогічні заходи виконуються також всередині електричних установок будівель.

Проведений аналітичний аналіз щодо компенсації реактивної потужності в комунально-побутових мережах, яким притаманні високі мережеві втрати, показує, що навіть елементарні технічні рішення, зокрема, використання нерегульованих батарей конденсаторів, можуть бути економічно ефективними [15].

Отримати максимальний економічний ефект від компенсації реактивної потужності можна шляхом встановлення однофазних конденсаторів у відхідних від електролічильника кабельних лініях в квартири чи будинки. Таке технічне рішення

дуже важко реалізувати із-за балансового розмежування між електричною компанією і власником квартири, яке знаходиться або в трансформаторній підстанції зі з сторони 0,4 кВ або в кабельних ящиках 0,4 кВ. Варто відмітити, що електричною компанією не проявляють зацікавленості в проведенні будь-яких заходів щодо зниження втрат електричної енергії.

У розподільних електромережах комунально-побутового характеру з однофазним змінним індивідуальним режимом навантаження пристрої компенсації реактивної потужності майже не застосовуються. Але, враховуючи втричі збільшену за останні роки витрату електроенергії на 1 м² міської житлової площі та зростання середньої статистичної потужності силових міських трансформаторів до 330 кВА і збільшення зони використання їх трансформаторної потужності до 300 - 450 кВА, то бачимо очевидну необхідність застосування компенсації реактивної потужності [16].

Проведений вище аналіз розрахунків показали, що 70% загальної потужності конденсаторних установок доцільно встановлювати в мережах 0,4 кВ, 25% - в мережах 10 кВ. Це дозволить забезпечити мінімальні сумарні витрати на конденсаторні установки і на втрати електричної енергії у мережах в загальному [11].

Найбільш доцільною вважається система розподіленої компенсації реактивної потужності в місцях перетворення енергії, зокрема на об'єктах споживання електричної енергії [16].

Вибір і розміщення обладнання для компенсації реактивної потужності в електромережах виконують, виходячи з умов необхідності забезпечення потрібної пропускної спроможності електричної мережі в нормальних і після-аварійних режимах та збереженні необхідних номінальних рівнів напруги і величини стійкості навантаження споживачів [11].

1.6 Висновки до розділу

Отже, враховуючи розглянуті готові технічні рішення та виконаний аналітичний огляд наявних літературних джерел, можна зробити такі висновки.

1. Для отримання найбільшого ефекту від оптимізації реактивної потужності компенсуючі пристрої доцільно встановлювати на шинах трансформаторних підстанцій низької напруги з метою зниження загальних втрат в її елементах та регулювання напруги на шинах цих підстанцій.

2. Необхідно максимально наблизити компенсуючі пристрої до місця споживання реактивної енергії для зменшення отримання реактивної потужності з енергосистеми і збільшення пропускної здатності лінії.

3. Необхідно встановлювати компенсуючі пристрої безпосередньо біля споживача, що дозволить зменшити потоки реактивної потужності у всіх елементах мережі від джерел живлення до споживачів, знизити втрати електроенергії та покращити техніко-економічні показники системи електропостачання.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Визначення вхідних даних

Сьогодні найефективнішим способом зниження втрат потужності та електричної енергії в міських електромережах 10/0,4 кВ є компенсація реактивної потужності (КРП) за допомогою встановлення батарей статичних конденсаторів (БСК). Але варто відмітити, що практичне використання БСК в розподільних мережах не отримало широкого розповсюдження [1].

Спробуємо розмістити нерегульовані конденсаторні батареї на дослідній типовій схемі, а потім перевірити отриманий результат на схемі реальної електричної мережі. Для формування рекомендацій щодо визначення найоптимальнішого встановлення конденсаторних установок на шинах 0,4 або 10 кВ, необхідно провести дослідження типової схеми, розрахувати потужність конденсаторних установок і вибрати найефективніше місця встановлення.

Для дослідження візьмемо типову характерну схему живлення будь-якого комунально-побутового навантаження по розподільчому фідеру і фідеру живлення 10 кВ від понижуючої підстанції 110/10 кВ до трансформаторного пункту 10/0,4 кВ (рис. 2.1).

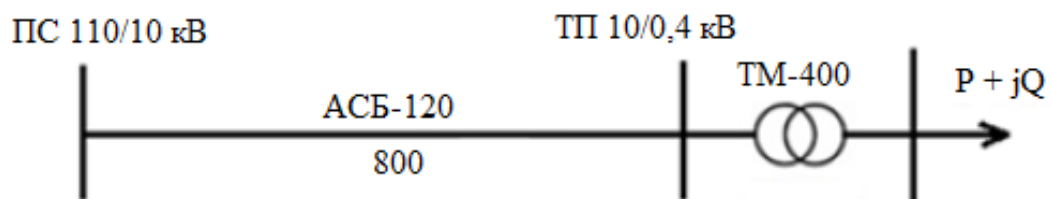


Рисунок 2.1 – Типова схема мережі 10 кВ

Для проведення розрахунку приймаємо наступні вихідні дані:

- ТП 10/0,4 кВ живиться від ПС 110/10 кВ через фідер кабельною лінією маркою АСБ-3х120 (загальна довжина 800 метрів);

- на ТП 10/0,4 кВ встановлено масляний трансформатор ТМ-400.

Дані для визначення втрат потужності представлені в табл. 2.1 і 2.2.

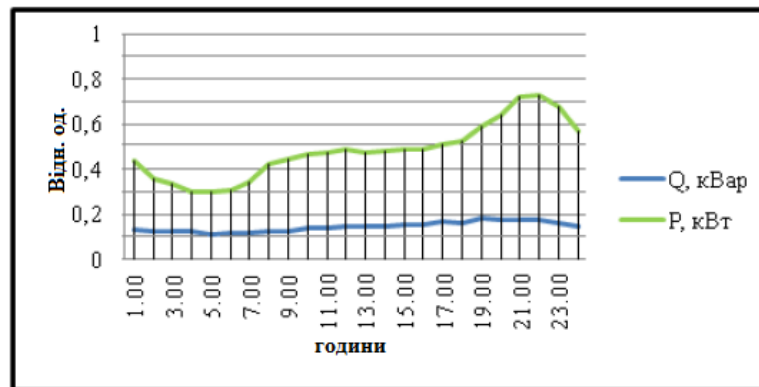
Таблиця 2.1 – Параметри типової електромережі

Довжина, м	Марка дроту	r_0 , мОм/км	x_0 , мОм/км	R, Ом	X, Ом
800	АСБ-120	0,258	0,081	0,206	0,064

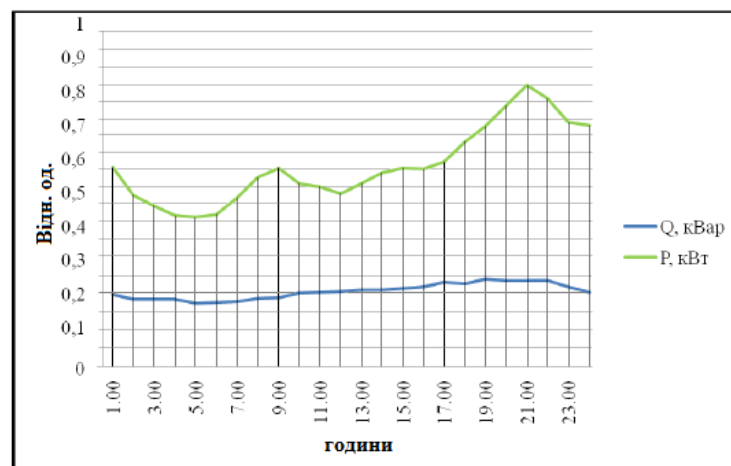
Таблиця 2.2 – Параметри трансформаторної підстанції

Сном, кВА	R, Ом	X, Ом	$\Delta P_{кз}$	$\Delta P_{хх}$
400	1,24	3,86	5,5	1,05

В якості добових графіків електричних навантажень з літератури [1] було взято середньостатистичні графіки для літнього та зимового періодів. Ці графіки використовуються тільки для розрахунку електромереж 10/0,4 кВ і побудовані шляхом сумування середніх графіків у відносних одиницях (рис. 2.2).



а)

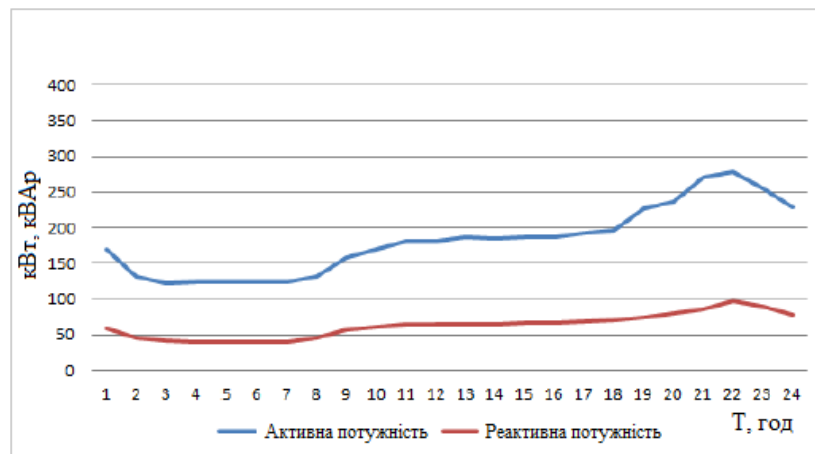


б)

Рисунок 2.2 – Середньостатистичний графік навантаження: а) літо; б) зима

З аналізу добового графіка видно, що реальний характер зміни реактивної потужності є майже прямої форми, тоді як активна потужність має відносно

змінний характер зміни протягом доби. Бачимо, що в період з 8 .00 до 17.00 години споживання активної потужності є відносно стабільним, а в період з 18.00 до 24.00 години можна спостерігати найбільше значення навантаження. Це пояснюється найбільшим споживанням активної потужності в зазначений час, тобто в цей період споживачі використовують побутові електроприймачі, що викликає збільшення навантаження. З 01.00 до 7.00 години споживання активної та реактивної потужності спадає до мінімуму, тобто працюють тільки споживачі, які мають відносно постійний характер споживання протягом доби (рис. 2.3).



а)



б)

Рисунок 2.3 – Графік навантажень: а) літо; б) зима

2.2 Вибір потужності конденсаторних батарей

Розрахунок втрат електроенергії в нормальному режимі

Виконаємо розрахунок втрат електроенергії для типової схеми в режимі без компенсації реактивної потужності. Втрати електричної енергії в електромережі можна знайти як сума втрат в лінії і трансформаторах за наступною формулою:

$$\Sigma \Delta W = \Delta W_{л}(T) + \Delta W_{тр}(T), \quad (2.1)$$

$$\Delta P_{л} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R - \text{втрати в лінії,}$$

де

$$\Delta P_{тр} = \Delta P_{xx} + \Delta P_{к} \left(\frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{S_{ном.тр}} \right)^2 - \text{втрати в трансформаторах.}$$

Визначимо втрати електричної енергії за виразом (2.1) без компенсації реактивної потужності.

Для літнього сезону:

$$\Delta P_{л} = \frac{186^2 + 63,5^2}{10^2} \cdot 0,206 = 220,21 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{тр} = 0,83 + 5,5 \cdot \left(\frac{\sqrt{186^2 + 63,5^2}}{400} \right)^2 = 93,5 \text{ кВт};$$

$$\Sigma \Delta P = 220,21 + 93,5 = 313,81 \text{ кВт}.$$

Для зимового сезону:

$$\Delta P_{л} = \frac{241,8^2 + 80,6^2}{10^2} \cdot 0,206 = 332,12 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{тр} = 0,83 + 5,5 \cdot \left(\frac{\sqrt{241,8^2 + 80,6^2}}{400} \right)^2 = 114,5 \text{ кВт};$$

$$\Sigma \Delta P = 332,12 + 114,5 = 446,6 \text{ кВт}.$$

Річні втрати електричної енергії можна визначити за формулою:

$$\Sigma \Delta W_{\text{рік}} = 165 \cdot \Delta P_{\text{літо}} + 200 \cdot \Delta P_{\text{зима}} = 165 \cdot 313,81 + 200 \cdot 446,6 = 141094,2 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (2.2)$$

Вибір потужності нерегульованих батарей статичних конденсаторів

Аналіз спостереження за добовими графіками навантажень показав, що компенсація реактивної потужності за допомогою нерегульованих конденсаторних батарей більше 50 відсотків викликає зворотній ефект збільшення втрат в години нічного мінімуму, тобто перекомпенсації в силових трансформаторах. Згідно цих даних вибирати потужність нерегульованої конденсаторної батареї потрібно за добовим графіком навантаження. Оптимальна величина ступені компенсації реактивної потужності не повинна бути вищою за 50% від максимального значення Q_n , яке фіксується за добу, а також не перевищувати мінімальне значення Q_n , тобто при виборі засобів компенсації і їх режимної роботи в розподільній електромережі повинна виконуватися наступна умова:

$$Q_{\text{ку}} \leq Q_{\text{min}} \leq 50\% \cdot Q_{\text{max}}. \quad (2.3)$$

Приймаючи до уваги графік навантажень літнього сезону, коли маємо мінімальне споживання реактивної потужності, (рис. 2.2, а), розрахуємо оптимальну потужність нерегульованих конденсаторних батарей (НКБ), які пропонує київське ТОВ «Електросфера» [17] і занесемо ці дані в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – *Вибрані нерегульовані конденсаторні батареї*

Місце встановлення НКБ	Тип виконання	Номінальна напруга, кВ	Номінальна потужність, кВАр	Вартість, грн.
Шини ТП 0,4 кВ	УК-0,4-20У3	0,4	20	29 543
Шини ТП 10 кВ	УК-10-20У3	10	20	42 893

При позначенні установки перше число означає номінальну напругу, друге - номінальну потужність, У - вид кліматичного виконання і 3 - категорія розміщення. Установки відповідають ступень захисту IP21 і можуть бути виконуються в навісному і підлоговому варіантах: з захистом від перевантаження за струму і без захисту.

Згідно з графіком навантаження літнього сезону (рис. 2.2, а), який відповідає мінімальному споживанню реактивної потужності, розрахуємо оптимальну потужність нерегульованих конденсаторних батарей відповідно з наявної на нашому ринку продукції ТОВ «Електросфера» [17] за формулою (2.3) і виберемо потужність нерегульованих батарей статичних конденсаторів для кожного трансформаторного пункту:

$$\text{ТП 10 кВ } (Q_{\min} = 42,3 \text{ кВАр}) - \sum Q_{\text{НБСК}} = 2 \times 20 \text{ кВАр};$$

$$\text{ТП 0,4 кВ } (Q_{\min} = 43,6 \text{ кВАр}) - \sum Q_{\text{НБСК}} = 2 \times 20 \text{ кВАр}.$$

Розрахунок втрат потужності при встановленні НБСК на шинах ТП 10 кВ

Скористаємося методикою, яка описана вище, та виконаємо визначення втрат електричної енергії при встановленні нерегульованих батарей статичних конденсаторів на шинах трансформаторного пункту напругою 10 кВ. За формулою (2.1) можна розрахувати втрати потужності в електричній мережі.

В результаті проведених розрахунків після встановлення нерегульованих батарей статичних конденсаторів на шинах трансформаторного пункту 10 кВ було отримано наступні результати.

Для літнього сезону:

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{186^2 + (63,5 - 40)^2}{10^2} \cdot 0,206 = 198,5 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\text{мп}} = 0,83 + 5,5 \cdot \left(\frac{\sqrt{186^2 + (63,5 - 40)^2}}{400} \right)^2 = 82,5 \text{ кВт};$$

$$\Sigma \Delta P = 198,5 + 82,5 = 281 \text{ кВт}.$$

Для зимового сезону:

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{241,8^2 + (80,6 - 40)^2}{10^2} \cdot 0,206 = 307,3 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\text{мп}} = 0,83 + 5,5 \cdot \left(\frac{\sqrt{241,8^2 + (80,6 - 40)^2}}{400} \right)^2 = 98,5 \text{ кВт};$$

$$\Sigma \Delta P = 307,3 + 98,5 = 405,8 \text{ кВт}.$$

Річні втрати електричної енергії будуть становити:

$$\Sigma \Delta W_{\text{рік}} = 165 \cdot 281 + 200 \cdot 405,8 = 126525 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Розрахунок втрат потужності при встановленні НБСК на шинах ТП 0,4 кВ

Скористаємося методикою, яка описана вище, та виконаємо визначення втрат електричної енергії при встановленні нерегульованих батарей статичних конденсаторів на шинах трансформаторного пункту напругою 0,4 кВ. За формулою (2.1) можна розрахувати втрати потужності в електричній мережі.

В результаті проведених розрахунків після встановлення нерегульованих батарей статичних конденсаторів на шинах трансформаторного пункту 10 кВ було отримано наступні результати.

Для літнього сезону:

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{186^2 + (63,5 - 40)^2}{0,4^2} \cdot 0,206 = 163,5 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\text{мп}} = 0,83 + 5,5 \cdot \left(\frac{\sqrt{186^2 + (63,5 - 40)^2}}{400} \right)^2 = 74,5 \text{ кВт};$$

$$\Sigma \Delta P = 163,5 + 74,5 = 238 \text{ кВт}.$$

Для зимового сезону:

$$\Delta P_{л} = \frac{241,8^2 + (80,6 - 40)^2}{0,4^2} \cdot 0,206 = 258,9 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{mp} = 0,83 + 5,5 \cdot \left(\frac{\sqrt{241,8^2 + (80,6 - 40)^2}}{400} \right)^2 = 82,3 \text{ кВт};$$

$$\Sigma \Delta P = 258,9 + 82,3 = 341,2 \text{ кВт}.$$

Річні втрати електричної енергії будуть становити:

$$\Sigma \Delta W_{рік} = 165 \cdot 238 + 200 \cdot 341,2 = 117459 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

2.3 Вибір місця встановлення конденсаторної батареї

В результаті проведеного розрахунку нормальному режимі та встановлення конденсаторних установок на шинах ТП 10 кВ і 0,4 кВ були отримані дані, які заносимо в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Річні втрати електричної енергії

Річні втрати (без КРМ), кВт·год	Річні втрати зі встановленням НКБ на 10 кВ, кВт·год	Втрати річні з встановленням НКБ на 0,4кВ, кВт·год
141094,2	126525	117459

Аналіз даних табл. 2.4 показує, що величина річних втрат без застосування компенсації реактивної потужності становить 141094,2 кВт·год. Після встановлення конденсаторної батареї на шинах трансформаторного пункту 10 кВ річні втрати склали 126525 кВт·год. Після встановлення конденсаторної батареї на шинах ТП 0,4 кВ річні втрати склали 117459 кВт·год. Отже, аналізуючи отримані дані, можна сказати, що втрати електричної енергії при встановленні нерегульованих батарей статичних конденсаторів на шинах 0,4 кВ зменшилися на 16,8%, а при встановленні на шинах 10 кВ ми отримали

зниження втрат на 10,7%, якщо порівнювати з режимом без застосування нерегульованих батарей статичних конденсаторів.

За отриманими даними річних втрат електроенергії визначаємо економію енергії за рік за формулою:

$$W_{e.e.} = \Delta W_{\text{норм.реж.}} - \Delta W_{\text{реж. з НБСК}},$$

де $\Delta W_{\text{норм.реж.}}$ - річні втрати в режимі без компенсації реактивної потужності;

$\Delta W_{\text{реж. з НБСК}}$ - річні втрати зі встановленням нерегульованих конденсаторних батарей.

Визначаємо економію електроенергії на шинах 0,4 кВ:

$$W_{e.e.0,4\text{кВ}} = 141094,2 - 117459 = 23635,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Визначаємо економію електроенергії на шинах 10 кВ:

$$W_{e.e.10\text{кВ}} = 141094,2 - 126525 = 14569,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Економічний ефект від використання нерегульованих батарей статичних конденсаторів можна визначити за формулою:

$$E = W_{e.e.} \cdot T, \quad (2.4)$$

де T – тариф на електричну енергію (1,68 гривні за 1 кВт·год)

Визначаємо економічний ефект на шинах 0,4 кВ:

$$E_{0,4\text{кВ}} = 23635,2 \cdot 1,68 = 39707,12 \text{ грн}.$$

Визначаємо економічний ефект на шинах 10 кВ:

$$E_{10\text{кВ}} = 14569,2 \cdot 1,68 = 24476,23 \text{ грн}.$$

Враховуючи зниження втрат в розподільчій електромережі, можна визначити термін окупності за формулою:

$$O = \frac{B}{E}, \quad (2.5)$$

де B – вартість нерегульованих батарей статичних конденсаторів, грн.

E - прибуток від встановлення нерегульованих конденсаторних батарей, грн.

Визначаємо термін окупності на шинах 0,4 кВ:

$$O_{0,4кВ} = \frac{29660}{39707,12} = 0,75 \text{ роки.}$$

Визначаємо термін окупності на шинах 10 кВ:

$$O_{10кВ} = \frac{43063}{244776,23} = 1,74 \text{ роки.}$$

2.4 Висновки до розділу

1. Було виконано дослідження типової характерної схеми живлення довільного комунально-побутового навантаження за допомогою розподільчого фідера і фідера живлення 10 кВ від понижуючої підстанції 110/10 кВ до трансформаторного пункту 10/0,4 кВ.

2. Проведений розрахунок втрат електричної енергії та виконаний вибір потужності нерегульованих батарей статичних конденсаторів виконано на базі типової схеми з параметрами трансформатора і лінії електропередач, які є подібними до міських електромережах 10/0,4 кВ. Розглянута модель розрахунку втрат електричної енергії та вибору потужності нерегульованих батарей статичних конденсаторів може бути використана на реальній ділянці міської електромережі 10/0,4 кВ.

3. Виконана оцінка економічної ефективності різних варіантів за терміном окупності зі встановленням нерегульованих батарей статичних конденсаторів на досліджуваній ділянці типової мережі показала, що найвигіднішим варіантом є цих батарей на шинах ТП 0,4 кВ з мінімальним терміном окупності 0,75 року. Другий варіант з максимальним терміном окупності 1,74 року відповідає компенсації реактивної потужності на шинах ТП 10 кВ.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Визначення вихідних даних для проведення розрахунку

Розрахунок втрат електричної енергії будемо виконувати в середовищі програмного комплексу *RastrWin*, який призначений для проведення розрахунків і аналізів усталених режимів електричних систем на персональних комп'ютерах. Програма дозволяє проводити розрахунок, досліджувати еквівалентні схеми складні режими, забезпечує можливості екранного вводу і виправлення вихідних даних, відключення непотрібних вузлів і гілок схеми, володіє можливістю районування мережі та графічного представлення схеми (окремих її фрагментів) разом з отриманими розрахунковими і вихідними значеннями параметрів [18].

При виконанні розрахунків, програмний комплекс *RastrWin* не має програмних обмежень на розмір завдань, які потрібно виконати. Заповнення оперативної пам'яті залежить від розміру досліджуваної схеми і має граничне обмеження до 1500 вузлів при мінімальній кількості резидентних програм. Розрахунок оперативної пам'яті базується на припущенні, що відсутні резидентні програми, які займають розширену пам'ять.

Результати виконаних розрахунків виводяться у формі таблиці, яку можна переглядати за допомогою клавішами PGUP, PGDN і стрілками для переходу робочими вузлами. На екрані можна побачити відображення всіх зв'язків вузла, якщо поміщаються на екрані, інакше то вузол не відображається повністю. Для безпосереднього переходу на потрібний вузол потрібно набрати його номер. Команда *Втрати* служить для виводу структурного аналізу втрат активної потужності досліджуваного району або всієї електромережі.

Перед проведенням розрахункових досліджень в середовищі цієї програми необхідно підготувати вихідні дані однолінійної схеми, навантажень електромережі, тобто виконати наступні етапи:

- створити електричну схему з позначенням усіх гілок та вузлів;
- виконати нумерацію усіх вузлів електромережі разом із проміжними вузлами, а вибрані номери вузлів потрібно нанести на мережу;

- для всіх вузлів навантаження потрібно окремо визначити активну та реактивну потужності споживання;
- потрібно визначити поздовжній опір та провідність на землю для ліній електропередачі;
- необхідно визначити для трансформаторів опір $R+jX$, який приведений до сторони високої напруги та коефіцієнт трансформації, що визначається як відношення низької номінальної напруги до вищої (він повинен бути меншим за одиницю).

Розрахункову частину цієї кваліфікаційної роботи було виконано на діючій ділянці розподільчих електромереж 10/0,4 кВ Чортківського району електричних мереж (ПС-63, РП-190) ВАТ «Тернопільобленерго».

До розгляду було взято ділянку однолінійної схеми розподільчих мереж 10/0,4 кВ фідера №7, яка складається з дев'яти трансформаторних пунктів. У даному випадку маємо радіальний тип електропостачання, живлення електроенергії приходить від розподільного РП-190, який у свою чергу отримує живлення кабельною лінією від підстанції ПС-63 через фідер №55.

Виконаний аналіз представлених даних на вибраній ділянці показав, що має місце великий розкид завантаження за реактивною потужністю. Зокрема, велика кількість реактивної потужності присутня у вузлах з великою часткою динамічного (рухового) навантаження. Отже, маємо змішаний тип навантаження (комунально-побутове та рухове), що відображає сучасний тип міської структури навантажень.

Для виконання розрахунків приведемо однолінійну схему мережі 10 кВ до зручного виду (рис. 3.1). Для цієї однолінійної схеми побудуємо електричну схему заміщення (рис. 3.2), на якій показано параметри трансформаторів та кабельних ліній розподільної електромережі 10 кВ фідера №7 розподільного пункту №190 та фідера №55 від підстанції №63.

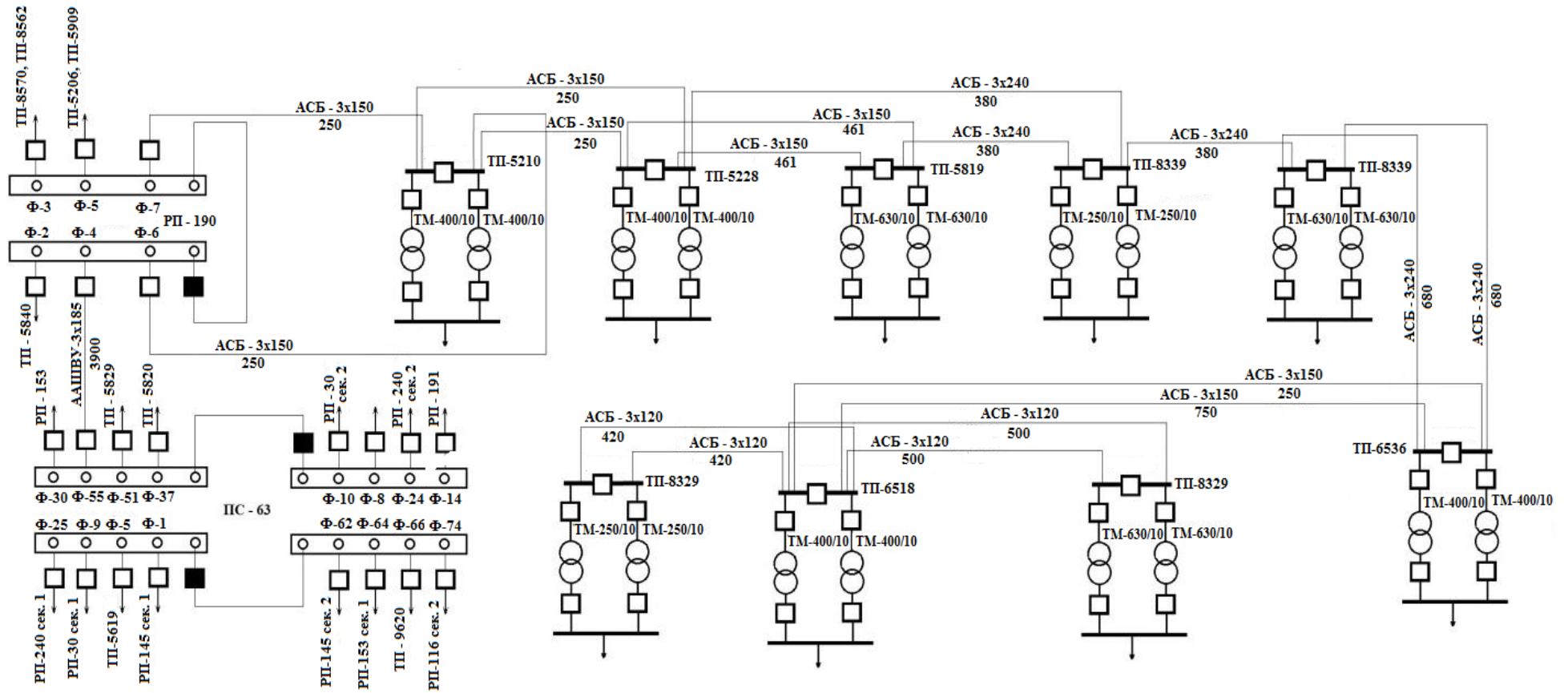


Рисунок 3.1 - Схема ділянки мережі, яка живиться від ПС-63

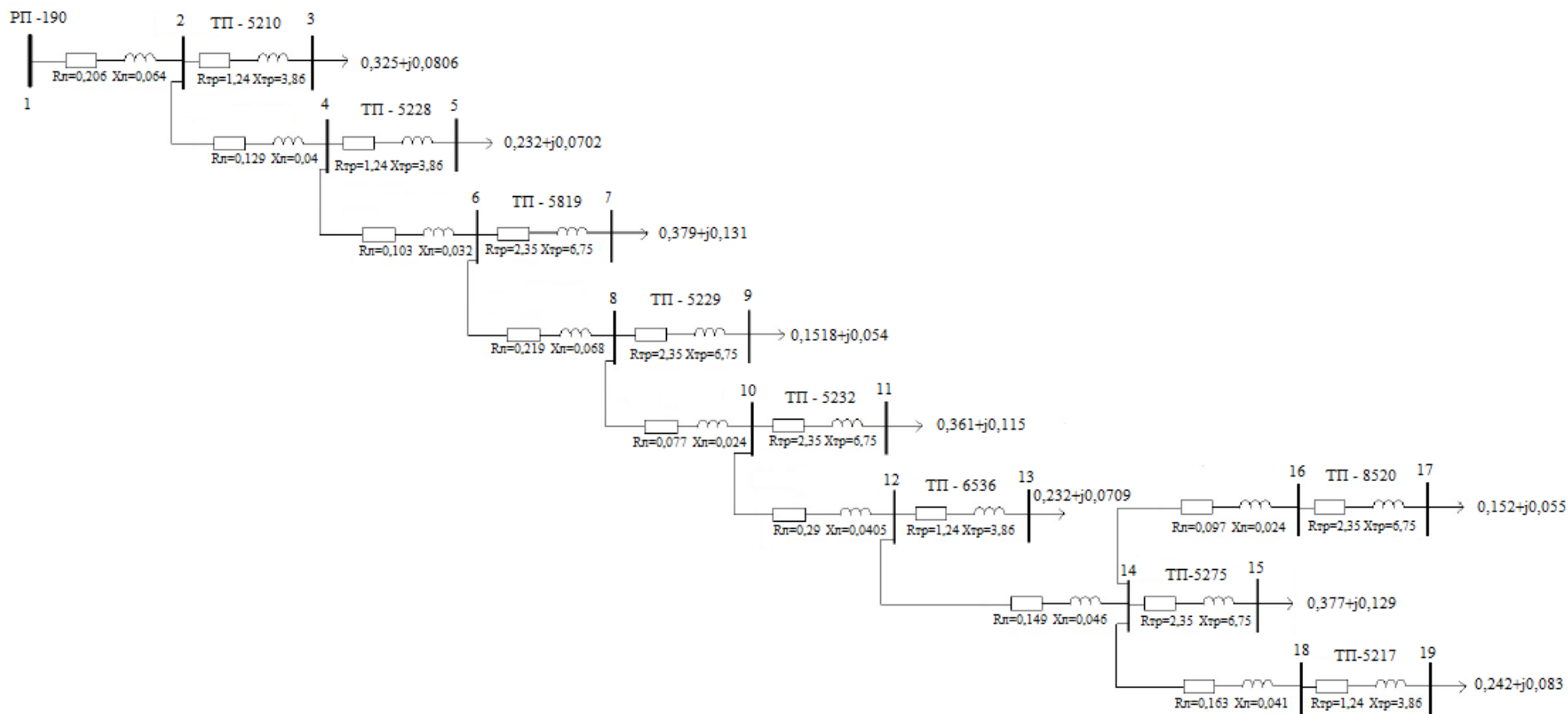
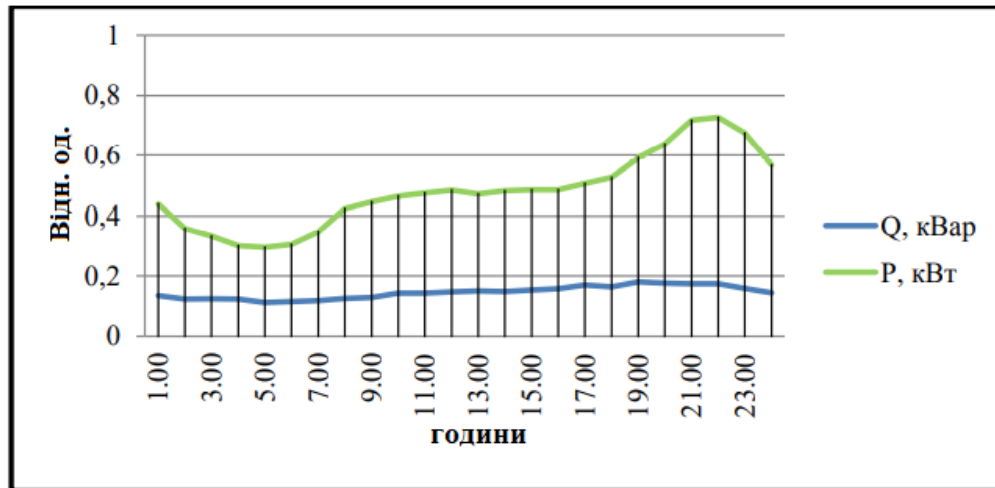
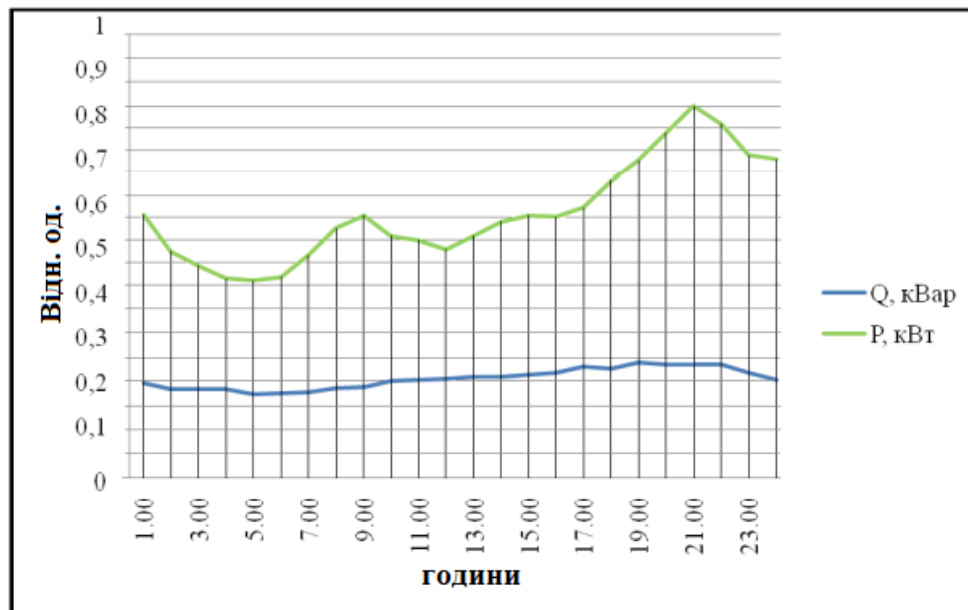


Рисунок 3.2 - Схема заміщення розподільної електромережі 10 кВ

В якості графіків добових електричних навантажень згідно літературного джерела [1] було взято типові графіки для літнього і зимового періодів, які отримані сумуванням середніх графіків та побудовані у відносних одиницях. Ці графіки можна використовувати тільки для розрахунку електричних мереж 10/0,4 кВ (рис. 3.3).



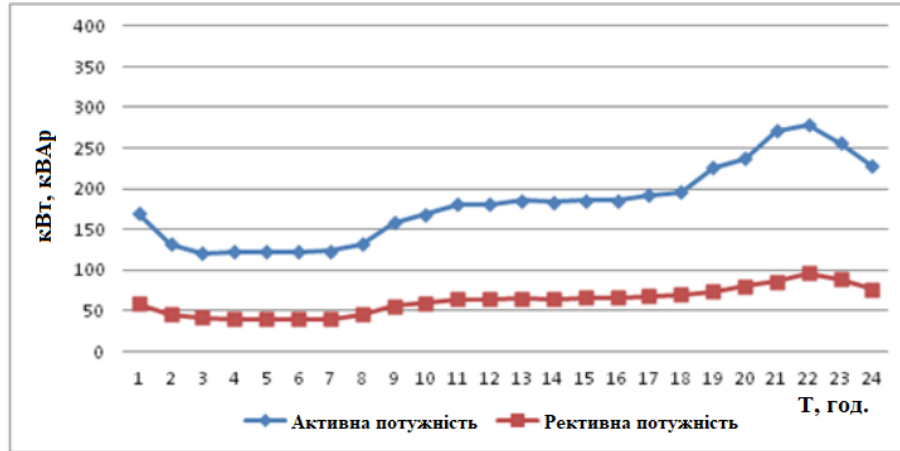
а)



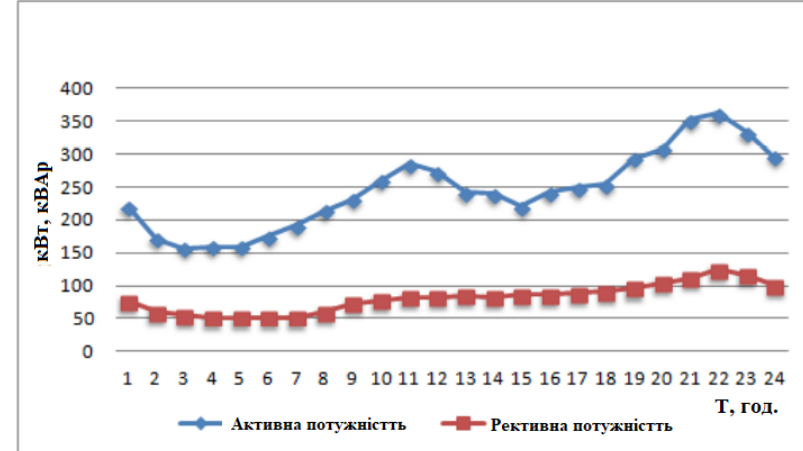
б)

Рисунок 3.3 - Типовий графік літнього (а) і зимового (б) навантажень

За даними приведених графіків, виходячи з потужності трансформаторного пункту, можна отримати літні і зимові графіки навантажень для трансформаторних пунктів різної потужності. На рис. 3.4 – 3.12 приведено отримані графіки навантажень для зимового та літнього періодів.

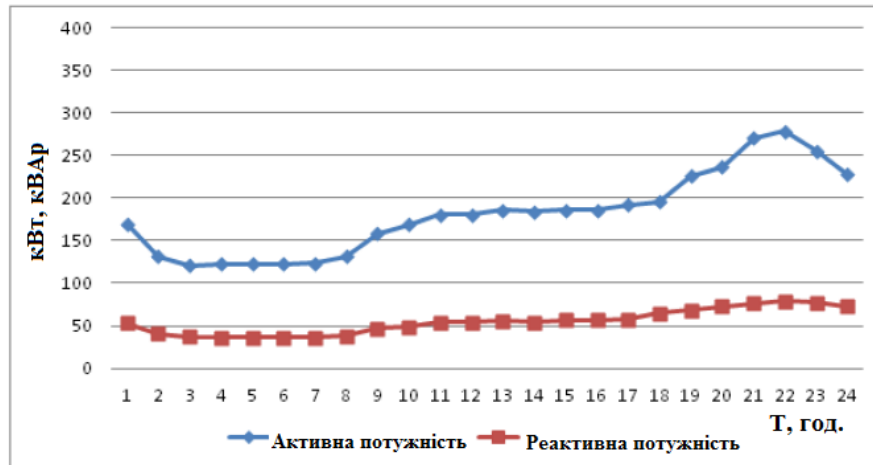


а)

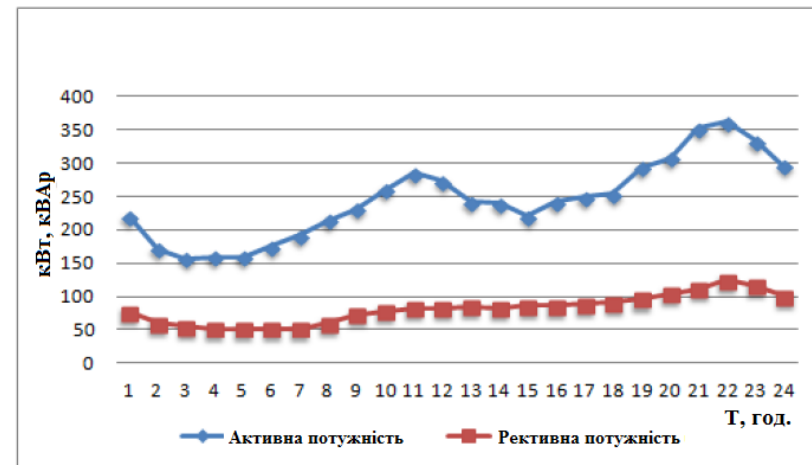


б)

Рисунок 3.4 - Літній (а) і зимовий (б) графіки електричних навантажень ТП-5210

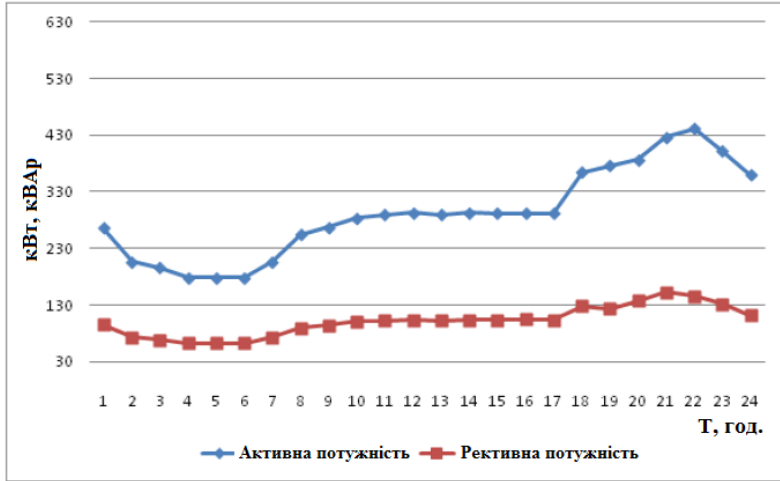


а)

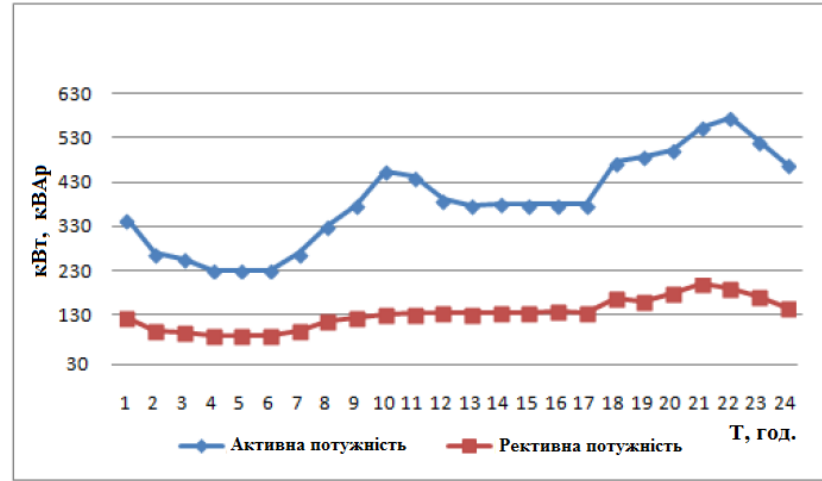


б)

Рисунок 3.5 - Літній (а) і зимовий (б) графіки електричних навантажень ТП-5228



а)

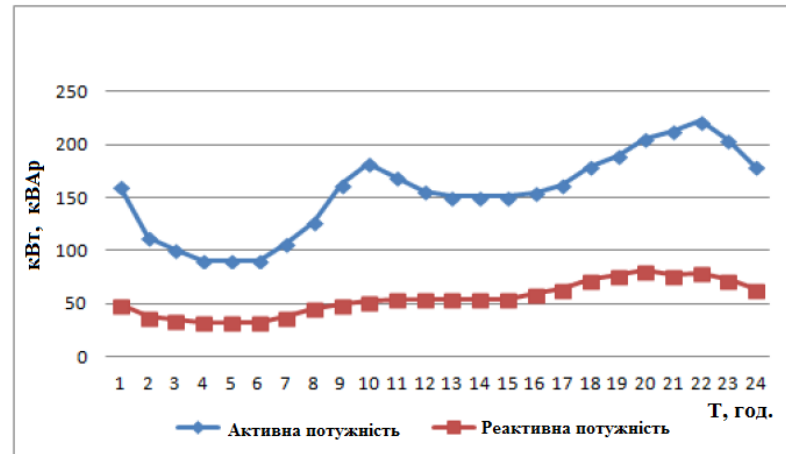


б)

Рисунок 3.6 - Літній (а) і зимовий (б) графіки електричних навантажень ТП-5819

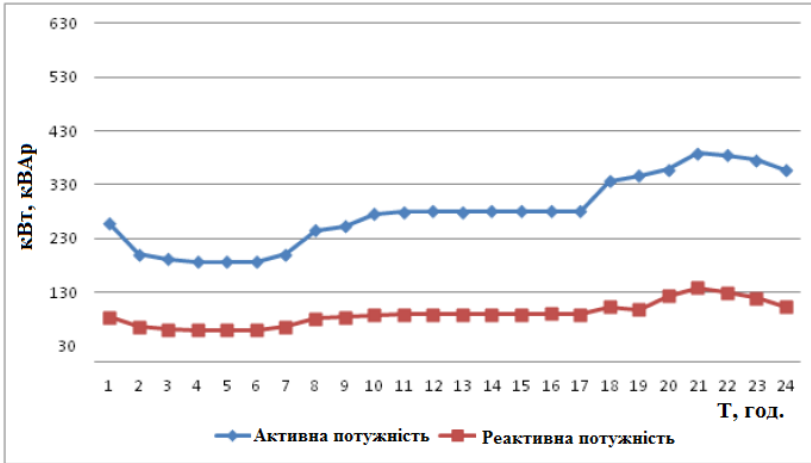


а)

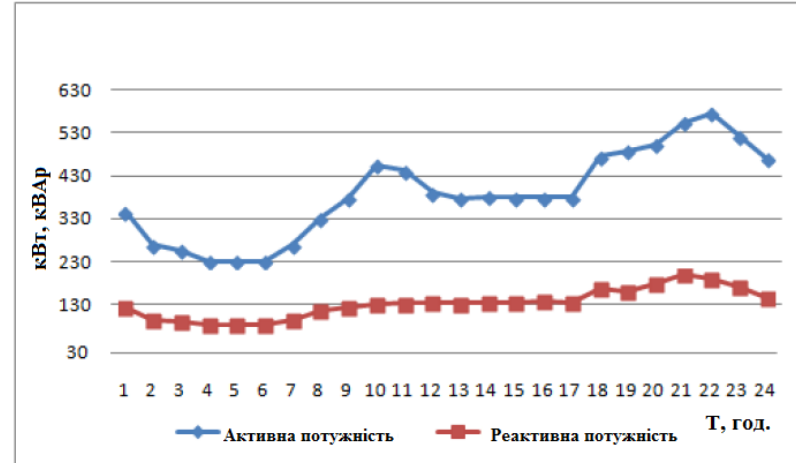


б)

Рисунок 3.7 - Літній (а) і зимовий (б) графіки електричних навантажень ТП-5229

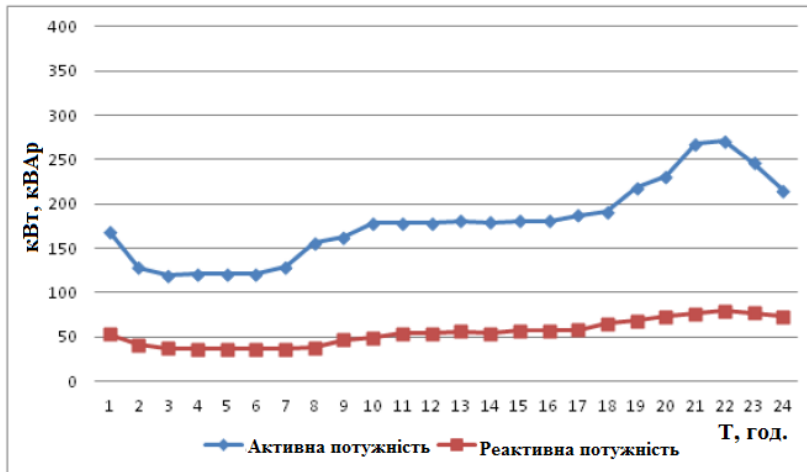


a)

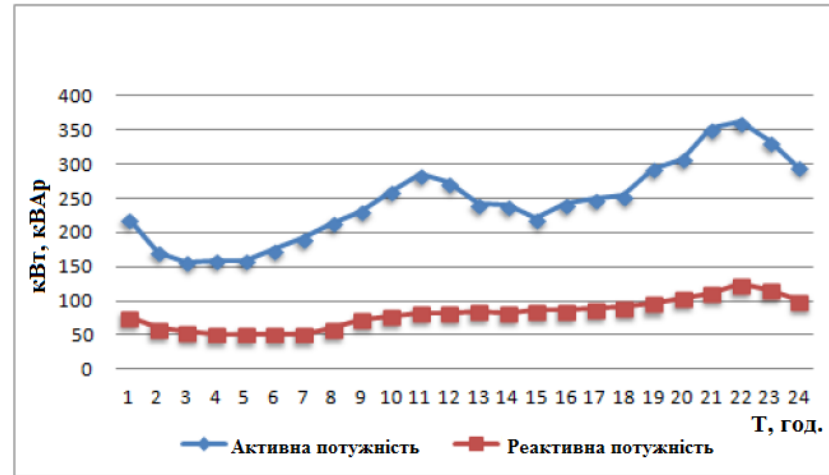


б)

Рисунок 3.8 - Літній (a) і зимовий (б) графіки електричних навантажень ТП-5232

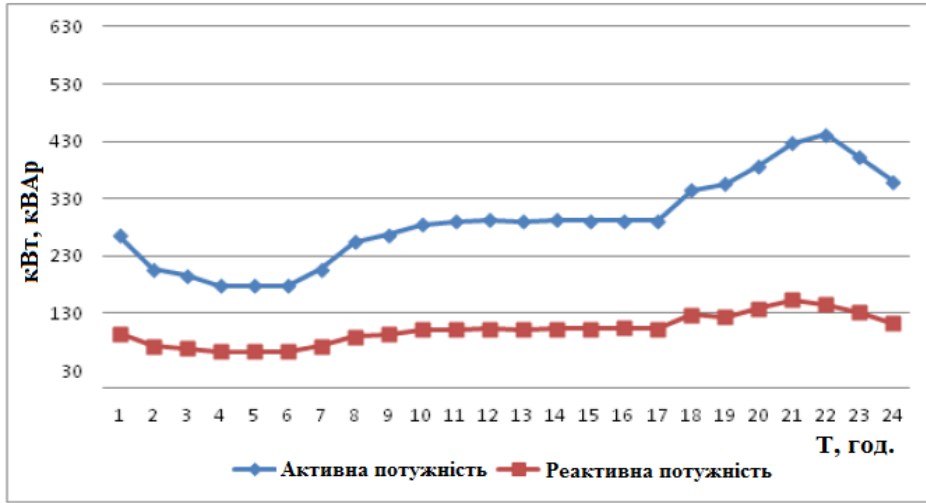


a)

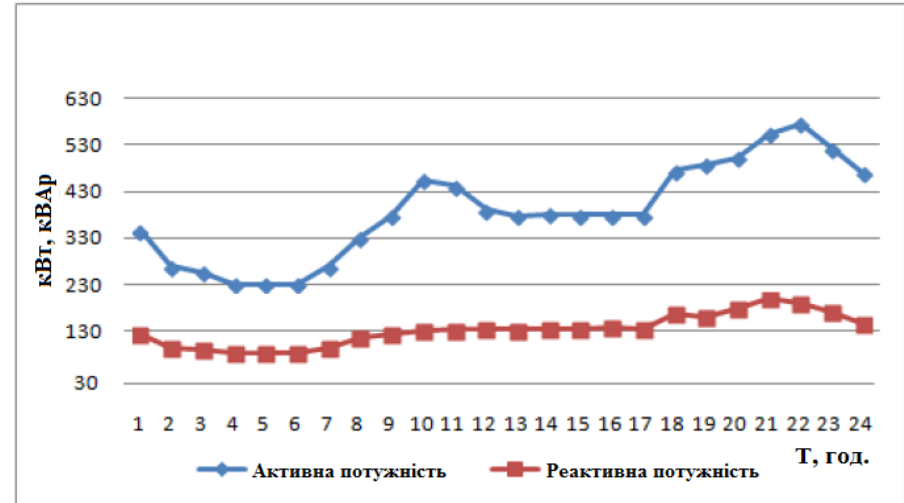


б)

Рисунок 3.9 - Літній (a) і зимовий (б) графіки електричних навантажень ТП-6536

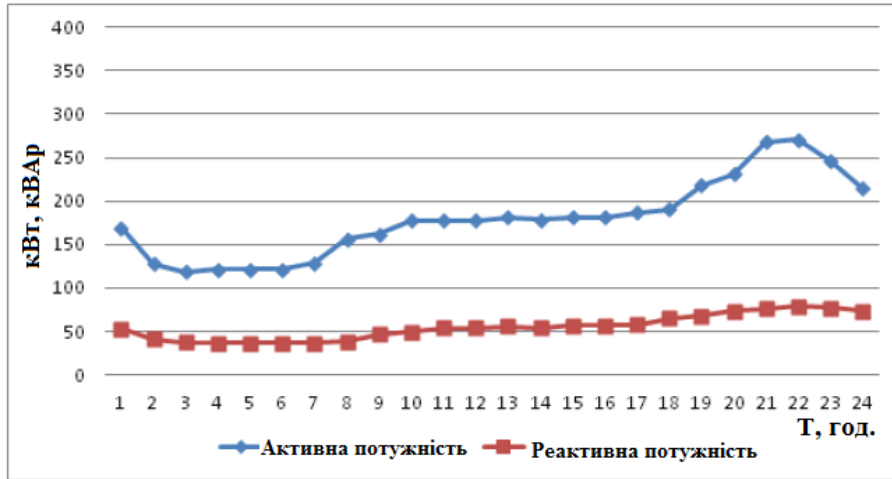


а)

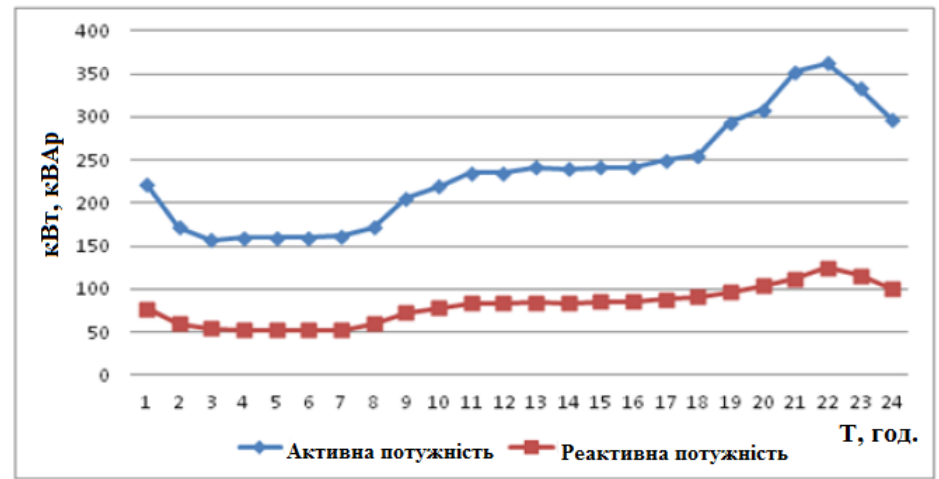


б)

Рисунок 3.10 - Літній (а) і зимовий (б) графіки електричних навантажень ТП-5275

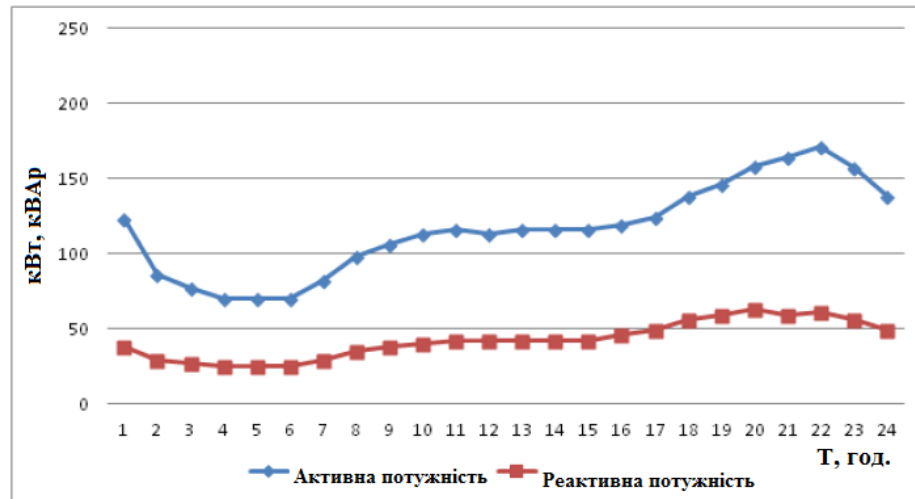


а)

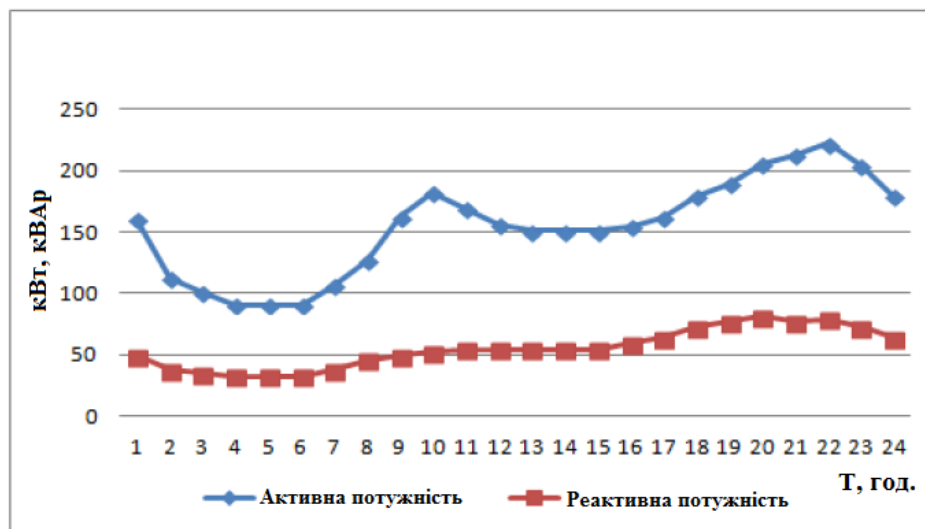


б)

Рисунок 3.11 - Літній (а) і зимовий (б) графіки електричних навантажень ТП-5217



а)



б)

Рисунок 3.12 - Літній (а) і зимовий (б) графіки електричних навантажень ТП-8520

Аналіз отриманих графіків реактивної потужності для різних трансформаторних пунктів показує, що вони не володіють явно вираженими значеннями мінімуму та максимуму, а різниця цих значень не перевищує більше 40%. Отже, було б доцільно та практично розглянути питання про застосування нерегульованих батарей статичних конденсаторів, які є недорогими та відносно простими в експлуатації [1].

В табл. 3.1 приведено середньодобові значення активної та реактивної потужності, які були визначені відповідно до отриманих графіків навантажень кожного трансформаторного пункту для зимового та літнього періоду.

Таблиця 3.1 - Навантаження трансформаторного пункту для 2-х періодів

Трансформаторний пункт	Період	P, кВт	Q, кВАр	S, кВА
ТП-5210	літо	182,05	61,8	192,1
	зима	234,9	81,2	247,2
ТП-5228	літо	179,8	55,3	188,6
	зима	231,9	71,4	243,4
ТП-5819	літо	293,1	100,9	310,1
	зима	378,7	132,1	402,6
ТП-5229	літо	117,6	43,1	122,9
	зима	152,1	55,4	158,5
ТП-5232	літо	278,1	89,2	290,8
	зима	362,2	116,6	377,9
ТП-6536	літо	178,6	55,3	188,6
	зима	233,3	71,2	246,1
ТП-5275	літо	291,2	102,4	308,4
	зима	378,8	129,1	422,6
ТП-5217	літо	185,2	64,3	195,1
	зима	242,4	84,2	254,4
ТП-8520	літо	117,1	44,7	125,2
	зима	154,5	54,8	162,3

3.2 Розрахунок втрат потужності у нормальному режимі

Як уже було зазначено в попередньому підрозділі, розрахунок будемо виконувати за допомогою програмного комплексу *RastrWin*. Вихідні та розраховані параметри електромережі, які приведені на схемі заміщення розподільної електромережі 10 кВ (рис. 3.2) вводимо в програму для проведення розрахунку втрат. Отримані розрахункові значення та дані навантажувальних втрат приведено на рис. 3.13-3.16.

	U_ном	dP	dP_ЛЕП	dP_Тр-р	Корона	XX_тр	dP_Ш-нт	dQ	dQ_ЛЕП	dQ_Тр-р	_Ген_ЛЕ	Q_XX_тр	dQ_Ш-нт
1	10	0.2053279	0.01	0.1929836				0.5372066	0.01	0.5320912			

Рисунок 3.13 – Визначення втрат навантаження

Відповідно до формули (2.2) та отриманих розрахованих даних втрат навантаження (рис. 3.13) розрахуємо річні втрати електроенергії для нормального режиму:

$$\Sigma \Delta W_{\text{рік}} = 165 \cdot 68,3 + 200 \cdot 205,32 = 52221,1 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

	O/S	Тип	Номер	Назва	U_ном	Р_район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	U_min	U_max	B_ш	V	Delta	район
1		База	1	РП	10		1.8	0.6	2.2	0.6	10	-50	50			10			
2		Нав	2	ТП - 5210 в.н.	10						10					10	-0		
3		Нав	3	ТП - 5210 н.н.	0.4		0.235	0.08			0.4					0.38	-0.47		
4		Нав	4	ТП - 5228 в.н.	10						10					10	-0.01		
5		Нав	5	ТП - 5228 н.н.	0.4		0.232	0.0702			0.4					0.38	-0.48		
6		Нав	6	ТП - 5819 в.н.	10						10					9.99	-0.01		
7		Нав	7	ТП - 5819 н.н.	0.4		0.379	0.131			0.4					0.37	-1.33		
8		Нав	8	ТП - 5229 в.н.	10						10					9.99	-0.03		
9		Нав	9	ТП - 5229 н.н.	0.4		0.15	0.054			0.4					0.38	0.03		
10		Нав	10	ТП - 5232 в.н.	10						10					9.99	-0.05		
11		Нав	11	ТП - 5232 н.н.	0.4		0.361	0.115			0.4					0.37	-1.31		
12		Нав	12	ТП - 6536 в.н.	10						10					9.99	-0.08		
13		Нав	13	ТП - 6536 н.н.	0.4		0.232	0.0709			0.4					0.38	-0.55		
14		Нав	14	ТП - 5275 в.н.	10						10					9.99	-0.12		
15		Нав	15	ТП - 5275 н.н.	0.4		0.377	0.129			0.4					0.37	-1.43		
16		Нав	16	ТП - 5217 в.н.	10						10					9.98	-0.13		
17		Нав	17	ТП - 5217 н.н.	0.4		0.242	0.083			0.4					0.38	-0.61		
18		Нав	18	ТП - 8520 в.н.	10						10					9.98	-0.12		
19		Нав	19	ТП - 8520 н.н.	0.4		0.153	0.059			0.4					0.38	-0.64		

Рисунок 3.14 – Отримані дані навантаження вузлів

O	S	Тип	N_поч	N_кін	N_п	Груп	Назва	R	X	B	Кт/г	P_поч	Q_поч	Na
1		ЛЕП	1	2			РП - ТП - 5210 в.н.	0.05	0.02			-0	0	
2		Тр-р	2	3			ТП - 5210 в.н. - ТП - 5210 н.н.	1.24	3.86	0.038		-0	-0	
3		ЛЕП	2	4			ТП - 5210 в.н. - ТП - 5228 в.н.	0.06	0.02			-0	0	
4		Тр-р	4	5			ТП - 5228 в.н. - ТП - 5228 н.н.	1.24	3.86	0.038		-0	-0	
5		ЛЕП	4	6			ТП - 5228 в.н. - ТП - 5819 в.н.	0.12	0.04			-0	-0	
6		Тр-р	6	7			ТП - 5819 в.н. - ТП - 5819 н.н.	2.35	6.75	0.038		-0	-0	
7		ЛЕП	6	8			ТП - 5819 в.н. - ТП - 5229 в.н.	0.12	0.03			-0	0	
8		Тр-р	8	9			ТП - 5229 в.н. - ТП - 5229 н.н.	3.7	0.58	0.038		-0	-0	
9		ЛЕП	8	10			ТП - 5229 в.н. - ТП - 5232 в.н.	0.14	0.04			-0	0	
10		Тр-р	10	11			ТП - 5232 в.н. - ТП - 5232 н.н.	2.35	6.75	0.038		-0	-0	
11		ЛЕП	10	12			ТП - 5232 в.н. - ТП - 6536 в.н.	0.2	0.06			-0	0	
12		Тр-р	12	13			ТП - 6536 в.н. - ТП - 6536 н.н.	1.24	3.86	0.038		-0	-0	
13		ЛЕП	12	14			ТП - 6536 в.н. - ТП - 5275 в.н.	0.19	0.06			-0	0	
14		Тр-р	14	15			ТП - 5275 в.н. - ТП - 5275 н.н.	2.35	6.75	0.038		-0	-0	
15		ЛЕП	14	16			ТП - 5275 в.н. - ТП - 5217 в.н.	0.04	0.13			-0	-0	
16		Тр-р	16	17			ТП - 5217 в.н. - ТП - 5217 н.н.	1.24	3.86	0.038		-0	-0	
17		ЛЕП	14	18			ТП - 5275 в.н. - ТП - 8520 в.н.	0.14	0.03			-0	-0	
18		Тр-р	18	19			ТП - 8520 в.н. - ТП - 8520 н.н.	2.35	6.75	0.038		-0	-0	

Рисунок 3.15 – Отримані дані навантаження гілок

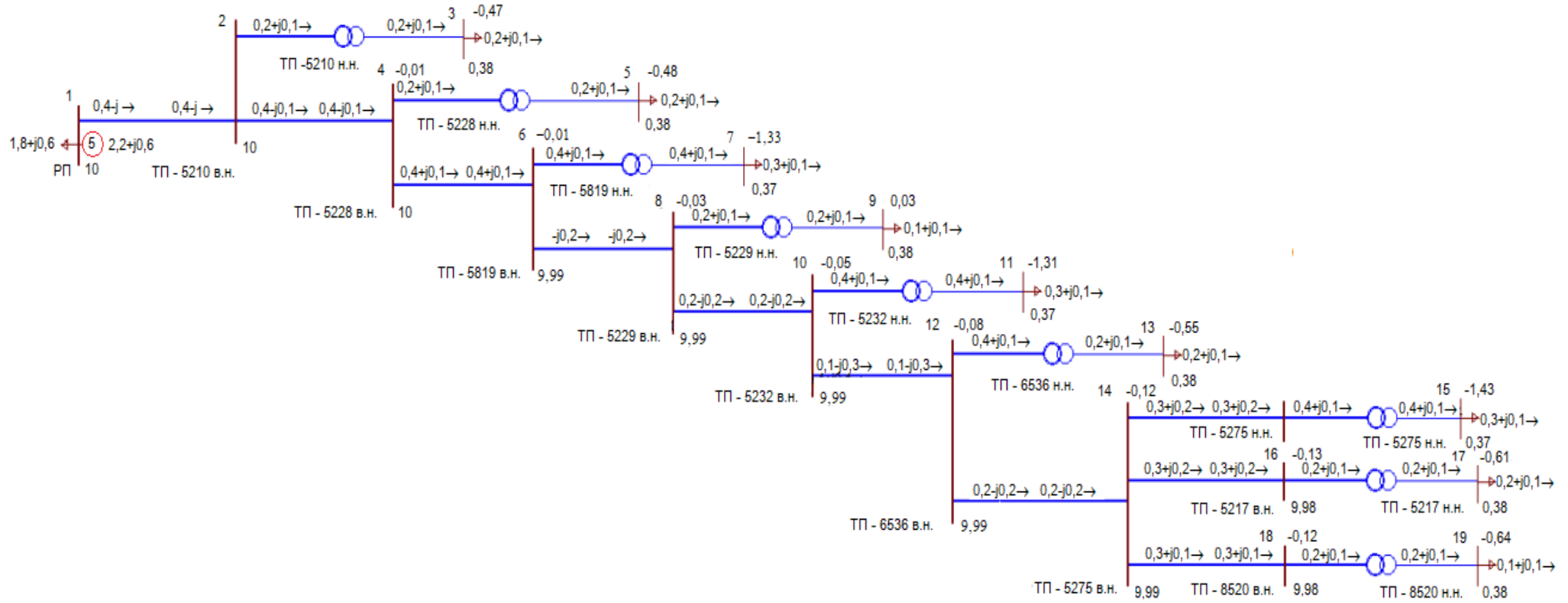


Рисунок 3.16 – Схема електричної мережі для зимового періоду

3.3 Вибір нерегульованих батарей статичних конденсаторів

Вибір потужності нерегульованих батарей статичних конденсаторів буде проводити за даними графіків навантажень (рис. 3.4 – 3.12), а також враховуючи криву реактивної потужності. Спочатку визначимо потужність конденсаторної батареї, виходячи з мінімального споживання реактивної потужності, тобто у відповідності до графіків навантажень літнього періоду.

У табл. 3.2 і 3.3 приведено типи нерегульованих батарей статичних конденсаторів, які на ринку України пропонує Товариство з обмеженою відповідальністю «Електросфера» [17].

Таблиця 3.2 - *Нерегульовані батареї статичних конденсаторів на 10 кВ*

Тип установки	Потужність, кВАр	Вартість, грн.
БК-10-20-УХЛЗ	20	16250
БК-10-25-УХЛЗ	25	23008
БК-10-30-УХЛЗ	30	25155
БК-10-50-УХЛЗ	50	42580
БК-10-60-УХЛЗ	60	47858

Таблиця 3.3 - *Нерегульовані батареї статичних конденсаторів на 0,4 кВ*

Тип установки	Потужність, кВАр	Вартість, грн.
БК-0,4-25-УХЛЗ	25	11350
БК-0,4-37,5-УХЛЗ	37,5	14420
БК-0,4-50-УХЛЗ	50	29328
БК-0,4-66,7-УХЛЗ	66,7	22520

Згідно із літнім періодом графіка навантажень (рис. 3.4 – 3.12), тобто при мінімальному споживанні реактивної потужності, виконаємо розрахунок оптимальної потужності нерегульованих конденсаторних батарей. Використовуючи продукцію ТОВ «Електросфера» (табл. 3.2 і 3.3) та умову (2.3), визначимо значення потужності нерегульованих нерегульованих батарей статичних конденсаторів для кожного трансформаторного пункту:

- ТП 5210 ($Q_{min} = 42,2$ кВАр): $\sum Q_{НБСК} = 2 \times 20$ кВАр;
- ТП 5228 ($Q_{min} = 43,5$ кВАр): $\sum Q_{НБСК} = 2 \times 20$ кВАр;
- ТП 5819 ($Q_{min} = 60,2$ кВАр): $\sum Q_{НБСК} = 2 \times 30$ кВАр;
- ТП 5229 ($Q_{min} = 24,5$ кВАр): $\sum Q_{НБСК} = 25$ кВАр;
- ТП 5232 ($Q_{min} = 59,6$ кВАр): $\sum Q_{НБСК} = 60$ кВАр;
- ТП 6536 ($Q_{min} = 39,5$ кВАр): $\sum Q_{НБСК} = 2 \times 20$ кВАр;
- ТП 5275 ($Q_{min} = 61,2$ кВАр): $\sum Q_{НБСК} = 2 \times 30$ кВАр;
- ТП 5217 ($Q_{min} = 40,2$ кВАр): $\sum Q_{НБСК} = 2 \times 20$ кВАр;
- ТП 8520 ($Q_{min} = 24,6$ кВАр): $\sum Q_{НБСК} = 25$ кВАр.

Враховуючи середньодобове навантаженнями трансформаторного пункту та виконаний вибір потужності нерегульованих батарей статичних, опираючись на дані табл. 3.1, виконаємо розрахунок втрат електричної енергії в режимі з нерегульованими батареями статичних конденсаторів для зимового періоду.

3.4 Втрати електроенергії на шинах ТП 0,4 кВ при встановленні НБСК

Розрахунок будемо виконувати за допомогою програмного комплексу *RastrWin*. Для розрахунку втрат вводимо у програму вихідні та розраховані параметри електромережі, які приведені на рис. 3.16 і в табл. 3.1, і виконаємо розрахунок втрати електричної енергії у випадку встановлення нерегульованих батарей статичних конденсаторів на шинах трансформаторних пунктів напругою 0,4 кВ. Отримані результати розрахунків приведено на рис. 3.17-3.20.

Під час виконання розрахунку в програмному комплексі було виконано заповнення таблиці *вузлів* (рис. 3.18) і *гілок* (рис. 3.19) досліджуваної електромережі. Отримані результати втрат потужності у випадку застосування нерегульованих батарей статичних конденсаторів на шинах трансформаторних пунктів напругою 0,4 кВ для зимового періоду із представлені на рис. 3.17.

	U_ном	dP	dP_ЛЕП	dP_Тр-р	Корона	XX_тр	dP_Ш+нг	dQ	dQ_ЛЕП	dQ_Тр-р	_Ген_ЛЕ	Q_XX_тр	dQ_Ш+нг
1	10	0.1711066	0.01	0.1608197				0.447672	0	0.4434093			

Рисунок 3.17 – Визначення втрат навантаження

Тоді річні втрати електричної енергії в режимі компенсації реактивної потужності на шинах трансформаторних пунктів напругою 0,4 кВ будуть рівні:

$$\Sigma \Delta W_{\text{рік}} = 165 \cdot \Delta P_{\text{літо}} + 200 \cdot \Delta P_{\text{зима}} = 165 \cdot 57,67 + 200 \cdot 117,1 = 43704 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

№	S	Тип	Номер	Назва	U_ном	с_район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	U_min	U_max	B_ш	V	Delta	район
1		База	1	РП	10		1.8	0.6	2.2	0.57805	10	-50	50			10			
2		Нав.	2	ТП - 5210 в.н.	10						10					10	-0		
3		Нав.	3	ТП - 5210 н.н.	0.4		0.235	0.08		0.04	0.4					0.38	-0.47		
4		Нав.	4	ТП - 5228 в.н.	10						10					10	-0.01		
5		Нав.	5	ТП - 5228 н.н.	0.4		0.232	0.0702		0.04	0.4					0.38	-0.48		
6		Нав.	6	ТП - 5819 в.н.	10						10					9.99	-0.01		
7		Нав.	7	ТП - 5819 н.н.	0.4		0.379	0.131		0.06	0.4					0.37	-1.33		
8		Нав.	8	ТП - 5229 в.н.	10						10					9.99	-0.03		
9		Нав.	9	ТП - 5229 н.н.	0.4		0.15	0.054		0.025	0.4					0.38	0.03		
10		Нав.	10	ТП - 5232 в.н.	10						10					9.99	-0.05		
11		Нав.	11	ТП - 5232 н.н.	0.4		0.361	0.115		0.06	0.4					0.37	-1.31		
12		Нав.	12	ТП - 6536 в.н.	10						10					9.99	-0.08		
13		Нав.	13	ТП - 6536 н.н.	0.4		0.232	0.0709		0.04	0.4					0.38	-0.55		
14		Нав.	14	ТП - 5275 в.н.	10						10					9.99	-0.12		
15		Нав.	15	ТП - 5275 н.н.	0.4		0.377	0.129		0.06	0.4					0.37	-1.43		
16		Нав.	16	ТП - 5217 в.н.	10						10					9.98	-0.13		
17		Нав.	17	ТП - 5217 н.н.	0.4		0.242	0.083		0.04	0.4					0.38	-0.61		
18		Нав.	18	ТП - 8520 в.н.	10						10					9.98	-0.12		
19		Нав.	19	ТП - 8520 н.н.	0.4		0.153	0.059		0.025	0.4					0.38	-0.64		

Рисунок 3.18 – Отримані дані навантаження вузлів

№	S	Тип	N_поч	N_кін	N_г	руг	Назва	R	X	B	Kт/г	P_поч	Q_поч	Na
1		ЛЕП	1	2			РП - ТП - 5210 в.н.	0.05	0.02			-0	0	
2		Тр-р	2	3			ТП - 5210 в.н. - ТП - 5210 н.н.	1.24	3.86		0.038	-0	-0	
3		ЛЕП	2	4			ТП - 5210 в.н. - ТП - 5228 в.н.	0.06	0.02			-0	0	
4		Тр-р	4	5			ТП - 5228 в.н. - ТП - 5228 н.н.	1.24	3.86		0.038	-0	-0	
5		ЛЕП	4	6			ТП - 5228 в.н. - ТП - 5819 в.н.	0.12	0.04			-0	-0	
6		Тр-р	6	7			ТП - 5819 в.н. - ТП - 5819 н.н.	2.35	6.75		0.038	-0	-0	
7		ЛЕП	6	8			ТП - 5819 в.н. - ТП - 5229 в.н.	0.12	0.03			-0	0	
8		Тр-р	8	9			ТП - 5229 в.н. - ТП - 5229 н.н.	3.7	0.58		0.038	-0	-0	
9		ЛЕП	8	10			ТП - 5229 в.н. - ТП - 5232 в.н.	0.14	0.04			-0	0	
10		Тр-р	10	11			ТП - 5232 в.н. - ТП - 5232 н.н.	2.35	6.75		0.038	-0	-0	
11		ЛЕП	10	12			ТП - 5232 в.н. - ТП - 6536 в.н.	0.2	0.06			-0	0	
12		Тр-р	12	13			ТП - 6536 в.н. - ТП - 6536 н.н.	1.24	3.06		0.038	-0	-0	
13		ЛЕП	12	14			ТП - 6536 в.н. - ТП - 5275 в.н.	0.19	0.06			-0	0	
14		Тр-р	14	15			ТП - 5275 в.н. - ТП - 5275 н.н.	2.35	6.75		0.038	-0	-0	
15		ЛЕП	14	16			ТП - 5275 в.н. - ТП - 5217 в.н.	0.04	0.13			-0	-0	
16		Тр-р	16	17			ТП - 5217 в.н. - ТП - 5217 н.н.	1.24	3.86		0.038	-0	-0	
17		ЛЕП	14	18			ТП - 5275 в.н. - ТП - 8520 в.н.	0.14	0.03			-0	-0	
18		Тр-р	18	19			ТП - 8520 в.н. - ТП - 8520 н.н.	2.35	6.75		0.038	-0	-0	

Рисунок 3.19 – Отримані дані навантаження гілок

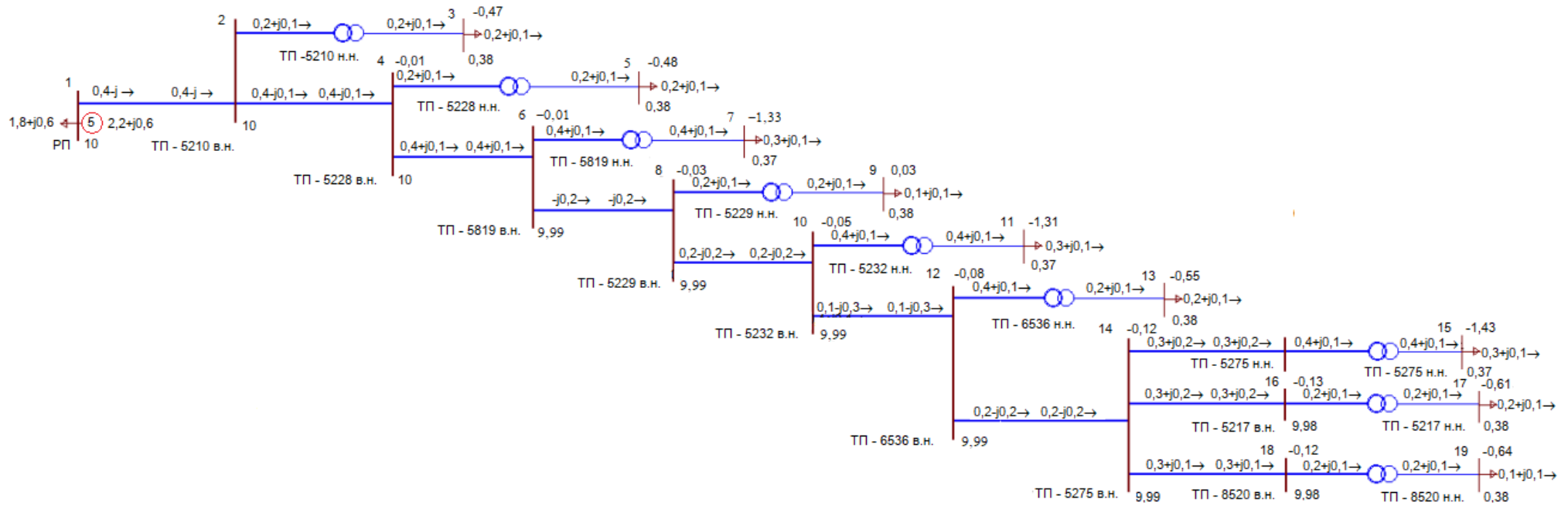


Рисунок 3.20 – Схема електричної мережі з розподілом потоку активного і реактивного навантаження для зимового періоду з нерегульованими батареями статичних конденсаторів на шинах трансформаторних пунктів напругою 0,4 кВ

3.5 Втрати електроенергії на шинах ТП 10 кВ при встановленні НБСК

Розрахунок виконано за допомогою програми *RastrWin*. Для розрахунку втрат були введені вихідні та розраховані параметри електромережі, які приведені на рис. 3.16 і в табл. 3.1, і виконано розрахунок втрати електроенергії зі встановленням нерегульованих батарей статичних конденсаторів на шинах ТП 10 кВ. Отримані результати розрахунків приведено на рис. 3.21-3.20. Під час виконання розрахунку в програмному комплексі було виконано заповнення таблиці вузлів (рис. 3.21) і гілок (рис. 3.22) досліджуваної електромережі.

Q	S	Тип	Номер	Назва	U_ном_сх	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_ад	Q_min	Q_max	U_min	U_max	B_ш	V	Delta	район
1		База	1	РП Нав.	10		1.8	0.6	2.2	0.57805	10	-50	50			10			
2		Нав.	2	ТП - 5210 в.н.	10					0.04	10					10	-0		
3		Нав.	3	ТП - 5210 н.н.	0.4		0.235	0.08			0.4					0.38	-0.47		
4		Нав.	4	ТП - 5228 в.н.	10					0.04	10					10	-0.01		
5		Нав.	5	ТП - 5228 н.н.	0.4		0.232	0.0702			0.4					0.38	-0.48		
6		Нав.	6	ТП - 5819 в.н.	10					0.06	10					9.99	-0.01		
7		Нав.	7	ТП - 5819 н.н.	0.4		0.379	0.131			0.4					0.37	-1.33		
8		Нав.	8	ТП - 5229 в.н.	10					0.025	10					9.99	-0.03		
9		Нав.	9	ТП - 5229 н.н.	0.4		0.15	0.054			0.4					0.38	0.03		
10		Нав.	10	ТП - 5232 в.н.	10					0.06	10					9.99	-0.05		
11		Нав.	11	ТП - 5232 н.н.	0.4		0.361	0.115			0.4					0.37	-1.31		
12		Нагр	12	ТП - 6536 в.н.	10					0.04	10					9.99	-0.08		
13		Нагр	13	ТП - 6536 н.н.	0.4		0.232	0.0709			0.4					0.38	-0.55		
14		Нав.	14	ТП - 5275 в.н.	10					0.04	10					9.99	-0.12		
15		Нав.	15	ТП - 5275 н.н.	0.4		0.377	0.129			0.4					0.37	-1.43		
16		Нав.	16	ТП - 5217 в.н.	10					0.04	10					9.98	-0.13		
17		Нав.	17	ТП - 5217 н.н.	0.4		0.242	0.083			0.4					0.38	-0.61		
18		Нав.	18	ТП - 8520 в.н.	10					0.025	10					9.98	-0.12		
19		Нав.	19	ТП - 8520 н.н.	0.4		0.153	0.059			0.4					0.38	-0.64		

Рисунок 3.21 – Отримані дані навантаження вузлів

Q	S	Тип	N_лоч.	N_кін.	N_г	груп	Назва	R	X	B	Кт/г	P_лоч.	Q_лоч.	Na
1		ЛЕП	1	2			РП - ТП - 5210 в.н.	0.05	0.02			-0	0	
2		Тр-р	2	3			ТП - 5210 в.н. - ТП -	1.24	3.86		0.038	-0	-0	
3		ЛЕП	2	4			ТП - 5210 в.н. - ТП -	0.06	0.02			-0	0	
4		Тр-р	4	5	ЛЕП		ТП - 5228 в.н. - ТП -	1.24	3.86		0.038	-0	-0	
5		ЛЕП	4	6			ТП - 5228 в.н. - ТП -	0.12	0.04			-0	-0	
6		Тр-р	6	7			ТП - 5819 в.н. - ТП -	2.35	6.75		0.038	-0	-0	
7		ЛЕП	6	8			ТП - 5819 в.н. - ТП -	0.12	0.03			-0	0	
8		Тр-р	8	9			ТП - 5229 в.н. - ТП -	3.7	0.58		0.038	-0	-0	
9		ЛЕП	8	10			ТП - 5229 в.н. - ТП -	0.14	0.04			-0	0	
10		Тр-р	10	11			ТП - 5232 в.н. - ТП -	2.35	6.75		0.038	-0	-0	
11		ЛЕП	10	12			ТП - 5232 в.н. - ТП -	0.2	0.06			-0	0	
12		Тр-р	12	13			ТП - 6536 в.н. - ТП -	1.24	3.86		0.038	-0	-0	
13		ЛЕП	12	14			ТП - 6536 в.н. - ТП -	0.19	0.06			-0	0	
14		Тр-р	14	15			ТП - 5275 в.н. - ТП -	2.35	6.75		0.038	-0	-0	
15		ЛЕП	14	16			ТП - 5275 в.н. - ТП -	0.04	0.13			-0	-0	
16		Тр-р	16	17			ТП - 5217 в.н. - ТП -	1.24	3.86		0.038	-0	-0	
17		ЛЕП	14	18			ТП - 5275 в.н. - ТП -	0.14	0.03			-0	-0	
18		Тр-р	18	19			ТП - 8520 в.н. - ТП -	2.35	6.75		0.038	-0	-0	

Рисунок 3.22 – Отримані дані навантаження гілок

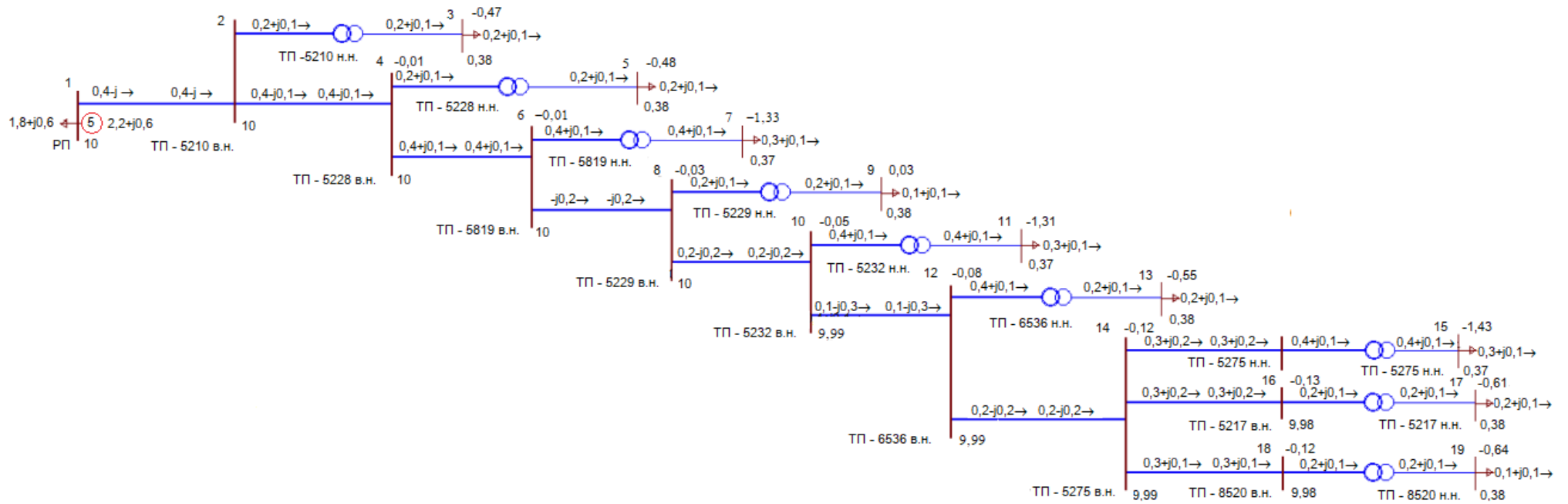


Рисунок 3.21 – Схема електричної мережі з розподілом потоку активного і реактивного навантаження для зимового періоду з нерегульованими батареями статичних конденсаторів на шинах трансформаторних пунктів напругою 10 кВ

На рис. 3.22 представлено результати розрахунку втрат потужності для зимового періоду у випадку застосуванням нерегульованих батарей статичних конденсаторів на шинах трансформаторних пунктів напругою 10 кВ.

	U_ном	dP	dP_ЛЕП	dP_Тр-р	Корона	XX_тр	dP_Ш-нт	dQ	dQ_ЛЕП	dQ_Тр-р	Ген_ЛЕ	Q_XX_тр	dQ_Ш-нт
1	10	0.1882173	0.01	0.1769017				0.4924393	0	0.4877502			

Рисунок 3.22 – Визначення втрат навантаження

Тоді річні втрати електричної енергії в режимі компенсації реактивної потужності на шинах трансформаторних пунктів напругою 10 кВ будуть рівні:

$$\Sigma \Delta W_{\text{рік}} = 165 \cdot \Delta P_{\text{літо}} + 200 \cdot \Delta P_{\text{зима}} = 165 \cdot 51,63 + 200 \cdot 188,2 = 45982,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Маючи результати розрахунку річних втрат електричної енергії, можна визначити величину економії електроенергії протягом року:

$$W_{EE} = \Delta W_{\text{без КРП}} - \Delta W_{\text{з НБСК}},$$

де $\Delta W_{\text{без КРП}}$ - величина річних втрат без компенсації реактивної потужності;

$\Delta W_{\text{з НБСК}}$ - величина річних втрат при нерегульованих батареях статичних конденсаторів.

Дані, які були отримані в результаті виконаного розрахунку економії електричної енергії за рік, представлені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Економія електроенергії за рік при компенсації реактивної потужності

Місце встановлення нерегульованих батарей статичних конденсаторів	W_{EE} за рік, кВт·год
Компенсації реактивної потужності на шинах ТП 0,4 кВ	8517
Компенсації реактивної потужності на шинах ТП 10 кВ	6238

3.6 Використання нерегульованих конденсаторних батарей на шинах трансформаторних пунктів 0,4 кВ

У кваліфікаційній роботі було проведено дослідження проблем, які виникають при компенсації реактивної потужності у міських мережах 10/0,4 кВ.

Оптимізація розвитку енергетичних систем та оптимізація управління режимами функціонування цими системами є складовою частиною оптимізації міських енергетичних систем. Так як розвиток сучасної обчислювальної техніки дає можливість для ефективнішого моделювання енергетичних систем, то дослідження і прогнозування режимів функціонування та вибір найбільш оптимального варіанту стають набагато доступнішими.

І в даному випадку завдання оптимізації полягає у плануванні та створенні умов моделювання, які достатньо максимально наближені до реальних. На даний час найбільш актуальною постала проблема нерівномірного розподілу потоків реактивної потужності у електромережах, де спостерігається недостатня пропускна спроможність її елементів.

Проведений в першому розділі кваліфікаційної роботи літературний аналіз показав, що зараз майже всюди спостерігається явище зростання абсолютних та відносних втрат електричної енергії, зокрема доволі значна частка технічних втрат (біля 60%) припадає на втрати від перетікання реактивної потужності. І якраз ці явища найбільше розповсюджені розподільчих електричних мережах 10/0,4 кВ.

Варто відзначити, що застосування компенсації реактивної потужності надає можливість суттєво покращити технічні і економічні показники роботи розподільчих електромереж напругою 10/0,4 кВ.

Найбільш ефективним технічним заходом для зниження втрат потужності та електричної енергії у міських розподільчих електричних мережах вважається компенсація реактивної потужності за допомогою встановлення нерегульованих батарей статичних конденсаторів. На сьогоднішній день конденсаторні установки мають достатньо переваг над іншими видами компенсаційних установок:

- питома величина втрат електричної енергії в конденсаторах суттєво нижча у порівнянні з іншими джерелами реактивної потужності;

- маємо достатньо великий діапазон маневрування при виборі потужності та місця установки конденсаторних батарей. Залежно від поставлених умов і техніко-економічного обґрунтування потужність конденсаторних батарей можна змінювати в межах від найменших потужностей у міських електромережах 0,4 кВ до великих потужностей батарей, які встановлені на потужних підстанціях. Конденсаторні батареї можна приєднувати практично в будь-якій точці електромережі, тобто є можливість розміщувати їх поряд в місцях найбільшого споживання реактивної потужності;

- відсутність рухомих частин, відносна невисока ціна, мала маса, відсутність шуму під час роботи та простий монтаж і експлуатація;

- найбільшою перевагою конденсаторних батарей вважається можливість покрокового збільшення їх потужності за допомогою приєднання нових секцій у випадку зростання споживання реактивної потужності в електромережі.

На сьогоднішній день практичне використання батарей статичних конденсаторних поки що не отримало широкого розповсюдження. Варто також відзначити, що у міських розподільчих електромережах 10/0,4 кВ вони практично не використовуються. Цей факт можна пояснити тим, що на даний час відсутня проста і точна методика оцінки економічної ефективності застосування таких компенсаційних установок. Відповідно в Україні на даний час проблеми вирішення компенсації реактивної потужності в міських електромережах 10/0,4 кВ поки що не отримали широкого розповсюдження, так як немає закріплених методичних вказівок та затверджених рекомендацій щодо їх розрахунку, встановлення та монтажу у вузлах споживачів міських електромереж.

3.7 Висновки до розділу

1. Отримані результати щодо розміщення конденсаторних установок на шинах трансформаторних пунктів 10/0,4 кВ показали, що при їх встановленні на шинах ТП 0,4 кВ зниження втрат електроенергії становило 17%, тоді як ефект від встановлення на шинах ТП 10 кВ становив тільки 11 %.

2. При встановленні нерегульованих батарей статичних конденсаторів на шинах ТП 0,4 кВ можна досягнути мінімального терміну окупності - 1,7 роки, тоді як компенсація реактивної потужності на шинах ТП 10 кВ відповідає максимальному терміну окупності - 2,7 роки.

3. Отже, компенсацію реактивної потужності при допомозі встановлення нерегульованих батарей статичних конденсаторів на шинах ТП 10/0,4 кВ доцільно проводити на низькій стороні, тобто на шинах ТП 0,4 кВ.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи безпеки при експлуатації пристроїв компенсації реактивної потужності

При експлуатації конденсаторних установок необхідно дотримуватися деяких додаткових вимог з техніки безпеки, так як в цих установках наявні значні ємності [19].

Якщо відключений конденсатор своєчасно не розрядити, то випадковий дотик до нього може створити коло розряду, що замикається через тіло людини, яка доторкнулася до нього. Негативні наслідки розряду конденсатора на людський організм залежать від ряду факторів, особливо від ємності конденсатора і від напруги, до якої він був заряджений. Чим більша ємність конденсатора і чим вища його напруга, тим небезпечніше для людини ураження струмом під час розрядки конденсатора [20].

У літературі описано ряд нещасних випадків, що сталися внаслідок випадкового дотику до заряджених конденсаторів в імпульсних і фільтрових електроустановках і при випробуваннях конденсаторів різного призначення. Ці випадки супроводжувалися серйозними наслідками для потерпілих, а один з них мав навіть смертельний результат. Смерть була викликана випадковим дотиком до відключеного електричного фільтра, до складу якого входили конденсатори ємністю 37 мкФ і 12,5 мкФ та заряджені до напруги не більше 1000 В [21].

Ємність конденсатора і його напруга є важливими, але не єдиними чинниками, що визначають небезпеку розряду для людського організму. Наслідки розряду, як і в інших випадках ураження електричним струмом, залежать від опору контактів між людським тілом і сусідніми ділянками розрядного кола та інших обставин.

З метою уникнення небезпечних наслідків схема з'єднань конденсаторної установки повинна забезпечувати автоматичний розряд конденсаторів зразу ж після їх відключення. Можливі випадки, коли за наявності розрядних пристроїв конденсатори в батареї все ж залишаються зарядженими протягом тривалого

часу після їх відключення. Це може статися не тільки при випадковому обриві в колі розрядних пристроїв, але і при спрацьовуванні запобіжників для групового чи індивідуального захисту конденсаторів. Тому, щоб уникнути дотику до заряджених конденсаторів, при обслуговуванні конденсаторної установки необхідно виконувати такі вимоги в доповнення до загальних вимог з техніки безпеки.

Перед початком будь-якої роботи, при якій можливою дотик до струмопровідних частин відключеною конденсаторної установки, повинен бути проведений контрольний розряд конденсаторів. У батареях з індивідуальним захистом конденсаторів проводиться розряд кожного конденсатора в окремо, при груповому захисті - розряд кожної групи і при одній тільки спільному захисті - розряд всієї батареї в цілому [22].

При індивідуальному захисті розряд кожного конденсатора здійснюється шляхом замикання його затискачів за допомогою заземленого металевого стержня розрядної штанги. При груповому і одному тільки спільному захисті замикаються накоротко за допомогою того ж стержня відповідні струмопровідні шини в ошиновці батареї (після запобіжників).

Поява іскри при замиканні вказує на те, що конденсатор був заряджений. В цьому випадку замикання має тривати кілька секунд не тільки для зниження напруги до нуля, але і щоб уникнути появи залишкового заряду на затискачах конденсатора після розмикання розрядного кола.

Контрольний розряд конденсаторів необхідно проводити як при окремих розрядних опорах, так і при розряді батареї на обмотки силового трансформатора або двигуна, а також при розрядних опорах, підключених до затискачів конденсатора або вбудованих всередину конденсаторного бака.

Контрольний розряд ємності між затискачами і баком конденсатора можна вважати зайвим, так як ця ємність дуже мала. Незалежно від цього розряд ємності між затискачами конденсатора за допомогою заземленого стержня розрядної штанги є одночасно розрядом ємності між затискачами і заземленим баком конденсатора. Розміри розрядної штанги повинні бути

однаковими з розмірами ізолюючої штанги для оперативних перемикачів в установках тієї ж напруги, що і конденсаторна установка. Металевий стержень штанги повинен мати поперечний переріз не менше 25 мм^2 [23].

Згідно з Правилами технічної експлуатації зміна патронів, які спрацювали, або несправних запобіжників повинна проводитися при знятій з конденсаторної установки напрузі після контрольного розряду відключених конденсаторів [24].

Крім перерахованих вище вимог, що ставляться до повсякденного обслуговування конденсаторних установок, необхідно дотримуватися додаткових вимог з техніки безпеки при випробуваннях конденсаторів. Якщо конденсатор піддається випробуванню підвищеною напругою через кенотронний апарат, то після закінчення випробування він залишається зарядженим до напруги, що в кілька разів перевищує його номінальну напругу. Тому необхідно розряджати випробуваний конденсатор на будь-який опір, підібраний в залежності від напруги конденсатора, який розряджається. Ця вимога аналогічна до вимогу про розрядку силового кабелю після випробування підвищеною напругою.

Для розряду конденсаторів після випробувань можна використовувати ті ж види електрообладнання, які застосовуються в якості постійно встановлених розрядних опорів, але з урахуванням наявності на конденсаторі підвищеної напруги проти номінальної. Розряд конденсаторів великої ємності, заряджених до напруги в кілька сотень вольт, зручно робити на вольтметр, так як при цьому можна спостерігати за приладом поступове зниження напруги на затискачах конденсатора, який розряджається. При будь-якій номінальній напрузі не слід здійснювати розряд конденсаторів після випробування підвищеною напругою шляхом замикання їх накоротко.

Як зазначено в [25], при індивідуальній компенсації асинхронних двигунів може спостерігатися при певних умовах самозбудження двигунів, що представляє небезпеку для обслуговуючого персоналу. Ці умови зустрічаються тільки в невеликій частині установок, але для більшої безпеки слід попередити обслуговуючий персонал про можливість наявності напруги на затискачах

відключеного двигуна з індивідуальною компенсацією протягом всього часу, поки двигун продовжує обертатися після відключення.

При експлуатації конденсаторів, просочених хлорованим дифенілом, слід враховувати його токсичні властивості [26]. Якщо виявлено просочування хлорованого дифенілу крізь нещільності бака конденсатора, то при будь-якій роботі з останнім не потрібно торкатися руками обличчя і не приймати їжі, а після закінчення роботи ретельно вимити руки з милом.

4.2 Захист персоналу у діючих електроустановках

Щодо заходів безпеки, які передбачені в діючих електроустановках, зокрема, на повітряних і кабельних лініях електропередачі при проведенні ремонтних, монтажних, налагоджувальних, будівельних і інших робіт, можна розділити на 3 категорії: робота під напругою, робота без зняття напруги, робота зі зняттям напруги [20].

При виконанні робіт з частковим включенням обладнання електро-монтажнику забороняється наближатися самому і наближати інструмент та прилади, з якими він працює, до струмопровідних частин під напругою на відстань, яка є меншою за вказану в табл. 4.2, де приведено найменшу допустиму відстань виробничих працівників і використовуваних ними інструментів та приладів від тимчасових огорож до струмопровідних частин під час виконання робіт під напругою. Виконання робіт зі зняттям напруги здійснюється при повному або частковому відключенні електрообладнання.

На рис. 4.1 показано, як визначити відстані від людини, що виконує роботи в діючих установках, до струмопровідних частин, що знаходяться під напругою вище 1000 В.

Таблиця 4.1- Безпечна відстань від струмопровідних частин

	Діюча напруга електрообладнання, кВ									
	до 1,0	3 ... 35	60 ... 110	150	220	330	400 ... 500	750	800 постійного струму	1150
Найменша допустима відстань, м	0,7	0,7	1,0	1,8	2,1	2,6	3,6	5,2	3,6	8,3

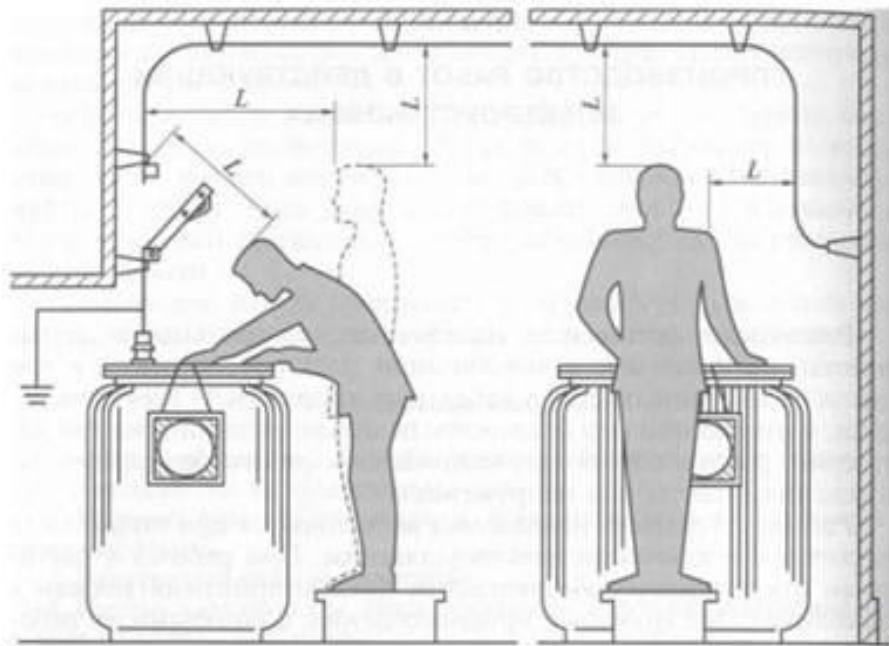


Рисунок 4.1 - Допустимі відстані від працівника до струмопровідних частин

Найменші допустимі відстані від людини до струмопровідних частин, що знаходяться під напругою вище 1000 В напругою при виконанні робіт в діючій електроустановці приведені в табл. 4.1. При роботі поряд з неогородженими струмопровідними частинами, що знаходяться під напругою, в електроустановках напругою до 110 кВ забороняється знаходитися так, щоб ці частини були позаду чи з бічних сторін.

Роботи без зняття напруги проводяться без відключення будь-яких частин електрообладнання. В цьому випадку працювати можна за огороженнями струмопровідних частин постійними і тимчасовими, на корпусах обладнання,

на основі оболонки кабелів, а також на відстанях від неогороджених струмопровідних частин під напругою, які приведені в табл. 4.1.

Роботи під напругою можна виконувати прямо на струмопровідних елементах із використанням електричних захисних засобів на відстанях, які зазначені в табл. 4.1. Електричні захисні засоби при виконанні цих робіт, призначені для захисту людини від струмопровідних частин, що є під напругою (діелектричні рукавички, кліщі, ізолюючі штанги), або від струму заземлення (діелектричні килими, галоші, спеціальні підставки, ізолюючі пристрою при роботах під напругою на повітряних лініях напругою вище 1000 В).

В електричних установках всі види робіт потрібно виконувати з обов'язковим дотриманням таких умов [23]:

- робота виконується з дозволу уповноваженої офіційної особи відповідно до завдання, яке оформлене у вигляді розпорядження або наряду-допуску;
- для забезпечення персоналу безпечних умов праці мають бути проведені організаційні і технічні заходи,

Наряд видається на основну частину робіт, які проводяться в електричних установках, беручи до уваги найбільш важливі, складні та тривалі. Наряди на повністю закінчені роботи зберігають протягом 30 діб в якості документі особливої важливості.

Розпорядження представляє собою усне або довільної форми письмове завдання на безпечне виконання роботи, в якому визначається її зміст, місце, заходи безпеки та особи, яким її виконання доручено. Роботи за розпорядженням є менш складними порівняно з роботами за нарядом, і зазвичай їх можна виконувати одноосібно.

Розпорядження, як правило, видається на не дуже складні або короточасні роботи тривалістю до 1 години та невідкладні роботи. Таке розпорядження має одноразовий характер, а термін його дії характеризується для виконавців тривалістю робочого дня. З метою забезпечення нормальної організації проведення робіт для запобігання нещасних випадків при активній

продуктивності праці і якісному виконанню робіт визначають такі організаційні заходи:

- призначення осіб, що відповідають за безпечне виконання робіт;
- організація нарядів або розпоряджень на виконання робіт;
- допущення працівників до роботи;
- контроль за дотриманням працівниками вимог безпеки;
- організація перериві в роботі та її завершення.

Крім зазначених організаційних заходів необхідним є також проведення технічних заходів, а саме:

- виконання необхідних відключень та організація заходів з метою перешкодження помилковому включенню комутаційного обладнання;
- контроль відсутності напруги на незадіяних струмопровідних елементах;
- переносні плакати безпеки, встановлення тимчасових огорож;
- встановлення тимчасових заземлень на недіюче струмопровідне обладнання.

Технічні заходи повинні забезпечити безпеку персоналу під час виконання робіт з повним або частковим зняттям напруги з електричної установки [27].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі приведені результати теоретичних досліджень та вирішена науково-технічна задача, що полягає в дослідженні використання нерегульованих конденсаторних батарей в мережах 10 кВ. У результаті проведених досліджень та розрахунків режимів роботи міських розподільчих електромереж 10/0,4 кВ було зроблено наступні висновки.

1. Зважаючи на постійне зростання величини споживання реактивної електроенергії, найефективнішим способом зниження втрат у вузлах навантаження можна вважати компенсацію реактивної потужності. При компенсації реактивної потужності в міських розподільчих мережах доцільно використовувати нерегульовані батареї статичних конденсаторів, оскільки графік споживання реактивної потужності порівняно з активною є відносно постійним, тобто можна компенсувати значну частину реактивної енергії ще у вузлі навантаження.

2. Отримані розрахунки за допомогою типової схеми розміщення нерегульованих конденсаторних батарей на шинах трансформаторних пунктів 10 кВ і 0,4 кВ розподільчої електромережі показали максимальне зниження річних втрат 117459 кВт·год можна отримати при їх встановленні на шинах ТП 0,4 кВ. При встановленні їх на шинах ТП 10 кВ отримали зниження річних втрат у розмірі 127525 кВт·год.

3. Було проведено експериментальні дослідження встановлення нерегульованих батарей статичних конденсаторних на шинах трансформаторних пунктів 10 кВ і 0,4 кВ на реальній ділянці міської розподільної мережі Чортківського РЕМ (фідери №№ 7, 5 РП–190, ПС–63), які підтвердили більше зниження втрат електроенергії (17 %) було отримано на шинах ТП 0,4 кВ, а на шинах ТП 10 кВ цей ефект становив тільки 11 %.

4. Найкращим варіантом є розміщення нерегульованих батарей статичних конденсаторних на шинах ТП 0,4 кВ з мінімальним терміном окупності 1,7 роки, тоді як максимальний термін окупності 2,7 роки відповідає варіанту компенсації реактивної потужності на шинах ТП 10 кВ.

5. При встановленні конденсаторних установок на шинах трансформаторних пунктів 0,4 кВ можна отримати кращий ефект від компенсації реактивної потужності у розподільній мережі та значно знизити втрати електроенергії і, відповідно, відтермінувати будівництво нових потужностей, що є дуже актуальним питанням на сьогоднішній день.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Журахівський, А. В. Оптимізація режимів електроенергетичних систем : навч. посібник для вузів / А. В. Журахівський, І. В. Жежеленко ; Держ. ун-т "Львівська політехніка"; ПДТУ. КАф. електропостачання пром. підприємств .. - Львів ; Маріуполь : [б. и.], 2000. - 109 с.
2. П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії / Вінниця: ВНТУ, 2018. – 174 с. ISBN 978-966-641-353-9.
3. Ковалев И.Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей. - Москва, Энергоатомиздат, 1990 – 200 с.
4. Мокін Б.І., Грабко В.В., Львов І.Ю. Спосіб регулювання напруги в електричних мережах // IV Міжнар. наукової конференції “Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств” (PQ 2000). – 2000. – С.153.
5. Електричні мережі та системи: підручник [для студентів електроенергет. спец. ВНЗ, аспірантів, викл. і спеціалістів відповід. профілю] / М. С. Сегеда ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». — 3-тє вид, переробл. та доповн. — Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. — 540 с.
6. Шкрабець Ф.П. Класифікація і структура витрат електроенергії / Ф.П. Шкрабець, Ю.В. Куваєв, Д.В. ЦиПЛенков, П.Ю. Красовський // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Вип. 3(32). – 2005.
7. ГНД 34.09.204-2004. Методичні вказівки з аналізу технологічних витрат електроенергії та вибору заходів щодо їх зниження / М-во палива та енергетики України. – Офіц. вид. – К.: ГРІФРЕ: М-во палива та енергетики України, 2004..
8. Романюк, Ю. Ф. Оптимізація режимів електропостачальних систем: конспект лекцій / Ю. Ф. Романюк. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2018. - 135 с.
9. Оробчук Б., Антонюк К. Автоматичний регулятор компенсації реактивної потужності на промислових підприємствах // VII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» – Тернопіль, ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2018 р.

10. Методичні рекомендації визначення технологічних втрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередачі [Електронний ресурс]. – К.: Міненерговугілля України, 2013. – Режим доступу: http://www.leonorm.com/p/NL_DOC/UA/201301/Nak399.htm

11. Методика визначення нормативних технічних втрат електричної енергії в електричних мережах енергокомпаній України. – Горлівка: ДП «ДонОРГРЕС», 2004. – На заміну ГНД 34.09.104-2003.

12. Оробчук Б., Братковський Н, Семенюк В. Дослідження перехідних процесів при замиканнях на землю // VI Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “ - Тернопіль, ТНТУ ім. Івана Пулюя 2017 р.

13. Оробчук Б., Іванків А. Адаптивна система керування режимами електропостачання // Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут». - Бережани, 2016 р.

14. Попов В.В. Розробка методу вибору пристроїв компенсації реактивної потужності за умови мінімальних зведених витрат / В.В. Попов. Д.І. Комаричина // Електротехніка та електроенергетика: науковий журнал. – Запоріжжя. 2013. – Вип. 1. – С.77 – 82.

15. Оробчук Б., Гудзь В. Компенсація реактивної потужності в системі електропостачання // Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут».- Бережани, 2016 р.

16. Железко Ю.С, Артем'єв А.В., Савченко О.В. Розрахунок, аналіз і нормування втрат електроенергії в електричних мережах. Керівництво для практичних розрахунків. М.: Изд-во НЦ ЕНАС, 2002. 280с.

17. Товариство з обмеженою відповідальністю «Електросфера». [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL:<http://www.electrosfera.kiev.ua/glavna.html>

18. Данейко А.И. Вводный курс в RastrWin / А.В. Василевская, М.А. Костюкович; под. Ред. А.И. Данейко. – Москва: Мир – 2014. - 232 с.

19. Правила улаштування електроустановок, видання третє перероблене та доповнене. Київ, Мінпаливенерго України, 2012, 736 с.

20. Лут М.Т. Охорона праці в галузі. Методичні вказівки щодо виконання розділу у дипломних проектах студентів зі спеціальності 7.091901 «Енергетика сільськогосподарського виробництва». К.: НАУ, 2000 – 136 с.

21. Грабко В.В., Боцула М.П. Методи та інформаційно-вимірювальні системи для технічної діагностики силових косинусних конденсаторів. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. — 144 с.

22. Норми випробування електрообладнання. Офіційне видання. Міністерство палива та енергетики України / Об'єднання енергетичних підприємств «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики». – Київ, 2007.

23. Основи охорони праці: підручник для студентів вищих навчальних закладів // За ред. д.т.н., проф. М.П. Гандзюка - К.: Каравела, 2003. - 408 с.

24. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Із змінами і доповненнями, внесеними наказами Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 13 лютого 2012 року N 91, від 16 листопада 2012 року N 905, від 16 травня 2013 року N 273.

25. Лапін В.М., Безпека життєдіяльності людини, - Львів: ЛБК НБУ; Київ: Знання, 2000.-188 с.

26. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>

27. Влияние электромагнитного излучения на жизнедеятельность человека и способы защиты от него. Учебное пособие – Захаров С. Г., Каверзнева Т. Т. СПб.: СПбТТУ, 1992, 74 с., ил.

28. Євтух П.С., Буняк О.А., Оробчук Б.Я. Решетник В.Я. Зміст та тематика дипломних проектів (робіт) за спеціальністю 7.05070103 (8.05070103) електротехнічні системи електроспоживання // Методичні вказівки. - Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2012.