

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет електроенерготехніки та автоматики  
Кафедра автоматизації енергосистем**

«На правах  
рукопису» УДК  
621316

До захисту

допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Анатолій МАРЧЕНКО

«б» червня \_\_\_\_ 2024 р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-науковою програмою «Управління, захист та автоматизація  
енергосистем»**

**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»**

**на тему: «Аналіз Режимів Роботи Енергосистеми  
З Використанням Критеріїв Чутливості»**

Виконав: студент II курсу, групи ЕК-21мн

Гриценко Леонід Ігорович

---

Науковий керівник: Доцент, к.т.н., Хоменко О.В.

---

Рецензент: \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Факультет електроенерготехніки та автоматики  
Кафедра автоматизації енергосистем**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Управління, захист та автоматизація енергосистем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_Анатолій МАРЧЕНКО

«б» червня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту  
Гриценку Леоніду Ігоровичу**

1. Тема дисертації «Аналіз режимів роботи енергосистеми з використанням критеріїв чутливості», науковий керівник дисертації Хоменко Олег Володимирович, доцент к.т.н, затверджені наказом по університету від «25» березня 2024 р. № 1443-с
  2. Термін подання студентом дисертації «16» травня 2024 р.
  3. Об'єкт дослідження Фрагмент електричної мережі 330/220/110 кВ
  4. Вихідні дані Дослідження фрагмент електричної мережі 330/220/110 кВ
1. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 1) Фрагмент електричної мережі 330/220/110 кВ; 2)Схема розташування елементів електричної мережі; 3) параметри основного обладнання; 4) параметри споживання, завантаженості електричної мережі ;

2. Орієнтовний перелік публікацій Гриценко Л.І, Хоменко О.В. Можливості оцінки впливу реактивного навантаження і напруг вузлів електричної мережі на втрати потужності в ній.

3. Дата видачі завдання : «1» вересня 2023 року.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|--|----------|
| 1     | Закінчення теоретичного навчання та практики    | 17.03.2024                                       |          |
| 2     | Аналіз літературних джерел по темі МД           | 27.03.2024                                       |          |
| 3     | Розробка і оформлення Розділу 1                 | 10.04.2024                                       |          |
| 4     | Розробка і оформлення Розділу 2                 | 24.04.2024                                       |          |
| 5     | Розробка і оформлення Розділу 3                 | 1.05.2024  |          |
| 6     | Розробка і оформлення Розділу 4                 | 15.05.2024                                       |          |
| 7     | Підготовка графічних матеріалів                 | 22.05.2024                                       |          |
| 8     | Оформлення магістерської дисертації             | 5.06.2024  |          |
| 9     | Попередній захист МД                            | 6.06.2024  |          |

Студент

Леонід.ГРИЦЕНКО

Науковий керівник

Олег.ХОМЕНКО

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з пояснювальної записки, що за обсягом з 95 сторінок та містить у своєму складі 64 рисунків, 35 таблиць, 12 джерельних посилань.

**Актуальність теми** – використанням критеріїв чутливості може бути корисним для оцінки стабільності та надійності системи електропостачання.

**Мета дослідження** – ознайомлення з матеріалом, відтворення фрагменту електричної мережі, дослідження, та аналіз результатів. Дослідження уставленого, мінімального, та максимального режиму навантаження на критерій чутливості, а також аналіз загальносистемних втрат потужності.

**Об'єкт дослідження** – Фрагмент електричної мережі 330/220/110 кВ (Мукачевський район).

**Предмет дослідження** – Режими мінімальних і максимальних навантажень. Аналіз роботи енергосистеми з використанням критеріїв чутливості

**Методи дослідження** – моделювання різних режимів роботи фрагменту електричної мережі в програмному комплексі PowerFactory з наступною перевіркою.

**Практичне значення одержаних результатів** – результат може бути використаний різноманітними організаціями для оптимізації електричної мережі, з цілею збільшення рівня стійкості енергосистеми.

Ключові слова: АНАЛІЗ РЕЖИМУ РОБОТИ, РЕЖИМУ РОБОТИ ЕНЕРГОСИСТЕМИ, ВИКОРИСТАННЯ КРИТЕРІЇВ ЧУТЛИВОСТІ, КРИТЕРІЙ ЧУТЛИВОСТІ, РЕЖИМ МІНІМАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, РЕЖИМ МАКСИМАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ФРАГМЕНТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

## ABSTRACT

The master's thesis consists of an explanatory note, which is 95 pages long and contains 64 figures, 35 tables, and 12 source links.

**The relevance of the topic** - the use of sensitivity criteria can be useful for assessing the stability and reliability of the power supply system.

Purpose of the study - to identify possible problems or malfunctions in the system

**Object of study** - A fragment of the 330/220/110 kV power grid (Mukachevo district).

**Subject of the study** - Modes of minimum and maximum loads. Analysis of power system operation using sensitivity criteria

**Research methods** - modeling of various modes of operation of a fragment of the power grid in the PowerFactory software package with subsequent verification.

**Practical significance of the results** - the result can be used by various organizations to optimize the power grid, in order to increase the level of stability of the power system.

Keywords: OPERATION MODE ANALYSIS, POWER SYSTEM OPERATION MODE, USE OF SENSITIVITY CRITERIA, SENSITIVITY CRITERION, MINIMUM LOAD MODE, MAXIMUM LOAD MODE, POWER GRID FRAGMENT

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....  | 8  |
| ВСТУП .....   | 9  |
| ОЦІНКА РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ЧУТЛИВОСТІ .....  | 10 |
| 1.1 Математичні основи теорії чутливості .....  | 10 |
| 1.2. Індекси чутливості при аналізі режимів роботи електроенергетичної системи .....  | 10 |
| 1.3. Визначення чутливості по напрузі .....   | 11 |
| 1.4. Визначення чутливості по втратам активної потужності та їх зміні .....   | 13 |
| 1.5. Коефіцієнти чутливості втрат потужності у гілках до напруги у вузлах ЕЕС.....  | 16 |
| 1.6. Застосування програмного комплексу PowerFactory для оцінки та аналізу чутливості ....                                      | 20 |
| 1.6.1. Опції аналізу чутливості.....  | 21 |
| 1.6.2. Виконання аналізу чутливості та результат .....  | 22 |
| 1.6.3. Теоретичні засади реалізації функції чутливості.....   | 24 |
| Висновки по розділу 1 .....   | 25 |
| ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ – ФРАГМЕНТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ 330/220/110 КВ ОЕС УКРАЇНИ .....  | 26 |
| 2.1 Схема фрагменту електричної мережі. Загальна характеристика схеми, обладнання, режимів роботи.....                          | 27 |
| 2.2. Загальні питання управління режимами електричних мереж .....   | 35 |
| 2.3. Розрахунок режимів роботи фрагменту електричної мережі в PowerFactory. Режими мінімальних і максимальних навантажень. .... | 36 |
| 2.4 Критерій чутливості фрегменту електричної мережі в різних режимах завантаження .....  | 52 |
| Продовження таблиця 2.15.....   | 58 |
| Висновок до розділу 2.....  | 58 |
| ОЦІНКА ЧУТЛИВОСТІ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ В МЕРЕЖІ ДО ЗМІН ВУЗЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ .....  | 60 |
| 3.1. Алгоритм дослідження .....   | 60 |
| 3.2. Поняття економічного еквівалента реактивної потужності.....  | 61 |
| 3.3. Дослідження залежності коефіцієнтів чутливості від режимів вузлових навантажень .....                                      | 66 |
| навантажень .....   | 66 |
| Висновки по розділу 3 .....   | 77 |
| АНАЛІЗ ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ НА ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ МІСЦЬ І СЕНСОРІВ .....  | 78 |
| 4.1. Аналіз вузлів схеми на визначення «слабких місць» за напругою .....  | 78 |
| 4.2. Аналіз вузлів схеми на визначення слабких місць за перетоками активної потужності... ..                                    | 83 |
| 4.3. Комплексний аналіз характеристик схеми, визначення сенсорів .....  | 84 |
| 4.4. Аналіз загальносистемних втрат потужності .....  | 85 |
| 4.4.1 Співвідношення допустимих і транзитних втрат електроенергії в мережах енергосистем.....                                   | 86 |
| 4.4.2 Визначення втрат потужності в ЕС від транзитних перетікань .....  | 87 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Висновки по розділу 4 .....  | 7  |
| Висновки по розділу 4 .....  | 91 |
| ВИСНОВКИ.....                | 92 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ..... | 93 |

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЗВТ - зміни вимірюваної величини

ЕЕС - електроенергетична система

РП - регулюючі пристрої

ОЕС-У - об'єднана енергетична система України

АЕС - атомна електростанція

ЛЕП - лінія електропередач

ЕМ - електрична мережа

ПС - електрична підстанція

ПЛ - повітряна лінія електропередавання

ВДА - відновлювана енергетика

АСДУ - автоматизованої системи диспетчерського управління

РПН - регулювання напруги трансформатора

ЕО - електропередавальна організація

ЕЕРП - економічно еквівалентна реактивна потужність

ЕРС - електрорушійна сила самоіндукції

СП - силові розподільчі пункти

ККД - коефіцієнт корисної дії

## ВСТУП

Чинемало існує електроенергетичних систем всклад яких входять електричні станції для добування електроенергії, систем обласних, регіональних, та районних ліній електропередач для передавання енергії на велику відстань; міжвузлових підстанцій для об'єднання мережі електропередач в склад , та пониження або підвищення рівня номінальної напруги між собою; підстанцій для розподілення електричної енергії між споживачами. Усі електростанції, які знаходяться в одному регіоні, пов'язані одна з одною для паралельної роботи на загальне навантаження за допомогою ЛЕП різних класів напруги. Об'єкти відрізняються способом виробництва, споживанія , об'єму споживання, часовим інтервалом вироблення електричної або теплової енергії.

Споживачі це кінець гілки від її вироблення , транспортування, перетворення, розподілення , і все це називається електроенергетичною системою, головними її функціями.

# ОЦІНКА РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ЧУТЛИВОСТІ

## 1.1 Математичні основи теорії чутливості

Теорія чутливості – це сукупність методів, який забезпечує систематичне зменшення небажаних ефектів певного шуму в системі, який є результатом зміни параметрів і певних небажаних зовнішніх вхідних даних, що діють на цю систему, зазвичай розрахунок чутливості виконується варіаційним методом.

Вплив різних параметрів об'єкта на певну вихідну характеристику може відрізнятися. Для максимальної оптимізації процесу обирається з найбільшою мірою, що впливає на позитивний результат цих характеристик, з точки зору уставленого режиму, а також перехідних процесів. Причому заміна декількох параметрів або навіть одного може викликати зміну усіх параметрів вихідних характеристик. В позитивному чи негативному факторі. Оптимізація систем великом обсягом та складних за складом, в склад яких входять силові трансформатори ґрунтується на матриці чутливості.

Оцінка чутливості навантаження та еквівалентного опору шин навантаження виконується при аналізі чутливості. Параметрами керуючих змінних є взлові напруги та струми.

Більшість методів чутливості, освоєні на визначенні кожного керуючого внеску стабільності напруги, визначання детальної моделі системи та складних розрахунків для знаходження критичної точки через сингулярність Матриця Якобі

## 1.2. Індекси чутливості при аналізі режимів роботи електроенергетичної системи

Оцінка чутливості за навантаження використовується 4 індекси за обмеженням напруги та реактивної потужності. Перевага аналізу чутливості, це можливість заплановано підняти загальну надійність систем, за допомогою покращення параметрів надійності та ємності кожного елемента окремо.

В більшості літературних джерелах аналіз чутливості до індексів надійності, оснований на обсленні величин змінних тих самих індексів відносно параметрів елементів. За такики параметрами, ємнісність, доступність, частота ремонту, відмов.

Множники Лагранжа використовуються для аналізу чутливості. Також ще єдині дані, для знаходження яких потрібно використовувати модель лінійного програмування або ж з потоку потужності постійного струму, які є множниками Лагранжа попиту.

Аби уникнути падіння напруг, аварійних ситуацій, повинно виконуватися зціщення системи живлення, для цього накладається межі на потужність, та надійність системи за допомогою аналізу чутливості. Для включення обмеження можна використовувати потоки помутжності змінного струму при виконанні процесу оптимізації. Нище приведені вирази для визначення індексу чутливості відносно напруги, та реактивної потужності.

$$V_Q = \frac{\partial V}{\partial Q}; V_{v0} = \frac{V}{V_0}; P_{грQ} = \frac{\partial P_{гр}}{\partial Q}; Q_P = \frac{\partial \Delta Q}{\partial P}; P_{грX} = \frac{\partial P_{гр}}{\partial X} \quad (1.1)$$

V- напруга на підстанції;

$V_0$  – напруга у режимі відсутності навантаження;

P – перелік активної потужності за перетином.

X – реактивний опір ЛЕП;

Q – реактивна потужність;

$\Delta Q$  – втрати реактивної потужності в ЛЕП;

### 1.3. Визначення чутливості по нарузі

Головними цілями визначення чутливості по є вирішення таких поставлених цілей для енергосистеми, які пиведені далі :

1. Регулювання напруги
2. План розширення мережі
3. Зменшення втрат напруги, і не тільки
4. Зміна розміщення рективної потужності, генераторів

Визначення чутливості по напрузі виконується с залежністю вихідного сигналу до зміни вимірювального параметру, а також реагування вихідного сигналу. Якщо зменшити чутливість по відношенню до струму, опір може змінюватися або ні.

Існує пропорційна залежність  $c=1/S$  , тобто відношення ціни поділки та чутливості . Першочергово визначення ціни поділки можна пояснити наступним чином.

Ціна поділки (с) – це різниця значення величин, або ж різниця між верхнім та нижнім значенням шкали.

Чутливість (S) – це властивість зміни вимірюваної величини (ЗВТ) .

Вдалим прикладом можна привести котушку , якщо ми зільшоємо кількість ветків, зарахунок чого збільшиться чутливість по стуму, і значення опору теж буде більшим, але в такому випадку чутливітьсю по відношенню до напруги не зміниться. Сталою приладу можна назвати вечину обернену до чутливості.

Існує кілька видів чутливості, такі , як

- абсолютна чутливість засобу вимірювання.
- відносну чутливість засобу вимірювання.
- порогом чутливості.
- зоною нечутливості.

$$S = \frac{\Delta x}{\Delta y} \quad (1.2)$$

де:  $\Delta y$  — зміна сигналу на виході,  $\Delta x$  — зміна вимірюваної величини.

Поріг чутливості — найменше або найбільше значення величини, яка можна визначити при вимірюванні.

Зона нечутливості — це певний діапазон в межах якого зміни не відбувається змін.

Чутливість до напруги це відхилення на одиницю напруги.

$$\text{Чутливість по напрузі} = \frac{NBA}{kG} \quad (1.3)$$

де В – магнітне поле, А – площа котушки, N – кількість вітків, k – момент відновлення на одиницю обертання, G – опір гальванометра.

#### 1.4. Визначення чутливості по втратам активної потужності та їх зміні

Електроенергетична система (ЕЕС) це складний механізм, який постійно знаходиться під дією збурень. Вони бувають зовнішні збудення та внутрішні збурення. Бувають збурення однократні або багатократні, характеризуються кількісними змінами, в результаті можуть відбутися зміни параметрів мережи.

Головною задачею є утримання ЕЕС у допустимих областях роботи, для прогнозованої реакції мережі використовуються регулюючі пристрої (РП). Це можуть бути трансформатори, джерела реактивної або активної потужності, лінійні регулятори. Ці всі елементи можуть впливати, як точково так і загально на систему. Вирівнюючи параметри одного вузла, потім параметри можуть кардинально змінитися в багатьох інших.

“Врахування чутливості втрат потужності до збурень дасть можливість визначити області оптимального регулювання тими регулюючими пристроями (РП), що мають найбільший вплив для введення режиму в більш економічний стан. Це дасть можливість мінімізувати витрати загального ресурсу РП при заданому відхиленні для досягнення оптимальних значень напруги у вузлах, зниження втрат та міри неоднорідності в електричній мережі. Через те, що зміна навантаження або генерування (збурення) призводить до зміни міри впливу неоднорідності мережі в ЕЕС, то постає завдання дослідження чутливості показників неоднорідності мережі до збурень. Оскільки оптимізуючі дії, направлені на компенсацію негативного впливу неоднорідності мереж ЕЕС, формуються за результатами розрахунків, зокрема розрахунків ustalених режимів, то слід дослідити міру впливу розрахункових умов на прийняття оптимальних рішень. Дана задача розв’язується за допомогою математичного моделювання ustalених режимів в темпі процесу з врахуванням впливових факторів (зміна коефіцієнтів трансформації, вибір балансуєчого вузла тощо). Розглянемо метод оцінки чутливості сумарних втрат потужності в неоднорідних ЕЕС як критерію оптимальності її режимів та втрат потужності в окремих вітках електричних мереж до зміни навантаження у вузлах. За ідеєю пропонується тут

підхід схожий з методом використання відносних приростів технологічних втрат електроенергії на шляху в електричній мережі від джерела електроенергії до споживача .

В (1.6) показано, що сумарні втрати потужності у вітках ЕЕС визначаються

$$\Delta S = TS \quad (1.4)$$

де  $T$  — матриця коефіцієнтів розподілу втрат потужності у вітках схеми в залежності від потужності у вузлах  $S$  .

У відповідності з (1) втрати потужності в  $i$ -й вітці ЕЕС

$$\Delta S_i = T_i S \quad (1.5)$$

де  $T_i = (U_t M_{\Sigma i}) C_i U_d$  —  $i$ -й рядок матриці  $T$ , що відповідає  $i$ -й вітці.  $U_t$  — транспонований вектор напруг у вузлах, включаючи  $i$  базисний.  $M_{\Sigma i}$  —  $i$ -й стовпець матриці з'єднань віток у вузлах, включаючи  $i$  балансувальний.  $C_i$  —  $i$ -й вектор-рядок матриці розподілу струмів у вузлах по вітках схеми.  $U_d$  — діагональна матриця напруг у вузлах, включаючи  $i$  базисний.

Якщо допустити, що коефіцієнти розподілу втрат потужності у вітках є незмінними, то зі зміною потужності у вузлах втрати потужності в  $i$ -й вітці також зміняться і будуть рівні

$$\Delta S_i = T_i \Delta S \quad (1.6)$$

де  $\Delta S = S^k - S^{k+1}$  зміна потужності у вузлах ЕЕС з переходом з  $k$ -го режиму до  $(k + 1)$ -го. Якщо зміни відбулися тільки в одному вузлі —  $g$ -му, то приріст втрат потужності в  $i$ -й вітці від зміни потужності в  $g$ -му вузлі на  $\Delta S_g$  буде складати

$$\Delta S_{ig} = t_{ig} \Delta S_g \quad (1.7)$$

$$\text{де } t_{ig} = \frac{\Delta S_{ig}}{\Delta S_g}$$

З (1.8) у відповідності з (1.10) випливає, що  $t_{ig}$  є коефіцієнтом чутливості втрат потужності в  $i$ -й вітці до зміни потужності в  $g$ -му вузлі. Оскільки матриця  $T$  складається з елементів виду  $t_{ig}$ , то вона є матрицею чутливості, яка встановлює зв'язок між приростами втрат потужності у вітках ЕЕС і змінами потужності у

вузлах. З визначення матриці чутливості в (1.5) видно, що коефіцієнти чутливості втрат залежать від параметрів системи (матриця струморозподілу  $C$ ), її топології (матриця з'єднань віток у вузлах  $M_{\Sigma}$ ), а також від значень напруг у вузлах ЕЕС  $U$ .

На практиці в ЕЕС виникають задачі, коли у вузлах змінюються тільки активна або реактивна потужності. Якщо у вузлі змінюється тільки активна потужність ( $\Delta Q_g = 0$ ,  $\Delta P_g \neq 0$ ), то з (1.8) випливає, що

$$t_{ig} = \frac{\Delta P_{ig}}{\Delta P_g} + j \frac{\Delta Q_{ig}}{\Delta Q_g} \quad (1.8)$$

І навпаки, якщо у вузлі змінюється тільки реактивна потужність (вмикається або вимикається джерело реактивної потужності,  $\Delta Q_g \neq 0$ ,  $\Delta P_g = 0$ ), то з (5) маємо

$$t_{ig} = \frac{\Delta Q_{ig}}{\Delta Q_g} - j \frac{\Delta P_{ig}}{\Delta P_g} \quad (1.9)$$

Оскільки критерієм оптимальності нормальних режимів ЕЕС є втрати активної потужності, то як коефіцієнти чутливості інтерес в першу чергу викликають перша складова з (1.6) і друга складова з (1.10). Відповідно з них формуються матриці чутливості втрат активної потужності у вітках до змін у вузлах активної  $T_{iP}$  і реактивної  $T_{iQ}$  потужностей. Тоді втрати активної потужності в  $i$ -й вітці зі зміною режиму у вузлах визначаються

$$\Delta P_{iP} = T_{iP} \Delta P, \Delta P_{iQ} = T_{iQ} \Delta Q \quad (1.11)$$

де  $\Delta P, \Delta Q$  — зміни відповідно активної і реактивної потужностей у вузлах ЕЕС.

Для оперативного моніторингу втратами від транзитних перетікань та їх оптимізації можуть використовуватися коефіцієнти чутливості втрат потужності до збурень в системі, зокрема до зміни навантаження або генерування у вузлах. Матриця коефіцієнтів чутливості формується за результатами розрахунку характерного усталеного режиму і за необхідності уточнюється урахуванням зміни напруги у вузлах схеми ЕЕС.

Для підвищення ефективності керування нормальними режимами ЕЕС з метою зменшення втрат електроенергії, необхідно виявляти найбільш ефективні

регулюючі пристрої, оцінюючи чутливість втрат потужності у вітках схеми до зміни параметрів режиму ЕЕС, а саме до зміни навантаження (генерування) у вузлах. ” (Скиба М. Є. Вісник)

### **1.5. Коефіцієнти чутливості втрат потужності у гілках до напруги у вузлах ЕЕС**

Аналіз чутливості зазвичай використовується для визначення коефіцієнтів чутливості напруги відносно вузлової реактивної та реальної потужності. Ці чутливості можна активно використовувати для змінними керування для точного вирішення проблем напруги.

Розглянемо трифазну симетричну, радіальну розподільчу мережу з  $n$  вузлами та  $n$  відгалуженнями, де "вузлами" будемо називати точки підключення навантаження приєднання, точки зміни лінійних характеристик та місця з'єднань, а "вітками" - відрізки провідника відрізки між двома вузлами.

Вузли можуть бути пронумеровані таким чином: "початок" мережі (як правило, первинна підстанція ВН/НН) має номер 0, тоді як інші вузли номер 0, тоді як інші вузли нумеруються послідовно, причому "приймаючий" вузол має номер, вищий за номер "відправляючого", приймаючий" вузол має більший номер, ніж найближчий до нього "відправляючий" вузол.

Терміни "приймаючий" і "відправляючий" використовуються у припущенні, що в традиційній радіальній мережі, тобто без розподілених генераторів, потік потужності спрямований від меншого номера до більшого. Гілки гілки ідентифікуються тим же номером, що і їх приймаючий вузол, як показано на рис. 1.

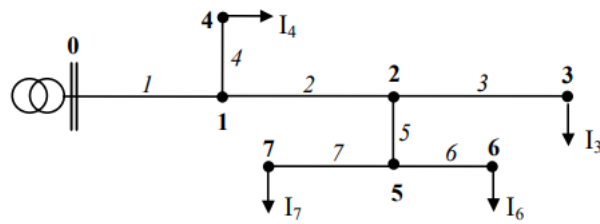


Рисунок 1 - Однолінійна схема трифазної симетричної, радіальної розподільчої мережі

Один із відомих підходів базується на матриці Якобі. Цей підхід є класичним методом і залежить від розв'язання потоку потужностей Ньютона Рафсона. Чутливість до напруги визначається за допомогою оберненої матриці Якобі ( $J$ ) за одного робочого стану. Проте, коефіцієнти чутливості повинні бути оновлені з будь-якою зміною в стані системи (наприклад, зміни попиту, генерації, топології та/або параметрів мережі). Це вимагає виконання нових обчислень потоку потужності на основі Ньютона-Рафсона, і, отже, потрібно більше часу на обчислення. Крім того, збіжність не може бути отримана цим методом. Такі методи, розроблені для дослідження потоку навантаження на передачу, непридатні для систем розподілу через погану конвергенцію. Це пов'язано з радіальною структурою та високим співвідношенням  $R/X$  розподільчих мереж. Таким чином, ці проблеми можуть створити новий виклик для контролю напруги в реальному часі. Незважаючи на те, що цей тип аналізу чутливості з'являється в останніх дослідженнях для додатків у реальному часі, таких як контроль напруги і питання стабільності напруги, аналіз виконується офлайн і лише за нормальних робочих умов.

“Як видно з (1.5) формули значення елементів матриці чутливості  $T$  в загальному випадку залежать від напруги у вузлах  $U$ , яка, в свою чергу, також залежить від потужностей навантаження і генерування у вузлах. В цьому випадку зі зміною потужності у вузлах втрати потужності в  $i$ -й вітці зміняться і, будуть рівні.

$$\begin{aligned}\Delta S_i &= T_i^k S^k - T_i^{k+1} S^{k+1} \text{ або, з врахуванням того, що} \\ S^{k+1} &= S^k - \Delta S, \text{ а } \Delta T_i = T_i^k - T_i^{k+1} \\ \Delta S_i &= \Delta T_i S^k + T_i^{k+1} \Delta S\end{aligned}\quad (1.12)$$

Якщо зміни відбулися тільки в одному вузлі — g-му, то приріст втрат потужності в i-й вітці від зміни потужності в g-му вузлі на  $S_g \delta$  & у відповідності з (1.11) буде

$$\Delta S_{ij} = \Delta t_{ig} S_g^k + t_{ig}^{k+1} \Delta S_g \quad (1.13)$$

З (1.13) коефіцієнт чутливості втрат потужності в i-й вітці до зміни потужності в g-му вузлі при переході від k-го до (k + 1)-го режиму з урахуванням зміни напруги у вузлах

$$t_{ij}^{k+1} = \frac{\Delta S_{ig}}{\Delta S_g} - \frac{\Delta t_{ig}}{\Delta t_g} S_g^k \quad (1.14)$$

З порівняння (1.14) і (1.8) видно, що в загальному чутливість втрат потужності в i-й вітці до зміни потужності в g-му вузлі залежить також від чутливості коефіцієнта чутливості  $t_{ig} \frac{\Delta t_{ig}}{\Delta S_g}$  до зміни потужності в g-му вузлі і від значення потужностей в режимі, що передуює змінам,  $S_g^k$ .

В (1.14) приріст коефіцієнта чутливості  $\Delta t_{ig}$  можна знайти з визначення вектор-рядка матриці T.

$$\Delta T_i = T_i^k - T_i^{k+1} = (U_t^k M_{\Sigma i}) C_i (U_g^k)^{-1} - (U_t^{k+1} M_{\Sigma i}) C_i (U_g^{k+1})^{-1}$$

З урахуванням того, що  $\Delta U_i^k = U_t^k M_{\Sigma i}$  і  $\Delta U_i^{k+1} = U_t^{k+1} M_{\Sigma i}$  відповідно падіння напруги на i-й вітці в k-му і (k + 1)-му режимах, останній вираз переписеться

$$\Delta T_i = C_i [\Delta U_i^k (U_g^k)^{-1} - U_i^{k+1} (U_g^{k+1})^{-1}] = C_i \Delta U_i^k (U_g^k)^{-1} (1 - \sigma_{\Delta i} \sigma_u^{-1}) \quad (1.15)$$

де  $\sigma_{\Delta i} = \frac{\Delta U_i^{k+1}}{\Delta U_i^k}$  — відносна зміна падіння напруги на i-й вітці зі зміною навантаження у вузлах;

$\sigma_u = U_i^k (U_g^{k+1})^{-1}$  — діагональна матриця відносної зміни напруги у вузлах зі зміною навантаження в системі.

Як видно з (1.15) приріст коефіцієнта чутливості  $\delta t$  & залежить тільки від

зміни напруги у вузлах при збуреннях в них. Наприклад, зі зміною навантаження тільки в  $g$ -му вузлі приріст коефіцієнта чутливості в  $i$ -й вітці .

$$\Delta t_{ig} = c_{ig} \frac{\Delta U_i^k}{U_g^k} \left(1 - \frac{\sigma_{\Delta i}}{\sigma_{ug}}\right) \quad (1.16)$$

де  $\sigma_{\Delta i} = \frac{\Delta U_i^{k+1}}{\Delta U_i^k} = \frac{U_p^{k+1} - U_q^{k+1}}{U_p^k - U_q^k}$  , ( $p$  і  $q$  — номери вузлів, що обмежують  $i$ -ту вітку);

$$\sigma_{ug} = \frac{\Delta U_g^{k+1}}{\Delta U_g^k} \quad (1.17)$$

Отримані формули приростів коефіцієнтів чутливості і  $\Delta T$  можуть використовуватися для уточнення чутливості втрат потужності у вітках схеми ЕЕС тоді, коли результати оцінки і ранжування віток за (1.8) виявились достатньо близькими, і це ускладнює прийняття оптимальних рішень.

Чутливість втрат потужності у вітках схеми ЕЕС залежить від параметрів системи, її топології та значень напруги у вузлах. Запропонований метод оцінки чутливості втрат потужності до збурень у вузлах з використанням матриці чутливості дозволяє визначити оптимальну послідовність коригуючих впливів на режими ЕЕС. Матриця чутливості втрат потужності до збурень у вузлах може визначатися за результатами розрахунків ustalених режимів ЕЕС або за результатами телевимірювань.

Даний метод оцінки чутливості параметрів режиму ЕЕС до зміни навантаження у вузлах схеми, дозволяє оцінювати чутливість втрат потужності в окремих її елементах під час зовнішніх та внутрішніх збурень, таких як: зміна навантаження або генерування окремих вузлів схеми. Застосування методу стосовно вузлів примикання з іншими системами дозволяє оцінювати чутливість втрат в окремих елементах ЕЕС до транзитних перетікань.” (П. Д. Лежнюк, Чутливість втрат потужності в електроенергетичних системах до зміни транзитних перетікань)

## 1.6. Застосування програмного комплексу PowerFactory для оцінки та аналізу чутливості

Система PowerFactory – програмне забезпечення для аналізу електричних систем, з'явилася у 1997 році.

Серед головних переваг продукту – підвищена стабільність обчислень, розвинений графічний інтерфейс користувача, надійна об'єктно-орієнтована база даних.

Вже майже 30 років Power Factory використовується в сфері енергетики, в деяких країнах на офіційному рівні. Power Factory охоплює весь спектр задач з проектування, управління, модернізування, онлайн моніторингу. Power Factory підходить та використовується як що максимально повномаштабних систем за розміром всієї країни так і для маленьких об'єктів та підприємств.

В PowerFactory присутній інструмент «Чутливість/Коефіцієнти розподілу», який доповнює аналіз потоку навантаження. Базуючись на розрахунку статичної стабільності напруги, він дає змогу користувачеві знати не тільки критичні точки в мережі, але й те, як на ці критичні точки впливають зміни умов системи. Діапазон факторів чутливості, які можна обчислити, включає стандартні коефіцієнти розподілу, такі як PTDF і OTDF.

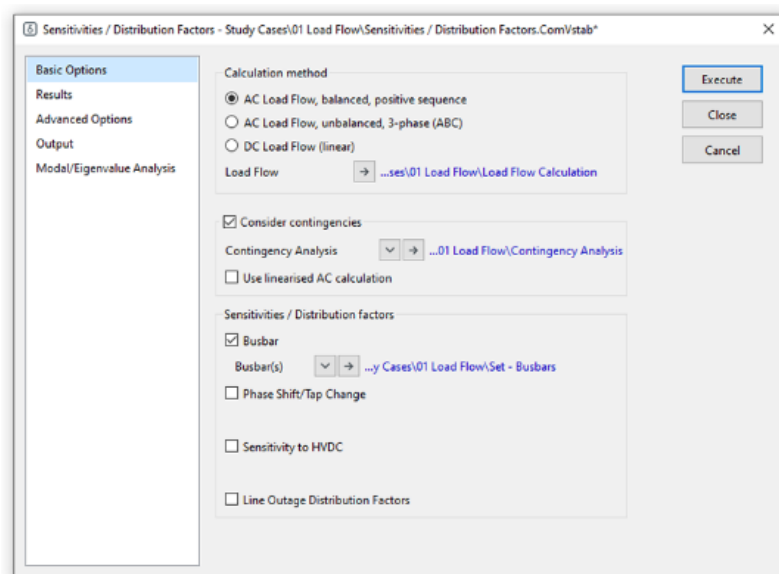


Рисунок 2 - Можливості інструменту «Чутливість/Коефіцієнти розподілу» в PowerFactory

- Широкий діапазон розрахунків напруги та чутливості потоку в гілках
- Чутливість трансформатора та підсилювача (безперервна та дискретна)
- Стандартні коефіцієнти розподілу (PTDF, LODF, OTDF, PSDF і TCDF)
- Одинична і множинна чутливість
- Розгляд непередбачених витрат
- Гнучкі параметри звітності
- Модальний аналіз для визначення сильних і слабких частин мережі

### 1.6.1. Опції аналізу чутливості

Чутливість потоку навантаження - це метод, який використовується для отримання певного співвідношення між залежними та незалежними змінними використання диференціального співвідношення між фізичними вимірювання поля в системах. Аналіз чутливості до напруги є на основі лінеаризації системи навколо робочої точки в результаті потоку навантаження .

Моделювання навантаження з використанням даних польових вимірювань від вимірювача якості електроенергії промислового споживача та стандартних моделей двигунів аналізується для оцінки їх впливу на чутливість стабільності системи. Чутливість потоку навантаження аналізується для виконання аналізу чутливості до напруги на основі лінеаризації ефективність системи є оцінюється за допомогою шинної системи IEEE 9. Про це свідчить результат параметри моделі навантаження мають різні значення чутливості при збуренні напруги. Результати набуті, таким чином, прийнятні та раціональні.

Чутливість потоку навантаження PowerFactory із використанням стандартної динаміки. Загальна форма навантаження шинної системи IEEE 9 для виконання чутливості до напруги аналіз, заснований на лінеаризації системи навколо робочої точки, яка є результатом розрахунку потоку навантаження, щоб полегшити ідентифікацію параметрів, на які найбільше впливає динаміка активного та реактивного навантаження.

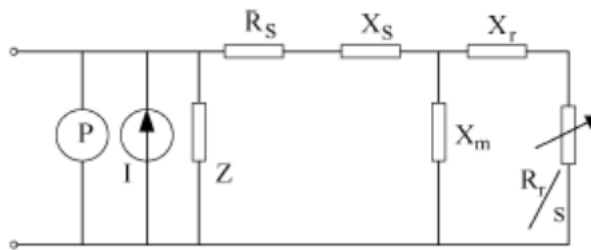


Рисунок 3 - Еквівалентна схема складеної моделі навантаження

Схематична будова композиційного навантаження модель показана вище, де аналіз чутливості до статичної напруги на основі частини представлено моделлю ZIP, тоді як динамічна частина представлена відповідно асинхронним двигуном. Модель складається зі статичної частини, змодельованої як ZIP, і динамічної частини, змодельованої як еквівалентна схема системи рівнянь двигуна третього порядку: динаміка.

$Z$ ,  $I$  і  $P$  представляють постійний опір, постійний струм і постійну потужність.  $R_s$  - опір обмотки статора;  $X_s$  - витік статора реактивний опір;  $X_r$  - реактивний опір витоку ротора;  $X_m$  - реактивний опір намагнічування;  $R_r$  - реактивний опір ротора, а  $S$  - ковзання двигуна відповідно.

### 1.6.2. Виконання аналізу чутливості та результат

Аналіз чутливості це сукупність методів, які можуть дати деякі відповіді на питання для заданої проблеми, що цікавить, що дає набагато краще розуміння основної математичної моделі з результатом помітного покращення результатів, отриманих за допомогою моделей. Традиційно під аналізом чутливості розуміють процедуру, що використовується в дослідженнях моделювання (прямі проблеми), де потрібно оцінити вплив варіацій параметрів на часовий хід результатів моделі та визначити параметри або початкові умови, до яких модель найбільше/найменше відповідає чутливий.

Аналіз чутливості потоку навантаження промислового асинхронного двигуна з використанням `digslent powerfactory`.

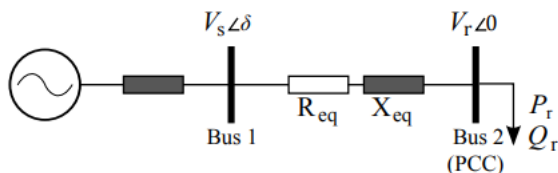


Рисунок 4 - Однолінійні схеми підготовчих систем

Чутливість потоку навантаження PowerFactory виконує а лінеаризація системи навколо робочої точки, яка є результатом розрахунку потоку навантаження. Лінеаризація рівнянь потоку навантаження навколо фактичної робочої точки призводить до наступного.

$$\begin{bmatrix} JP\theta & JPv \\ JQ\theta & JQv \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial\theta \\ \partial v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial P \\ \partial Q \end{bmatrix} \quad (1.18)$$

Система рівнянь у (1.18) показує, що зміни величини та кута напруги через невеликі зміни активної та реактивної потужності можуть бути безпосередньо обчислюється з матриці Якобі шини навантаження. Наприклад, якщо  $P$  встановлено на 0 ( постійне ), чутливість типу  $dv/dQ$  розрахуються з (1.18) відповідно до:

$$dv = \frac{1}{jQv\partial Q} = SvQ\partial Q \quad (1.19)$$

$$\text{де } jQv = -\frac{jQv}{jpv} jpv + jQv \quad (1.20)$$

Як видно з (1.16), зміну величини напруги на кожній шині можна описати а лінійна комбінація малої реактивної потужності. Важливо визначити та згрупувати варіації відповідно до:

$$\partial V_i = \frac{S_i}{\partial Q_1} + \dots + S_{i_n} \partial Q_n \quad (1.21)$$

Тут діагональні елементи  $S_{i1}$  з  $S$  представляють зміна напруги на шині через зміну реактивної потужності в тій же точці. Недіагональні елементи описують напругу зміна шини через зміну в реактивної потужності в іншій точці мережі.

Позитивна  $dv/dQ$  чутливість вказує на стабільність операція. Висока чутливість означає, що навіть мала зміни реактивної потужності викликають

великі зміни в величина напруги; тому більш стабільний системи, тим нижча чутливість (висока напруга чутливість вказує на слабкі зони мережі).

Програмне забезпечення PowerFactory DigSilent є потужним інструментом для аналізу чутливості параметрів, також можна стверджувати, що не всі параметри промислових асинхронних двигунів чутливі до перепадів напруги. Динаміка активного та реактивного навантаження є найбільш чутливою і, отже, її можна визначити за виміряною зміною напруги. Однак аналіз чутливості показує, що деякі параметри мають низьку чутливість. Це не означає, що вони менш важливі, лише те, що їх нелегко ідентифікувати, і вони відіграють значну роль в аналізі чутливості до напруги. Коли виникає коротке замикання, навантаження поглинають більшу кількість реактивної потужності. Це високе споживання реактивної потужності навантаженням може спричинити втрату генератором своєї здатності діяти як джерело постійної напруги через обмеження струму поля.

### 1.6.3. Теоретичні засади реалізації функції чутливості

Точність аналізу чутливості залежить від якості припущень, закладених у модель . Якщо модель містить помилкові припущення, результат аналізу чутливості буде неточним. По-друге, аналіз чутливості може не враховувати взаємозалежності між вхідними змінними. Нарешті, припущення, закладені в модель , можуть базуватися на історичних даних. Тому не обов'язково покладатися на нього для прогнозування майбутніх результатів. Крім того, суб'єктивність може погіршити аналіз .

Припустимо, що в системі управління виникли деякі порушення . В цьому випадку

- Якщо вихідні дані системи значною мірою впливають через це порушення, то система керування вважається **високочутливою**.
- Якщо вихід системи не постраждав значною мірою через це порушення, тоді система керування називається менш **чутливою**.

Тепер із цих двох систем керування яку ви виберете. Звичайно, ви виберете систему керування, яка менш чутлива до перешкод. Ось чому ми заявляли раніше, що **«хороша система контролю повинна бути менш чутливою»**.

На основі вищезазначеного обговорення можна сказати, що ми повинні побудувати систему керування, яка взагалі не піддається впливу будь-яких збурень. У цьому випадку система управління називається **ідеальною системою управління**.

Але на практиці це неможливо, тому що всі існуючі системи управління в тій чи іншій мірі піддаються впливу тих чи інших порушень. Деякі з цих систем контролю можуть бути дуже чутливими, тоді як інші можуть бути менш чутливими.

На основі вищевказаного обговорення ми зробили наступні висновки

1. Система керування вважається **високочутливою**, якщо на її вихід сильно впливають збурення.
2. Система управління вважається **менш чутливою**, якщо на її вихід не впливають значною мірою через збурення.
3. Вимога хорошої системи управління полягає в тому, щоб вона завжди була менш чутливою до будь-яких внутрішніх або зовнішніх збурень.

### **Висновки по розділу 1**

Результати вибірки параметрів, що залежать від часу, і параметрів, що не залежать від часу, додатково інтегруються як набір вибірок і вводяться в модель для моделювання.

## ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ – ФРАГМЕНТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ 330/220/110 КВ ОЕС УКРАЇНИ

“Об'єднана енергетична система України (ОЕС-У) — сукупність електростанцій, електричних і теплових мереж, інших об'єктів електроенергетики, що об'єднані спільним режимом виробництва, передавання та розподілу електричної й теплової енергії за їх централізованого керування. Сукупність атомних, теплових, гідравлічних і гідроакumuлюючих електростанцій, теплоелектроцентралі, а також електростанції з відновлювальних джерел енергії (вітряні, сонячні та інші), магістральні електричні мережі Укренерго та розподільчі електромережі (обленерго), які об'єднані спільним режимом виробництва, передачі та розподілу електричної та теплової енергії. Централізоване диспетчерське управління ОЕС України здійснює Укренерго.

На 2011 рік, протяжність українських електричних мереж становила понад 1 млн кілометрів повітряних та кабельних ліній електропередавання напругою 6—750 кВ. Спорудження потужних електростанцій обумовило розвиток системоутворювальних мереж — ЛЕП 220, 330, 400, 500 і 750 кВ змінного та 800 кВ постійного струму.

Наявні системоутворювальні електричні мережі об'єднаної енергетичної системи, забезпечують майже у повному обсязі необхідний перерозподіл енергетичних потоків і видачу потужності атомних електростанцій. Лише Рівненська АЕС не могла забезпечити видачу потужностей усіх енергоблоків. Заради цього було здійснено будівництво повітряної лінії електропередавання 750 кВ Рівненська АЕС — «Київська» з розширенням підстанції 750 кВ «Київська».

Приблизно 80 відсотків енергетичних підприємств України — станом на 2022 рік, були державними (в індустріально-розвинених країнах, такі підприємства, зазвичай приватизовані).” (А. В. Журахівський. Надійність електричних систем і мереж: навч. посіб)

## 2.1 Схема фрагменту електричної мережі. Загальна характеристика схеми, обладнання, режимів роботи

### Схема фрагменту електричної мережі

Електроенергетична система це величезний об'єкт за обсягом, та складний за експлуатації. Складається він з різноманітних стацій різного типу, ліній перемач районних (мілких) та магістральних (великих). Головними ступенями розподілу є рівні напруги.

В даній роботі була використана фрагментна схема електричної мережі 330/220/110 кВ Мукачевського району.

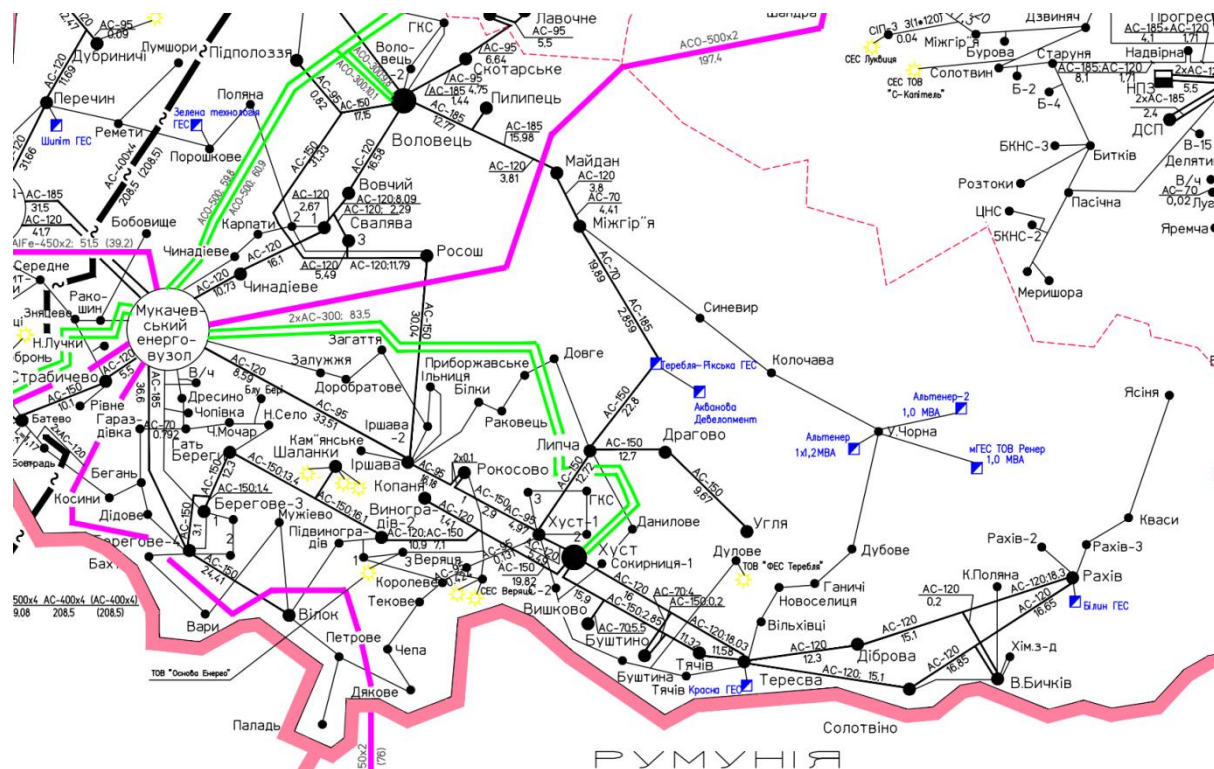


Рис. 2.1 Фрагмент електричної мережі 330/220/110 кВ (Мукачевський район)

Данна мережа складається з кільканадцяти вузлів, підстанцій, ліній, різноманітних за класом напруги, рівнем струму, довжини.

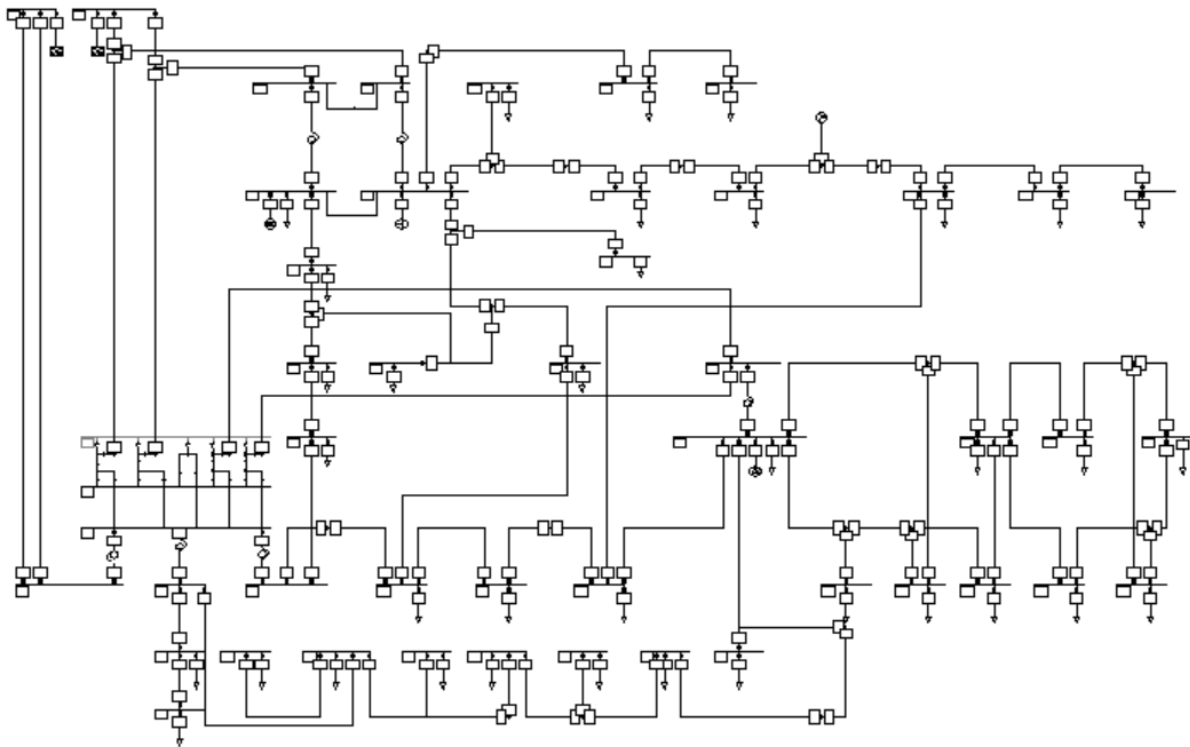


Рисунок. 2.2 Зображення електричної мережі в програмі Power factory

Маркування кабеля буквами, головними пунктами є

- Жила
- Оболонка
- Броня

А- алюміній, З – свинець, В – полівінілхлорид, Н – гума , П – поліетилен, Б - сталева стрічка, П – плоский освинцьований дротів, ДО – круглий освинцьований дротів, Г – без броні й захисного шару.

### **Загальна характеристика схеми, обладнання, режимів роботи**

В нашому випадку мережа Мукачевського району складається з 8 видів ліній. Повна характеристика приведена в таблицях. В таблиці 2.1 описані лінії, які присутні в данному фрагменті мережі, також їхні характеристики закладені виробником.

Таблиця 2.1

| Тип лінії   | Рівень напруги | Номінальний струм | Номіналь на частота | Тип струму | Кількість фаз | $R'(AC, 20^\circ C)$ | $X'$  | $L'$   |
|-------------|----------------|-------------------|---------------------|------------|---------------|----------------------|-------|--------|
|             | кВ             | кА                | Гц                  |            |               | Ом/км                | Ом/км | мГн/км |
| АС-120      | 110,000        | 0,390             | 50,000              | АС         | 3,000         | 0,249                | 0,427 | 1,359  |
| АС-150      | 110,000        | 0,450             | 50,000              | АС         | 3,000         | 0,198                | 0,420 | 1,337  |
| АС-185      | 110,000        | 0,510             | 50,000              | АС         | 3,000         | 0,162                | 0,413 | 1,315  |
| АС-70       | 110,000        | 0,265             | 50,000              | АС         | 3,000         | 0,428                | 0,444 | 1,413  |
| АС-95       | 110,000        | 0,330             | 50,000              | АС         | 3,000         | 0,306                | 0,434 | 1,381  |
| АСО-300/20  | 220,000        | 0,710             | 50,000              | АС         | 3,000         | 0,480                | 0,328 | 1,044  |
| АСО-500/20  | 220,000        | 0,945             | 50,000              | АС         | 3,000         | 0,300                | 0,320 | 1,019  |
| АСО-500/400 | 400,000        | 0,945             | 50,000              | АС         | 3,000         | 0,300                | 0,320 | 1,019  |

В таблиці. 2.2 вже конкретно розписане використання конкретних марок проводів, с заданою довжиною, на певних проміжках схеми, з певними параметрами ліній для класу потужності 110 кВ. Деякі лінії повторюються, по тій причині, що схема спроектована таким чином, що в ній присутні дублюючі лінії в тих самих напрямках для більш розподіленої роботи, а також для подальшого виконання робіт, без обмеження в споживанні.

Таблиця 2.2

| Ім'я лінії                     | Тип лінії | Довжин | Z1    | phiz1  | R1    | X1    |
|--------------------------------|-----------|--------|-------|--------|-------|-------|
|                                |           | а      | Ом    | град   | Ом    | Ом    |
|                                |           | км     |       |        |       |       |
| Чинадієве - Мукачевський вузол | АС-120    | 10,730 | 5,304 | 59,752 | 2,672 | 4,582 |
| Хуст1 - Хуст                   | АС-120    | 5,490  | 2,714 | 59,752 | 1,367 | 2,344 |
| Хуст - Тересва(1)              | АС-120    | 18,030 | 8,912 | 59,752 | 4,489 | 7,699 |
| Хуст - Тересва                 | АС-120    | 16,000 | 7,909 | 59,752 | 3,984 | 6,832 |
| Терсва - Діброва               | АС-120    | 12,300 | 6,080 | 59,752 | 3,063 | 5,252 |
| Тересва - Солотвіно            | АС-120    | 15,100 | 7,464 | 59,752 | 3,760 | 6,448 |
| Солотвіно - В.Бичків(1)        | АС-120    | 0,100  | 0,049 | 59,752 | 0,025 | 0,043 |
| Солотвіно - В.Бичків           | АС-120    | 16,850 | 8,329 | 59,752 | 4,196 | 7,195 |
| Свалява-Чинадієєв              | АС-120    | 16,100 | 7,958 | 59,752 | 4,009 | 6,875 |
| Рахів - В.Бичків               | АС-120    | 16,850 | 8,329 | 59,752 | 4,196 | 7,195 |
| Проміжний вузол - Свалява      | АС-120    | 2,670  | 1,320 | 59,752 | 0,665 | 1,140 |
| Мукчевський вузол - Страбичево | АС-120    | 5,500  | 2,719 | 59,752 | 1,370 | 2,349 |
| Мукачевський вузол - Іраша     | АС-120    | 8,590  | 4,246 | 59,752 | 2,139 | 3,668 |
| Майдан - Міжгір'я              | АС-120    | 3,800  | 1,878 | 59,752 | 0,946 | 1,623 |
| Копанія - Виноградів 2(2)      | АС-120    | 10,900 | 5,388 | 59,752 | 2,714 | 4,654 |
| Копанія - Виноградів 2         | АС-120    | 1,410  | 0,697 | 59,752 | 0,351 | 0,602 |
| Діброва - Рахів(1)             | АС-120    | 18,300 | 9,046 | 59,752 | 4,557 | 7,814 |
| Діброва - Рахів                | АС-120    | 15,100 | 7,464 | 59,752 | 3,760 | 6,448 |
| Діброва - В.Бичків             | АС-120    | 0,200  | 0,099 | 59,752 | 0,050 | 0,085 |
| Воловець-Майдан                | АС-120    | 3,810  | 1,883 | 59,752 | 0,949 | 1,627 |
| Воловець-Вовчий                | АС-120    | 16,580 | 8,195 | 59,752 | 4,128 | 7,080 |
| Воловець - Свалява 3(1)        | АС-120    | 5,490  | 2,714 | 59,752 | 1,367 | 2,344 |
| Воловець - Росош               | АС-120    | 11,790 | 5,828 | 59,752 | 2,936 | 5,034 |
| Вовчий - Свалява-3             | АС-120    | 2,290  | 1,132 | 59,752 | 0,570 | 0,978 |
| Вовчий - Проміжний вузол       | АС-120    | 8,090  | 3,999 | 59,752 | 2,014 | 3,454 |
| Шаланки - Береги               | АС-150    | 13,400 | 6,222 | 64,759 | 2,653 | 5,628 |
| Хуст - Копанія                 | АС-150    | 19,820 | 9,203 | 64,759 | 3,924 | 8,324 |
| Хуст - Вишково                 | АС-150    | 15,900 | 7,383 | 64,759 | 3,148 | 6,678 |
| Тячів - Тересва                | АС-150    | 11,580 | 5,377 | 64,759 | 2,293 | 4,864 |
| Страбичево - Батево            | АС-150    | 10,100 | 4,690 | 64,759 | 2,000 | 4,242 |
| Росош - Іраша                  | АС-150    | 30,040 | 13,94 | 64,759 | 5,948 | 12,61 |

## Продовження таблиці 2.2

|                                 |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Росоково - Хуст 1               | АС-150 | 2,900  | 1,347  | 64,759 | 0,574  | 1,218  |
| Міжгіря-Липча(2)                | АС-150 | 22,800 | 10,587 | 64,759 | 4,514  | 9,576  |
| Липча-Драгово                   | АС-150 | 12,700 | 5,897  | 64,759 | 2,515  | 5,334  |
| Липча - Хуст 1                  | АС-150 | 12,720 | 5,906  | 64,759 | 2,519  | 5,342  |
| Копанія - Виноградів 2(1)       | АС-150 | 7,100  | 3,297  | 64,759 | 1,406  | 2,982  |
| Драгово-Угля                    | АС-150 | 9,670  | 4,490  | 64,759 | 1,915  | 4,061  |
| Воловець - Сваліява 3           | АС-150 | 31,330 | 14,548 | 64,759 | 6,203  | 13,159 |
| Воловець - Проміжний вузол(1)   | АС-150 | 17,150 | 7,963  | 64,759 | 3,396  | 7,203  |
| Вишково - Буштино               | АС-150 | 2,850  | 1,323  | 64,759 | 0,564  | 1,197  |
| Виноградів 2 - Шаланки(1)       | АС-150 | 3,400  | 1,579  | 64,759 | 0,673  | 1,428  |
| Виноградів 2 - Шаланки          | АС-150 | 16,100 | 7,476  | 64,759 | 3,188  | 6,762  |
| Буштино - Тячів                 | АС-150 | 11,320 | 5,256  | 64,759 | 2,241  | 4,754  |
| Берегове 4 - Вілок              | АС-150 | 24,410 | 11,334 | 64,759 | 4,833  | 10,252 |
| Береги - Берегове -4            | АС-150 | 3,100  | 1,439  | 64,759 | 0,614  | 1,302  |
| Береги - Берегове -3(1)         | АС-150 | 1,400  | 0,650  | 64,759 | 0,277  | 0,588  |
| Береги - Берегове -3            | АС-150 | 12,300 | 5,711  | 64,759 | 2,435  | 5,166  |
| Мукачевський вузол - Берегове 4 | АС-185 | 36,600 | 16,237 | 68,582 | 5,929  | 15,116 |
| Міжгіря-Липча(1)                | АС-185 | 2,859  | 1,268  | 68,582 | 0,463  | 1,181  |
| Воловець-Пилипець               | АС-185 | 3,850  | 1,708  | 68,582 | 0,624  | 1,590  |
| Воловець-Майдан(1)              | АС-185 | 15,980 | 7,089  | 68,582 | 2,589  | 6,600  |
| Воловець - Проміжний вузол      | АС-185 | 12,770 | 5,665  | 68,582 | 2,069  | 5,274  |
| Волинець-Скотарське             | АС-185 | 1,440  | 0,639  | 68,582 | 0,233  | 0,595  |
| Хуст - Вишково(1)               | АС-70  | 5,500  | 3,392  | 46,051 | 2,354  | 2,442  |
| Хуст - Буштино                  | АС-70  | 4,000  | 2,467  | 46,051 | 1,712  | 1,776  |
| Майдан - Міжгіря(1)             | АС-70  | 4,410  | 2,720  | 46,051 | 1,887  | 1,958  |
| Міжгіря-Липча                   | АС-70  | 19,800 | 12,211 | 46,051 | 8,474  | 8,791  |
| Вишково - Буштино(1)            | АС-70  | 5,000  | 3,084  | 46,051 | 2,140  | 2,220  |
| Скотарське-Лавовчне             | АС-95  | 12,140 | 6,447  | 54,814 | 3,715  | 5,269  |
| Росоково - Хуст 1(1)            | АС-95  | 4,970  | 2,639  | 54,814 | 1,521  | 2,157  |
| Мукачевський вузол - Іраша(1)   | АС-95  | 33,510 | 17,795 | 54,814 | 10,254 | 14,543 |

## Продовження таблиці 2.2

|                        |       |        |       |        |       |       |
|------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| Волонець-Підполоззя    | АС-95 | 0,820  | 0,435 | 54,814 | 0,251 | 0,356 |
| Волинець-Скотарське(1) | АС-95 | 4,750  | 2,522 | 54,814 | 1,454 | 2,062 |
| Іраша - Росоково       | АС-95 | 16,180 | 8,592 | 54,814 | 4,951 | 7,022 |

В таблиці. 2.3 вказані лінії фрагмента мережі з їх основними характеристиками , за класом потужності 220 кВ.

Таблиця.2.3

| Ім'я лінії                            | Тип лінії   | Довжина | Z1     | phiz1  | R1     | X1     |
|---------------------------------------|-------------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                                       |             | км      | Ом     | град   | Ом     | Ом     |
| Мукачевський вузол - Хуст(1)          | АСО-300/220 | 83,500  | 48,544 | 34,346 | 40,080 | 27,388 |
| Мукачевський вузол - Хуст             | АСО-300/220 | 83,500  | 48,544 | 34,346 | 40,080 | 27,388 |
| БуТЕС-Воловець(1)                     | АСО-300/220 | 9,800   | 5,697  | 34,346 | 4,704  | 3,214  |
| БуТЕС-Воловець                        | АСО-300/220 | 10,100  | 5,872  | 34,346 | 4,848  | 3,313  |
| Проміжний вузол - Мукачевський вузол  | АСО-500/220 | 59,800  | 26,230 | 46,848 | 17,940 | 19,136 |
| Проміжний вузол - Мукачевський вуз(1) | АСО-500/220 | 60,900  | 26,713 | 46,848 | 18,270 | 19,488 |
| БуТес - Проміжний вузол               | АСО-500/220 | 18,000  | 7,895  | 46,848 | 5,400  | 5,760  |
| БуТЕС - Проміжний вузол               | АСО-500/220 | 15,000  | 6,580  | 46,848 | 4,500  | 4,800  |
| Стрий-Мукачевський вузол(1)           | АСО-500/400 | 197,400 | 86,586 | 46,848 | 59,220 | 63,168 |
| Стрий-Мукачевський вузол              | АСО-500/400 | 197,400 | 86,586 | 46,848 | 59,220 | 63,168 |

Таблиця 2.4

| Тип                   | Напруга обмотки, кВ |     |     | Втрати, кВ |       |       |
|-----------------------|---------------------|-----|-----|------------|-------|-------|
|                       | $S_{\text{НОМ}}$    | ВН  | СН  | НН         | $P_X$ | $P_K$ |
| АТДЦТН-250000/220/110 | 250                 | 230 | 121 | 6.3        | 105   | 430   |
| АТДЦТН-125000/220/110 | 125                 | 230 | 121 | 1.05       | 65    | 315   |
| АОДЦТН-133000/400/220 | 133                 | 330 | 230 | 1.05       | 50    | 250   |

Окрім ліній схема складається з підстанцій. На данній схемі представлені 3 розподільчі підстанції, такі як Воловець, Мукачевський вузол, та Хуст. У всіх них є трансформатори, а саме Воловець складається з 2 автотрансформаторів типу АТДЦТН-125000/220/110. Далі Мукачевський вузол входять 2 такого типу АТДЦТН-125000/220/110, як і на Воловець, а також те, що через цю підстанцію проходять лінії більші за рівнем напруги, тому і є такий автотрансформатор, як АОДЦТН-133000/400/220. Підстанція Хуст обладнана одним автотрансформатором типу АТДЦТН-250000/220/110. В таблиці. 2.4 представлені повні характеристики даних автотрансформаторів, що використовуються в схемі.

Таблиця 2.5

| Ім'я вузла | Активна потужність | Реактивна потужність | Повна потужність |
|------------|--------------------|----------------------|------------------|
|            | МВт                | Мвар                 | МВА              |
| Uvolov51   | 34,400             | 9,600                | 35,714           |
| Рахів      | 15,080             | 7,304                | 16,756           |
| Підполоззя | 1,070              | 0,518                | 1,189            |
| Лавочне    | 4,730              | 2,291                | 5,256            |
| Скотарське | 5,690              | 2,756                | 6,322            |
| Пилипець   | 2,140              | 1,036                | 2,378            |
| Росош      | 4,850              | 2,349                | 5,389            |
| Свалява-3  | 3,090              | 1,497                | 3,433            |

Продовження таблиці 2.5

|              |        |        |        |
|--------------|--------|--------|--------|
| Свалява      | 9,470  | 4,587  | 10,522 |
| Вовчий       | 0,950  | 0,460  | 1,056  |
| Чинадієве    | 0,930  | 0,450  | 1,033  |
| В.Бичків     | 9,730  | 4,712  | 10,811 |
| UNUST_51     | 81,200 | 20,200 | 83,675 |
| Солотвіно    | 3,960  | 1,918  | 4,400  |
| Тячів        | 8,610  | 4,170  | 9,567  |
| Буштино      | 2,580  | 1,250  | 2,867  |
| Вишково      | 3,250  | 1,574  | 3,611  |
| Хуст-1       | 22,420 | 10,859 | 24,911 |
| Рокосово     | 1,280  | 0,620  | 1,422  |
| Іраша        | 17,560 | 8,505  | 19,511 |
| Копанія      | 0,660  | 0,320  | 0,733  |
| Виноградів-2 | 9,960  | 4,824  | 11,067 |
| Шаланки      | 0,510  | 0,247  | 0,567  |
| Діброва      | 4,090  | 1,981  | 4,544  |
| Береги       | 1,100  | 0,533  | 1,222  |
| Берегове-3   | 1,000  | 0,484  | 1,111  |
| Берегове-4   | 15,430 | 7,473  | 17,144 |
| Вілок        | 14,840 | 7,187  | 16,489 |
| Батєво       | 6,260  | 3,032  | 6,956  |
| Страбичєво   | 9,310  | 4,509  | 10,344 |
| Терєсва      | 24,060 | 11,653 | 26,733 |
| Угтя         | 2,500  | 1,211  | 2,778  |
| Драгово      | 3,300  | 1,598  | 3,667  |
| Липча        | 11,220 | 0,900  | 11,256 |
| Міжгіря      | 8,390  | 4,063  | 9,322  |
| Майдан       | 1,870  | 0,906  | 2,078  |

В таблиця.2.5 представлені параметри навантаження вузлів з фрагменту схеми електричної мережі.

## **2.2. Загальні питання управління режимами електричних мереж**

Управління режимами електричних мереж — це комплекс заходів і технічних засобів, спрямованих на забезпечення нормального, економічного та безпечного режиму функціонування електричних мереж. Основні завдання управління режимами електричних мереж включають забезпечення стабільності напруги і частоти, регулювання потужності, підтримання якості електропостачання і підтримання оптимального режиму роботи системи.

Для управління режимами електричних мереж використовуються різноманітні методи та технічні засоби, такі як автоматизовані системи керування, релейна захист, системи моніторингу і діагностики, а також різні алгоритми та програмні засоби для аналізу і прогнозування режимів роботи електричних мереж.

Головна ціль аналізу мережі є зменшення втрат активної потужності. Порівнюючи відкриту і закриту мережу можна проаналізувати, що в закритих присутня порівняльна потужність, де значення неоднорідності залежить від рівня замкнутості мережі. Фактором збільшення неоднорідності мережі і порівняльної потужності аналогічно, за допомогою пристності трансформатора в замкненому колі.

Управління режимами електричних мереж — це складний процес, що включає в себе декілька аспектів:

- 1. Стабільність напруги і частоти:** Забезпечення стабільності напруги та частоти є одним із основних завдань управління режимами електричних мереж. Для цього використовуються автоматичні регулятори напруги та системи управління частотою, які підтримують встановлені значення напруги та частоти в заданих межах.

2. **Регулювання потужності:** Управління потужністю в електричних мережах включає в себе балансування виробництва та споживання електроенергії. Для цього використовуються системи управління навантаженням, які регулюють роботу електроприладів для забезпечення оптимального співвідношення між виробництвом та споживанням.
3. **Якість електропостачання:** Управління режимами електричних мереж спрямоване на забезпечення якості електропостачання, включаючи стабільність напруги, відсутність перешкод для споживачів та інші параметри. Для цього використовуються системи моніторингу та діагностики, які вчасно виявляють та усувають можливі проблеми.
4. **Оптимізація режиму роботи:** Управління режимами електричних мереж також включає в себе оптимізацію роботи системи з метою забезпечення економічної та ефективної роботи. Для цього використовуються різноманітні алгоритми та програмні засоби для аналізу та прогнозування режимів роботи електричних мереж.

### **2.3. Розрахунок режимів роботи фрагменту електричної мережі в PowerFactory. Режими мінімальних і максимальних навантажень.**

#### **Розрахунок режимів роботи фрагменту електричної мережі в PowerFactory**

Розрахунок режимів роботи фрагменту електричної мережі в PowerFactory в кулька епатів, спочатку рівень балансу струму, а потім балансу потужності. Кожен з етапів є нелінійним, вони аналогічні методу Ньютона-Рафсона ітеративним шляхом.

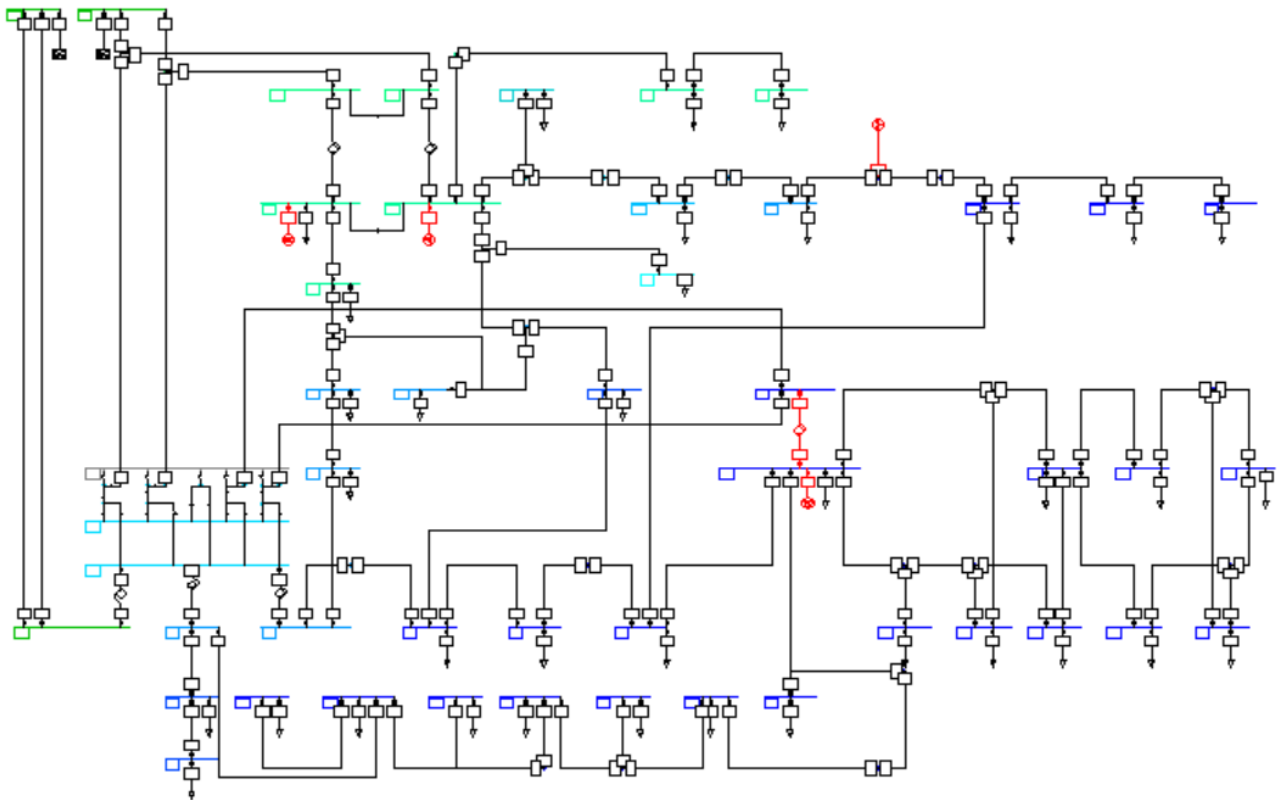


Рисунок.2.3. Результати розрахунку усталеного режиму

Усталений режим був розрахований за методом Ньютон-Рафсона за допомогою PowerFactory який показано на рисунок 2.3.

Результат усталеного режиму приведений у таблиці.2.6 та таблиці.2.7 для ліній та автотрансформаторів. До параметрів оцінки лінії використовується такі параметри, як загальне завантаження лінії в %, та ємнісне навантаження в Мвар одиниць вимірювання . До параметрів оцінки трансформаторів використовується параметр завантаженості в %.

Таблиця 2.6

| Назва лінії                   | Завантаження | Ємнісне навантаження |
|-------------------------------|--------------|----------------------|
|                               | %            | Мвар                 |
| Іраша - Росоково              | 51,635       | 0,392                |
| Береги - Берегове -3          | 12,532       | 0,301                |
| Береги - Берегове -3(1)       | 1,494        | 0,034                |
| Береги - Берегове -4          | 13,625       | 0,076                |
| Берегове 4 - Вілок            | 22,500       | 0,592                |
| БуТЕС - Проміжний вузол       | 46,571       | 2,501                |
| БуТЕС-Воловець                | 16,486       | 0,161                |
| БуТЕС-Воловець(1)             | 12,264       | 0,156                |
| БуТес - Проміжний вузол       | 41,612       | 2,997                |
| Буштино - Тячів               | 51,522       | 0,248                |
| Виноградів 2 - Шаланки        | 11,162       | 0,384                |
| Виноградів 2 - Шаланки(1)     | 0,771        | 0,082                |
| Вишково - Буштино             | 50,860       | 0,064                |
| Вишково - Буштино(1)          | 1,194        | 0,105                |
| Вовчий - Проміжний вузол      | 0,323        | 0,221                |
| Вовчий - Свалява-3            | 5,757        | 0,062                |
| Волинець-Скотарське           | 12,082       | 0,045                |
| Волинець-Скотарське(1)        | 18,767       | 0,141                |
| Воловець - Проміжний вузол    | 45,012       | 0,396                |
| Воловець - Проміжний вузол(1) | 44,820       | 0,519                |
| Воловець - Росош              | 41,887       | 0,318                |
| Воловець - Свалява 3          | 43,777       | 0,900                |
| Воловець - Свалява 3(1)       | 9,764        | 0,150                |
| Воловець-Вовчий               | 1,462        | 0,504                |
| Воловець-Майдан               | 55,899       | 0,108                |
| Воловець-Майдан(1)            | 42,703       | 0,480                |
| Воловець-Пилипець             | 2,555        | 0,118                |
| Волонець-Підполоззя           | 1,983        | 0,024                |
| Діброва - В.Бичків            | 11,947       | 0,004                |
| Діброва - Рахів               | 25,727       | 0,299                |
| Діброва - Рахів(1)            | 14,045       | 0,355                |
| Драгово-Угтя                  | 3,752        | 0,236                |
| Копанія - Виноградів 2        | 1,157        | 0,033                |
| Копанія - Виноградів 2(1)     | 7,820        | 0,169                |
| Копанія - Виноградів 2(2)     | 8,922        | 0,255                |
| Липча - Хуст 1                | 26,825       | 0,309                |
| Липча-Драгово                 | 8,565        | 0,311                |

## Продовження таблиці 2.6

|  |        |         |
|--|--------|---------|
| Міжгіря-Липча                            | 58,522 | 0,506   |
| Міжгіря-Липча(1)                         | 43,204 | 0,076   |
| Міжгіря-Липча(2)                         | 49,241 | 0,578   |
| Майдан - Міжгіря                         | 52,977 | 0,107   |
| Майдан - Міжгіря(1)                      | 78,056 | 0,117   |
| Мукачевський вузол - Іраша               | 38,139 | 0,237   |
| Мукачевський вузол - Іраша(1)            | 45,684 | 0,865   |
| Мукачевський вузол - Берегове 4          | 51,389 | 0,976   |
| Мукачевський вузол - Хуст                | 29,491 | 1,124   |
| Мукачевський вузол - Хуст(1)             | 29,491 | 1,124   |
| Мукчевський вузол - Страбичево           | 25,229 | 0,150   |
| Проміжний вузол -<br>Мукачевський вуз(1) | 33,263 | 9,543   |
| Проміжний вузол -<br>Мукачевський вузол  | 34,700 | 9,384   |
| Проміжний вузол - Свалява                | 5,597  | 0,073   |
| Рахів - В.Бичків                         | 15,130 | 0,327   |
| Росоково - Хуст 1                        | 35,991 | 0,071   |
| Росоково - Хуст 1(1)                     | 49,167 | 0,116   |
| Росош - Іраша                            | 29,837 | 0,791   |
| Свалява-Чинадієєв                        | 12,153 | 0,442   |
| Скотарське-Лавовчне                      | 8,644  | 0,359   |
| Солотвіно - В.Бичків                     | 21,612 | 0,333   |
| Солотвіно - В.Бичків(1)                  | 6,727  | 0,002   |
| Страбичево - Батєво                      | 8,865  | 0,277   |
| Стрий-Мукачевський вузол                 | 8,666  | 110,479 |
| Стрий-Мукачевський вузол(1)              | 8,666  | 110,479 |
| Тересва - Солотвіно                      | 28,885 | 0,306   |
| Терсва - Діброва                         | 33,267 | 0,250   |
| Тячів - Тересва                          | 37,933 | 0,245   |
| Хуст - Буштино                           | 7,695  | 0,084   |
| Хуст - Вишково                           | 55,817 | 0,368   |
| Хуст - Вишково(1)                        | 8,632  | 0,117   |
| Хуст - Копанія                           | 8,748  | 0,471   |
| Хуст - Тересва                           | 68,047 | 0,363   |
| Хуст - Тересва(1)                        | 63,136 | 0,383   |
| Хуст1 - Хуст                             | 33,495 | 0,129   |
| Чинадієєв - Мукачевський вузол           | 13,151 | 0,297   |
| Шаланки - Береги                         | 11,341 | 0,324   |

Таблиця 2.7

| Назва автотрансформатора               | Завантаження |
|--|--------------|
|  | %            |
| Воловець-1/АТДЦТН-125000/220/110       | 63,829       |
| Воловець-2/АТДЦТН-125000/220/110       | 30,530       |
| Мукачевський/ АТДЦТН-125000/220/110(1) | 56,738       |
| Мукачевський /АОДЦТН-133000/400/220    | 54,927       |
| Мукачевський/АТДЦТН-125000/220/110     | 31,028       |
| Хуст/АТДЦТН-250000/220/110             | 31,028       |

### **Режими мінімальних і максимальних навантажень**

Режиму мінімальних і максимальних навантажень це абсолютно протележні різні режими роботи в залежності від споживання електроенергії і генерації. Режим максимального навантаження - це режим, коли споживання електроенергії найвище. Ефективне управління режимами мінімальних і максимальних навантажень дозволяє забезпечити стабільність системи електропостачання і ефективно використовувати ресурси енергосистеми.

Режим максимального навантаження - це період, коли споживання електроенергії досягає свого піку або максимального рівня. В цей час всі доступні джерела енергії працюють на повну потужність, включаючи генеруючі установки та інші джерела. У такий період можуть використовуватись такі заходи, як запуск додаткових генеруючих установок, включення резервних джерел енергії або імпорту електроенергії з інших джерел. Метою є забезпечення стабільного постачання електроенергії під час пікових споживчих попитів.

Ефективне управління режимом максимального навантаження є важливим для підтримання стабільності електромережі та забезпечення високої якості електропостачання у часи пікового споживання. Імітація максимального і мінімального режиму була відтворена зарахунок зміни навантаження споживання

вузлів приблизно в 2 рази. Таблиця.2.8 можна порівняти з таблиці.2.4, де потужності будуть меншими на 50%.

Таблиця 2.8

| Ім'я вузла | Активна потужність | Реактивна потужність | Повна потужність |
|------------|--------------------|----------------------|------------------|
|            | МВт                | Мвар                 | МВА              |
| Uvolov51   | 17,200             | 4,500                | 17,779           |
| Рахів      | 7,080              | 3,429                | 7,867            |
| Підполоззя | 0,500              | 0,242                | 0,556            |
| Лавочне    | 2,730              | 1,322                | 3,033            |
| Скотарське | 2,690              | 1,303                | 2,989            |
| Пилипець   | 1,100              | 0,533                | 1,222            |
| Росош      | 2,500              | 1,211                | 2,778            |
| Свалява-3  | 1,500              | 0,726                | 1,667            |
| Свалява    | 5,470              | 2,649                | 6,078            |
| Вовчий     | 0,500              | 0,242                | 0,556            |
| Чинадієве  | 0,550              | 0,266                | 0,611            |
| В.Бичків   | 4,730              | 2,291                | 5,256            |
| UHUST_51   | 40,200             | 10,200               | 41,474           |
| Солотвіно  | 1,400              | 0,678                | 1,556            |
| Тячів      | 4,610              | 2,233                | 5,122            |
| Буштино    | 1,200              | 0,581                | 1,333            |
| Вишково    | 1,250              | 0,605                | 1,389            |
| Хуст-1     | 12,420             | 6,015                | 13,800           |
| Рокосово   | 0,600              | 0,291                | 0,667            |
| Іраша      | 8,560              | 4,146                | 9,511            |
| Копанія    | 0,300              | 0,145                | 0,333            |

Продовження таблиці 2.8

|              |        |       |        |
|--------------|--------|-------|--------|
| Виноградів-2 | 4,960  | 2,402 | 5,511  |
| Шаланки      | 0,250  | 0,121 | 0,278  |
| Діброва      | 2,090  | 1,012 | 2,322  |
| Береги       | 0,500  | 0,242 | 0,556  |
| Берегове-3   | 0,500  | 0,242 | 0,556  |
| Берегове-4   | 7,430  | 3,599 | 8,256  |
| Вілок        | 7,840  | 3,797 | 8,711  |
| Батєво       | 3,260  | 1,579 | 3,622  |
| Страбичево   | 4,310  | 2,087 | 4,789  |
| Тересва      | 12,060 | 5,841 | 13,400 |
| Угля         | 1,500  | 0,726 | 1,667  |
| Драгово      | 1,300  | 0,630 | 1,444  |
| Липча        | 5,700  | 0,900 | 5,771  |
| Міжгіря      | 4,390  | 2,126 | 4,878  |
| Майдан       | 0,870  | 0,421 | 0,967  |

Таблиця.2.9 це результат зменшення навантаження на ~ 50% для ліній. Порівняння можна провести з таблиця.2.6. Аналогічна ситуація з таблиці.2.10, але вже з трансформаторами напруги, по яким більш чіткіше зрозуміле завантаження.

Таблиця 2.9

| Назва лінії                   | Завантаження | Ємнісне навантаження |
|-------------------------------|--------------|----------------------|
|                               | %            | Мвар                 |
| Іраша - Росоківо              | 22,795       | 0,464                |
| Береги - Берегове -3          | 5,160        | 0,362                |
| Береги - Берегове -3(1)       | 0,682        | 0,041                |
| Береги - Берегове -4          | 5,499        | 0,091                |
| Берегове 4 - Вілок            | 10,763       | 0,716                |
| БуТЕС - Проміжний вузол       | 22,529       | 2,527                |
| БуТЕС-Воловець                | 7,716        | 0,165                |
| БуТЕС-Воловець(1)             | 5,775        | 0,160                |
| БуТес - Проміжний вузол       | 20,160       | 3,031                |
| Буштино - Тячів               | 21,337       | 0,320                |
| Виноградів 2 - Шаланки        | 5,129        | 0,470                |
| Виноградів 2 - Шаланки(1)     | 0,342        | 0,099                |
| Вишкково - Буштино            | 20,930       | 0,081                |
| Вишкково - Буштино(1)         | 0,526        | 0,134                |
| Вовчий - Проміжний вузол      | 0,340        | 0,245                |
| Вовчий - Свалява-3            | 3,615        | 0,069                |
| Волинець-Скотарське           | 6,049        | 0,047                |
| Волинець-Скотарське(1)        | 9,437        | 0,147                |
| Воловець - Проміжний вузол    | 20,425       | 0,415                |
| Воловець - Проміжний вузол(1) | 20,772       | 0,546                |
| Воловець - Росош              | 18,606       | 0,356                |
| Воловець - Свалява 3          | 20,389       | 0,978                |
| Воловець - Свалява 3(1)       | 5,473        | 0,167                |
| Воловець-Вовчий               | 0,779        | 0,524                |
| Воловець-Майдан               | 25,324       | 0,117                |
| Воловець-Майдан(1)            | 19,335       | 0,513                |
| Воловець-Пилипець             | 1,276        | 0,124                |
| Волонець-Підполоззя           | 0,898        | 0,025                |
| Діброва - В.Бичків            | 4,628        | 0,005                |
| Діброва - Рахів               | 9,923        | 0,409                |
| Діброва - Рахів(1)            | 5,587        | 0,493                |
| Драгово-Угтя                  | 2,052        | 0,284                |
| Копанія - Виноградів 2        | 0,475        | 0,040                |
| Копанія - Виноградів 2(1)     | 3,825        | 0,207                |
| Копанія - Виноградів 2(2)     | 4,272        | 0,312                |
| Липча - Хуст 1                | 11,947       | 0,373                |
| Липча-Драгово                 | 3,691        | 0,373                |

## Продовження таблиці 2.9

|  |        |         |
|--|--------|---------|
| Міжгіря-Липча                            | 26,035 | 0,571   |
| Міжгіря-Липча(1)                         | 19,401 | 0,088   |
| Міжгіря-Липча(2)                         | 22,233 | 0,679   |
| Майдан - Міжгіря                         | 24,059 | 0,117   |
| Майдан - Міжгіря(1)                      | 35,472 | 0,129   |
| Мукачевський вузол - Іраша               | 16,706 | 0,262   |
| Мукачевський вузол - Іраша(1)            | 20,304 | 0,985   |
| Мукачевський вузол - Берегове 4          | 22,810 | 1,125   |
| Мукачевський вузол - Хуст                | 12,980 | 1,279   |
| Мукачевський вузол - Хуст(1)             | 12,980 | 1,279   |
| Мукачевський вузол - Страбичево          | 11,489 | 0,167   |
| Проміжний вузол -<br>Мукачевський вуз(1) | 16,233 | 10,047  |
| Проміжний вузол -<br>Мукачевський вузол  | 16,917 | 9,871   |
| Проміжний вузол - Свалява                | 3,480  | 0,081   |
| Рахів - В.Бичків                         | 6,005  | 0,454   |
| Росоково - Хуст 1                        | 15,937 | 0,085   |
| Росоково - Хуст 1(1)                     | 21,820 | 0,141   |
| Росош - Іраша                            | 13,182 | 0,908   |
| Свалява-Чинадієєв                        | 6,125  | 0,490   |
| Скотарське-Лавовчне                      | 4,881  | 0,375   |
| Солотвіно - В.Бичків                     | 8,824  | 0,456   |
| Солотвіно - В.Бичків(1)                  | 3,100  | 0,003   |
| Страбичево - Батєво                      | 4,358  | 0,310   |
| Стрий-Мукачевський вузол                 | 12,415 | 111,690 |
| Стрий-Мукачевський вузол(1)              | 12,415 | 111,690 |
| Тересва - Солотвіно                      | 10,851 | 0,412   |
| Терсва - Діброва                         | 13,096 | 0,336   |
| Тячів - Тересва                          | 15,064 | 0,324   |
| Хуст - Буштино                           | 3,146  | 0,108   |
| Хуст - Вишково                           | 22,548 | 0,458   |
| Хуст - Вишково(1)                        | 2,944  | 0,148   |
| Хуст - Копанія                           | 4,450  | 0,576   |
| Хуст - Тересва                           | 27,542 | 0,454   |
| Хуст - Тересва(1)                        | 25,689 | 0,500   |
| Хуст1 - Хуст                             | 12,691 | 0,158   |
| Чинадієєв - Мукачевський вузол           | 6,469  | 0,328   |
| Шаланки - Береги                         | 4,871  | 0,393   |

Таблиця 2.10

| Назва автотрансформатора               | Завантаження |
|--|--------------|
|  | %            |
| Воловець-1/АТДЦТН-125000/220/110       | 14,537       |
| Воловець-2/АТДЦТН-125000/220/110       | 14,537       |
| Мукачевський/ АТДЦТН-125000/220/110(1) | 24,588       |
| Мукачевський /АОДЦТН-133000/400/220    | 29,833       |
| Мукачевський/АТДЦТН-125000/220/110     | 13,866       |
| Хуст/АТДЦТН-250000/220/110             | 28,093       |

Розрахунок максимального навантаження виконувався по аналогії з мінімальним, тільки навпаки. При збільшенні навантаження завантаженість вузлів, ліній, та трансформаторів досягла пікових значень це навіть можна побачити з рисунок.2.4.

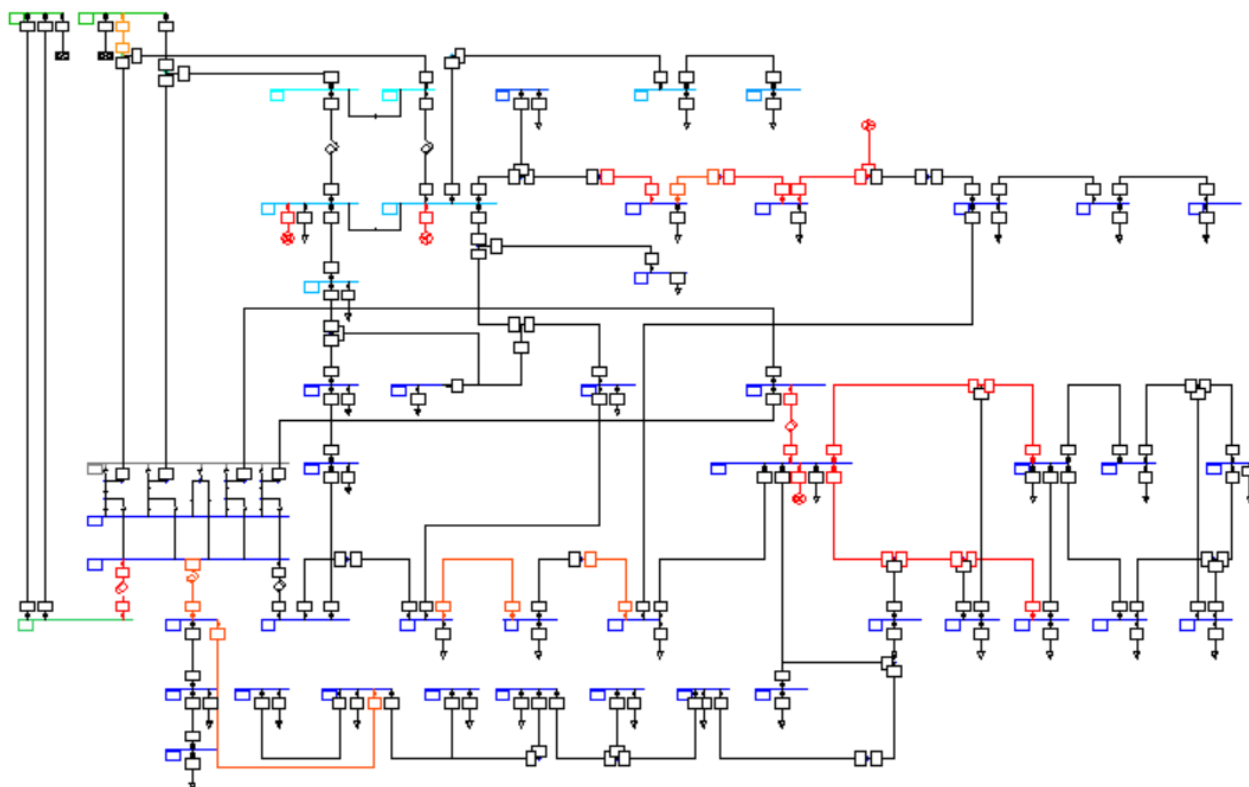


Рисунок.2.4. Режим максимального навантаження

В таблиці.2.11, таблиці.2.12, таблиці.2.13 представлені результати розрахунку максимального режиму за навантаженням у фрагменті електричної мережі. Це збільшене навантаження на ~ 50 %, порівняння результатів можна виконати з таблицями вище в цьому розділі.

Таблиця.2.11

| Ім'я вузла | Активна<br>потужність | Реактивна<br>потужність | Повна потужність |
|------------|-----------------------|-------------------------|------------------|
|            | МВт                   | Мвар                    | МВА              |
| Uvolov51   | 48,160                | 14,000                  | 50,154           |
| Рахів      | 21,112                | 10,225                  | 23,458           |
| Підполоззя | 1,498                 | 0,726                   | 1,664            |
| Лавочне    | 6,622                 | 3,207                   | 7,358            |
| Скотарське | 7,966                 | 3,858                   | 8,851            |
| Пилицець   | 2,996                 | 1,451                   | 3,329            |
| Росош      | 6,790                 | 3,289                   | 7,544            |
| Свалява-3  | 4,326                 | 2,095                   | 4,807            |
| Свалява    | 13,258                | 6,421                   | 14,731           |
| Вовчий     | 1,330                 | 0,644                   | 1,478            |
| Чинадієве  | 1,302                 | 0,631                   | 1,447            |
| В.Бичків   | 13,622                | 6,597                   | 15,136           |
| UHUST_51   | 113,680               | 28,000                  | 117,078          |
| Солотвіно  | 5,544                 | 2,685                   | 6,160            |
| Тячів      | 12,054                | 5,838                   | 13,393           |
| Буштино    | 3,612                 | 1,749                   | 4,013            |
| Вишково    | 4,550                 | 2,204                   | 5,056            |
| Хуст-1     | 31,388                | 15,202                  | 34,876           |
| Рокосово   | 1,792                 | 0,868                   | 1,991            |

Продовження таблиці 2.11

|              |        |        |        |
|--------------|--------|--------|--------|
| Іраша        | 24,584 | 11,907 | 27,316 |
| Копанія      | 0,924  | 0,448  | 1,027  |
| Виноградів-2 | 13,944 | 6,753  | 15,493 |
| Шаланки      | 0,714  | 0,346  | 0,793  |
| Діброва      | 5,726  | 2,773  | 6,362  |
| Береги       | 1,540  | 0,746  | 1,711  |
| Берегове-3   | 1,400  | 0,678  | 1,556  |
| Берегове-4   | 21,602 | 10,462 | 24,002 |
| Вілок        | 20,776 | 10,062 | 23,084 |
| Батєво       | 8,764  | 4,245  | 9,738  |
| Страбичєво   | 13,034 | 6,313  | 14,482 |
| Тєресва      | 33,684 | 16,314 | 37,427 |
| Угтя         | 3,500  | 1,695  | 3,889  |
| Драгово      | 4,620  | 2,238  | 5,133  |
| Липча        | 15,708 | 0,900  | 15,734 |
| Міжгіря      | 11,746 | 5,689  | 13,051 |
| Майдан       | 2,618  | 1,268  | 2,909  |

Таблиця 2.12

| Назва лінії                   | Завантаження | Ємнісне навантаження |
|-------------------------------|--------------|----------------------|
|                               | %            | Мвар                 |
| Іраша - Росоково              | 95,029       | 0,298                |
| Береги - Берегове -3          | 24,996       | 0,224                |
| Береги - Берегове -3(1)       | 2,416        | 0,026                |
| Береги - Берегове -4          | 26,951       | 0,057                |
| Берегове 4 - Вілок            | 36,849       | 0,439                |
| БуТЕС - Проміжний вузол       | 80,709       | 2,460                |
| БуТЕС-Воловець                | 31,933       | 0,154                |
| БуТЕС-Воловець(1)             | 24,537       | 0,149                |
| БуТес - Проміжний вузол       | 72,163       | 2,944                |
| Буштино - Тячів               | 96,515       | 0,156                |
| Виноградів 2 - Шаланки        | 22,142       | 0,277                |
| Виноградів 2 - Шаланки(1)     | 1,265        | 0,059                |
| Вишково - Буштино             | 95,635       | 0,042                |
| Вишково - Буштино(1)          | 2,065        | 0,068                |
| Вовчий - Проміжний вузол      | 0,297        | 0,187                |
| Вовчий - Свалява-3            | 7,707        | 0,053                |
| Волинець-Скотарське           | 17,676       | 0,042                |
| Волинець-Скотарське(1)        | 27,411       | 0,131                |
| Воловець - Проміжний вузол    | 77,459       | 0,363                |
| Воловець - Проміжний вузол(1) | 72,584       | 0,476                |
| Воловець - Росош              | 71,245       | 0,265                |
| Воловець - Свалява 3          | 70,924       | 0,786                |
| Воловець - Свалява 3(1)       | 13,146       | 0,127                |
| Воловець-Вовчий               | 2,123        | 0,469                |
| Воловець-Майдан               | 96,824       | 0,094                |
| Воловець-Майдан(1)            | 73,991       | 0,425                |
| Воловець-Пилипець             | 3,765        | 0,106                |
| Волонець-Підполоззя           | 2,926        | 0,021                |
| Діброва - В.Бичків            | 22,862       | 0,002                |
| Діброва - Рахів               | 49,784       | 0,165                |
| Діброва - Рахів(1)            | 27,120       | 0,189                |
| Драгово-Угля                  | 6,150        | 0,172                |
| Копанія - Виноградів 2        | 1,921        | 0,023                |
| Копанія - Виноградів 2(1)     | 12,122       | 0,120                |
| Копанія - Виноградів 2(2)     | 13,851       | 0,182                |
| Липча - Хуст 1                | 43,098       | 0,225                |
| Липча-Драгово                 | 14,135       | 0,228                |
| Міжгір'я-Липча                | 105,936      | 0,411                |

## Продовження таблиці 2.12

|  |         |         |
|--|---------|---------|
| Міжгіря-Липча(1)                         | 69,566  | 0,060   |
| Міжгіря-Липча(2)                         | 79,123  | 0,438   |
| Майдан - Міжгіря                         | 92,385  | 0,091   |
| Майдан - Міжгіря(1)                      | 136,067 | 0,099   |
| Мукачевський вузол - Іраша               | 67,024  | 0,202   |
| Мукачевський вузол - Іраша(1)            | 79,847  | 0,705   |
| Мукачевський вузол - Берегове 4          | 87,660  | 0,783   |
| Мукачевський вузол - Хуст                | 52,481  | 0,918   |
| Мукачевський вузол - Хуст(1)             | 52,481  | 0,918   |
| Мукчевський вузол - Страбичево           | 38,627  | 0,126   |
| Проміжний вузол -<br>Мукачевський вуз(1) | 55,450  | 8,826   |
| Проміжний вузол -<br>Мукачевський вузол  | 57,923  | 8,691   |
| Проміжний вузол - Свалява                | 7,486   | 0,062   |
| Рахів - В.Бичків                         | 29,242  | 0,174   |
| Росоково - Хуст 1                        | 66,613  | 0,052   |
| Росоково - Хуст 1(1)                     | 90,925  | 0,084   |
| Росош - Іраша                            | 51,603  | 0,634   |
| Свалява-Чинадієєв                        | 20,678  | 0,376   |
| Скотарське-Лавовчне                      | 12,580  | 0,333   |
| Солотвіно - В.Бичків                     | 41,779  | 0,183   |
| Солотвіно - В.Бичків(1)                  | 12,719  | 0,001   |
| Страбичево - Батєво                      | 13,549  | 0,233   |
| Стрий-Мукачевський вузол                 | 14,697  | 108,745 |
| Стрий-Мукачевський вузол(1)              | 14,697  | 108,745 |
| Тересва - Солотвіно                      | 55,635  | 0,176   |
| Терсва - Діброва                         | 64,088  | 0,143   |
| Тячів - Тересва                          | 72,123  | 0,147   |
| Хуст - Буштино                           | 13,379  | 0,055   |
| Хуст - Вишково                           | 104,273 | 0,251   |
| Хуст - Вишково(1)                        | 14,948  | 0,076   |
| Хуст - Копанія                           | 13,261  | 0,334   |
| Хуст - Тересва                           | 127,505 | 0,247   |
| Хуст - Тересва(1)                        | 118,770 | 0,237   |
| Хуст1 - Хуст                             | 62,695  | 0,092   |
| Чинадієєв - Мукачевський вузол           | 22,454  | 0,255   |
| Шаланки - Береги                         | 22,836  | 0,238   |

Таблиця 2.13

| Назва автотрансформатора               | Завантаження |
|--|--------------|
|  | %            |
| Воловець-1/АТДЦТН-125000/220/110       | 60,999       |
| Воловець-2/АТДЦТН-125000/220/110       | 60,999       |
| Мукачевський/ АТДЦТН-125000/220/110(1) | 90,904       |
| Мукачевський /АОДЦТН-133000/400/220    | 96,224       |
| Мукачевський/АТДЦТН-125000/220/110     | 53,268       |
| Хуст/АТДЦТН-250000/220/110             | 113,589      |

Спираючись на результати розрахунку а порівнюючи таблиці результатів різних режимів навантаження між собою. Можна стверджувати, що за максимального навантаження система стає презавантаженою , в деяких позиціях таких як Хуст - Тересва, Хуст – Вишково, Майдан - Міжгіря(1), Міжгіря-Липча , та Хуст /АОДЦТН-133000/400/220 , за 100 %. В результаті чого експлуатація мережі за умови такого завантаження неможлива.

Стосовно стану мінімального навантаження система адекватно зменшила своє навантаження на елементах мережі. Але окрім деяких Копанія - Виноградів 2, Волонець-Підполоззя, Воловець-Вовчий, Вовчий - Проміжний вузол, Вишково - Буштино(1), Береги - Берегове -3(1), де навантаження менше 1 % або близьке до 0. Це можна результат не правильно підібраного обладнання.

В рисунку 2.5 відворений порівняльний графік навантаження в лініях в % трьох різних режимів за типом навантаження. З цих графіків можемо побачити, що в усіх трьох режимах найбільш перенавантаженою лінією є Майдан - Міжгіря(1) значення дорівнює в мінімальному 35.4% , в уставленому режимі 78.08 в максимальному режимі 136, 06. Результат є впринципі прогнозованим, бо навантаження збільшувалося в ту чи іншу сторону на ~50%. На рисунку 2.6 зображено графічно зміна навантаження в режимах на автотрансформаторах. З автотрансформаторами проглядається така сама залежність зміни завантаженості як і на лініях.

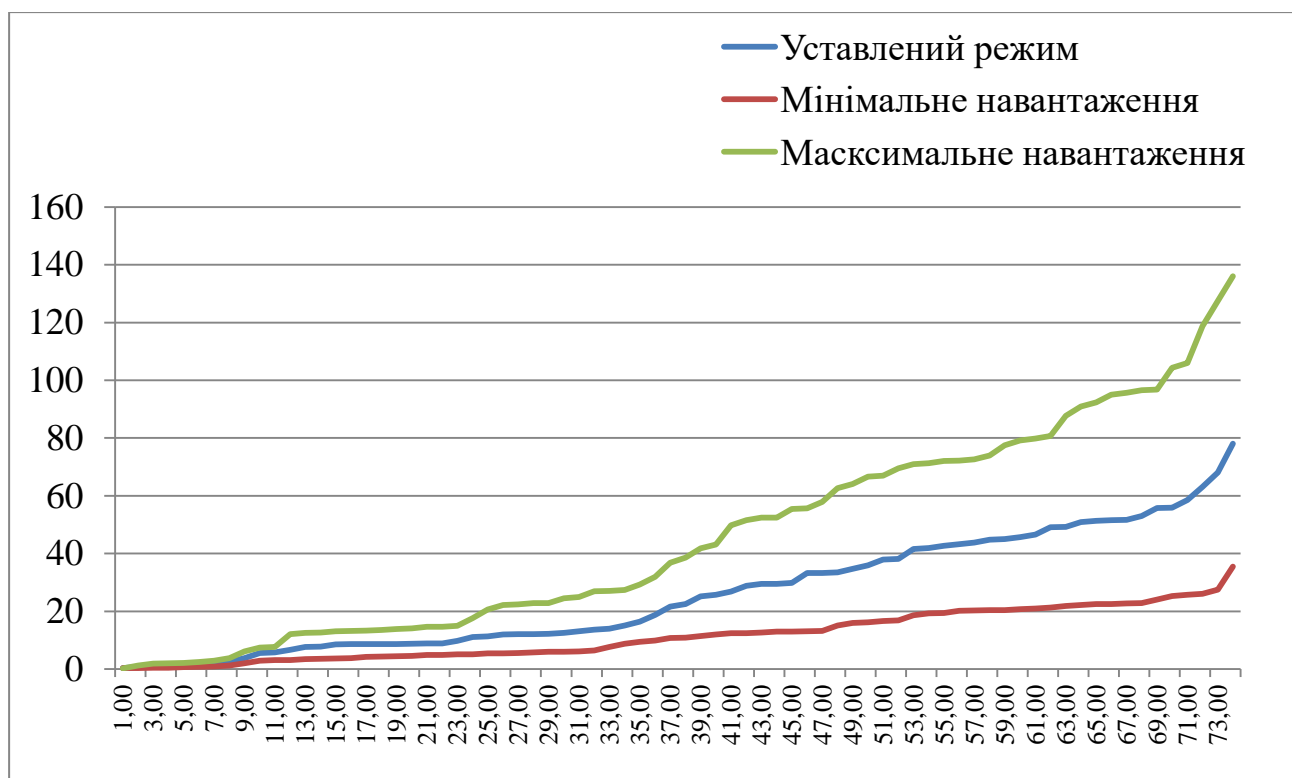


Рисунок 2.5 Навантаження в лініях в % трьох різних режимів за типом навантаження

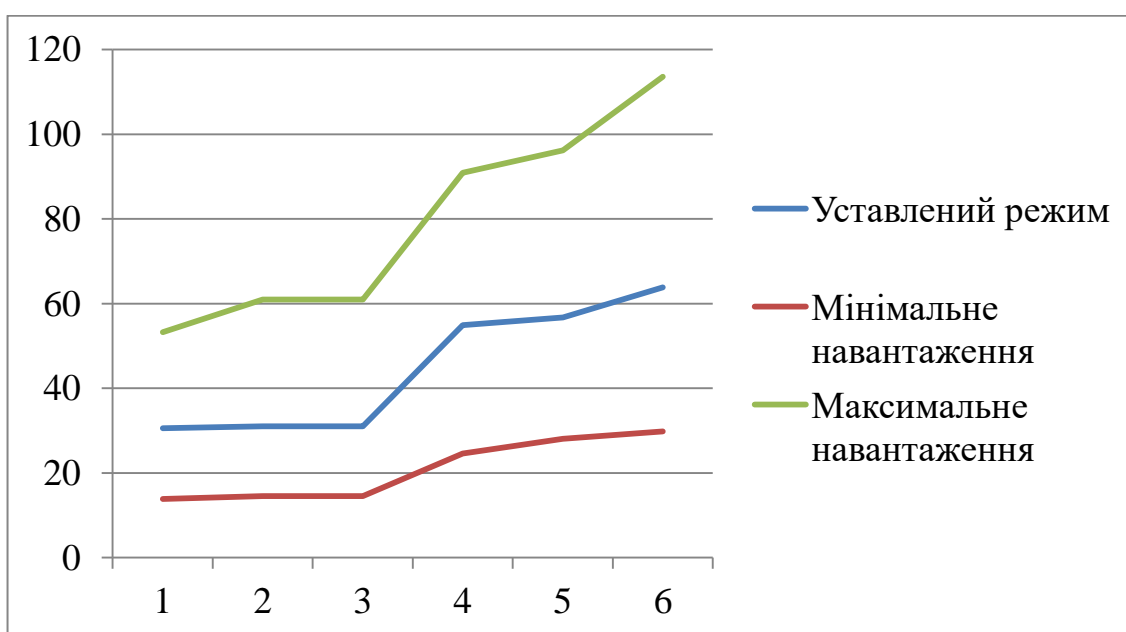


Рисунок 2.6 Зміна навантаження в режимах на автотрансформаторах

## 2.4 Критерій чутливості фрегенту електричної мережі в різних режимах завантаження

До параметрів таблиці. 2.13, 2.14, 2.15 входять, що вказують на чутливість різних параметрів в електричній мережі до змін у величинах  $P$  (потужність) та  $Q$  (реактивна потужність). Дугальніший опис вказаний на рисунку.2.7

1.  $d\phi/dP$  - Чутливість потужності до змін у величині  $P$ . Це показує, наскільки змінюється деякий параметр (наприклад, втрати потужності) при зміні активної потужності.
2.  $d\phi/dQ$  - Чутливість потужності до змін у величині  $Q$ . Це вказує на вплив зміни реактивної потужності на деякий параметр.
3.  $dv/dP$  - Чутливість напруги до змін у величині  $P$ . Це показує, як зміна активної потужності впливає на напругу в системі.
4.  $dv/dQ$  - Чутливість напруги до змін у величині  $Q$ . Це вказує на вплив зміни реактивної потужності на напругу в системі.

$$\frac{d\phi}{dP} = \lim_{\Delta P \rightarrow 0} \frac{\phi(P+\Delta P) - \phi(P)}{\Delta P}$$

$$\frac{d\phi}{dQ} = \lim_{\Delta Q \rightarrow 0} \frac{\phi(Q+\Delta Q) - \phi(Q)}{\Delta Q}$$

$$\frac{dv}{dP} = \lim_{\Delta P \rightarrow 0} \frac{v(P+\Delta P) - v(P)}{\Delta P}$$

$$\frac{dv}{dQ} = \lim_{\Delta Q \rightarrow 0} \frac{v(Q+\Delta Q) - v(Q)}{\Delta Q}$$

Рисунок 2.7 – Критерії чутливості до активної і реактивної потужності

Ці чутливості важливі при проектуванні і управлінні електричними мережами, оскільки дозволяють оцінити вплив змін у величинах потужності та реактивної потужності на різні параметри системи.

В таблиці 2.13 показані значення критерію чутливості у вузлах фрагменту мережі за нормальних умов експлуатації. В наступних таблиці.2.14 та таблиці.2.15 наведені критерії чутливості за мінімальних умов навантаження та максимального навантаження.

Таблиця 2.13

| Назва вузла  | dphi/dP<br>Чутливість | dphi/dQ<br>Чутливість | dv/dP<br>Чутливість | dv/dQ<br>Чутливість |
|--------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
|              | град/МВт              | град/Мвар             | в.о./МВт            | в.о./Мвар           |
| UHUST_21     | 0,037817              | -0,026683             | 0,000622            | 0,000554            |
| UHUST_51     | 0,046375              | -0,021447             | 0,000640            | 0,000699            |
| УМУКАС20     | 0,050721              | -0,002478             | 0,000058            | 0,000160            |
| УМУКАС21     | 0,018504              | -0,009343             | 0,000205            | 0,000202            |
| УМУКАС22     | 0,018504              | -0,009343             | 0,000205            | 0,000202            |
| УМУКАС51     | 0,050665              | -0,010406             | 0,000277            | 0,000744            |
| УМУКАС52     | 0,042344              | -0,011810             | 0,000268            | 0,000618            |
| Uvolov21     | 0,005420              | -0,005604             | 0,000101            | 0,000088            |
| Uvolov22     | 0,005420              | -0,005604             | 0,000101            | 0,000088            |
| Uvolov51     | 0,019372              | -0,006153             | 0,000120            | 0,000322            |
| Uvolov52     | 0,019372              | -0,006153             | 0,000120            | 0,000322            |
| Іраша        | 0,062434              | -0,029606             | 0,000658            | 0,000960            |
| Батево       | 0,088194              | -0,028706             | 0,000599            | 0,001351            |
| Береги       | 0,114902              | -0,041071             | 0,000980            | 0,001764            |
| Берегове-3   | 0,111935              | -0,036357             | 0,000918            | 0,001735            |
| Берегове-4   | 0,105667              | -0,032561             | 0,000862            | 0,001644            |
| Буштино      | 0,080635              | -0,038122             | 0,001051            | 0,001249            |
| В.Бичків     | 0,162748              | -0,065168             | 0,001957            | 0,002512            |
| Вілок        | 0,173706              | -0,059310             | 0,001439            | 0,002710            |
| Виноградів-2 | 0,107627              | -0,044389             | 0,001029            | 0,001631            |
| Вишково      | 0,094128              | -0,050185             | 0,001206            | 0,001439            |
| Вовчий       | 0,054889              | -0,026827             | 0,000472            | 0,000925            |
| Діброва      | 0,143109              | -0,058421             | 0,001719            | 0,002213            |
| Драгово      | 0,103967              | -0,048273             | 0,001026            | 0,001593            |
| Копанія      | 0,089073              | -0,039109             | 0,000912            | 0,001338            |

Продовження таблиці 2.13

|            |          |           |          |          |
|------------|----------|-----------|----------|----------|
| Лавочне    | 0,059508 | -0,033149 | 0,000590 | 0,001005 |
| Липча      | 0,069966 | -0,032836 | 0,000770 | 0,001073 |
| Міжгіря    | 0,075615 | -0,036861 | 0,000700 | 0,001229 |
| Майдан     | 0,067897 | -0,029510 | 0,000561 | 0,001116 |
| Підполоззя | 0,046729 | -0,019934 | 0,000369 | 0,000769 |
| Пилипець   | 0,049921 | -0,018876 | 0,000351 | 0,000832 |
| Рахів      | 0,194137 | -0,079752 | 0,002268 | 0,002961 |
| Рокосово   | 0,059612 | -0,029269 | 0,000703 | 0,000906 |
| Росош      | 0,069471 | -0,031157 | 0,000628 | 0,001092 |
| Свалява    | 0,062578 | -0,026575 | 0,000537 | 0,000982 |
| Свалява-3  | 0,061303 | -0,026221 | 0,000530 | 0,000966 |
| Скотарське | 0,032787 | -0,014532 | 0,000266 | 0,000551 |
| Солотвіно  | 0,148222 | -0,061107 | 0,001765 | 0,002285 |
| Страбичево | 0,064077 | -0,017747 | 0,000409 | 0,000962 |
| Тересва    | 0,109242 | -0,042684 | 0,001372 | 0,001715 |
| Тячів      | 0,102098 | -0,041714 | 0,001236 | 0,001587 |
| Угля       | 0,129854 | -0,060216 | 0,001216 | 0,001986 |
| Хуст-1     | 0,050980 | -0,023778 | 0,000655 | 0,000775 |
| Чинадієве  | 0,055714 | -0,021231 | 0,000432 | 0,000849 |
| Шаланки    | 0,124938 | -0,049101 | 0,001095 | 0,001901 |

Таблиця.2.14

| Назва вузла  | dphi/dP<br>Чутливість | dphi/dQ<br>Чутливість | dv/dP<br>Чутливість | dv/dQ<br>Чутливість |
|--------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
|              | град/МВт              | град/Мвар             | в.о./МВт            | в.о./Мвар           |
| UHUST_21     | 0,032475              | -0,024904             | 0,000487            | 0,000464            |
| UHUST_51     | 0,038369              | -0,021937             | 0,000469            | 0,000574            |
| УМУКАС20     | 0,047461              | -0,003305             | 0,000051            | 0,000159            |
| УМУКАС21     | 0,017041              | -0,009310             | 0,000177            | 0,000185            |
| УМУКАС22     | 0,017041              | -0,009310             | 0,000177            | 0,000185            |
| УМУКАС51     | 0,045752              | -0,010965             | 0,000226            | 0,000683            |
| УМУКАС52     | 0,038607              | -0,011831             | 0,000229            | 0,000574            |
| Uvolov21     | 0,005297              | -0,005521             | 0,000098            | 0,000085            |
| Uvolov22     | 0,005297              | -0,005521             | 0,000098            | 0,000085            |
| Uvolov51     | 0,018675              | -0,006137             | 0,000112            | 0,000312            |
| Uvolov52     | 0,018675              | -0,006137             | 0,000112            | 0,000312            |
| Іраша        | 0,054041              | -0,028226             | 0,000543            | 0,000851            |
| Батєво       | 0,079048              | -0,027657             | 0,000520            | 0,001250            |
| Береги       | 0,096083              | -0,039283             | 0,000777            | 0,001539            |
| Берегове-3   | 0,094443              | -0,035736             | 0,000723            | 0,001517            |
| Берегове-4   | 0,089440              | -0,032657             | 0,000673            | 0,001435            |
| Буштино      | 0,063989              | -0,036854             | 0,000760            | 0,001008            |
| В.Бичків     | 0,119400              | -0,062608             | 0,001311            | 0,001940            |
| Вілок        | 0,144309              | -0,056815             | 0,001137            | 0,002361            |
| Виноградів-2 | 0,088518              | -0,041482             | 0,000809            | 0,001408            |
| Вишково      | 0,074842              | -0,046174             | 0,000906            | 0,001184            |
| Вовчий       | 0,052826              | -0,026038             | 0,000457            | 0,000903            |
| Діброва      | 0,106750              | -0,056089             | 0,001171            | 0,001727            |
| Драгово      | 0,087008              | -0,044309             | 0,000837            | 0,001402            |
| Копанія      | 0,073221              | -0,036541             | 0,000713            | 0,001150            |

Продовження таблиці 2.14

|            |          |           |          |          |
|------------|----------|-----------|----------|----------|
| Лавочне    | 0,057090 | -0,032145 | 0,000568 | 0,000978 |
| Липча      | 0,058849 | -0,031198 | 0,000612 | 0,000933 |
| Міжгіря    | 0,068597 | -0,034768 | 0,000631 | 0,001147 |
| Майдан     | 0,062578 | -0,028229 | 0,000513 | 0,001052 |
| Підполоззя | 0,044033 | -0,019256 | 0,000346 | 0,000738 |
| Пилипець   | 0,047265 | -0,018338 | 0,000330 | 0,000801 |
| Рахів      | 0,140777 | -0,074378 | 0,001527 | 0,002289 |
| Рокосово   | 0,050181 | -0,028005 | 0,000554 | 0,000779 |
| Росош      | 0,061926 | -0,029475 | 0,000548 | 0,001002 |
| Свалява    | 0,056614 | -0,025454 | 0,000475 | 0,000911 |
| Свалява-3  | 0,055476 | -0,025117 | 0,000468 | 0,000895 |
| Скотарське | 0,031530 | -0,014237 | 0,000255 | 0,000535 |
| Солотвіно  | 0,110377 | -0,058196 | 0,001206 | 0,001786 |
| Страбичево | 0,057626 | -0,017717 | 0,000346 | 0,000885 |
| Тересва    | 0,083047 | -0,043030 | 0,000928 | 0,001337 |
| Тячів      | 0,079046 | -0,040970 | 0,000863 | 0,001263 |
| Угля       | 0,108467 | -0,054329 | 0,001007 | 0,001758 |
| Хуст-1     | 0,042462 | -0,023695 | 0,000493 | 0,000650 |
| Чинадієве  | 0,050613 | -0,020469 | 0,000381 | 0,000791 |
| Шаланки    | 0,103531 | -0,045575 | 0,000877 | 0,001658 |

Таблиця.2.15

| Назва вузла  | dphi/dP<br>Чутливість | dphi/dQ<br>Чутливість | dv/dP<br>Чутливість | dv/dQ<br>Чутливість |
|--------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
|              | град/МВт              | град/Мвар             | в.о./МВт            | в.о./Мвар           |
| UHUST_21     | 0,046650              | -0,031089             | 0,001119            | 0,000926            |
| UHUST_51     | 0,070391              | -0,014195             | 0,001322            | 0,001255            |
| УМУКАС20     | 0,056712              | -0,000884             | 0,000081            | 0,000167            |
| УМУКАС21     | 0,021350              | -0,009063             | 0,000290            | 0,000268            |
| УМУКАС22     | 0,021350              | -0,009063             | 0,000290            | 0,000268            |
| УМУКАС51     | 0,060713              | -0,008118             | 0,000424            | 0,000915            |
| УМУКАС52     | 0,049884              | -0,010820             | 0,000384            | 0,000750            |
| Uvolov21     | 0,005584              | -0,005770             | 0,000111            | 0,000095            |
| Uvolov22     | 0,005584              | -0,005770             | 0,000111            | 0,000095            |
| Uvolov51     | 0,020742              | -0,005993             | 0,000142            | 0,000353            |
| Uvolov52     | 0,020742              | -0,005993             | 0,000142            | 0,000353            |
| Іраша        | 0,081745              | -0,029571             | 0,001009            | 0,001305            |
| Батево       | 0,105885              | -0,029165             | 0,000792            | 0,001590            |
| Береги       | 0,159871              | -0,038508             | 0,001576            | 0,002384            |
| Берегове-3   | 0,152735              | -0,031770             | 0,001466            | 0,002316            |
| Берегове-4   | 0,143554              | -0,026652             | 0,001392            | 0,002203            |
| Буштино      | 0,136638              | -0,026016             | 0,002305            | 0,002336            |
| В.Бичків     | 0,358267              | -0,010203             | 0,005209            | 0,005199            |
| Вілок        | 0,241774              | -0,055651             | 0,002234            | 0,003564            |
| Виноградів-2 | 0,156678              | -0,043322             | 0,001746            | 0,002319            |
| Вишково      | 0,154860              | -0,046309             | 0,002431            | 0,002512            |
| Вовчий       | 0,058937              | -0,028196             | 0,000508            | 0,000979            |
| Діброва      | 0,296365              | -0,017784             | 0,004386            | 0,004469            |
| Драгово      | 0,145800              | -0,052039             | 0,001655            | 0,002200            |
| Копанія      | 0,131039              | -0,038118             | 0,001617            | 0,001986            |

Продовження таблиця 2.15

|            |          |           |          |          |
|------------|----------|-----------|----------|----------|
| Лавочне    | 0,064133 | -0,034943 | 0,000636 | 0,001066 |
| Липча      | 0,098478 | -0,031909 | 0,001330 | 0,001577 |
| Міжгіря    | 0,090270 | -0,039841 | 0,000891 | 0,001464 |
| Майдан     | 0,078858 | -0,031118 | 0,000693 | 0,001294 |
| Підполоззя | 0,051843 | -0,020896 | 0,000429 | 0,000853 |
| Пилипець   | 0,055176 | -0,019589 | 0,000407 | 0,000918 |
| Рахів      | 0,438492 | -0,021239 | 0,006020 | 0,006052 |
| Рокосово   | 0,084010 | -0,027626 | 0,001230 | 0,001376 |
| Росош      | 0,084789 | -0,033001 | 0,000846 | 0,001337 |
| Свалява    | 0,074363 | -0,027601 | 0,000700 | 0,001169 |
| Свалява-3  | 0,072845 | -0,027251 | 0,000691 | 0,001153 |
| Скотарське | 0,035227 | -0,014945 | 0,000296 | 0,000592 |
| Солотвіно  | 0,307061 | -0,021363 | 0,004479 | 0,004586 |
| Страбичево | 0,076930 | -0,016457 | 0,000577 | 0,001160 |
| Тересва    | 0,216887 | -0,006246 | 0,003499 | 0,003515 |
| Тячів      | 0,187253 | -0,018731 | 0,002933 | 0,003066 |
| Угля       | 0,181612 | -0,068017 | 0,001887 | 0,002667 |
| Хуст-1     | 0,075218 | -0,018485 | 0,001268 | 0,001290 |
| Чинадієве  | 0,065785 | -0,021617 | 0,000569 | 0,001009 |
| Шаланки    | 0,176945 | -0,049805 | 0,001759 | 0,002584 |

### Висновок до розділу 2

Було досліджено загальні принципи побудови схеми, моніторингу стану обладнання, їхнє застосування та було відтворено фрагментом електричної мережі 330/220/110 кВ ОЕС України. Також проведено розрахунок мережі та виконаний їх аналіз. Була проведена характеристика силового обладнання. Аналізуючи приведені вище таблиці можна стверджувати наступне. Що система за нормальних умов експлуатації повністю сбалансована, але в умовах

максимального навантаження найбільш перезавантаженим є автотрансформатор на підстанції Хуст , а саме Хуст/АОДЦТН-133000/400/220 на 113,589 % . Якщо розглядати тенденцію збільшення споживання електроенергії , то в наближчих роках потребує реконструкцію вся мережа цього району.

Провівши аналіз таблиць по результату розрахунку критерію стійкості, можна побачити послідовність чим далі вузол від підстанції тим менший параметр критерію чутливості.

## ОЦІНКА ЧУТЛИВОСТІ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ В МЕРЕЖІ ДО ЗМІН ВУЗЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

### 3.1. Алгоритм дослідження

Правильна послідовність оцінки чутливості втрат потужності перед зміною навантаження. В системі завжди присутні відхилення параметрів, де потрібна оперативна корекція. Першочогово вони з'являються через неточне прорахування навантаження споживачів, тобто прогнозований параметр відрізняється від фактичного.

До одного з кращих значень залежних параметрів віднести коефіцієнт трансформації трансформаторів. Його зміна виконується шляхом зміни активної і реактивної потужності вузлів, струмів, напруг у вітках та вузлах.

ОІК – це оперативно інформаційний комплекс, який відноситься до АСДУ (автоматизованої системи диспетчерського управління), технічне забезпечення даної системи, яка використовується в ЕЕС України надає можливість диспетчерському персоналу виконувати корекції в роботі системи, оновуючись даними вимірів.

Головний принцип розподілення це розвантаження вузлів або станцій по активній та реактивній потужності, за допомогою коефіцієнта трансформації. Мінімум втрат потужності може використовуватися, для оцінки критеріїв оптимальності.

Для відтворення економічного стану можна врахувати чутливості втрат потужності відносно до оптимального регулювання тими регулюючими пристроями (РП). В результаті чого може вивести до збільшення загального ресурсу РП. Параметр неоднорідності мережі до збурення визначається для виміру впливу неоднорідності мережі в ЕЕС.

Тільки зарахунок ситемного підходу можна сворити систему оптимального керування НР ЕЕС режиму. Головною ціллю є зменшення сумарних втрат електричної енергії за рахунок визначення керуючих впливів , змін втрат електричної мережі, відтворення послідовності для обчислення та визначення чутливості втрат у вузлах та вітках , для використання РІПН.

### 3.2. Поняття економічного еквівалента реактивної потужності

Процеси в грошовому вимірі, явище, коефіцієнт подібності до реальних об'єктів, все це загальні поняття про економічно евівалентний підхід. Першим фактором , що можна назвати економічним збитком, це реактивна потужність. А одним з головних інструментів є електромагнітне поле в діелектричне поле. Діелектричне оточення може збільшуватися, зарахунок того , що ємність струмоведучих частин стікає в діелектричне середовище. Збільшуватися воно може в двох видах, поздовжнє (активна) і поперечне (реактивна) складові. Поперечна , тобто реактивна складова не може передаватися , до споживача та і від нього, головним напрямком є в струмоведучі частини ЕЕС.

Активні втрати відносно реактивного струму можна визначити за відповідними формулами, кВт:

$$\Delta P_Q = \frac{Q_P^2}{U^2} * R_E * 10^{-3} \quad (3.1)$$

де

$\Delta P_Q$  — розрахункова реактивна потужність електропередачі, що розглядається, квар;

$U$  — номінальна напруга електричної мережі, кВ;

$R_E$  — еквівалентний активний опір мережі, приведений до її номінальної напруги, Ом.

Формується неправильне визначення, що електроенергія ЕЕС передається через струмоведучі частини, для яких можна визначити ЕЕРП. Економічний еквівалент реактивної потужності можна визначити, кВт/квар:

$$D = \frac{(Q_{P1}^2 - Q_{P2}^2)}{(Q_{P1} - Q_{P2})U^2} * R_E * 10^{-3} \quad (3.2)$$

де

$Q_{P1}$  — розрахункове реактивне навантаження споживачів до застосування його компенсації, квар;

$Q_{P2}$  — розрахункове реактивне навантаження споживачів після застосування його компенсації, квар.

ЕЕРП в нормативних документах України визначається, як відповідник збитків при перетіканнях реактивної потужності до споживачів, можна визначити за формулою, кВт/квар:

$$D = \frac{\Delta P_Q}{Q_P} = \frac{Q_P^2}{U^2 Q_P} * R_E * 10^{-3} = \frac{Q_P}{U^2} * R_E * 10^{-3} \quad (3.3)$$

$D$  є економічно необґрунтованим параметром, який є нормативним у будь-якій точці електричної мережі незалежно від її належності, встановлюється залежно від кількості трансформацій при електропередачі.

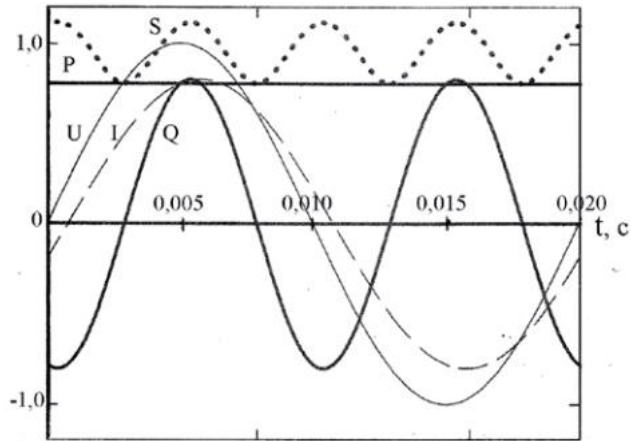
Хвилю енергії поляризації електрично пружного діелектричного середовища, яке оточує всі струмоведучі частини системи, умовно можна розкласти за переважаючим напрямком дії напруги та струму провідності цих частин на їх діелектрик.

Різниця складових електроенергії активної, реактивної, повної), представлено на рисунку. 3.1. Активна складова передається споживачеві, а реактивна має кливальний напрямок електропередачі, і в результаті не передається споживачеві.

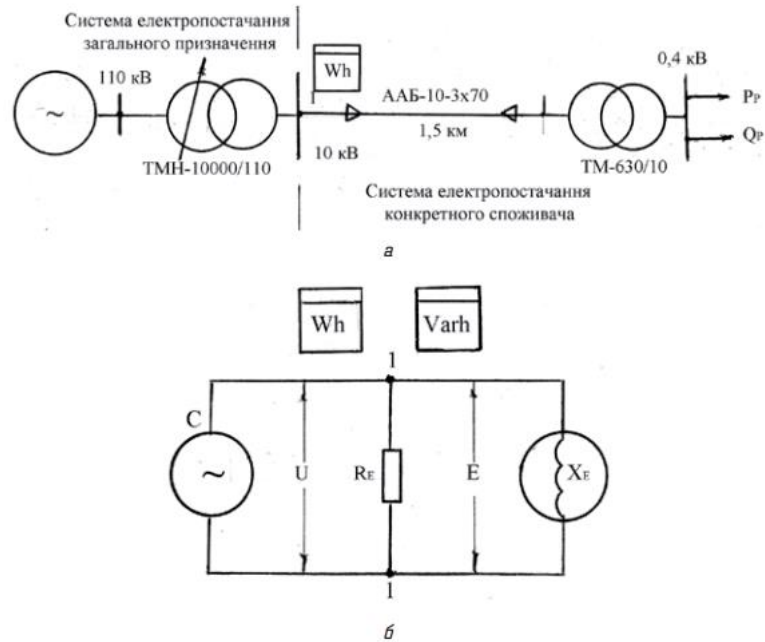
Економічність режиму це фактор на який впливає безпосередньо реактивна та активна потужність, в результаті, зменшується пропускна можливість. Розраховуючи потужність пристроїв компенсації реактивного навантаження

систем електропостачання (СЕР) , зарахунок чого можна визначити ЕЕРП. Головним фактором при розрахунках буде коефіцієнт реактивної потужності —  $\text{tg } \varphi$

Принципова схема СЕР споживача електроенергії придставлено, і заступну також на рисунку. 3.2, а, б .



Рисунку. 3.1. Складові енергії ЕЕС



Рисунку. 3.2. Система електропостачання умовного споживача: а — принципова сема; б — схема заміщення

Активну та рективну потужність, потрібно враховувати для розрахунку коефіцієнта реакт. потуж. СЕР.

Тому, з урахуванням рисунку. 3.1 , в. о.:

$$tg\varphi = \frac{Q}{\sqrt{2} * P} = \frac{WQ}{\sqrt{2} * WP} \quad (3.4)$$

де

$WP$  — активна ЕЕ СЕП за комерційним обліком, кВт · год;

$WQ$  — реактивна ЕЕ СЕП за комерційним обліком, квар · год.

При цьому комерційний облік електроенергії встановлюється в точці розподілу балансової належності електричних мереж (1–1). Як відомо, найбільший економічний вплив реактивне навантаження спричиняє через збільшення втрат активної електроенергії в активних опорах струмоведучих частин СЕП через їх реактивний струм. Потужність таких втрат можна визначити за відомою формулою, кВт:

$$\Delta P = \Delta P_P + \Delta P_Q = \frac{P^2}{U^2} * R_E * 10^{-3} + \frac{Q^2}{U^2} * R_E * 10^{-3} \quad (3.5)$$

де

$\Delta P_P$  — потужність активних втрат, що визначається активним навантаженням СЕП, кВт;

$\Delta P_Q$  — потужність активних втрат, що визначається реактивним навантаженням СЕП, кВт;

$U$  — номінальна напруга СЕП, кВ;

$R_E$  — еквівалентний умовний активний опір СЕП, приведений до її номінальної напруги, що визначається за відомою формулою, Ом:

$$R_E = \frac{U^2 * 10^3}{P_P} \quad (3.6)$$

Приймаючи за одиницю  $\Delta P_P$ , рівняння (5) можна переписати у вигляді, в. о.:

$$\Delta P^* = \frac{\Delta P_P}{\Delta P_P} + \frac{\Delta P_Q}{\Delta P_P} = 1 + \frac{Q^2 * R_E * 10^{-3} * U^2}{U^2 * P^2 * R_E * 10^{-3}} = 1 + tg\varphi^2 \quad (3.7)$$

Спираючись на формулу (3.7), цілком обґрунтовано може встановлювати споживачам електроенергії директивне значення коефіцієнта реактивної

потужності —  $\operatorname{tg}\varphi_{\text{д}}$ . Можливі значення цього коефіцієнта наведено в таблиці.  
3.1.

З урахуванням рівняння (7), графічно залежність активних втрат від реактивного навантаження СЕП зображена на рисунку. 3.3. Як видно, негативних значень директивного коефіцієнта реактивного навантаження СЕП конкретних споживачів допускати не можна. Тобто, перекомпенсація реактивного навантаження споживачів (як і його недокомпенсація) економічно недопустима. Як відомо, згідно з вимогою, як директивне значення для СЕП діючих споживачів електроенергії приймається коефіцієнт реактивної потужності  $\operatorname{tg}\varphi_{\text{д}} = 0,25$  в. о.

Таблиця 3.1

Можливі значення директивного коефіцієнта  $\operatorname{tg}\varphi_{\text{д}}$ 

| $\operatorname{tg}\varphi$ о.е | $\Delta P_Q$ , % | $\cos\varphi$ , о.е | $\operatorname{tg}\varphi$ о.е | $\Delta P_Q$ , % | $\cos\varphi$ , о.е |
|--------------------------------|------------------|---------------------|--------------------------------|------------------|---------------------|
| 0.00                           | 0.00             | 1.000               | 0.35                           | 12.25            | 0.944               |
| 0.10                           | 1.00             | 0.995               | 0.40                           | 16.00            | 0.928               |
| 0.20                           | 4.00             | 0.981               | 0.45                           | 20.25            | 0.912               |
| 0.21                           | 4.41             | 0.979               | 0.50                           | 25.00            | 0.892               |
| 0.22                           | 4.84             | 0.977               | 0.60                           | 36.00            | 0.857               |
| 0.23                           | 5.29             | 0.974               | 0.70                           | 49.00            | 0.819               |
| 0.24                           | 5.76             | 0.972               | 0.80                           | 64.00            | 0.781               |
| 0.25                           | 6.25             | 0.970               | 0.90                           | 81.00            | 0.743               |
| 0.26                           | 6.76             | 0.968               | 1.00                           | 100.00           | 0.707               |
| 0.27                           | 7.29             | 0.965               | 1.25                           | 156.25           | 0.625               |
| 0.28                           | 7.84             | 0.963               | 1.50                           | 225.00           | 0.555               |
| 0.29                           | 8.41             | 0.960               | 1.75                           | 306.25           | 0.496               |
| 0.30                           | 9.00             | 0.958               | 2.00                           | 400.00           | 0.447               |

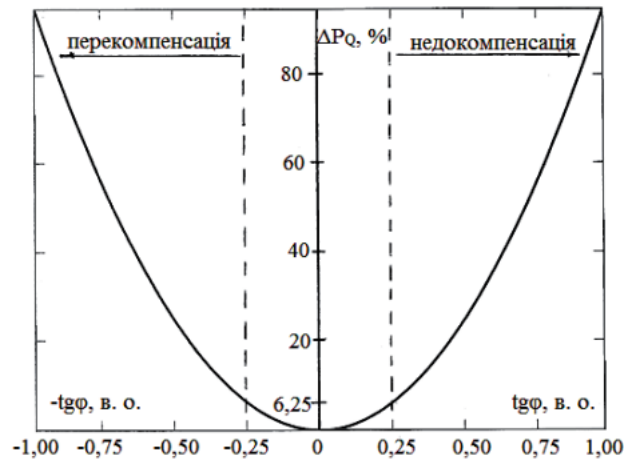


Рисунок. 3.3 Залежність  $\Delta P_Q = f(\text{tg}\varphi_p)$

“Таким чином, для кожного конкретного споживача ЕЕ у розрахунковому періоді, що продовжується ТВ годин вмикання, існують такі розрахункові параметри його СЕП:  $WP$  — активна ЕЕ (за комерційним обліком), кВт·год.

$WQ$  — реактивна ЕЕ (за комерційним обліком), квар · год.

$CP$  — плата споживача за активну ЕЕ (з урахуванням ПДВ 20 %), грн.

$SeP$  — плата споживача за активну ЕЕ без урахуванням вартості її втрат від реактивного навантаження, грн.

$U_{\text{ном}}$  — номінальна напруга у точці розподілу балансової належності ЕМ споживача та ЕО, кВ.

Можна далі розписати розрахунки електриспоживання споживача мателіал посилання нище”(Дорошенко О. І. Про економічний еквівалент реактивної потужності систем електропостачання)

### 3.3. Дослідження залежності коефіцієнтів чутливості від режимів вузлових навантажень

Розподілення параметрами режимів електросистем в себе включає визначення напруги у вузлах , також струмів в головних перерізах. Вимірювання частоти визначається зарахунок чутливості параметрів в результатчі чого формується сигнал, який має економічно збитковий матеріал номінального від фактичного. В результаті цих порівнянь визначається коефіцієнт втрат, залишкового ресурсу.

Таблиці 3.2, 3.3, 3.4 і 3.5 є порівняльними таблицями для подальшого аналізу критерію чутливості. У цих таблицях кожен параметр порівнюється в трьох режимах роботи.

Таблиця.3.2

| dphi/dP<br>Чутливість | Тип режиму навантаження |             |              |
|-----------------------|-------------------------|-------------|--------------|
|                       | уставлений              | мінімальний | максимальний |
| град/МВт              |                         |             |              |
| UHUST_21              | 0,037817                | 0,032475    | 0,04665      |
| UHUST_51              | 0,046375                | 0,038369    | 0,070391     |
| UMUKAC20              | 0,050721                | 0,047461    | 0,056712     |
| UMUKAC21              | 0,018504                | 0,017041    | 0,02135      |
| UMUKAC22              | 0,018504                | 0,017041    | 0,02135      |
| UMUKAC51              | 0,050665                | 0,045752    | 0,060713     |
| UMUKAC52              | 0,042344                | 0,038607    | 0,049884     |
| Uvolov21              | 0,00542                 | 0,005297    | 0,005584     |
| Uvolov22              | 0,00542                 | 0,005297    | 0,005584     |
| Uvolov51              | 0,019372                | 0,018675    | 0,020742     |
| Uvolov52              | 0,019372                | 0,018675    | 0,020742     |
| Іраша                 | 0,062434                | 0,054041    | 0,081745     |
| Батево                | 0,088194                | 0,079048    | 0,105885     |
| Береги                | 0,114902                | 0,096083    | 0,159871     |
| Берегове-3            | 0,111935                | 0,094443    | 0,152735     |
| Берегове-4            | 0,105667                | 0,08944     | 0,143554     |
| Буштино               | 0,080635                | 0,063989    | 0,136638     |
| В.Бичків              | 0,162748                | 0,1194      | 0,358267     |
| Вілок                 | 0,173706                | 0,144309    | 0,241774     |

## Продовження таблиці 3.2

|              |          |          |          |
|--------------|----------|----------|----------|
| Виноградів-2 | 0,107627 | 0,088518 | 0,156678 |
| Вишково      | 0,094128 | 0,074842 | 0,15486  |
| Вовчий       | 0,054889 | 0,052826 | 0,058937 |
| Діброва      | 0,143109 | 0,10675  | 0,296365 |
| Драгово      | 0,103967 | 0,087008 | 0,1458   |
| Копанія      | 0,089073 | 0,073221 | 0,131039 |
| Лавочне      | 0,059508 | 0,05709  | 0,064133 |
| Липча        | 0,069966 | 0,058849 | 0,098478 |
| Міжгір'я     | 0,075615 | 0,068597 | 0,09027  |
| Майдан       | 0,067897 | 0,062578 | 0,078858 |
| Підполоззя   | 0,046729 | 0,044033 | 0,051843 |
| Пилипець     | 0,049921 | 0,047265 | 0,055176 |
| Рахів        | 0,194137 | 0,140777 | 0,438492 |
| Рокосово     | 0,059612 | 0,050181 | 0,08401  |
| Росош        | 0,069471 | 0,061926 | 0,084789 |
| Свалява      | 0,062578 | 0,056614 | 0,074363 |
| Свалява-3    | 0,061303 | 0,055476 | 0,072845 |
| Скотарське   | 0,032787 | 0,03153  | 0,035227 |
| Солотвіно    | 0,148222 | 0,110377 | 0,307061 |
| Страбичево   | 0,064077 | 0,057626 | 0,07693  |
| Тересва      | 0,109242 | 0,083047 | 0,216887 |
| Тячів        | 0,102098 | 0,079046 | 0,187253 |
| Угтя         | 0,129854 | 0,108467 | 0,181612 |
| Хуст-1       | 0,05098  | 0,042462 | 0,075218 |
| Чинадієве    | 0,055714 | 0,050613 | 0,065785 |
| Шаланки      | 0,124938 | 0,103531 | 0,176945 |

Таблиця 3.3

| dphi/dQ<br>Чутливість | Тип режиму навантаження |             |              |
|-----------------------|-------------------------|-------------|--------------|
|                       | уставлений              | мінімальний | максимальний |
| град/Мвар             |                         |             |              |
| UHUST_21              | -0,026683               | -0,024904   | -0,031089    |
| UHUST_51              | -0,021447               | -0,021937   | -0,014195    |
| UMUKAC20              | -0,002478               | -0,003305   | -0,000884    |
| UMUKAC21              | -0,009343               | -0,00931    | -0,009063    |
| UMUKAC22              | -0,009343               | -0,00931    | -0,009063    |
| UMUKAC51              | -0,010406               | -0,010965   | -0,008118    |
| UMUKAC52              | -0,01181                | -0,011831   | -0,01082     |
| Uvolov21              | -0,005604               | -0,005521   | -0,00577     |
| Uvolov22              | -0,005604               | -0,005521   | -0,00577     |
| Uvolov51              | -0,006153               | -0,006137   | -0,005993    |
| Uvolov52              | -0,006153               | -0,006137   | -0,005993    |
| Іраша                 | -0,029606               | -0,028226   | -0,029571    |
| Батево                | -0,028706               | -0,027657   | -0,029165    |
| Береги                | -0,041071               | -0,039283   | -0,038508    |
| Берегове-3            | -0,036357               | -0,035736   | -0,03177     |
| Берегове-4            | -0,032561               | -0,032657   | -0,026652    |
| Буштино               | -0,038122               | -0,036854   | -0,026016    |
| В.Бичків              | -0,065168               | -0,062608   | -0,010203    |
| Вілок                 | -0,05931                | -0,056815   | -0,055651    |
| Виноградів-2          | -0,044389               | -0,041482   | -0,043322    |
| Вишково               | -0,050185               | -0,046174   | -0,046309    |
| Вовчий                | -0,026827               | -0,026038   | -0,028196    |
| Діброва               | -0,058421               | -0,056089   | -0,017784    |

## Продовження таблиці 3.3

|            |           |           |           |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| Драгово    | -0,048273 | -0,044309 | -0,052039 |
| Копанія    | -0,039109 | -0,036541 | -0,038118 |
| Лавочне    | -0,033149 | -0,032145 | -0,034943 |
| Липча      | -0,032836 | -0,031198 | -0,031909 |
| Міжгір'я   | -0,036861 | -0,034768 | -0,039841 |
| Майдан     | -0,02951  | -0,028229 | -0,031118 |
| Підполоззя | -0,019934 | -0,019256 | -0,020896 |
| Пилипець   | -0,018876 | -0,018338 | -0,019589 |
| Рахів      | -0,079752 | -0,074378 | -0,021239 |
| Рокосово   | -0,029269 | -0,028005 | -0,027626 |
| Росош      | -0,031157 | -0,029475 | -0,033001 |
| Свалява    | -0,026575 | -0,025454 | -0,027601 |
| Свалява-3  | -0,026221 | -0,025117 | -0,027251 |
| Скотарське | -0,014532 | -0,014237 | -0,014945 |
| Солотвіно  | -0,061107 | -0,058196 | -0,021363 |
| Страбичево | -0,017747 | -0,017717 | -0,016457 |
| Тересва    | -0,042684 | -0,04303  | -0,006246 |
| Тячів      | -0,041714 | -0,04097  | -0,018731 |
| Угля       | -0,060216 | -0,054329 | -0,068017 |
| Хуст-1     | -0,023778 | -0,023695 | -0,018485 |
| Чинадієве  | -0,021231 | -0,020469 | -0,021617 |
| Шаланки    | -0,049101 | -0,045575 | -0,049805 |

Таблиця.3.4

| dv/dP<br>Чутливість | Тип режиму навантаження |            |             |
|---------------------|-------------------------|------------|-------------|
|                     | в.о./МВт                | уставлений | мінімальний |
| UHUST_21            | 0,000622                | 0,000487   | 0,001119    |
| UHUST_51            | 0,00064                 | 0,000469   | 0,001322    |
| UMUKAC20            | 0,000058                | 0,000051   | 0,000081    |
| UMUKAC21            | 0,000205                | 0,000177   | 0,00029     |
| UMUKAC22            | 0,000205                | 0,000177   | 0,00029     |
| UMUKAC51            | 0,000277                | 0,000226   | 0,000424    |
| UMUKAC52            | 0,000268                | 0,000229   | 0,000384    |
| Uvolov21            | 0,000101                | 0,000098   | 0,000111    |
| Uvolov22            | 0,000101                | 0,000098   | 0,000111    |
| Uvolov51            | 0,00012                 | 0,000112   | 0,000142    |
| Uvolov52            | 0,00012                 | 0,000112   | 0,000142    |
| Іраша               | 0,000658                | 0,000543   | 0,001009    |
| Батево              | 0,000599                | 0,00052    | 0,000792    |
| Береги              | 0,00098                 | 0,000777   | 0,001576    |
| Берегове-3          | 0,000918                | 0,000723   | 0,001466    |
| Берегове-4          | 0,000862                | 0,000673   | 0,001392    |
| Буштино             | 0,001051                | 0,00076    | 0,002305    |
| В.Бичків            | 0,001957                | 0,001311   | 0,005209    |
| Вілок               | 0,001439                | 0,001137   | 0,002234    |
| Виноградів-2        | 0,001029                | 0,000809   | 0,001746    |
| Вишково             | 0,001206                | 0,000906   | 0,002431    |
| Вовчий              | 0,000472                | 0,000457   | 0,000508    |

Продовження таблиці 3.4

|            |          |          |          |
|------------|----------|----------|----------|
| Діброва    | 0,001719 | 0,001171 | 0,004386 |
| Драгово    | 0,001026 | 0,000837 | 0,001655 |
| Копанія    | 0,000912 | 0,000713 | 0,001617 |
| Лавочне    | 0,00059  | 0,000568 | 0,000636 |
| Липча      | 0,00077  | 0,000612 | 0,00133  |
| Міжгір'я   | 0,0007   | 0,000631 | 0,000891 |
| Майдан     | 0,000561 | 0,000513 | 0,000693 |
| Підполоззя | 0,000369 | 0,000346 | 0,000429 |
| Пилипець   | 0,000351 | 0,00033  | 0,000407 |
| Рахів      | 0,002268 | 0,001527 | 0,00602  |
| Рокосово   | 0,000703 | 0,000554 | 0,00123  |
| Росош      | 0,000628 | 0,000548 | 0,000846 |
| Свалява    | 0,000537 | 0,000475 | 0,0007   |
| Свалява-3  | 0,00053  | 0,000468 | 0,000691 |
| Скотарське | 0,000266 | 0,000255 | 0,000296 |
| Солотвіно  | 0,001765 | 0,001206 | 0,004479 |
| Страбичево | 0,000409 | 0,000346 | 0,000577 |
| Тересва    | 0,001372 | 0,000928 | 0,003499 |
| Тячів      | 0,001236 | 0,000863 | 0,002933 |
| Угтя       | 0,001216 | 0,001007 | 0,001887 |
| Хуст-1     | 0,000655 | 0,000493 | 0,001268 |
| Чинадієве  | 0,000432 | 0,000381 | 0,000569 |
| Шаланки    | 0,001095 | 0,000877 | 0,001759 |

Таб.3.5

| dv/dQ<br>Чутливість | Тип режиму навантаження |             |              |
|---------------------|-------------------------|-------------|--------------|
|                     | уставлений              | мінімальний | максимальний |
| в.о./Мвар           |                         |             |              |
| UHUST_21            | 0,000554                | 0,000464    | 0,000926     |
| UHUST_51            | 0,000699                | 0,000574    | 0,001255     |
| UMUKAC20            | 0,00016                 | 0,000159    | 0,000167     |
| UMUKAC21            | 0,000202                | 0,000185    | 0,000268     |
| UMUKAC22            | 0,000202                | 0,000185    | 0,000268     |
| UMUKAC51            | 0,000744                | 0,000683    | 0,000915     |
| UMUKAC52            | 0,000618                | 0,000574    | 0,00075      |
| Uvolov21            | 0,000088                | 0,000085    | 0,000095     |
| Uvolov22            | 0,000088                | 0,000085    | 0,000095     |
| Uvolov51            | 0,000322                | 0,000312    | 0,000353     |
| Uvolov52            | 0,000322                | 0,000312    | 0,000353     |
| Іраша               | 0,00096                 | 0,000851    | 0,001305     |
| Батєво              | 0,001351                | 0,00125     | 0,00159      |
| Береги              | 0,001764                | 0,001539    | 0,002384     |
| Берегове-3          | 0,001735                | 0,001517    | 0,002316     |
| Берегове-4          | 0,001644                | 0,001435    | 0,002203     |
| Буштино             | 0,001249                | 0,001008    | 0,002336     |
| В.Бичків            | 0,002512                | 0,00194     | 0,005199     |
| Вілок               | 0,00271                 | 0,002361    | 0,003564     |
| Виноградів-2        | 0,001631                | 0,001408    | 0,002319     |
| Вишково             | 0,001439                | 0,001184    | 0,002512     |
| Вовчий              | 0,000925                | 0,000903    | 0,000979     |
| Діброва             | 0,002213                | 0,001727    | 0,004469     |
| Драгово             | 0,001593                | 0,001402    | 0,0022       |

## Продовження таблиці 3.5

|            |          |          |          |
|------------|----------|----------|----------|
| Копанія    | 0,001338 | 0,00115  | 0,001986 |
| Лавочне    | 0,001005 | 0,000978 | 0,001066 |
| Липча      | 0,001073 | 0,000933 | 0,001577 |
| Міжгір'я   | 0,001229 | 0,001147 | 0,001464 |
| Майдан     | 0,001116 | 0,001052 | 0,001294 |
| Підполоззя | 0,000769 | 0,000738 | 0,000853 |
| Пилипець   | 0,000832 | 0,000801 | 0,000918 |
| Рахів      | 0,002961 | 0,002289 | 0,006052 |
| Рокосово   | 0,000906 | 0,000779 | 0,001376 |
| Росош      | 0,001092 | 0,001002 | 0,001337 |
| Свалява    | 0,000982 | 0,000911 | 0,001169 |
| Свалява-3  | 0,000966 | 0,000895 | 0,001153 |
| Скотарське | 0,000551 | 0,000535 | 0,000592 |
| Солотвіно  | 0,002285 | 0,001786 | 0,004586 |
| Страбичево | 0,000962 | 0,000885 | 0,00116  |
| Тересва    | 0,001715 | 0,001337 | 0,003515 |
| Тячів      | 0,001587 | 0,001263 | 0,003066 |
| Угля       | 0,001986 | 0,001758 | 0,002667 |
| Хуст-1     | 0,000775 | 0,00065  | 0,00129  |
| Чинадієве  | 0,000849 | 0,000791 | 0,001009 |
| Шаланки    | 0,001901 | 0,001658 | 0,002584 |

В рисунках 3.4 – 3.7 представлено графічне відображення таблиць по критерію чутливості.

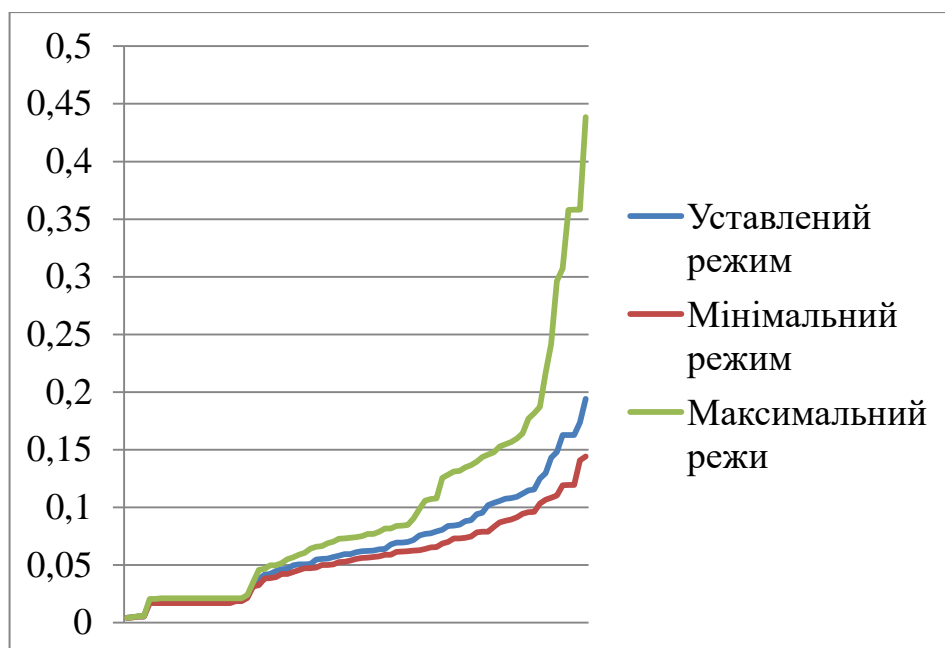


Рисунок 3.4 -  $d\phi/dP$  Чутливість потужності до змін у величині P

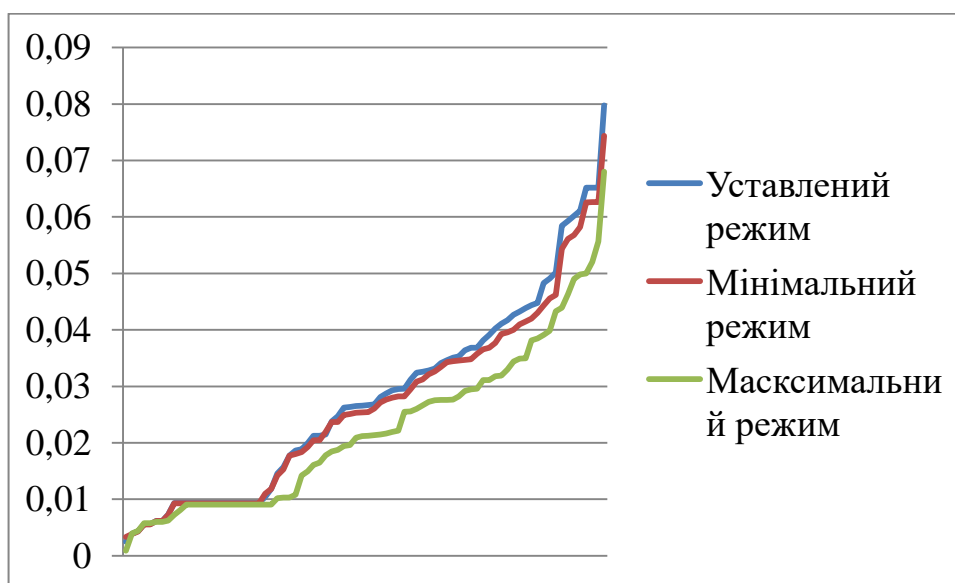


Рисунок 3.5 -  $d\phi/dQ$  Чутливість потужності до змін у величині Q

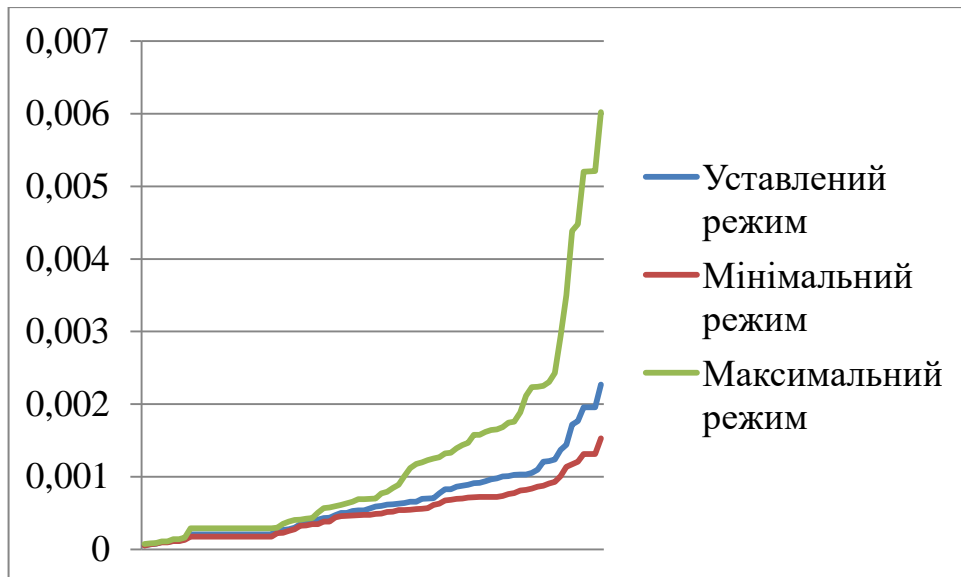


Рисунок 3.6 -  $dv/dP$  Чутливість напруги до змін у величині P

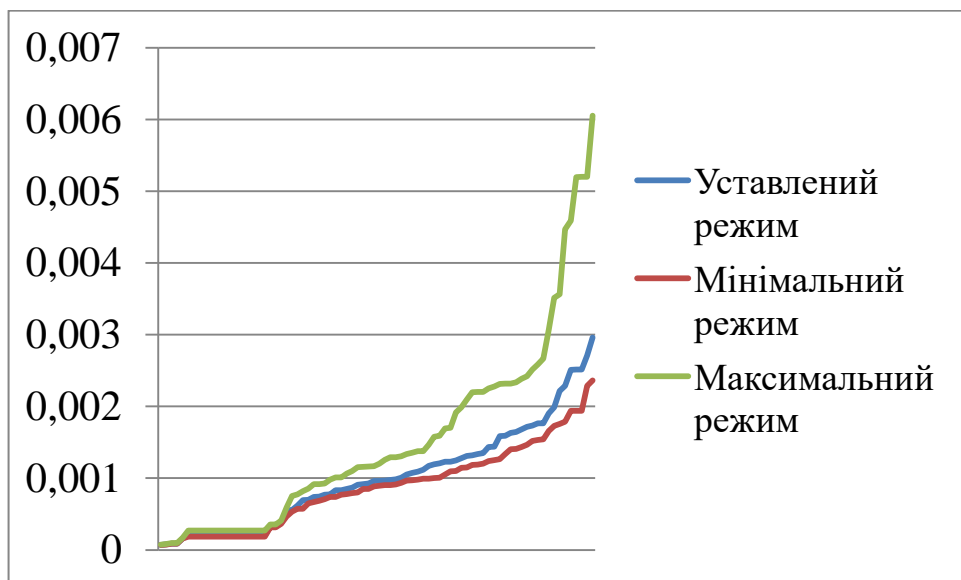


Рисунок 3.7 -  $dv/dQ$  Чутливість напруги до змін у величині Q

Аналізуючи результати, представлені у вигляді таблиць, де головними факторами є 4 параметри та 3 режими роботи, можна зробити наступні висновки. У всіх таблицях спостерігається однакова залежність: значення критерію чутливості залишається постійним за умови встановленого режиму, зменшується при мінімальному навантаженні та збільшується при максимальному. Тобто, коли в певному фрагменті мережі зменшується навантаження, то і критерій чутливості

відносно активної або реактивної потужності також зменшується, а при максимальному навантаженні - збільшується.

### **Висновки по розділу 3**

Можна стверджувати, що в "науково-технічній літературі з електроенергетики відсутнє єдине чітке обґрунтування фізики розуміння економічного еквівалента реактивної потужності (ЕЕРП) систем електропостачання споживачів електроенергії. Оскільки реактивна електроенергія є внутрішньою енергією системи електропостачання конкретного споживача активної електроенергії, то математичний зв'язок між її активним і реактивним навантаженням можна встановити за допомогою коефіцієнта реактивної потужності такої системи з метою економії активних втрат електроенергії в системі електропостачання загального призначення, в системах електропостачання конкретних споживачів необхідно встановити єдиний нормативний (директивний) коефіцієнт реактивної потужності. Економічність потужності реактивного навантаження систем електропостачання конкретного споживача, у грошовому еквіваленті, можна оцінити як різницю вартості активних втрат в еквівалентному активному опорі його системи електропостачання від реактивного навантаження — реального і директивного. На протязі року ЕЕРП у грошовому відповіднику для системи електропостачання споживача можна визначити, різницю розрахункового і директивного реактивного навантаження споживача. ЕЕРП у грошовому відповіднику для СЕП можна визначити економічність вибору пристроїв компенсації його реактивного навантаження." (Дорошенко О. І. Про економічний еквівалент реактивної потужності систем електропостачання)

## АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ НА ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ МІСЦЬ І СЕНСОРІВ

### 4.1. Аналіз вузлів схеми на визначення «слабких місць» за напругою

“Слабкі місця” визначаються за напругою і є важливим пунктом при проектуванні тіля чого і в експлуатації електричних мереж. Зарахунок чого можемо визначити місця на схемі де напруга нижче заданого параметру. Що явно допомагає для оптимізації схеми.

Основний підхід до аналізу "слабких місць" за напругою включає такі кроки:

1. **Моделювання мережі:** Математичне або програмне відтворення енергосистеми, з повним відворення по складі та параметрах .
2. **Визначення базових параметрів:** Базовий параметр елемента це параметр який нереально відворити фактично, але можливо наблизитись.
3. **Розрахунок напруг:** Виконати можна зарахунок методу короткого замикання або методу потужності
4. **Аналіз напруг:** Виконати порівняння фактичних отриманих параметрів з нормативними значеннями.
5. **Визначення "слабких місць":** Визначення "слабкі місця", де напруга нижче допуску.
6. **Вжиття заходів:** Виконання оптимізації розподілення навантаження, модернізування схеми.

Значення допустимих меж напруги визначаються регуляторними органами, певними стандартами , напруга нижчою на 90-95% від ном. вважається проблемою . В нашому випадку в таблиці. 4.1 та 4.2 представлено характеристики напруги у вузлах мережі як у фактичних одиницях вимірювання, так і у відсотках відносно номінального значення.

Таблиця.4.1

| Назва        | Номинальна<br>напруга, кВ | Фактична напруга при різних режимах, кВ |             |              |
|--------------|---------------------------|---|-------------|--------------|
|              |                           | Уставлений                              | Мінімальний | Максимальний |
| UHUST_21     | 220,000                   | 190,154                                 | 208,378     | 163,612      |
| UHUST_51     | 110,000                   | 93,855                                  | 103,775     | 79,004       |
| UMUKAC20     | 400,000                   | 399,763                                 | 404,126     | 393,438      |
| UMUKAC21     | 220,000                   | 206,882                                 | 215,500     | 194,281      |
| UMUKAC22     | 220,000                   | 206,882                                 | 215,500     | 194,281      |
| UMUKAC51     | 110,000                   | 101,293                                 | 106,920     | 93,178       |
| UMUKAC52     | 110,000                   | 102,312                                 | 107,303     | 94,924       |
| Uvolov21     | 220,000                   | 215,361                                 | 218,333     | 210,578      |
| Uvolov22     | 220,000                   | 215,361                                 | 218,333     | 210,578      |
| Uvolov51     | 110,000                   | 106,920                                 | 109,004     | 103,140      |
| Uvolov52     | 110,000                   | 106,920                                 | 109,004     | 103,140      |
| Іраша        | 110,000                   | 97,482                                  | 105,272     | 86,086       |
| Батево       | 110,000                   | 100,667                                 | 106,633     | 92,212       |
| Береги       | 110,000                   | 94,884                                  | 104,291     | 81,555       |
| Берегове-3   | 110,000                   | 95,401                                  | 104,493     | 82,609       |
| Берегове-4   | 110,000                   | 95,548                                  | 104,550     | 82,905       |
| Буштино      | 110,000                   | 90,850                                  | 102,654     | 73,082       |
| В.Бичків     | 110,000                   | 85,712                                  | 100,728     | 62,972       |
| Вілок        | 110,000                   | 94,025                                  | 103,844     | 80,374       |
| Виноградів-2 | 110,000                   | 93,733                                  | 103,793     | 79,228       |
| Вишково      | 110,000                   | 91,142                                  | 102,772     | 73,687       |
| Вовчий       | 110,000                   | 106,869                                 | 108,986     | 103,058      |
| Діброва      | 110,000                   | 86,771                                  | 101,111     | 65,074       |
| Драгово      | 110,000                   | 95,094                                  | 104,262     | 81,292       |
| Копанія      | 110,000                   | 93,794                                  | 103,801     | 79,102       |

Продовження таблиці 4.1

|            |         |         |         |         |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| Лавочне    | 110,000 | 106,370 | 108,719 | 102,330 |
| Липча      | 110,000 | 95,384  | 104,375 | 81,784  |
| Міжгіря    | 110,000 | 101,575 | 106,924 | 92,967  |
| Майдан     | 110,000 | 102,983 | 107,511 | 95,561  |
| Підполоззя | 110,000 | 104,903 | 108,243 | 99,515  |
| Пилипець   | 110,000 | 105,340 | 108,413 | 100,097 |
| Рахів      | 110,000 | 85,020  | 100,465 | 61,614  |
| Рокосово   | 110,000 | 95,301  | 104,351 | 81,865  |
| Росош      | 110,000 | 99,992  | 106,287 | 90,744  |
| Свалява    | 110,000 | 101,256 | 106,787 | 93,111  |
| Свалява-3  | 110,000 | 101,269 | 106,801 | 93,101  |
| Скотарське | 110,000 | 106,640 | 108,867 | 102,727 |
| Солотвіно  | 110,000 | 86,701  | 101,109 | 64,932  |
| Страбичево | 110,000 | 100,913 | 106,751 | 92,593  |
| Тересва    | 110,000 | 87,883  | 101,518 | 67,285  |
| Тячів      | 110,000 | 89,157  | 101,994 | 69,791  |
| Угля       | 110,000 | 94,997  | 104,212 | 81,129  |
| Хуст-1     | 110,000 | 94,376  | 103,955 | 80,062  |
| Чинадієве  | 110,000 | 101,873 | 107,092 | 94,167  |
| Шаланки    | 110,000 | 94,353  | 104,071 | 80,472  |

Таблиця.4.2

| Назва        | Номинальна<br>напруга, кВ | Фактична напруга при різних режимах, % |             |              |
|--------------|---------------------------|--|-------------|--------------|
|              |                           | Уставлений                             | Мінімальний | Максимальний |
| UHUST_21     | 220,000                   | 86,433                                 | 94,717      | 74,369       |
| UHUST_51     | 110,000                   | 85,323                                 | 94,341      | 71,822       |
| UMUKAC20     | 400,000                   | 99,941                                 | 101,032     | 98,360       |
| UMUKAC21     | 220,000                   | 94,037                                 | 97,954      | 88,309       |
| UMUKAC22     | 220,000                   | 94,037                                 | 97,954      | 88,309       |
| UMUKAC51     | 110,000                   | 92,084                                 | 97,200      | 84,707       |
| UMUKAC52     | 110,000                   | 93,011                                 | 97,548      | 86,295       |
| Uvolov21     | 220,000                   | 97,891                                 | 99,242      | 95,717       |
| Uvolov22     | 220,000                   | 97,891                                 | 99,242      | 95,717       |
| Uvolov51     | 110,000                   | 97,200                                 | 99,095      | 93,763       |
| Uvolov52     | 110,000                   | 97,200                                 | 99,095      | 93,763       |
| Іраша        | 110,000                   | 88,620                                 | 95,702      | 78,260       |
| Батєво       | 110,000                   | 91,515                                 | 96,939      | 83,829       |
| Береги       | 110,000                   | 86,259                                 | 94,810      | 74,141       |
| Берегове-3   | 110,000                   | 86,728                                 | 94,994      | 75,099       |
| Берегове-4   | 110,000                   | 86,862                                 | 95,046      | 75,368       |
| Буштино      | 110,000                   | 82,591                                 | 93,322      | 66,438       |
| В.Бичків     | 110,000                   | 77,920                                 | 91,571      | 57,248       |
| Вілок        | 110,000                   | 85,477                                 | 94,403      | 73,067       |
| Виноградів-2 | 110,000                   | 85,212                                 | 94,357      | 72,025       |
| Вишково      | 110,000                   | 82,856                                 | 93,429      | 66,988       |
| Вовчий       | 110,000                   | 97,154                                 | 99,078      | 93,689       |
| Діброва      | 110,000                   | 78,883                                 | 91,919      | 59,159       |
| Драгово      | 110,000                   | 86,449                                 | 94,784      | 73,902       |

Продовження таблиці 4.2

|            |         |        |        |        |
|------------|---------|--------|--------|--------|
| Копанія    | 110,000 | 85,268 | 94,364 | 71,911 |
| Лавочне    | 110,000 | 96,700 | 98,835 | 93,027 |
| Липча      | 110,000 | 86,713 | 94,886 | 74,349 |
| Міжгір'я   | 110,000 | 92,341 | 97,203 | 84,516 |
| Майдан     | 110,000 | 93,621 | 97,737 | 86,874 |
| Підполоззя | 110,000 | 95,367 | 98,403 | 90,468 |
| Пилипець   | 110,000 | 95,764 | 98,558 | 90,997 |
| Рахів      | 110,000 | 77,291 | 91,332 | 56,013 |
| Рокосово   | 110,000 | 86,637 | 94,865 | 74,423 |
| Росош      | 110,000 | 90,902 | 96,625 | 82,494 |
| Свалява    | 110,000 | 92,051 | 97,079 | 84,647 |
| Свалява-3  | 110,000 | 92,063 | 97,092 | 84,637 |
| Скотарське | 110,000 | 96,945 | 98,970 | 93,388 |
| Солотвіно  | 110,000 | 78,819 | 91,917 | 59,029 |
| Страбичево | 110,000 | 91,739 | 97,046 | 84,175 |
| Тересва    | 110,000 | 79,893 | 92,289 | 61,168 |
| Тячів      | 110,000 | 81,052 | 92,722 | 63,447 |
| Угля       | 110,000 | 86,361 | 94,738 | 73,753 |
| Хуст-1     | 110,000 | 85,796 | 94,505 | 72,784 |
| Чинадієве  | 110,000 | 92,611 | 97,357 | 85,607 |
| Шаланки    | 110,000 | 85,775 | 94,610 | 73,156 |

Роблячи висновок з наведених вище таблиць, можна стверджувати, що більша частина вузлів фрагменту мережі є "слабкими місцями", причому деякі вузли при режимі мінімального навантаження просідають майже на 50%.

Навантаження віддаленен від центру, невелике за потужністю все це "слабка група" . В разі підключення джерела з макс. ККД , через деякий час

приведе до потреби збільшення живлення за зменшення коеф. навантаження. Ідеальним прикладом можна привести ЛЕП для боротьби встановлюють проміжне навантаження.

Моделювання розрахунку "слабкої групи" , де потрібно визначити оптимальну конфігурацію системи електропостачання, розподіляється на S груп ( $S = 2, 3, 4 \dots n-1$ ), і визначається склад цих груп за критерієм розкиду навантаження. Після завершення групування схожий цикл повторюється вже відносно живильних ТП та новостворених вузлів навантаження, оцінюється пріоритетність їх підключення до тієї чи іншої ТП.

Після цього сформовані таким чином ТП знову переоцінюються: якщо потужність навантаження ТП не задовольняє показник завантаження трансформатора ( $K_{зг} = 0,7 \dots 0,85$ ), то деякі вузли від'єднуються від ТП за "критерієм бажаної належності". Коли потужність підстанцій досягне бажаних меж, аналогічно визначається пріоритетність збільшення потужності тієї чи іншої ТП за рахунок вузлів, що залишилися від'єднаними на попередньому кроці.

$$\Delta Z = \frac{\sum Zj' + (30_{k+1} - 30_k)}{C_{ps}'} \quad (4.12)$$

де

$Zj'$  – вартість живильної мережі від підстанції до вузла, що додається;

$30_k$  – витрати на п/ст поточної потужності;

$30_{k+1}$  – витрати на п/ст наступної більшої потужності;

$C_{ps}'$  – потужність вузлів, що додаються до джерела.

#### **4.2. Аналіз вузлів схеми на визначення слабких місць за перетоками активної потужності**

Активна потужність перетікає від вищого потенціалу до нижчого. У випадку реактивної потужності ми говоримо про джерела та поглиначі реактивної потужності.

Аналіз вузлів схеми для визначення слабких місць за перетоками активної потужності може бути важливим для забезпечення стабільності та ефективності

роботи електромережі. Цей аналіз є важливим етапом управління електромережею, оскільки дозволяє виявити проблемні ділянки мережі та прийняти заходи для їх вирішення, що допомагає забезпечити стабільну та ефективну роботу системи електропостачання.

### **4.3. Комплексний аналіз характеристик схеми, визначення сенсорів**

Комплексний аналіз характеристик схеми та визначення сенсорів може бути корисним для оптимізації роботи системи управління електромережею. Ось деякі кроки, які можуть бути включені в такий аналіз:

1. **Збір і аналіз даних про схему:** Перш за все, потрібно зібрати дані про конфігурацію електромережі, включаючи дані про елементи мережі (трансформатори, лінії передачі, комутатори тощо), їх характеристики (опори, індуктивності, ємності), а також дані про навантаження і генерацію.
2. **Моделювання системи:** На основі зібраних даних можна побудувати математичну модель системи. Ця модель може включати рівняння, які описують реакцію системи на різні вхідні впливи.
3. **Аналіз характеристик схеми:** Провести аналіз характеристик схеми, таких як струми короткого замикання, напруги на різних точках мережі, потужності втрат, коефіцієнт потужності тощо. Це допоможе виявити слабкі місця та можливі шляхи їх вирішення.
4. **Визначення сенсорів:** На основі аналізу характеристик можна визначити необхідні параметри для моніторингу та управління системою. Сенсори можуть бути встановлені для вимірювання струмів, напруг, температури, вологості тощо в різних точках мережі.
5. **Розробка системи управління:** На основі отриманих даних і визначених сенсорів можна розробити систему управління, яка буде оптимізована для покращення ефективності та надійності електромережі.

Такий комплексний аналіз може допомогти виявити проблеми в роботі електромережі та розробити стратегії для їх вирішення, що дозволить підтримувати стабільну та ефективну роботу системи електропостачання.

#### **4.4. Аналіз загальносистемних втрат потужності**

“В умовах паралельної роботи електричних систем (ЕС) у складі об’єднаних енергетичних систем (ОЕС) України для реалізації міжсистемного ефекту, раціонального використання енергоресурсів, а також для покриття дефіцитів потужності й електроенергії в окремих регіонах виникає необхідність у значних перетіканнях електроенергії транзитом через мережі енергосистем. При цьому виникають додаткові технологічні витрати електроенергії в мережах транзитера – втрати електроенергії від транзитних перетікань (4.13).

Ці втрати не враховуються як окрема характеристика економічності режиму роботи ОЕС України в цілому, оскільки оптимальні режими розробляються службою оптимізації електричних режимів НЕК «Укренерго» за критерієм мінімуму сумарних витрат палива з урахуванням сумарних втрат в основних магістральних (системоутворювальних) електричних мережах.

Приріст (або зменшення) втрат електроенергії від транзитних перетікань мережами транзитера порівняно з початковим значенням може бути викликаний зміною величини транзиту електроенергії з економічних міркувань, а також аварійними ситуаціями в суміжних енергосистемах.

Ще одним чинником, що впливає на величину втрат електроенергії від транзитних перетікань, є зміна напруги в контрольних точках транзитної енергосистеми за рахунок оптимізації її режимів за реактивною потужністю та коефіцієнтами трансформації. Така оптимізація в межах однієї енергосистеми може суперечити оперативним вказівкам служби оптимізації НЕК «Укренерго» щодо ведення режимів, оскільки зменшення втрат електроенергії в транзитній

енергосистемі може призводити до зростання загальносистемних втрат і, як наслідок, сумарних витрат палива.

Отже, на обсяги транзитних перетікань і, відповідно, на втрати електроенергії від них, практично не впливають диспетчерські служби енергосистеми, через мережі якої вони проходять( 4.14).

Водночас технологічні витрати електроенергії в мережах енергосистем є одним із планових показників. За результатами їх виконання, відповідно до колективного договору між адміністрацією і трудовим колективом, оцінюється ефективність роботи персоналу та здійснюється преміювання.

Для об'єктивної оцінки діяльності персоналу енергосистеми зі зниження технологічних витрат електроенергії в мережах необхідно виділити з балансових втрат втрати електроенергії від транзитних перетікань як такі, що об'єктивно не можуть бути зменшені наявними засобами.

Втрати електроенергії від транзитних перетікань не можуть бути виміряні лічильниками або визначені з балансу електроенергії. Їхнє значення можна знайти розрахунковим шляхом, виходячи з обсягів та характеру транзитного перетікання, а також режимів електричних мереж енергосистеми.

#### **4.4.1 Співвідношення допустимих і транзитних втрат електроенергії в мережах енергосистем**

Розрахунки допустимих втрат електроенергії в мережах енергосистем виконують для визначення обґрунтованого рівня втрат електроенергії за звітними балансовими та схемнорежимними даними роботи ліній протягом звітного періоду. Для отримання кінцевої величини втрат необхідно підсумувати втрати, спричинені навантаженням споживачів, втрати на корону та втрати у вимірювальних трансформаторах (4.15). Під час розрахунку втрат на корону використовуються дані Гідрометцентру та типові залежності питомих втрат на корону від напруги та впливу навколишнього середовища. Втрати електроенергії у вимірювальних трансформаторах обчислюють, виходячи з їх кількості та нормативних значень середніх втрат.

Для обчислення навантажувальної складової втрат електроенергії за звітними даними використовують метод поелементного розрахунку або його модифікації. При цьому втрати, пов'язані з транзитом електроенергії, входять у навантажувальні, але в окрему складову частину їх не виділяють.

Відповідно до зазначених складових частин допустимих втрат планують впровадження організаційно-технічних заходів, таких як оптимізація схеми електричної мережі, застосування пристроїв регулювання напруги та компенсації реактивної потужності, заміна вимірювальних трансформаторів, які не відповідають класу точності через відсутність проектного навантаження тощо.

Як показують розрахунки [4.16], зміна втрат електроенергії від транзитних перетікань у багатьох випадках є розмірною з ефектом від організаційно-технічних заходів, які впроваджує персонал енергосистеми. Збільшення транзитного перетікання потужності відповідно до оперативних вказівок з оптимального ведення режимів може призвести до нівелювання ефекту від впровадження зазначених заходів і необ'єктивно знизити ефективність роботи персоналу енергосистеми.

Отже, виділення втрат електроенергії від транзитних перетікань в окрему складову за допомогою існуючих розрахункових методів є актуальним, оскільки це дозволить створити більш ефективну систему матеріального заохочення працівників енергосистем.

#### 4.4.2 Визначення втрат потужності в ЕС від транзитних перетікань

Задачу визначення втрат електроенергії від транзитних перетікань можна представити як задачу визначення відповідних складових частин втрат у вітках заступної схеми електричної системи (ЕС), через які передається транзитна електроенергія. У (4.16) розроблено метод виділення втрат потужності від взаємних перетоків на основі коефіцієнтів розподілу втрат потужності, який базується на використанні виразу:

$$\Delta S_i = 3 * (\sum_{j=1}^m \Gamma_{ij}^2 \mu_j + \sum_{j=1}^m \Gamma_{ij}^2 \mu_j) * \dot{Z}_i, \quad (4.13)$$

де

$$\mu_j' = \frac{\sum_{\eta=1}^m \eta \neq 1 \Gamma_{i\eta}}{\Gamma_{ij}}, \quad \mu_j'' = \frac{\sum_{\eta=1}^m \eta \neq 1 \Gamma_{i\eta}''}{\Gamma_{ij}''} \quad - \text{коєфіцієнти впливу; } Z_i - \text{опір } i\text{-ої}$$

вітки;

$\Gamma_{ij}, \Gamma_{ij}''$  – активна та реактивна складові струму в  $i$ -й вітці від струму

навантаження

$j$ -го вузла.

З (4.13) видно, що втрати потужності у вітках заступної схеми ЕС, спричинені струмом  $j$ -го вузла, залежать не тільки від протікання через них струмового навантаження цього вузла, але й від значень інших часткових струмів, що протікають цією віткою, тобто спостерігається взаємовплив часткових струмів. Міра цього впливу характеризується коєфіцієнтами  $\mu_j'$  і  $\mu_j''$

Застосовуючи цей метод для визначення втрат потужності від окремого транзитного перетікання, необхідно враховувати, що до появи транзиту втрати потужності від взаємовпливу струму, спричиненого транзитною потужністю та струмами навантаження, були нульові. Тобто, транзит потужності зумовлює як додаткові втрати від протікання струму транзиту, так і втрати від взаємовпливу. Тому втрати потужності від транзиту повинні включати втрати від власне струмового навантаження транзиту та взаємовпливу струмів основного та транзитного струморозподілу.

Розглянемо приклад схеми електричної мережі з транзитом потужності з вузла 1 до вузла 4 (рисунку. 4.5). Струмові навантаження вузлів електричної мережі визначено завдяки використанню відомих з розрахунку режиму напруги  $\dot{U}$  та потужності навантаження  $\dot{S}$  вузлів схеми. Поперечна складова заступної схеми еквівалентується в розрахункових навантаженнях вузлів.

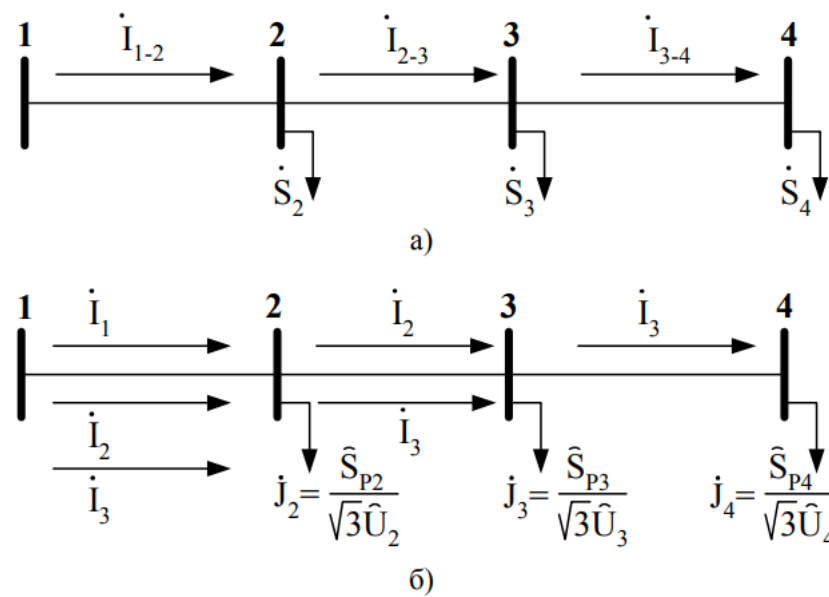


Рисунок. 4.1 Схема найпростішого випадку транзиту потужності

Згідно з методом накладання лінією 1 - 2 будуть протікати узгодженоспрямовані часткові струми  $\dot{I}_1$ ,  $\dot{I}_2$ , зумовлені навантаженням окремих споживачів, та  $\dot{I}_3$ , спричинений протіканням транзитної потужності. У цьому випадку часткові струми (див. рисунок. 4.5 б) дорівнюють відповідним задаючим струмам  $\dot{I}_1 = \dot{J}_2$ ,  $\dot{I}_2 = \dot{J}_3$ ,  $\dot{I}_3 = \dot{J}_4$ . Отже, втрати потужності у даній ЛЕП 1 - 2 визначаються:

$$\Delta S = 3 * |\dot{I}_{1-2}|^2 * Z_{1-2} = 3 * |\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3|^2 * Z_{1-2}$$

$$\Delta S = 3 * [(\Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3)^2 + (\Gamma''_1 + \Gamma''_2 + \Gamma''_3)^2] * Z_{1-2} \quad (4.15)$$

де  $\Gamma''$ ,  $\Gamma''$  – дійсні та уявні складові часткових струмів. Виконавши ряд алгебраїчних перетворень, цей вираз можна звести до вигляду (4.15):

$$\Delta S = 3 * \left[ \begin{array}{l} \Gamma_1^2 + 2\Gamma_1\Gamma_2 + \Gamma_2^2 + \Gamma''_1^2 + 2\Gamma''_1\Gamma''_2 + \Gamma''_2^2 + \\ \Gamma_3^2 + 2\Gamma_1\Gamma_3 + 2\Gamma_2\Gamma_3 + \Gamma''_3^2 + 2\Gamma''_1\Gamma''_3 + 2\Gamma''_2\Gamma''_3 \end{array} \right] * Z_{1-2} \quad (4.16)$$

де виділяються складові від транзитного перетікання (з урахуванням взаємовпливу) та струмів навантаження:

$$\Delta S^{\dot{}} = 3 * [(\Gamma_1 + \Gamma_2)^2 + (\Gamma^{\dot{}}_1 + \Gamma^{\dot{}}_2)^2] * Z_{1-2}^{\dot{}};$$

$$\Delta S_{mp}^{\dot{}} = 3 * [\Gamma_3^2 + 2\Gamma_1\Gamma_3 + 2\Gamma_2\Gamma_3 + \Gamma_3^{\dot{}}^2 + 2\Gamma^{\dot{}}_1\Gamma_3 + 2\Gamma^{\dot{}}_2\Gamma_3] * Z_{1-2}^{\dot{}} \quad (4.17)$$

або

$$\Delta S^{\dot{}} = 3 * [I_{1-2}^{\dot{}} - I_3] * Z_{1-2}^{\dot{}};$$

$$\Delta S_{mp}^{\dot{}} = 3 * [\Gamma_3^2 + 2\Gamma_3(\Gamma_1 + \Gamma_2) + \Gamma_3^{\dot{}}^2 + 2\Gamma^{\dot{}}_3(\Gamma^{\dot{}}_1 + \Gamma^{\dot{}}_2)] * Z_{1-2}^{\dot{}} \quad (4.18)$$

де  $\Delta S^{\dot{}}$  – втрати потужності від струмових навантажень вузлів електричної мережі транзитера без транзиту;  $\Delta S_{mp}^{\dot{}}$  – втрати потужності від транзиту. Після спрощень, виконавши заміну  $(\Gamma_1 + \Gamma_2) = (\Gamma_{1-2} + \Gamma_3)$ ,  $(\Gamma^{\dot{}}_1 + \Gamma^{\dot{}}_2) = (\Gamma^{\dot{}}_{1-2} + \Gamma^{\dot{}}_3)$ , та

$\Gamma_3 = J_4, \Gamma^{\dot{}}_3 = J^{\dot{}}_4$ , отримано :

$$\Delta S_{mp} = 3 * \left[ J_4^2 \left( 2 * \frac{\Gamma_{1-2}}{J_4} - 1 \right) + J^{\dot{}}_4^2 \left( 2 * \frac{\Gamma^{\dot{}}_{1-2}}{J^{\dot{}}_4} - 1 \right) \right] * Z_{1-2} \quad (4.17)$$

Узагальнимо вираз виду (4.17) за аналогією до (4.13) на довільну кількість часткових струмів, що протікають по елементу електричної мережі:

$$\Delta S_{mpi} = 3 * (J_{mp}^2 \mu^{\dot{}}_{mpi} + J^{\dot{}}_{mp}^2 \mu^{\dot{}}_{mpi}) * Z_i \quad (4.18)$$

де  $\mu^{\dot{}}_{mpi} = (2 \frac{\Gamma_i}{J_{mp}} - 1)$ ,  $\mu^{\dot{}}_{mpi} = (2 \frac{\Gamma^{\dot{}}_i}{J^{\dot{}}_{mp}} - 1)$ , – коефіцієнти втрат потужності від транзитного перетікання;  $i$   $\Gamma_i, \Gamma^{\dot{}}_i$  – активна та реактивна складові частини сумарного струму в  $i$ -й вітці;  $n$  – кількість віток, по яких протікає транзитна потужність.

Формула (4.18) застосовується для визначення втрат потужності від окремого транзитного перетікання, оскільки вона враховує також втрати, викликані взаємовпливом цього транзиту. Для визначення  $J_{mp}$  використовується менше з двох значень сумарної потужності, яку енергосистема отримує або передає суміжним енергосистемам, згідно з наявними угодами між учасниками енергообміну. У випадку наявності декількох транзитів через мережу транзитера виникає взаємовплив як між струмами транзитних перетікань, так і між струмами навантаження мережі транзитера та транзитними перетіканнями, що потребує використання методики та формули (4.13). Для визначення втрат електроенергії

можливі два підходи: постійний моніторинг втрат за даними телевимірювань або розрахунки з використанням характеристик графіків навантажень.

В останньому варіанті здійснюється розрахунок втрат потужності для режиму максимальних навантажень  $\Delta P_{max}$  або для середніх навантажень  $\Delta P_{cp}$ . Використовуючи вказані втрати потужності розраховують втрати електроенергії  $\Delta W$  для періоду  $T$  за відповідними формулами:

$$\Delta W = \Delta P_{max} * \tau \quad (4.19)$$

$$\Delta W = \Delta P_{cp} T k_{\phi}^2 \quad (4.20)$$

де  $\tau$  – число годин найбільших втрат;  $k_{\phi}^2$  – коефіцієнт форми графіка навантажень.”

(О. Б. Бурикін визначення втрат потужності від транзитного перетікання в електричних мережах)

#### **Висновки по розділу 4**

Межі коригування через які вони проходять, не можуть бути скоригаванні, для параметрів транзитних перетікань та втрати енергії. Це не можливо виміряти зарахунок лічильників. Для визначення пропонується розрахунковий метод з врахуванням, характеру транзитних перетікань, врахування обсягів, та головного режиму мережі. Розрахунковий метод надає можливість правильно визначити витрати електроенергії.

## ВИСНОВКИ

По результатам виконання МД можна сформувати такі висновки. Було досліджено загальні принципи побудови схем, моніторингу стану обладнання, їх застосування, а також відтворено фрагмент електричної мережі 330/220/110 кВ ОЕС України. Проведено розрахунок мережі та виконано їх аналіз. Проведено характеристику силового обладнання. Аналізуючи наведені таблиці, можна зробити висновок, що система для нормальних умов працює повністю збалансовано, але в максимальних умовах навантаження найбільше перевантаженим є автотрансформатор на підстанції Хуст, а саме Хуст/АОДЦТН-133000/400/220 на 113,589%. З урахуванням тенденції збільшення споживання електроенергії, найближчими роками необхідно реконструювати всю мережу цього району. Провівши аналіз таблиці за результатами розрахунку критерію стійкості, можна побачити, що далі вузол від підстанції, тим менший параметр критерію чутливості. Результати вибору параметрів, що залежать від часу, та параметрів, що не залежать від часу, додатково інтегруються як набір виборів і наводяться в модель для моделювання.

Аналізуючи результати по розділу 3, представлені у вигляді таблиць, де головними факторами є параметр максимального та мінімального навантаження, з яких можна зробити наступні висновки. У всіх таблицях присутня однакова залежність: значення критерію чутливості залишаються постійними за умови встановленого режиму, зменшуються при мінімальному навантаженні та збільшуються при максимальному. Отже, коли в певному фрагменті мережі знижується навантаження, критерій чутливості відносно активної або реактивної потужності також зменшується, а при максимальному навантаженні.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кириленко О.В., Мавовський В.В., Лук'яненко Л.М. Эорін С.В. Аналіз стійкості енергетичних систем за напругою // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 3. – С. 29–68.
2. Шпак О. Л. Математична модель одно фазного трансформатора як групового елемента в електро енергетичній системі / О. Л. Шпак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 4. – С. 24 – 48.
3. Лежнюк П. Оптимальне керування нормальними режимами електроенергетичних систем критеріальним методом з урахуванням планового значення технічних втрат потужності / Петро Лежнюк, Олена Рубаненко // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – 2011. – № 1. – С.92-183.
4. К. Альзаарір. Метод регулювання на основі чутливості до імпедансу для онлайн-регулювання напруги в інтелектуальних розподільчих мережах. – 2020.
5. В. Бахшиде. Оптимальне керування реактивною потужністю ГР для регулювання напруги систем розподілу середньої напруги за допомогою методу аналізу чутливості та алгоритму PSO
6. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурикін О.Б. Втрати потужності в електроенергетичних системах від транзитних перетікань // Енергетика та електрифікація. – 2006. – № 3. – С. 26 – 33
7. М. Фольмер, Г.Д. Карне, М. Ное, К. Бьом і Я. Гайзбюш, «Підхід на основі даних для оцінки відносної чутливості до напруги», 2020 Загальні збори Товариства енергетики та енергетики IEEE (PESGM), Монреаль, Квебек, 2020
8. Аріф Каракас, Фангсінглі та Саріна Адхікарі «Агрегація декількох асинхронних двигунів  
За допомогою програмного пакету на основі MATLAB" 2009, С. 1-3.
9. Лежнюк П. Д. Аналіз чутливості оптимальних рішень в складних системах критеріальним методом / Петро Дем'янович Лежнюк. – Монографія – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2003. – 131 с.
10. Дорошенко, О. І. Про фізику електромагнітного поля електроенергетичної системи / О. І. Дорошенко // Матеріали XI Міжнародної конференції «Фізичні процеси та поля технічних та біологічних об'єктів». — Кременчук, 2012. — С. 33–35.
11. Заболотний А. П. Удосконалений метод потенційної функції для формування оптимальної структури розподільчої мережі / Заболотний А. П., Федоша Д. В., Криворученко Н. Л., Яценко О. О. // Електротехніка та електроенергетика. – 2008. – № 1. – С.74–80.

12. Заболотний О. П. Побудова оптимальної структури мереж електропостачання підприємств АПК: Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції [«Проблеми енергозабезпечення підприємств АПК і сільських територій»] / Федоша Д. В., Мамбаєва В. С. - С.-П. : СПбДАУ, 2008. - С. 42-46