

□

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**«ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СПОЖИВАЧІВ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПІДСТАНЦІЇ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ»**

Виконав: студент VI курсу

групи Ен – 61 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Марканич В. І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник: _____ Левонюк В. Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент: _____ Сиротюк С. В.
(прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2024

□

□

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) рівень

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)
к.т.н., доцент Левонюк В. Р.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ ____ ” _____ 202__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Марканичу В'ячеславу Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Покращення якості електричної енергії споживачів електричної підстанції середньої напруги»

керівник роботи к.т.н., доцент Левонюк В. Р.
(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП № 616 / к - с від 12.09.2024 р.

2. Строк подання студентом роботи 6.12.2024 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

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

Вступ

1. Характеристика об'єкта дослідження

2. Аналіз режимів роботи підстанції

3. Аналіз несинусоїдальності напруг

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Заходи покращання координат режимів та економічна оцінка

Висновки

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | | Відмітка про виконання |
|--------|---|----------------|------------------|------------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв | |
| 4 | Городецький І. М., к.т.н., доцент | | | |

7. Дата видачі завдання 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1 | <i>Виконання характеристики об'єкта та проведення аналізу технічних вимірів режимів роботи підстанції</i> | 12.09.2024 – 30.09.2021 | |
| 2 | <i>Виконання аналізу режимів роботи підстанції</i> | 1.10.2024 – 11.10.2024 | |
| 3 | <i>Виконання аналізу несинусоїдальності напруг</i> | 14.10.2024 – 25.10.2024 | |
| 4 | <i>Написання розділу з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях</i> | 28.10.2024 – 8.11.2024 | |
| 5 | <i>Розробка заходів із покращання координат режимів та здійснення економічного обґрунтування</i> | 11.11.2024 – 22.11.2024 | |
| 6 | <i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i> | 25.11.2024 – 29.11.2024 | |
| 7 | <i>Завершення роботи в цілому</i> | 2.12.2024 – 6.12.2024 | |

Студент _____ Марканич В. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

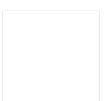
Керівник роботи _____ Левонюк В. Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 621.436:1

Марканич В. І. «Покращення якості електричної енергії споживачів електричної підстанції середньої напруги». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 58 с. текстової частини, 7 таблиць, 32 рисунки, 32 джерела.

У кваліфікаційній роботі репрезентовано аналіз параметрів якості напруги ПС 35/10 кВ «Шахта-2» та розроблено заходи для їх покращання. Здійснено характеристику досліджуваного об'єкта електропостачання, виконано детальний аналіз наявних споживачів, пристроїв компенсації та трансформаторів. Для дослідження координат режимів роботи підстанції, було розроблено її модель та проведено ряд симуляцій. Представлено детальний аналіз наявності вищих гармонік у мережі. Для встановлення причин їх виникнення було побудовано частотні характеристики компенсаційних пристроїв для різних потужностей та самої мережі. Розкрито ключові питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, які стосуються тематики кваліфікаційної роботи. Запропоновано заходи, для підвищення рівня напруг, уникнення виникнення у мережі вищих гармонік та підвищення коефіцієнта потужності.

ПІДСТАНЦЯ, КОЕФІЦІЄНТ ПОТУЖНОСТІ, НЕСИНУСОЇДАЛЬНОСТІ НАПРУГИ, АНАЛІЗ, ЗАХОДИ, ГАРМОНІКА.



ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 7 |
| 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ..... | 9 |
| 1.1 Характеристика підстанції 35/10 кВ «Шахта-2»..... | 9 |
| 1.2 Аналіз технічних вимірів координат режимів роботи ПС «Шахта-2» | 13 |
| 2 АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПІДСТАНЦІЇ..... | 19 |
| 2.1 Аналіз максимального режиму роботи..... | 20 |
| 2.1.1 Відмикання усіх батарей статичних конденсаторів..... | 20 |
| 2.1.2 Увімкнена перша ступінь компенсаційних установок..... | 21 |
| 2.1.3 Увімкнена друга ступінь компенсаційних установок..... | 22 |
| 2.1.4 Регулювання напруги пристроєм РПН..... | 23 |
| 2.2 Аналіз мінімального режиму роботи..... | 24 |
| 2.2.1 Відмикання усіх батарей статичних конденсаторів..... | 24 |
| 2.2.2 Увімкнена перша ступінь компенсаційних установок..... | 24 |
| 2.2.3 Увімкнена друга ступінь компенсаційних установок..... | 25 |
| 2.2.4 Регулювання напруги пристроєм РПН..... | 26 |
| 3 АНАЛІЗ НЕСИНУСОЇДАЛЬНОСТІ НАПРУГ..... | 28 |
| 3.1 Частотні характеристики під час встановлення конденсаторних бата- реї на шинах 10 кВ..... | 29 |
| 3.2 Частотні характеристики під час встановлення фільтрокомпенсува- льних пристроїв на шинах 10 кВ..... | 33 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ | 39 |
| 4.1 Зміст першої допомоги потерпілому від електричного струму..... | 39 |
| 4.2 Штучне дихання..... | 40 |
| 4.3 Масаж серця..... | 44 |
| 4.4 Розробка заходів із питань безпеки в надзвичайних ситуаціях..... | 47 |
| 5 ЗАХОДИ ПОКРАЩАННЯ КООРДИНАТ РЕЖИМІВ ТА ЕКОНОМІЧНА | |

| | |
|--|----|
| ОЦІНКА..... | 49 |
| 5.1 Заходи покращання якості напруги..... | 49 |
| 5.1.1 Моделювання запропонованої лінії електропередачі..... | 50 |
| 5.1.2 Регулювання напруги мережі за допомогою батарей конденса- торів..... | 48 |
| 5.1.3 Регулювання напруги за допомогою РПН..... | 52 |
| 5.2 Обчислення показників ватрат для реалізації запропонованих захо- дів..... | 54 |
| ВИСНОВКИ..... | 55 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..... | 56 |

ВСТУП

Нині питання покращання якості електричної енергії в нашій країні відійшло на другий план, оскільки повномасштабне вторгнення росії та порушення територіальної цілісності нашої країни, енергетичний терор та руйнування електроенергетичної системи змусили фахівців всі сили кинути на її відновлення. По при це, питання залишається досить актуальним та заслуговує на увагу [1].

У зв'язку із впровадженням нових технологій, розвитком виробництва та багатьма іншими факторами, відбувається постійний ріст споживання електричної енергії різними машинами. Разом із цим відбувається підсилення вимог, які ставляться до енергетичної ефективності, екологічності, безпеки та придатності обладнання до ремонту.

Електрична енергія використовується у всіх сферах життєдіяльності людини, а відповідно вона впливає на якість інших видів продукції, впливає на якість їх виготовлення і не тільки.

Визначення якості електричної енергії дещо відрізняється від поняття якості інших видів товарів. Кожен електричний приймач працює за певних параметрів електричної енергії:

- номінальної частоти;
- номінальної напруги;
- номінального струму.

Тому, для нормального режиму його роботи повинно бути забезпечено необхідну якість електроенергії.

Таким чином, якість електричної енергії визначає сукупність її характеристик, за яких електричні приймачі можуть нормально працювати та виконувати покладені на них функції.

Одними із найбільш частих факторів погіршення електричної енергії можуть бути такі [2]:

1. Коливання напруги: може викликати збої та знизити термін служби обладнання;

2. Провали напруги у мережі: можуть спричинити нестабільну роботу обладнання, а також його відмикання.

3. Напруга несинусоїдального типу: при виявленні цього фактору частіше всього підвищуються втрати енергії, що призводить до коротких замикань, пробоїв ізоляції та збоїв роботи захистів у мережі.

Об'єктом кваліфікаційної роботи є електрична підстанція 35/10 кВ «Шахта-2».

Відтак, на основі викладеного матеріалу, **метою** кваліфікаційної роботи є аналіз та покращання параметрів якості напруги на ПС 35/10 кВ «Шахта-2».

Виходячи із поставленої мети, необхідно вирішити наступні **завдання**:

1. Здійснити характеристику та провести аналіз технічних вимірювань показників якості електричної енергії;

2. Розробити модель підстанції та на її основі здійснити аналіз кординат режимів її роботи;

3. Здійснити аналіз несинусоїдальності напруг підстанції;

4. Розробити заходи для покращання показників якості електричної енергії та здійснити економічну оцінку прийнятих рішень;

5. Розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Предметом кваліфікаційної роботи є дані технічних вимірювань показників якості напруги та програмні комплекси для здійснення їх аналізу та моделювання.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Характеристика підстанції 35/10 кВ «Шахта-2»

Забезпечення електроживленням ДВАТ Шахта «Червоноградська № 2» здійснюється від підстанції ПС 110/35 кВ «Червоноград» лінією 35 кВ до пункту комерційного обліку електричної енергії, який встановлено зі сторони 35 кВ на ПС 35/10 кВ «Шахта-2».

ДВАТ Шахта «Червоноградська № 2» – це відокремлений підрозділ державного підприємства ВО ДКХ «Львіввугілля» у Львівсько-Волинському кам'яновугільному басейні. Займає частину Межирічанського та Західно-Бузького родовищ. Розташована у місті Червоноград, Львівської області. У 2003 р. видобуто 394 тис.т. вугілля [3].

Однолінійні схеми розподільної мережі електроживлення підприємства представлено на рисунках 1.1 та 1.2.

Електроживлення трансформаторних підстанцій різної потужності забезпечується від комірок відхідних ліній розподільчих пристроїв 10 кВ, які живляться від трансформатора 1Т типу ТМН-6300/35/10 та від трансформатора 2Т типу ТМН-4000/35/10. КРУНН 10 кВ живить усі підстанції розрізу від двох систем шин із секціонуванням: КРУНН-1 та КРУНН-2 – 10 кВ.

Споживачі підприємства відносяться до I категорії за надійністю електропостачання. Відомості про електроспоживачі основного виробництва представлено у таблиці 1.1. До допоміжного виробництва відноситься комплекс адміністративно-побутових корпусів (АБК), загальною потужністю 0,27 МВт.

Для компенсації реактивної потужності на ПС 35/10 кВ «Шахта-2» встановлено комплектну конденсаторну установку на напругу 10 кВ зі ступеневим автоматичним увімкненням конденсаторних батарей. Вона використовується для компенсації реактивної потужності на шинах 10 кВ. Відомості про конденсаторні установки встановлені на ПС 35/10 «Шахта-2» представлено у таблиці 1.3.

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 1.1 – Однолінійна схема розподільчих пристроїв 35 кВ та 10 кВ ПС «Шахта-2»

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 1.2 – Однолінійна схема електричної мережі шахти

Таблиця 1.1 – Відомості про споживачів електричної енергії шахти основного виробництва

| Обладнання | Тип | Кількість годин роботи | Потужність, МВт | Спожита енергія, тис. кВт год |
|---------------------------------|---------------|------------------------|-----------------|-------------------------------|
| Установка сухого збагачення | <i>FGX48A</i> | 4320 | 1,301 | 5600 |
| Помпа ЗУМПФ №1 | 1д-630-90 | 8760 | 0,206 | 46,87 |
| Помпа ЗУМПФ №1 | 1д-630-90 | 8760 | 0,206 | 46,87 |
| Помпа ЗУМПФ №2 | 1д-630-90 | 8760 | 0,206 | 46,87 |
| Помпа ЗУМПФ №2 | 1д-630-90 | 8760 | 0,206 | 46,87 |
| Очисні споруди помпа №1 | 1д-630-90 | 8760 | 0,206 | 46,87 |
| Очисні споруди помпа №2 | 1д-630-90 | 8760 | 0,206 | 46,87 |
| Установка сухого збагачення | <i>FGX12</i> | 6350 | 0,41 | 2047,8 |
| Установка дробильно-сортувальна | СПДА-2000 | 7782 | 0,11 | 172,3 |
| АБК | - | - | 0,27 | 102,4 |
| Всього | | | 3,32 | 8209,81 |

Таблиця 1.2 – Відомості про трансформаторні підстанції

| Назва ТП | Тип трансформатора | Кількість | Потужність ТП, кВА | Напруга вища/нища, кВ |
|----------------------|--------------------|-----------|--------------------|-----------------------|
| КТП «АБК» | ТМГ | 1 | 630 | 10/0,4 |
| КТП «Очисні» | ТМГ | 1 | 630 | 10/0,4 |
| КТП «Кар'єр 1» | ТМГ | 1 | 630 | 10/0,4 |
| КТП «Кар'єр 2» | ТМГ | 1 | 630 | 10/0,4 |
| КТП «ДСК 1» | ТМГ | 1 | 630 | 10/0,4 |
| КТП «ДСК 2» | ТМГ | 1 | 630 | 10/0,4 |
| КТП «ДСК 3» | ТМГ | 1 | 630 | 10/0,4 |
| КТП «ДСК 4» | ТМГ | 1 | 1000 | 10/0,4 |
| КТП «Сушка» | ТМГ | 2 | 3200 | 10/0,4 |
| КТП « <i>FGX48</i> » | ТМГ | 1 | 1000 | 10/0,4 |
| КТП «Рембокс» | ТМГ | 1 | 630 | 10/0,4 |
| КТП «КПП 2» | ТМГ | 1 | 25 | 10/0,4 |
| КТП «КПП 3» | ТМГ | 1 | 25 | 10/0,4 |
| КТП «Гірник» | ТМГ | 1 | 400 | 10/0,4 |

| | | | | |
|--------------------|-----|---|--------------|-------|
| Всього | | | 10690 | |
| ПС 35 кВ «Шахта-2» | ТМН | 1 | 6300 | 35/11 |
| ВСЬОГО | | | 16990 | |

Таблиця 1.3 – Відомості про пристрої компенсації реактивної потужності

| Місце встановлення | Тип | Кількість, шт | Потужність, кВАр |
|--------------------|-----------------|---------------|------------------|
| КРУН-1 10 кВ | УКРП-10-350-100 | 1 | 350 |
| КРУН-2 10 кВ | УКРП-10-600-100 | 1 | 600 |
| Всього | | 2 | 950 |

Відомості про головну понижувальну підстанцію приведені у таблиці 1.4. Для живлення підстанції використовуються проводи марки АС та проводи СІП для живлення трансформаторних підстанцій від РП 10 кВ. Для внутрішньої електропроводки використовуються кабелі типу ВВГ, КГ [4].

Таблиця 1.4 – Головна понижувальна підстанція

| Підстанція | Тип тр-ра | Кількість тр-рів | Потужність, кВА | Напруга нища/вища, кВ |
|--------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|
| ПС 35/10 «Шахта-2» | ТМН-630/5/10 ТМН-4000/35/10 | 2 | 10300 | 35/11 |

Всі електродвигуни до 1 кВ потужністю від 30 кВт та більше обладнано перетворювачами частоти, а вище 1 кВ – пристроями плавного пуску. Для резервування живлення на підстанції встановлено 7 дизельних електростанцій.

1.2 Аналіз технічних вимірів координат режимів роботи ПС «Шахта-2»

У результаті технічних вимірів, зроблених на об'єктах ДВАТ Шахта «Червоноградська № 2», було встановлено невідповідність якості електричної енергії до діючих норм відхилення напруги. У точці здійснення вимірів, напруга перевищувала нормально допустимі значення [5].

Підвищена напруга на затискачах електричних приймачів не лише призводить до зміни показників їх роботи, а й суттєво впливає на величину спожитої потужності. Зокрема, при нарузі, яка перевищує номінальну на 5 %

потужність, споживана ртутними лампами ДРІ збільшується на 12,2 %, а термін їх служби суттєво скорочується. Підвищення напруги на виводах двигунів призводить до збільшення споживання ними реактивної потужності. При чому, питоме споживання реактивної потужності збільшується зі зменшенням коефіцієнта завантаження двигуна. У середньому на кожен відсоток підвищення напруги споживана реактивна потужність збільшується на 3 % (в основному за рахунок збільшення струму неробочого ходу двигуна), що чергово призводить до збільшення втрат активної потужності в елементах електричних мереж.

Для вимірювань використовувалася така апаратура:

- тепловізор інфрачервоний *TESTO 865*;
- цифровий термометр *TESTO 925*;
- прилад для вимірювання показників якості електричної енергії *SATEC 175*.

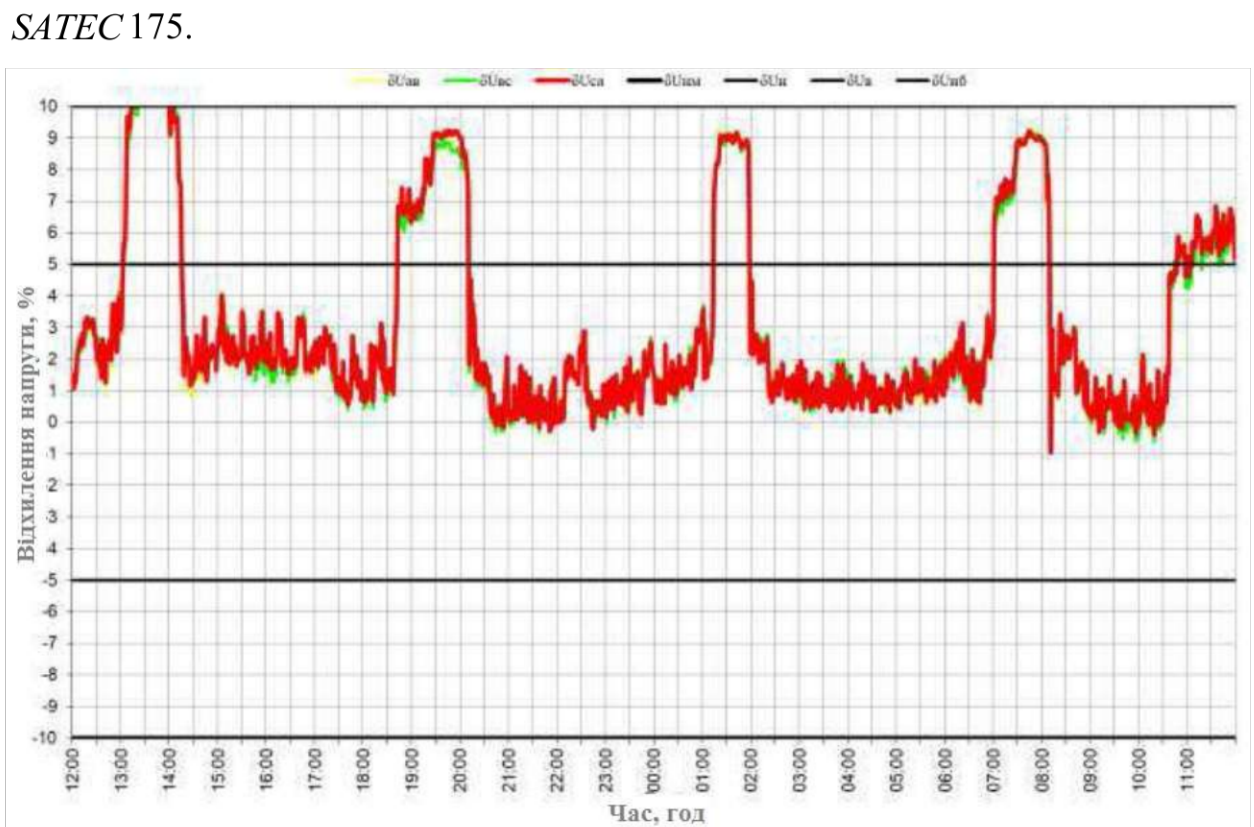


Рисунок 1.3 – Графік відхилення міжфазних напруг за 15 квітня 2024 року

На рисунку 1.3 представлено графік відхилення міжфазних напруг за 15 квітня 2024 року. З графіка бачимо, що 90 % часу відбувається відхилення напруга на величину, яка перевищує 1 %. Вище було сказано, що відхилення

напруга на 1 %, може призвести до збою роботи апаратури, а також збільшення споживаної реактивної потужності двигунами, що чергово призводить до збільшення втрат активної потужності.

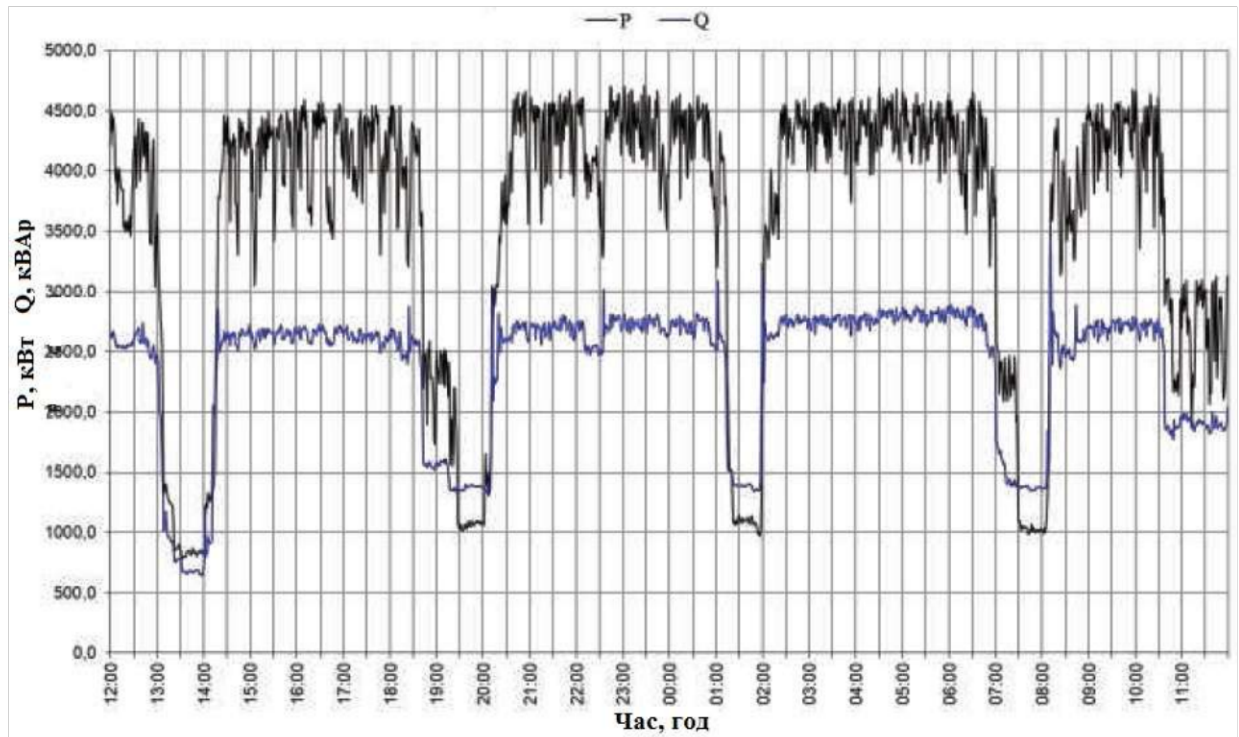


Рисунок 1.4 – Графік електричного навантаження підстанції за 15 квітня 2024 року

На рисунку 1.4 представлено добовий графік електричного навантаження підстанції за 15 квітня 2024 року в іменованих одиницях. Із графіка бачимо час, коли значення реактивної потужності перевищує значення активної потужності, що негативно впливає на якість електричної енергії. З графіка видно, що реактивна потужність перевищує активну у такі періоди часу доби: з 19:30 год до 20:00 год, з 1:20 год до 2:00 год, з 7:22 год до 8:16 год.

На рисунку 1.5 представлено функціональну залежність коефіцієнта потужності навантаження від часу за 15 квітня 2024 року. Цей графік показує значення коефіцієнта потужності протягом доби. Аналізуючи графік можемо бачити, що значення коефіцієнта потужності знаходяться у проміжку від 0,4 до 0,84. Значення, які знаходяться нижче від 0,8 дуже погано впливають на якість електричної енергії, оскільки у ці періоди часу суттєво збільшується споживання реактивної потужності.

На рисунку 1.6 представлено функціональну залежність коефіцієнта спотворення синусоїди міжфазних напруг протягом доби. Спотворення викликаються роботою електричних приймачів, які мають нелінійні вольт-амперні характеристики та регульованими перетворювачами змінного струму у постійний. Вищі гармоніки у системі електропостачання промислових підприємств небажані із низки причин: з'являються додаткові втрати в електричних машинах, трансформаторах та мережах; погіршується компенсація реактивної потужності за допомогою батарей конденсаторів; скорочується термін служби ізоляції електричних машин та апаратів; погіршується якість роботи систем релейного захисту, автоматики, телемеханіки та зв'язку. При роботі асинхронного двигуна в умовах несинусоїдальної напруги дещо знижуються його коефіцієнт потужності та крутний момент на валу. Відтак, наявність вищих гармонік у кривій напругі, навіть у допустимих межах, призводить до значної інтенсифікації процесу старіння діелектриків конденсаторів і як наслідок скорочення терміну їх служби.

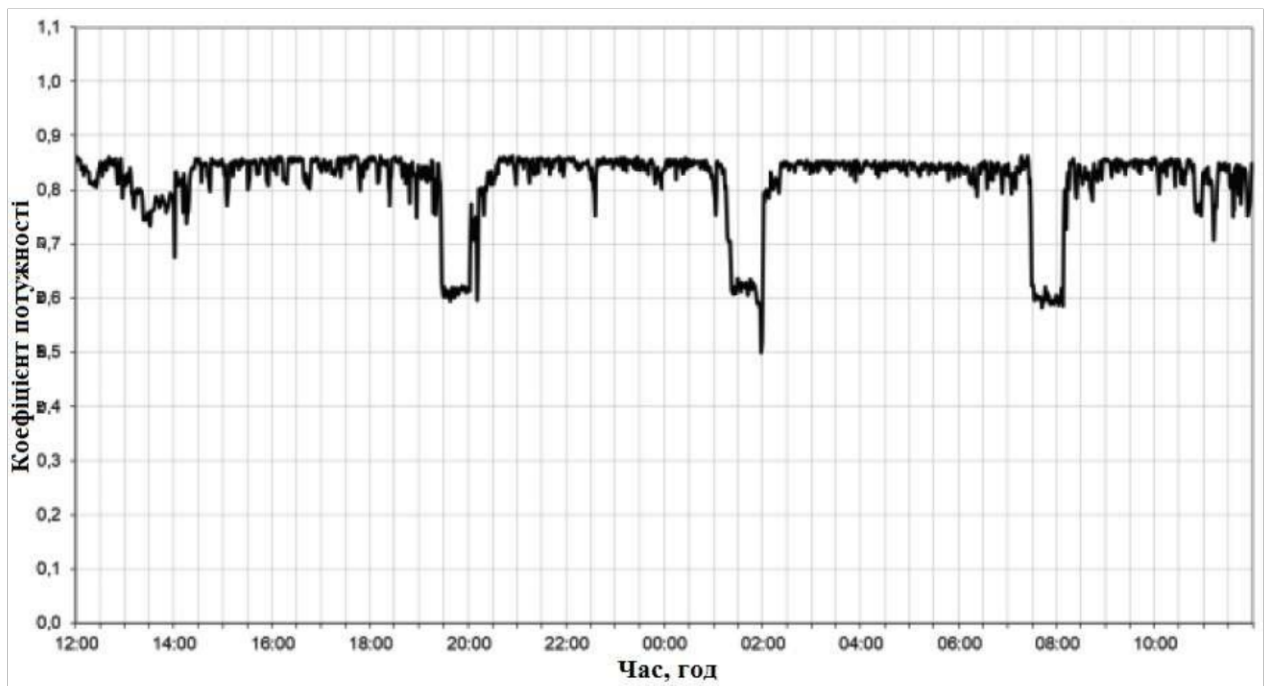


Рисунок 1.5 – Функціональна залежність коефіцієнта потужності навантаження від часу

Для електричних мереж 35 кВ нормально допустимим значенням коефіцієнта спотворення є 4 %, а гранично допустиме – 6 %. Аналізуючи графік легко бачити, що значення коефіцієнта спотворення не перевищує 4 %.

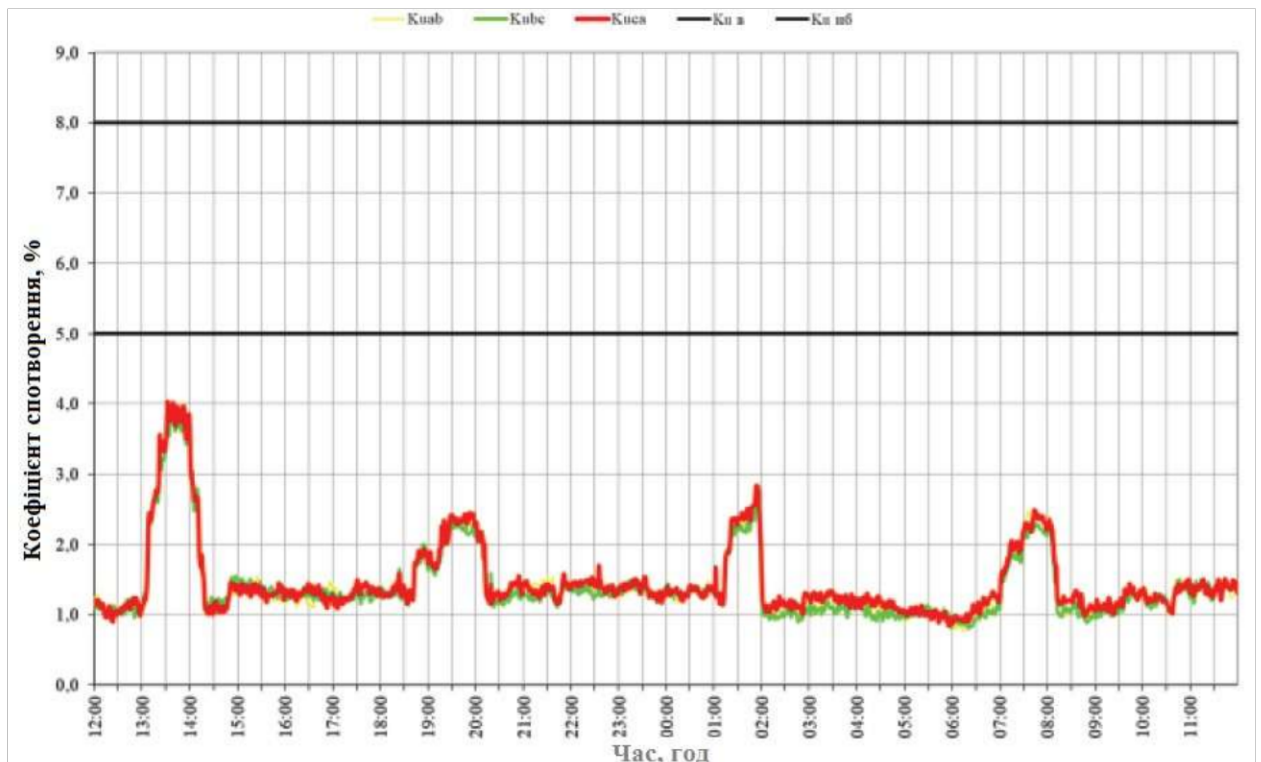


Рисунок 1.6 – Функціональна залежність коефіцієнта спотворення синусоїди міжфазних напруг

Виходячи із даних отриманих за допомогою графіків, встановлено, що на досліджуваній підстанції є відхилення напруги, зниження коефіцієнта потужності і як наслідок – перевищення активної та реактивної потужностей [6].

У результаті технічних вимірювань, зроблених на об'єктах ДВАТ Шахта «Червоноградська № 2», було встановлено невідповідність якості електричної енергії встановленим нормам щодо відхилення напруги, у точці, де виконувалися виміри, напруга перевищувала нормально допустимі значення.

Підвищена напруга на затискачах електричних приймачів не лише призводить до зміни показників їх роботи, а й суттєво впливає на величину споживаної ними потужності. Так, при нарузі, яка перевищує номінальну на 5 % потужність, споживана ртутними лампами ДРЛ зростає на 12,2 %, а термін їхньої служби скорочується. Підвищення напруги на висновках двигуна призводить до збільшення споживаної ними реактивної потужності. При цьому питоме споживання реактивної потужності зростає зі зменшенням коефіцієнта завантаження двигуна. У середньому на кожен відсоток підвищення напруги споживана реактивна потужність збільшується на 3 % і більше,

що чергово призводить до збільшення втрат активної потужності в елементах електричної мережі.

На об'єктах ДВАТ Шахта «Червоноградська № 2» пропонується, за допомогою пристрою РПН, знизити напругу живлення до нормально допустимого рівня. Цей захід не лише забезпечить необхідну якість електричної енергії за відхиленням напруги, а й дасть змогу знизити споживання електричної енергії.

На ПС 35/10 кВ «Шахта-2» працює один трансформатор типу ТМН-6300/35 з границями регулювання РПН $\pm 4 \times 2,5 \%$.

Також можна припустити, що компенсуючі пристрої на підстанції не видають необхідної генерованої потужності, що позначається на споживанні реактивної потужності, а також впливає на відхилення напруги. Також компенсаційні установки вплинуть на зміну коефіцієнта потужності в кращу сторону. Пропонується заміна компенсаційних пристроїв на новіші.

Відповідно, для отримання бажаного результату, необхідно розробити комп'ютерну модель та здійснити числові експерименти, щоб переконатися у запропонованих шляхах вирішення проблеми [7].

2 АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПІДСТАНЦІЇ

Для наочного відображення зміни координат режимів ПС «Шахта-2» розробимо модель у програмі РАСТРВІН. Ця програма широко використовується фахівцями для аналізу та оптимізації режимів роботи електроенергетичних систем. Вона дає змогу здійснювати обчислення режимів мереж напругою від 0,4 до 1150 кВ за усіма координатами режимів: струмами, напругами, потоками та втратами активної і реактивної потужностей. Також ця програма має змогі відображувати однолінійну схему, яка суттєво покращує сприйняття інформації про розрахунки режимів [8].

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 2.1 – Розроблена модель досліджуваної підстанції без КУ

Для роботи програми необхідно мати такі вихідні дані:

- позначити вузли електричної мережі;
- вказати номінальну напругу вузлів;
- визначити активну та реактивну потужність для вузлів, які позначають навантаження;

- за наявності батарей статичних конденсаторів, позначити їх провідність;
- у таблиці «Гілки», вказати топології з'єднань вузлів та їх опори;
- для трансформаторів визначити коефіцієнти трансформації;
- нарисувати у програмі однолінійну схему мережі.

У кваліфікаційній роботі ми будемо використовувати цю програму для моделювання схеми підстанції, а також регулювання та встановлення необхідних значень напруги у мережі.

Також, програма дає можливість задавати рівні напруг, що дає змогу здійснити обчислення для мінімального та максимального режимів та наочно побачити роботу системи в певних режимах [9].

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 2.2 – Таблиця «вузлів» з програми РАСТРВІН

На рисунку 2.1 представлено розроблену модель досліджуваної підстанції. Варто зазначити, що у цій моделі присутні зв'язки з іншими підстанціями, тобто модель не обмежували еквівалентуваннями.

2.1 Аналіз максимального режиму роботи

2.1.1 Відмикання усіх батарей статичних конденсаторів. Для розгляду максимального режиму роботи напруги було прийнято на 5 % більшими

від номінальних значень [10]. На рисунку 2.2 представлено таблицю «вузлів» з програми РАСТРВІН.

Обчислення показали, що при такому режимі роботи (за умови відімкнених батарей статичних конденсаторів) рівні напруг відхилилися у меншу сторону. У вузлах навантаження напруги мали усталені значення $U_1 = 10,34$ кВ та $U_2 = 10,46$ кВ.

2.1.2 Увімкнена перша ступінь компенсаційних установок. У цьому експерименті було задіяно першу ступінь батарей статичних конденсаторів з потужностями $Q_1 = 175$ кВАр та $Q_2 = 300$ кВАр. Для цього у схемі було підключено два вузли, які позначають компенсаційні установки та мають потужність рівну половині від потужності встановлених на підстанції пристроїв. На рисунку 2.3 представлено зображення про симульованої моделі для цього експерименту.

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 2.3 – Модель підстанції із першою ступеню КУ

Аналіз результатів експерименту показав, що внаслідок приєднання до мережі компенсаційних пристроїв, напруга у вузлах знову вирівнялася у крщу сторону та почала складати $U_1 = 10,39$ кВ та $U_2 = 10,53$ кВ.

2.1.3 Увімкнена друга ступінь компенсаційних установок. У цьому експерименті було задіяно усю потужність компенсаційних пристроїв. Вони були увімкнені на повну потужність $Q_1 = 350$ кВАр та $Q_2 = 600$ кВАр, відповідно. При такій ситуації у схемі було увімкнено усі компенсаційні вузли. Модель з увімкненими компенсаційними пристроями на повну потужність представлена на рисунку 2.4.

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 2.4 – Модель підстанції із другою ступенею КУ

При аналізі цього режиму роботи підстанції бачимо, що напруга на вузлах навантаження вирівнялася до допустимих значень $U_1 = 10,54$ кВ та $U_2 = 10,54$ кВ, які необхідні для кісної роботи системи. Схема працює із двома увімкненими компенсаційними установками на другій ступені. Бачимо, що ситуація із рівнем напруги змінилася, лише за умови, що увімкнені усі чотири батареї статичних конденсаторів, а при увімкнених двох батареях, як бачимо з рисунка 2.3 достатньої компенсації реактивної потужності не відбувається. Відтак, можемо зробити висновок, що компенсаційні пристрої ефективно працюють, лише за умови їх увімкнення на повну потужність [11].

2.1.4 Регулювання напруги пристроєм РПН. Оскільки встановлені на підстанції трансформатори мають пристрої РПН, то ми можемо здійснювати регулювання напруги. Для прикладу візьмемо найгіршу ситуацію, коли відключені всі чотри батареї статичних конденсаторів (рисунок 2.1). На моделі, яка представлена на рисунку 2.1 було проведено комп'ютерну симуляцію із встановленням другої відпайки із двох можливих на двох трансформаторах. На рисунку 2.5 представлено таблицю гілок із програми РАСТРВІН для цього експерименту.

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 2.5 – Таблиця «гілок» для експерименту із пристроями РПН

З таблиці (рисунок 2.5) бачимо, що було встановлено РПН на другу із двох можливих відпаювань, відповідно на першому та другому трансформаторах. Аналіз показав, що при встановленні цих відпайок напруга на навантаженні вирівнюється до $U_1 = 10,41$ кВ та $U_2 = 10,53$ кВ. Також, комп'ютерні симуляції показали, що при збільшенні номера відпаювання лише на якомусь одному трансформаторі, відбувається значне збільшення рівня напруги, яке виходить за норми допустимих значень [12].

З цього можна зробити висновок, що регулювання напруги на підстанції можна здійснювати за допомогою РПН, але недостатньо ефективно, як із допомогою батарей статичних конденсаторів.

2.2 Аналіз мінімального режиму роботи

2.2.1 Відмикання усіх батарей статичних конденсаторів. Для розгляду мінімального режиму роботи напруги було прийнято на 5 % меншими від номінальних значень. На рисунку 2.6 представлено таблицю вузлів з програмного комплексу РАСТРВІН.

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 2.6 – Таблиця «вузлів» з програми РСТРВІН

Обчислення показали, що при такому режимі роботи (за умови відімкнених батарей статичних конденсаторів) рівні напруг відхилилися у меншу сторону. У вузлах навантаження напруги мали усталені значення $U_1 = 8,53$ кВ та $U_2 = 9,49$ кВ [13].

2.2.2 Увімкнена перша ступінь компенсаційних установок. У цьому досліді було введено в дію першу ступінь батарей статичних конденсаторів з потужностями $Q_1 = 175$ кВАр та $Q_2 = 300$ кВАр. Для цього у схемі було підключено два вузли, які позначають компенсаційні установки та мають потужність рівну половині від потужності встановлених на підстанції компенсаційних пристроїв [14]. На рисунку 2.7 представлено зображення просимульованої моделі для цього експерименту.

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 2.7 – Модель підстанції із першою ступенею КУ

Аналіз результатів експерименту показав, що внаслідок приєднання до мережі компенсаційних пристроїв, напруга у вузлах знову вирівнялася у кращу сторону та почала складати $U_1 = 9,72$ кВ та $U_2 = 9,78$ кВ. Бачимо, що зі збільшенням кількості увімкнених батарей конденсаторів, також збільшується і рівень напруги.

2.2.3 Увімкнена друга ступінь компенсаційних установок. У цьому експерименті було задіяно усю потужність компенсаційних пристроїв. Вони були увімкнені на повну потужність $Q_1 = 350$ кВАр та $Q_2 = 600$ кВАр, відповідно. При такій ситуації у схемі було увімкнено усі компенсаційні вузли. Модель з увімкненими компенсаційними пристроями на повну потужність представлена на рисунку 2.8.

При аналізі цього режиму роботи підстанції бачимо, що ситуація з рівнем напруги дещо відрізняється від максимального режиму, оскільки рівні напруг не відповідають необхідним для нас значень $U_1 = 9,83$ кВ та $U_2 = 9,83$ кВ

[15]. Схема працює із двома увімкненими компенсаційними установками на другій ступені.

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 2.8 – Модель підстанції із другою ступенею КУ

Також бачимо, що ситуація із рівнем напруги змінилася, завдяки увімкненим усіх чотирьох батарей статичних конденсаторів. Відтак, можемо зробити висновок, що у мінімальному режимі, компенсаційні пристрої не дають необхідного ефекту, навіть за умови увімкнення компенсуювальних пристроїв на повну потужність [16].

2.2.4 Регулювання напруги пристроєм РПН. Аналогічно, як і в максимальному режимі потрібно спробувати здійснити регулювання напруги шляхом застосування пристроїв РПН. Для прикладу взято найгіршу ситуацію, коли відключені усі чотри батареї статичних конденсаторів (рисунок 2.6). На моделі, яка представлена на рисунку 2.9 було проведено комп'ютерну симуляцію із встановленням другої відпайки із двох можливих

на двох трансформаторах. На рисунку 2.9 представлено таблицю гілок із програми РАСТРВІН для цього експерименту.

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 2.9 – Таблиця гілок для експерименту із пристроями РПН

З таблиці (рисунок 2.9) бачимо, що було встановлено РПН на третє відпаювання, відповідно на першому та другому трансформаторах. Аналіз показав, що при встановленні цих відпайок напруга на навантаженні вирівнюється до $U_1 = 9,94$ кВ та $U_2 = 10,0$ кВ.

Із проведених комп'ютерних симуляцій можемо зробити висновок, що регулювання напруги на підстанції можна здійснювати за допомогою РПН, але недостатньо ефективно, як із допомогою батарей статичних конденсаторів [17].

3 АНАЛІЗ НЕСИНУСОЇДАЛЬНОСТІ НАПРУГ

Оскільки на ПС «Шахта-2» присутні вищі гармоніки, потрібно здійснити відповідні обчислення для встановлення фільтрів. Проаналізувавши технічні вимірювання, можемо зробити висновок, що в мережі є присутня несинусоїдність напруг, яка виникає через наявність у мережі вищих гармонік. При їх виникненні вони накладаються на основну частоту, викликаючи спотворення кривої напруги [18].

Найбільшу небезпеку гармоніки становлять для конденсаторних батарей, оскільки через наявність у цьому пристрої ємнісного опору, який зменшується при збільшенні частоти, чим викликає збільшення струму, що згодом призводить до нагрівання ізоляції та різкого зниження терміну служби обладнання [19].

На рисунку 3.1 представлено розподіл кількості гармонік за їх номерами на ПС «Шахта-2».

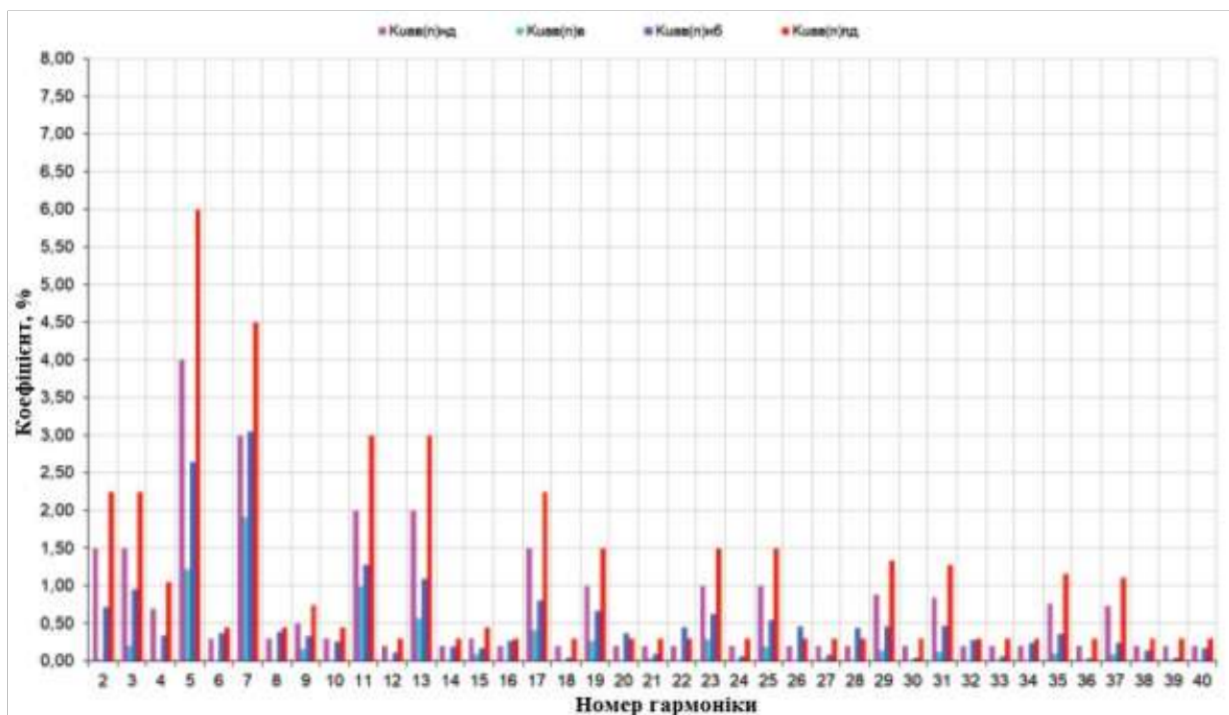


Рисунок 3.1 – Розподіл кількості гармонік за їх номерами на ПС «Шахта-2»

Аналізуючи рисунок 3.1 бачимо, що найбільше зустрічаються 5 і 7 гармоніки. Відтак, необхідно провести розрахунок для встановлення фільтрів на 5 і 7 гармоніки зі встановленням конденсаторних батарей.

3.1 Частотні характеристики під час встановлення конденсаторних батарей на шинах 10 кВ

Оскільки конденсаторні батареї підключаються до мережі паралельно, то формула буде мати такий вигляд [20]:

$$X_{BX(\nu)} = \frac{X_{\text{мережі}} \cdot X_{\text{КБ}} \cdot \nu}{X_{\text{мережі}} \cdot \nu^2 \cdot X_{\text{КБ}}}, \quad (5.1)$$

де $X_{\text{мережі}}$ – опір мережі; $X_{\text{КБ}}$ – опір конденсаторної батареї; ν – номер гармоніки.

Опір електричної мережі визначається за формулою [21]:

$$X_{\text{мережі}} = \sum X_{\text{тр}} + X_{\text{лінії}} + X_{\text{системи}} \cdot K_T, \quad (5.2)$$

де $\sum X_{\text{тр}}$ – опір трансформаторів; $X_{\text{лінії}}$ – опір лінії; $X_{\text{системи}}$ – опір системи; K_T – коефіцієнт трансформації.

Опір конденсаторної батареї визначається за формулою [22]:

$$X_{\text{КБ}} = \frac{U_n^2}{Q} \cdot 1000, \quad (5.3)$$

де U_n^2 – номінальна напруга КБ; Q – потужність конденсаторної батареї.

Оскільки на підстанції встановлено два компенсаційних пристрої типу УКРПФ-10,5-350 та УКРПФ-10,5-600 із двоступінчатими режимами роботи, то розрахунок буде здійснено для декількох варіантів підключення:

- за підключенні однієї конденсаторної батареї, при $Q = 350$ кВАр;
- за підключенні однієї конденсаторної батареї, при $Q = 600$ кВАр;
- за підключенні двох конденсаторних батарей, при $Q = 950$ кВАр.

Усі обчислення виконано у програмі МАТКАД, а результати обчислень представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати обчислення частотних характеристик

| ν | $X_{\text{мережі}},$ Ом | $X_{\text{вхв}(350)},$ Ом | $X_{\text{мережі}},$ Ом | $X_{\text{вхв}(600)},$ Ом | $X_{\text{мережі}},$ Ом | $X_{\text{вхв}(950)},$ Ом |
|-------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1 | 5,08 | -5,17 | 10,1 | -5,2 | 10,1 | -5,3 |

| | | | | | | |
|----|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 2 | 10,1 | -10,9 | 10,1 | -11,6 | 10,1 | -12,4 |
| 3 | 15,2 | -18,2 | 15,2 | -21,08 | 15,2 | -26,0 |
| 4 | 20,3 | -28,5 | 20,3 | -39,9 | 20,3 | -76,5 |
| 5 | 25,4 | -45,9 | 25,4 | -108,1 | 25,4 | 173,8 |
| 6 | 30,5 | -85,4 | 30,5 | 303,5 | 30,5 | 46,9 |
| 7 | 35,6 | -283,0 | 35,6 | 71,5 | 35,6 | 28,5 |
| 8 | 40,7 | 288,0 | 40,7 | 42,6 | 40,7 | 21,0 |
| 9 | 45,8 | 103,1 | 45,8 | 31,0 | 45,8 | 16,8 |
| 10 | 50,8 | 65,0 | 50,8 | 24,7 | 50,8 | 14,2 |
| 11 | 55,9 | 48,4 | 55,9 | 20,7 | 55,9 | 12,3 |
| 12 | 61,0 | 38,9 | 61,0 | 17,9 | 61,0 | 10,9 |
| 13 | 66,1 | 32,8 | 66,1 | 15,8 | 66,1 | 9,8 |
| 14 | 71,2 | 28,5 | 71,2 | 14,2 | 71,2 | 8,9 |
| 15 | 76,3 | 25,3 | 76,3 | 13,0 | 76,3 | 8,2 |
| 16 | 81,4 | 22,8 | 81,4 | 11,9 | 81,4 | 7,5 |
| 17 | 86,5 | 20,8 | 86,5 | 11,0 | 86,5 | 7,0 |
| 18 | 91,6 | 19,1 | 91,6 | 10,2 | 91,6 | 6,6 |
| 19 | 96,7 | 17,8 | 96,7 | 9,6 | 96,7 | 6,2 |
| 20 | 101,7 | 16,6 | 101,7 | 9,0 | 101,7 | 5,8 |
| 21 | 106,8 | 15,5 | 106,8 | 8,5 | 106,8 | 5,5 |
| 22 | 111,9 | 14,6 | 111,9 | 8,1 | 111,9 | 5,2 |
| 23 | 117,0 | 13,8 | 117,0 | 7,7 | 117,0 | 5,0 |
| 24 | 122,1 | 13,1 | 122,1 | 7,3 | 122,1 | 4,8 |
| 25 | 127,2 | 12,5 | 127,2 | 7,0 | 127,2 | 4,6 |
| 26 | 132,3 | 11,9 | 132,3 | 6,7 | 132,3 | 4,4 |
| 27 | 137,4 | 11,4 | 137,4 | 6,4 | 137,4 | 4,2 |
| 28 | 142,5 | 10,9 | 142,5 | 6,2 | 142,5 | 4,0 |
| 29 | 147,6 | 10,5 | 147,6 | 5,9 | 147,6 | 3,9 |
| 30 | 152,6 | 10,1 | 152,6 | 5,7 | 152,6 | 3,7 |
| 31 | 157,7 | 9,7 | 157,7 | 5,5 | 157,7 | 3,6 |
| 32 | 162,8 | 9,4 | 162,8 | 5,3 | 162,8 | 3,5 |
| 33 | 167,9 | 9,1 | 167,9 | 5,2 | 167,9 | 3,4 |
| 34 | 173,0 | 8,8 | 173,0 | 5,0 | 173,0 | 3,3 |
| 35 | 178,1 | 8,5 | 178,1 | 4,8 | 178,1 | 3,2 |
| 36 | 183,2 | 8,2 | 183,2 | 4,7 | 183,2 | 3,1 |
| 37 | 188,3 | 8,0 | 188,3 | 4,6 | 188,3 | 3,0 |
| 38 | 193,4 | 7,8 | 193,4 | 4,4 | 193,4 | 2,9 |
| 39 | 198,5 | 7,6 | 198,5 | 4,3 | 198,5 | 2,8 |
| 40 | 203,5 | 7,4 | 203,5 | 4,2 | 203,5 | 2,8 |

На рисунку 3.2 представлено частотні характеристики мережі та конденсаторної батареї 350 кВАр.

Якщо ми проаналізуємо цю частотну характеристики при увімкненні конденсаторної батареї потужністю 350 кВАр, то бачимо наступну ситуацію, що на п'ятій гармоніці відбувається підсилення.

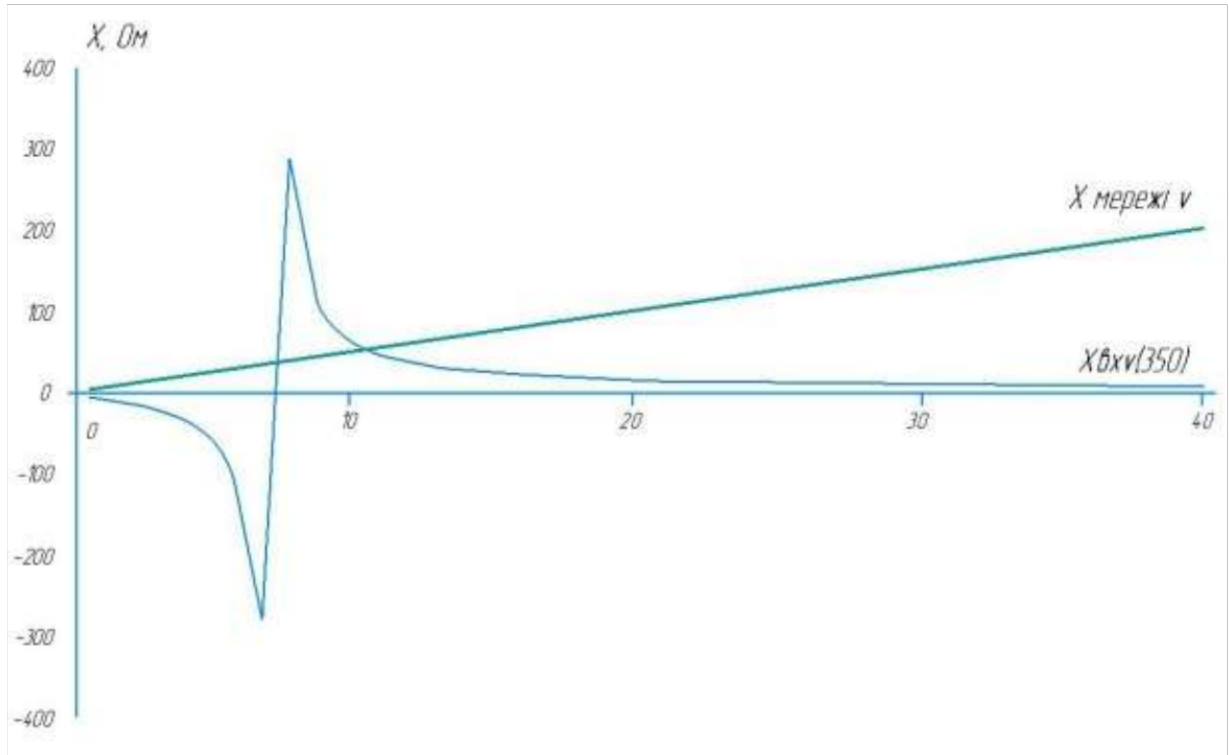


Рисунок 3.2 – Частотні характеристики мережі та конденсаторної батареї 350 кВАр

Обчислимо коефіцієнт підсилення для п'ятої гармоніки за формулою [23]:

$$K_{\text{ндс}} = \frac{X_{\text{вхв}}}{X_{\text{вхв0}}} \quad (5.4)$$

$$K_{\text{ндс}(5)} = \frac{45,98}{25,45} = 1,8.$$

Бачимо, що п'ята гармоніка підсилюється в 1,8 раз. Здійснимо аналогічний розрахунок для сьомої гармоніки [24]:

$$K_{\text{ндс}(7)} = \frac{283,04}{35,63} = 7,94.$$

У цьому випадку сьома гармоніка підсилюється майже у 8 разів, що дуже сильно впливатиме на режим роботи.

Розглянемо ситуацію, коли ми підключаємо конденсаторну батарею 600 кВАр. На рисунку 3.3 представлено частотні характеристики мережі та конденсаторної батареї 600 кВАр.

Обчислимо коефіцієнти підсилення для п'ятої та сьомої гармоніки:

$$K_{n\text{іdc}(5)} = \frac{108,15}{25,45} = 4,25;$$

$$K_{n\text{іdc}(7)} = \frac{71,59}{35,63} = 2.$$

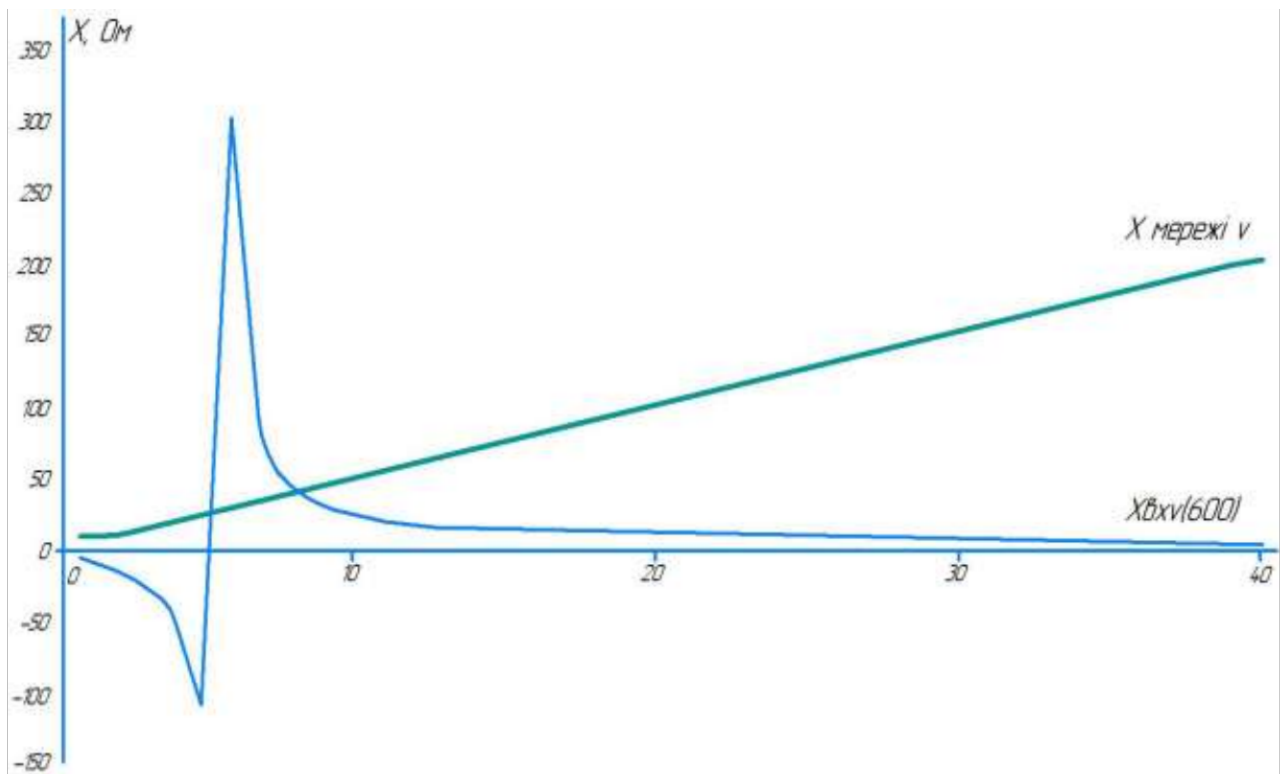


Рисунок 3.3 – Частотні характеристики мережі та конденсаторної батареї 600 кВАр

Із розрахунків коефіцієнтів підсилення бачимо, що п'ята гармоніка має більше підсилення ніж сьома.

Розглянемо ситуацію, коли ми підключаємо конденсаторну батарею 900 кВАр. На рисунку 3.4 представлено частотні характеристики мережі та конденсаторної батареї 950 кВАр.

Обчислимо коефіцієнти підсилення за умови увімкнення конденсаторних батарей на повну потужність для п'ятої та сьомої гармоніки [25]:

$$K_{n\text{іdc}(5)} = \frac{173,8}{25,45} = 6,83;$$

$$K_{\text{нідс}(7)} = \frac{28,59}{35,63} = 0,8.$$

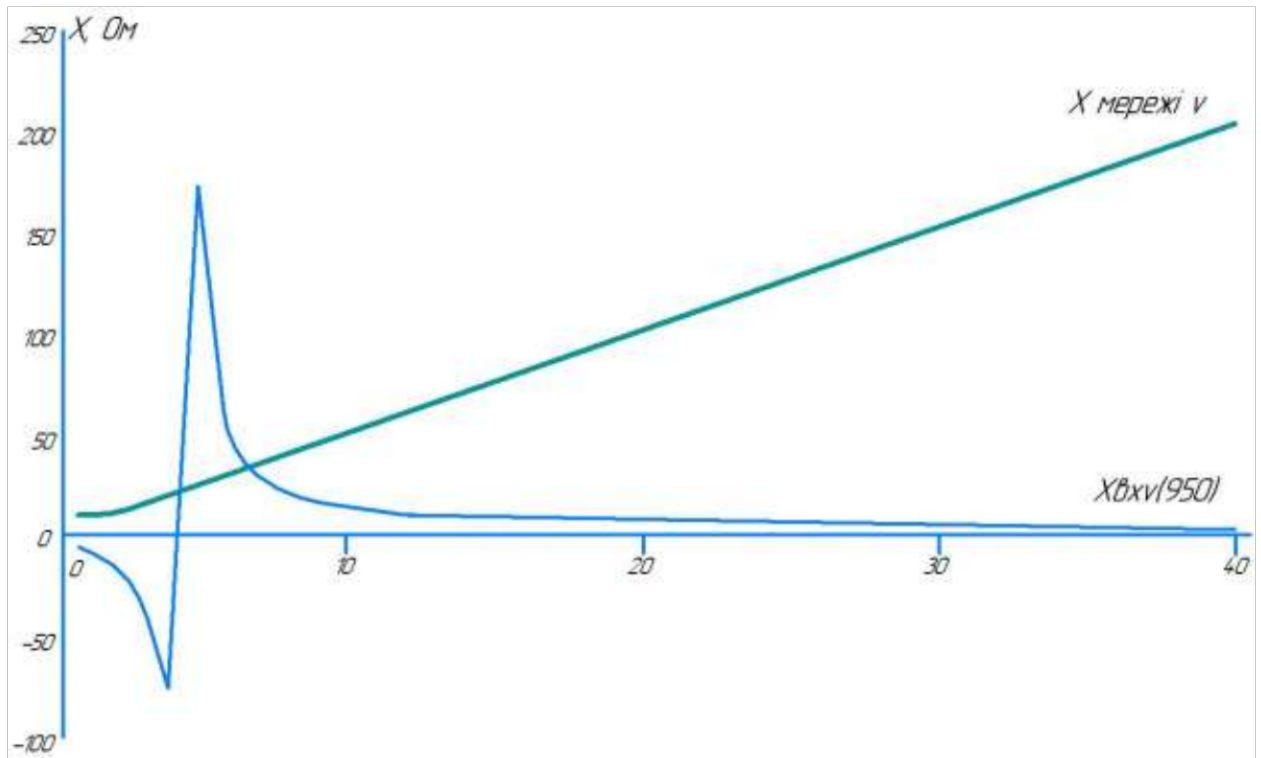


Рисунок 3.4 – Частотні характеристики мережі та конденсаторної батареї 950 кВАр

Бачимо, що при увімкненні конденсаторних батарей на повну потужність п'ята гармоніка підсилюється майже у 7 разів, а сьома гармоніка практично не має підсилення.

На рисунках 3.2 – 3.4 представлено частотні характеристики при установці на підстанції тільки конденсаторних батарей без фільтрів вищих гармонік. Бачимо, що відбувається підсилення на п'ятих та сьомих гармоніках, також це можна простежити і в таблиці 3.1.

Тепер, аналогічним чином потрібно здійснити аналіз і для випадків встановлення фільтрокомпенсувальних пристроїв.

3.2 Частотні характеристики під час встановлення фільтрокомпенсувальних пристроїв на шинах 10 кВ

Оскільки, компенсація реактивної потужності при 300 кВАр не дає суттєвих результатів, то ми проведемо обчислення для таких випадків:

- за підключення однієї конденсаторної батареї, при $Q = 600$ кВАр на п'яту гармоніку;
- за підключення конденсаторних батареї, при $Q = 950$ кВАр на п'яту і шостому гармоніку;

Усі обчислення виконано у програмі МАТКАД, а результати обчислень представлено у таблицях 3.2 та 3.3.

Формула для обчислення частотної характеристики при встановлення фільтрокомпенсувального пристрою при $Q = 600$ кВАр на п'яту гармоніку має такий вигляд [26]:

$$X_{BX(\nu)} = \frac{X_{мережі} \cdot \nu \cdot (X_{реакт} \cdot \nu^2 - X_{КБ})}{\nu^2 \cdot (X_{мережі} + X_{реакт}) - X_{КБ}}, \quad (5.5)$$

де $X_{реакт}$ – опір реактора; $X_{КБ}$ – опір конденсаторної батареї.

Результати обчислень за виразом (5.5) представлено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати обчислень частотних характеристик при $Q = 600$ кВАр та встановленні фільтра п'яту гармоніку

| ν | $X_{кКБ5\nu}$, Ом | $X_{p5\nu}$, Ом | $X_{вх\nu(600)}$, Ом |
|-------|--------------------|------------------|-----------------------|
| 1 | 166,6 | 6,6 | 5,2 |
| 2 | 83,3 | 13,3 | 11,9 |
| 3 | 55,5 | 20,0 | 26,8 |
| 4 | 41,6 | 26,6 | -56,6 |
| 5 | 33,3 | 33,3 | 0,01 |
| 6 | 27,7 | 40,0 | 8,7 |
| 7 | 23,8 | 46,6 | 13,9 |
| 8 | 20,8 | 53,3 | 18,0 |
| 9 | 18,5 | 60,0 | 21,7 |
| 10 | 16,6 | 66,7 | 25,2 |
| 11 | 15,1 | 73,3 | 28,5 |
| 12 | 13,8 | 80,0 | 31,7 |
| 13 | 12,8 | 86,7 | 34,9 |
| 14 | 11,9 | 93,3 | 38,0 |
| 15 | 11,1 | 100,0 | 41,1 |
| 16 | 10,1 | 106,7 | 44,1 |
| 17 | 9,8 | 113,3 | 47,1 |
| 18 | 9,2 | 120,0 | 50,1 |
| 19 | 8,7 | 126,7 | 53,1 |

| | | | |
|----|-----|-------|-------|
| 20 | 8,3 | 133,4 | 56,1 |
| 21 | 7,9 | 140,0 | 59,1 |
| 22 | 7,5 | 146,7 | 62,0 |
| 23 | 7,2 | 153,4 | 65,0 |
| 24 | 6,9 | 160,0 | 68,0 |
| 25 | 6,6 | 166,7 | 70,9 |
| 26 | 6,4 | 173,4 | 73,8 |
| 27 | 6,1 | 180,0 | 76,8 |
| 28 | 5,9 | 186,7 | 79,7 |
| 29 | 5,7 | 193,4 | 82,6 |
| 30 | 5,5 | 200,1 | 85,6 |
| 31 | 5,3 | 206,7 | 88,5 |
| 32 | 5,2 | 213,4 | 91,4 |
| 33 | 5,0 | 220,1 | 94,3 |
| 34 | 4,9 | 226,7 | 97,2 |
| 35 | 4,7 | 233,4 | 100,2 |
| 36 | 4,6 | 240,1 | 103,1 |
| 37 | 4,5 | 246,7 | 106,0 |
| 38 | 4,3 | 253,2 | 108,9 |
| 39 | 4,2 | 260,1 | 111,8 |
| 40 | 4,1 | 266,8 | 114,7 |

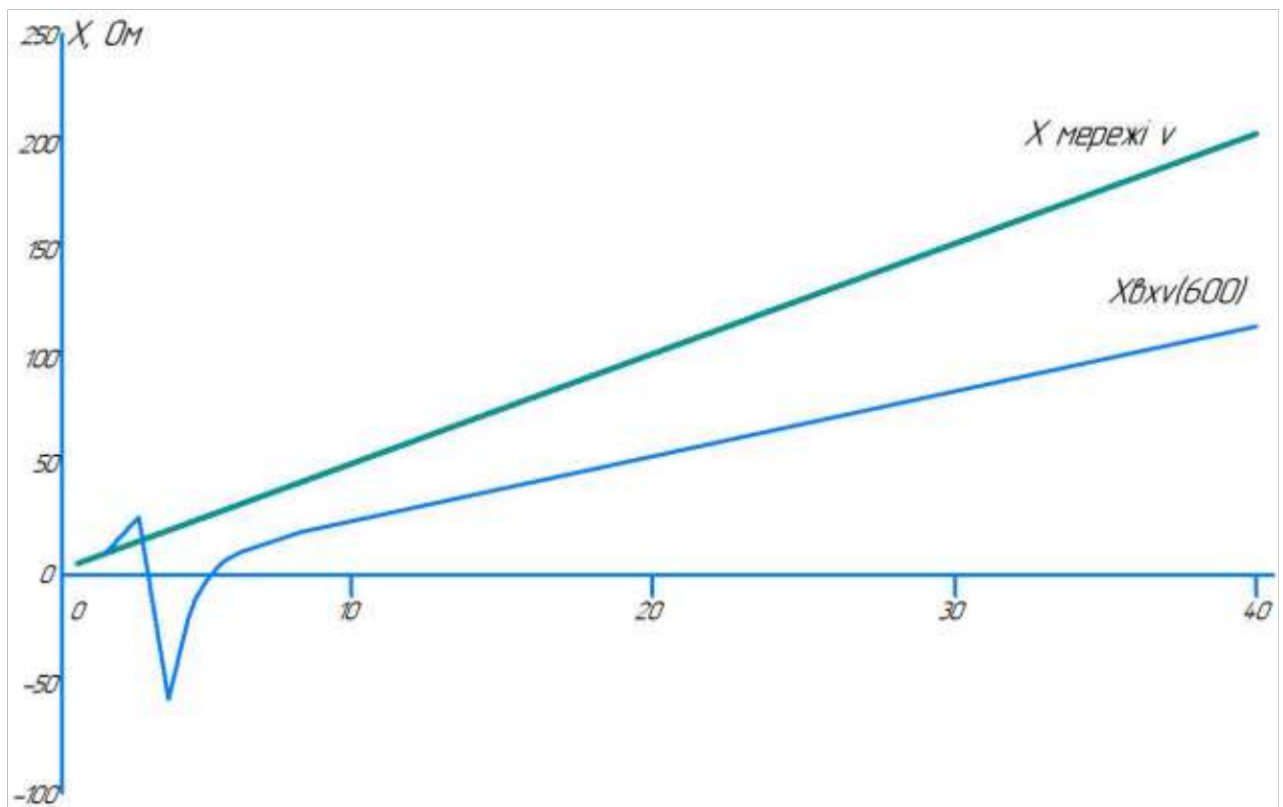


Рисунок 3.5 – Частотна характеристика при встановленні фільтрокомпенсувальних пристроїв на потужність 600 кВАр для п'ятої гармоніки

Тепер, здійснимо обчислення коефіцієнтів підсилення [27]:

$$K_{\text{підсл}(5)} = \frac{0,01}{25,48} = 0,0004 .$$

$$K_{\text{підсл}(7)} = \frac{13,94}{35,67} = 0,37 .$$

Із розрахунку коефіцієнтів підсилення бачимо, що п'ята гармоніка була повністю компенсована, а сьома практично не має підсилення. Відтак, можемо зробити висновок, що встановлення навіть одного фільтра на п'яту гармоніки суттєво впливає на всі гармоніки у системі.

На рисунку 3.5 представлено частотні характеристики при встановленні фільтрокомпенсувальних пристроїв на потужність 600 кВАр.

Формула для обчислення частотної характеристики при встановленні фільтрокомпенсувальних пристроїв при $Q = 950$ кВАр на п'яту і сьому гармоніку має такий вигляд [20]:

$$X_{BX(\nu)} = \frac{X_{p5} \cdot X_{p7} \cdot \nu^2 + \left(\frac{X_{KB5} \cdot X_{KB7}}{\nu^2} \right) - X_{KB5} \cdot X_{p7} - X_{KB7} \cdot X_{p5}}{X_{p5} \cdot \nu - \left(\frac{X_{KB5}}{\nu} \right) + X_{p7} \cdot \nu - \left(\frac{X_{KB7}}{\nu} \right)}, \quad (5.6)$$

де X_{p5} – опір реактора; X_{p7} – опір реактора; X_{KB5} – опір конденсаторної батареї; X_{KB7} – опір конденсаторної батареї.

Результати обчислень за виразом (5.6) представлено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати обчислень частотних характеристик при $Q = 950$ кВАр та встановленні фільтра п'яту і сьому гармоніки

| ν | $X_{KB5\nu}$, Ом | $X_{p5\nu}$, Ом | $X_{KB7\nu}$, Ом | $X_{p7\nu}$, Ом | $X_{\text{фсум}\nu}$, Ом | $X_{\text{авт}(600+350)}$, Ом |
|-------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 1 | 166,6 | 6,6 | 285,7 | 5,8 | -101,8 | 5,3 |
| 2 | 83,3 | 13,3 | 142,8 | 11,6 | -45,6 | 13,1 |
| 3 | 55,5 | 20,0 | 95,2 | 17,4 | -24,3 | 40,9 |
| 4 | 41,6 | 26,6 | 71,4 | 23,3 | -11,4 | -26,0 |
| 5 | 33,3 | 33,3 | 57,1 | 29,1 | 0,01 | 0,03 |
| 6 | 27,7 | 40,0 | 47,6 | 34,9 | 390,6 | 28,3 |
| 7 | 23,8 | 46,6 | 40,8 | 40,8 | -0,02 | -0,02 |
| 8 | 20,8 | 53,3 | 35,7 | 46,6 | 8,1 | 6,8 |
| 9 | 18,5 | 60,0 | 31,7 | 52,4 | 13,8 | 10,6 |
| 10 | 16,6 | 66,7 | 28,5 | 58,3 | 18,6 | 13,6 |

| | | | | | | |
|----|------|-------|------|-------|-------|------|
| 11 | 15,1 | 73,3 | 25,9 | 64,1 | 23,0 | 16,3 |
| 12 | 13,8 | 80,0 | 23,8 | 69,9 | 27,1 | 18,8 |
| 13 | 12,8 | 86,7 | 21,9 | 75,7 | 31,1 | 21,1 |
| 14 | 11,9 | 93,3 | 20,4 | 81,6 | 34,9 | 23,4 |
| 15 | 11,1 | 100,0 | 19,0 | 87,4 | 38,6 | 25,6 |
| 16 | 10,4 | 106,7 | 17,8 | 93,2 | 42,3 | 27,8 |
| 17 | 9,8 | 113,3 | 16,8 | 99,1 | 45,8 | 29,9 |
| 18 | 9,2 | 120,0 | 15,8 | 104,9 | 49,3 | 32,1 |
| 19 | 8,7 | 126,7 | 15,0 | 110,7 | 52,8 | 34,1 |
| 20 | 8,3 | 133,4 | 14,2 | 116,6 | 56,2 | 36,2 |
| 21 | 7,9 | 140,0 | 13,6 | 122,4 | 59,6 | 38,3 |
| 22 | 7,5 | 146,7 | 12,9 | 128,2 | 63,0 | 40,3 |
| 23 | 7,2 | 153,4 | 12,4 | 134,0 | 66,4 | 42,3 |
| 2 | 6,9 | 160,0 | 11,9 | 139,9 | 69,7 | 44,4 |
| 25 | 6,6 | 166,7 | 11,4 | 145,7 | 73,0 | 46,4 |
| 26 | 6,4 | 173,4 | 10,9 | 151,5 | 76,3 | 48,4 |
| 27 | 6,1 | 180,0 | 10,5 | 157,4 | 79,6 | 50,4 |
| 28 | 5,9 | 186,7 | 10,2 | 163,2 | 82,8 | 52,4 |
| 29 | 5,7 | 193,4 | 9,8 | 169,0 | 86,1 | 54,4 |
| 30 | 5,5 | 200,1 | 9,5 | 174,9 | 89,3 | 56,4 |
| 31 | 5,3 | 206,7 | 9,2 | 180,7 | 92,6 | 58,3 |
| 32 | 5,2 | 213,4 | 8,9 | 186,5 | 95,8 | 60,3 |
| 33 | 5,0 | 220,1 | 8,6 | 192,3 | 99,0 | 62,3 |
| 34 | 4,9 | 226,7 | 8,4 | 198,2 | 102,3 | 64,3 |
| 35 | 4,7 | 233,4 | 8,1 | 204,0 | 105,5 | 66,2 |
| 36 | 4,6 | 240,1 | 7,9 | 209,8 | 108,7 | 68,2 |
| 37 | 4,5 | 246,7 | 7,7 | 215,7 | 111,9 | 70,2 |
| 38 | 4,3 | 253,4 | 7,5 | 221,5 | 115,1 | 72,2 |
| 39 | 4,7 | 260,1 | 7,3 | 227,3 | 118,3 | 74,1 |
| 40 | 4,1 | 266,8 | 7,1 | 233,2 | 121,4 | 76,1 |

Тепер, здійснимо обчислення коефіцієнтів підсилення:

$$K_{\text{підсл}(5)} = \frac{0,03}{25,48} = 0,001 .$$

$$K_{\text{підсл}(7)} = \frac{-0,02}{35,67} = -0,0005 .$$

Аналізуючи обчислені коефіцієнти підсилення для п'ятої та сьомої гра-
монік при встановленні фільтрокомпенсувальних пристроїв на потужність
950 кВАр, бачимо, що фільтр повністю поглинає гармоніки, про що свідчать
майже нульові коефіцієнти їх підсилення.

На рисунку 3.6 представлено частотні характеристики при встановленні фільтрокомпенсувальних пристроїв на потужність 950 кВАр для п'ятої та сьомої гармонік.

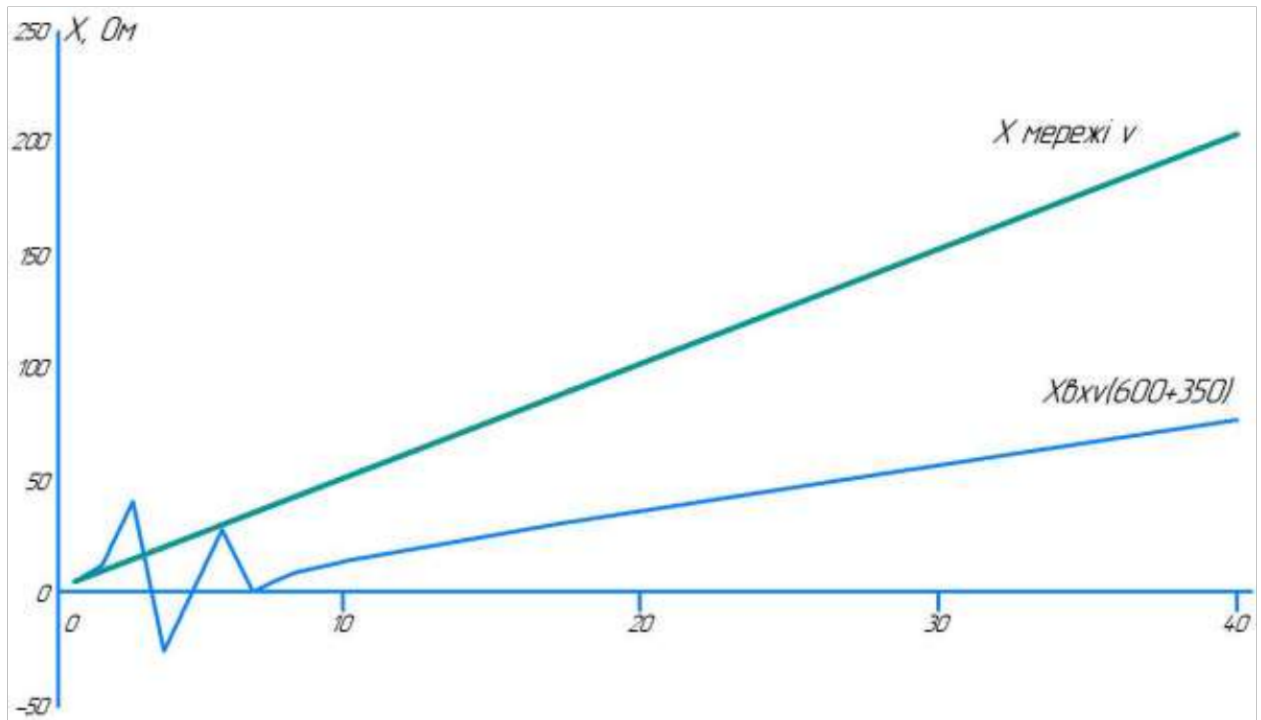


Рисунок 3.6 – Частотна характеристика при встановленні фільтрокомпенсувальних пристроїв на потужність 950 кВАр для п'ятої та сьомої гармонік

Проаналізувавши другий випадок, при увімкненні повної потужності фільтрокомпенсувальних пристроїв бачимо, що ситуація залишається практично такою ж, за винятком того, що сьома гармоніка теж була практично повністю скомпенсована.

Відтак, можна зробити висновок, що встановлені на підстанції пристрої для максимальної ефективності слід включати на повну потужність.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Зміст першої допомоги потерпілому від електричного струму

Перша допомога потерпілому від ураження електричним струмом спрямована на відновлення або збереження його життя та здоров'я. Її надають, як правило, особи, які є поруч із потерпілим. Особа, яка надає допомогу, повинна знати: основні ознаки порушення життєво важливих функцій організму людини; загальні ознаки надання першої допомоги та її заходи; основні способи перенесення та евакуації потерпілих.

Особа, яка надає допомогу, повинна вміти [28]:

- ❖ оцінювати стан потерпілого та визначати, яка допомога потрібна йому першочергово;
- ❖ забезпечити відновлення прохідності верхніх дихальних шляхів;
- ❖ виконувати штучне дихання способом «з рота в рот» («з рота в ніс») та закритий масаж серця, а також оцінювати їх ефективність;
- ❖ тимчасово зупиняти кровотечу накладанням джгута, стискальної пов'язки, пальцевим притисненням судин;
- ❖ накладати пов'язку при ушкодженні;
- ❖ використовувати підручні засоби для перенесення, завантаження і транспортування потерпілого;
- ❖ користуватися аптечкою першої допомоги.

Першу допомогу потерпілому від електричного струму потрібно надавати у такій послідовності:

- ❖ звільнити потерпілого від дії електричного струму;
- ❖ визначити характер та важкість електротравми та послідовність заходів порятунку потерпілого;
- ❖ виконати заходи рятування потерпілого та підтримки його основних житєвих функцій;

❖ викликати швидку медичну допомогу (лікаря) або транспортувати потерпілого до найближчого медичного закладу.

Порятунок потерпілого залежить від швидкості звільнення його від дії струму, а також від правильного і своєчасного надання йому допомоги.

Перша допомога при ураженні електричним струмом надається двома етапами: звільнення потерпілого від дії струму й надання йому долікарської медичної допомоги.

Оскільки результат ураження струмом залежить від тривалості проходження його через тіло людини, дуже важливо якнайшвидше звільнити потерпілого від струму й відразу ж надати йому допомогу. В усіх випадках ураження людини струмом необхідно, не припиняючи надання йому першої допомоги, викликати лікаря.

4.2 Штучне дихання

Способи штучного дихання. Існує безліч різних способів виконання штучного дихання. Усі вони поділяються на дві групи: апаратні та ручні.

Апаратні способи потребують застосування спеціальних апаратів, які забезпечують вдювання та видалення повітря із легенів через гумову трубку, вставлену в дихальні шляхи, або через маску, накладену на обличчя потерпілого.

Найпростішими з апаратів є ручні портативні апарати РПА-1 та РПА-2, призначені для штучного дихання та аспірації (відсмоктування) рідини й слизу із дихальних шляхів. Основними частинами їх є невеликий дуттьовий міх, який приводиться в дію рукою, і маска, яка накладається щільно на рот та ніс потерпілого [29].

Під час стиснення міха відбувається активний вдих, тобто введення під деяким тиском у легені потерпілого атмосферного повітря в обсязі 0,25 – 1,5 л або повітря, збагаченого киснем. В останньому випадку до всмоктувального клапану апарата приєднується киснева подушка. Під час розтягання міха відбувається пасивний видих, при цьому повітря з апарата виходить через

спеціальний клапан. Завдяки портативності та малій масі цей апарат застосовується не тільки у лікарняних, але й у виробничих умовах.

Прикладом більш досконалих апаратів з активним вдихом та видихом, тобто з позитивним тиском на вдиху й негативним на видиху, є портативний апарат ДП-2. Він працює автоматично, використовуючи енергію стислого кисню, що міститься у балоні, та забезпечує режим природного дихання. Апарат споряджений пристроєм, який регулює глибину та тривалість вдиху й видиху, частоту дихання, вміст у суміші кисню, вологість суміші тощо. Апарат може бути використано для надання невідкладної допомоги на місці нещасного випадку, при транспортуванні потерпілого в медичну установу, а також у лікарняних умовах для тривалого проведення штучного дихання – протягом декількох годин та навіть днів.

Ручні способи значно менш ефективні та незрівнянно більш трудомісткі, ніж апаратні. Вони мають, однак, ту важливу перевагу, що можуть виконуватися без будь-яких пристроїв та приладів, тобто негайно після виникнення порушень дихання в потерпілого.

Серед великої кількості існуючих ручних способів найбільш ефективним є спосіб «з рота в рот». Він полягає у тому, що той, хто надає допомогу, вдуває повітря зі своїх легенів у легені потерпілого через його рот або ніс. Установлено, що повітря, видихуване з легенів, містить достатню для дихання кількість кисню.

Підготовка до штучного дихання. Перш ніж розпочати штучне дихання, потрібно швидко виконати такі операції:

- ❖ звільнити потерпілого від одягу, який стискає дихання, розстебнути комір, розв'язати краватку, розстебнути пояс штанів тощо;
- ❖ покласти потерпілого на спину на горизонтальну поверхню – стіл або підлогу;
- ❖ максимально закинути голову потерпілого, поклавши під потилицю долоню однієї руки, а другою надавлювати на чоло (рис. 4.1, а) доти, поки підборіддя потерпілого не опиниться на одній лінії із шиєю (рис. 4.1, б). При

цьому положенні голови язик відходить від входу у гортань, забезпечуючи тим самим вільний прохід повітря в легені, рот звичайно відкривається. Для збереження досягнутого положення голови під лопатки необхідно підкласти валик зі згорненого одягу;

❖ пальцями обстежити порожнину рота, і якщо у ньому виявиться сторонній вміст (кров, слиз тощо), видалити його, вийнявши одночасно зубні протези, якщо вони є. Для видалення слизу й крові необхідно голову та плечі потерпілого повернути убік (можна підвести своє коліно під плечі потерпілого), а потім за допомогою носової хусточки або краю сорочки, намотаної на вказівний палець, вичистити порожнину рота й глотки (рис. 4.2). Після цього необхідно надати голові початкового положення й максимально закинути її, як зазначено вище (рис. 4.1).

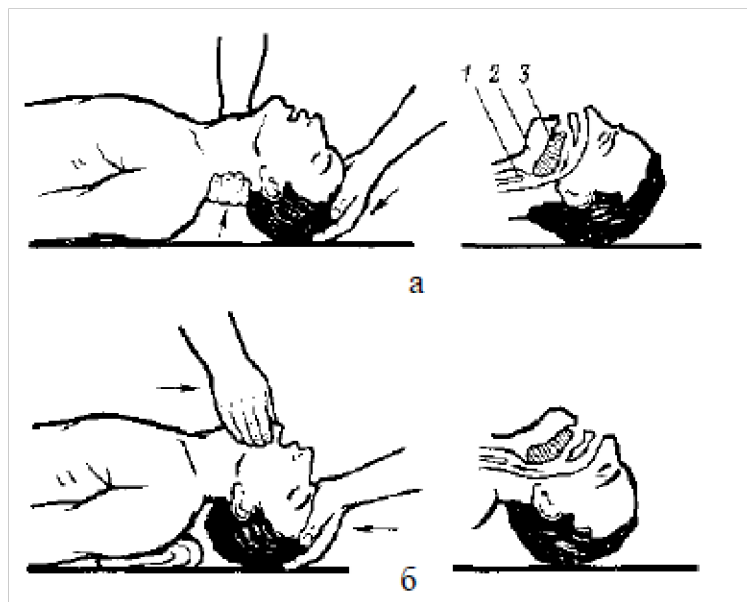


Рисунок 4.1 – Положення голови постраждалого перед проведенням штучного дихання способом «з рота в рот»: *а* – початкове положення голови: вхід у гортань 1 перекритий надгортанником 2 і запалим язиком 3; *б* – положення голови, при якому починають штучне дихання: голова закинута, нижня щелепа висунута (надгортанник піднявся, і язик відійшов від входу в гортань, завдяки чому забезпечений вільний прохід повітря в неї).

Виконання штучного дихання. Після закінчення підготовчих операцій той, хто надає допомогу, робить глибокий вдих і потім із силою видихає повітря в рот потерпілого. При цьому він повинен охопити своїм ротом весь рот потерпілого, а своєю щогою або пальцями затиснути йому ніс (рис. 4.3, а).

Потім той, хто надає допомогу, відкидається назад, звільняючи рот і ніс потерпілого, і робить новий вдих. У цей період грудна клітка потерпілого опускається, й відбувається пасивний видих (рис. 4.3, б). Маленьким дітям вдування повітря можна робити одночасно в рот і ніс, при цьому той, хто надає допомогу, повинен охопити своїм ротом рот і ніс потерпілого.

Контроль за надходженням повітря у легені потерпілого здійснюється за розширенням грудної клітки при кожному видиханні. Якщо після вдування повітря грудна клітка потерпілого не розправляється, це вказує на непрохідність дихальних шляхів. У такому випадку необхідно висунути нижню щелепу потерпілого вперед, для чого той, хто надає допомогу, повинен поставити чотири пальці кожної руки за кутами нижньої щелепи й, упираючись великими пальцями в її край, висунути нижню щелепу вперед так, щоб нижні зуби стояли поперед верхніх (рис. 4.4, а). Легше висунути нижню щелепу уведеним у рот великим пальцем, як показано на рис. 4.4, б.

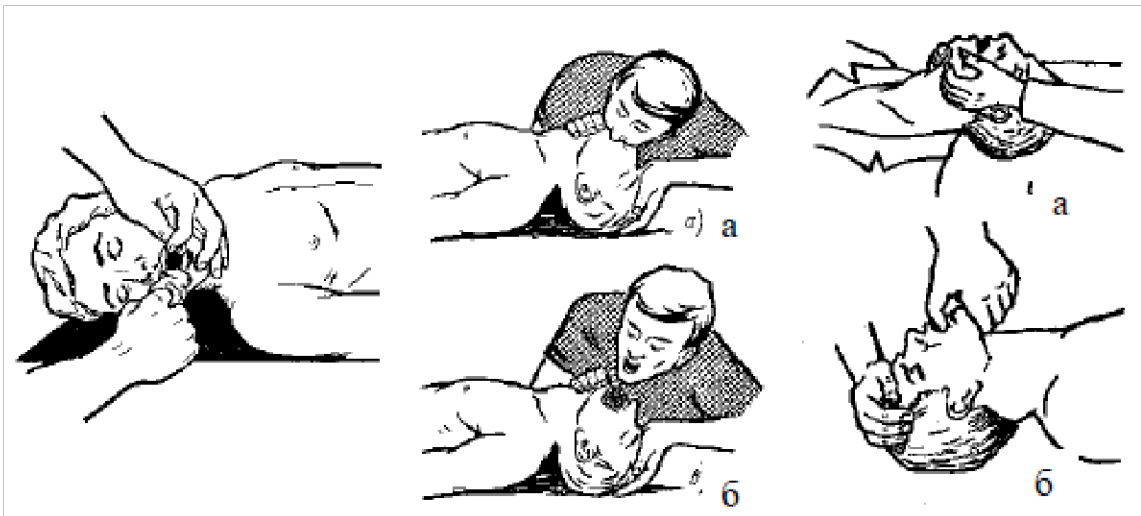


Рисунок 4.2 – Очищення порожнини рота й глотки від слизу, крові тощо

Рисунок 4.3 – Виконання штучного дихання способом «з рота в рот»: а – вдих; б – видих.

Рисунок 4.4 – Висування нижньої щелепи: а – двома руками; б – одною рукою.

Найкраща прохідність дихальних шляхів потерпілого забезпечується при дотриманні трьох умов: максимальне відгинання голови назад, відкриття рота, висування вперед нижньої щелепи. Іноді виявляється неможливим відкрити рот потерпілого внаслідок судорожного зціплення щелеп. У цьому випадку штучне дихання необхідно робити способом «з рота в ніс», закрива-

ючи рот потерпілого при вдунанні повітря в ніс. Дорослій людині вдунання треба робити різко 10 – 12 разів за хвилину (тобто через 5 – 6 с), а дитині – 15 – 18 разів (тобто через 3–4 с). При цьому, оскільки у дитини місткість легенів менша, вдунання має бути неповним і менш різким. З появою у потерпілого перших слабких вдихів необхідно пристосовувати штучний вдих до початку самостійного вдиху. Штучне дихання необхідно проводити до відновлення глибокого ритмічного самостійного дихання.

4.3 Масаж серця

Під час надання допомоги ураженим струмом здійснюють так званий непрямий або зовнішній масаж серця – ритмічне натискання на груди, тобто на передню стінку грудної клітки потерпілого. У результаті цього, серце стискується між грудиною та хребтом і виштовхує зі своїх порожнин кров. Після припинення натискання грудна клітка й серце розпрямляються й серце заповнюється кров'ю, яка надходить із вен. У людини, яка перебуває у стані клінічної смерті, грудна клітка через втрату м'язової напруги легко зміщується (здавлюється) при натисканні на неї, забезпечуючи необхідний стиск серця [28].

Мета масажу серця – штучна підтримка кровообігу в організмі потерпілого й відновлення нормальних природних скорочень серця. Кровообіг, тобто рух крові по системі кровоносних судин, необхідний для того, щоб кров доставляла кисень до всіх органів і тканин організму. Отже, кров має бути збагачена киснем, що досягається штучним диханням. Відтак, одночасно з масажем серця має проводитися штучне дихання.

Відновлення нормальних природних скорочень серця, тобто його самостійної роботи, під час масажу відбувається у результаті механічного подразнення серцевого м'яза (міокарда). Тиск крові в артеріях, який виникає в результаті непрямиго масажу серця, досягає порівняно великого значення – 10 – 13 кПа (80 – 100 мм рт. ст.), і виявляється достатнім, щоб кров надходила

до усіх органів та тканин тіла потерпілого. Це зберігає життя організму протягом усього часу, поки провадиться масаж серця (і штучне дихання).

Підготовка до масажу серця є одночасно підготовкою до штучного дихання, оскільки масаж серця має провадитися разом зі штучним диханням. Для виконання масажу необхідно покласти потерпілого на спину на тверду поверхню (лаву, підлогу або в крайньому разі підкласти під спину дошку). Необхідно також оголитися його груди, розстебнути одяг, який стискає дихання.

При проведенні масажу серця той, хто надає допомогу, стає із будь-якого боку потерпілого й займає таке положення, за якого можливий найбільш значний нахил над ним. Визначивши місце натискання (воно має бути приблизно на два пальці вище нижнього кінця грудини) (рис. 4.5), той, хто надає допомогу, повинен покласти на нього нижню частину долоні однієї руки, а потім поверх першої руки покласти під прямим кутом другу й надавлювати на грудну клітку потерпілого, злегка допомагаючи при цьому нахилом усього корпусу (рис. 4.6).

Передпліччя та плечові кістки рук того, хто надає допомогу, мають бути розігнуті до кінця. Пальці обох рук мають бути зведені разом і не торкатися грудної клітки потерпілого. Надавлювати потрібно швидким поштовхом, так щоб змістити нижню частину грудини вниз на 3 – 4 см, а в повних людей на 5 – 6 см. Зусилля при натисканні необхідно концентрувати на нижній частині грудини, яка більш рухлива. Необхідно уникати натискання на верхню частину грудини, а також на кінці нижніх ребер, тому що це може призвести до їхнього перелому. Не можна натискати нижче краю грудної клітки (на м'які тканини), тому що можна ушкодити розташовані тут органи, у першу чергу печінку.

Натискання (поштовх) на грудину необхідно повторювати приблизно 1 раз за секунду або трохи частіше, щоб створити достатній кровотік. Після швидкого поштовху положення рук не треба змінювати протягом приблизно 0,5 с. Після цього необхідно злегка випрямитися й розслабити руки, не віднімаючи їх від грудини.

Якщо тих, хто надають допомогу, двоє, то один з них має проводити штучне дихання, а інший – масаж серця (рис. 4.7). Доцільно кожному з них робити штучне дихання й масаж серця почерзі, змінюючи одне одного через кожні 5 – 10 хв. При цьому порядок надання допомоги має бути таким: після одного глибокого вдихання виконується п'ять натискань на грудну клітку.

Якщо той, хто надає допомогу, проводить штучне дихання й зовнішній масаж серця один, потрібно чергувати проведення зазначених операцій у такому порядку: після двох глибоких вдихань у рот або ніс потерпілого той, хто надає допомогу, 15 разів натискає на грудну клітку, потім знову виконує два глибоких вдихання й повторює 15 натискань для масажу серця й т. д.

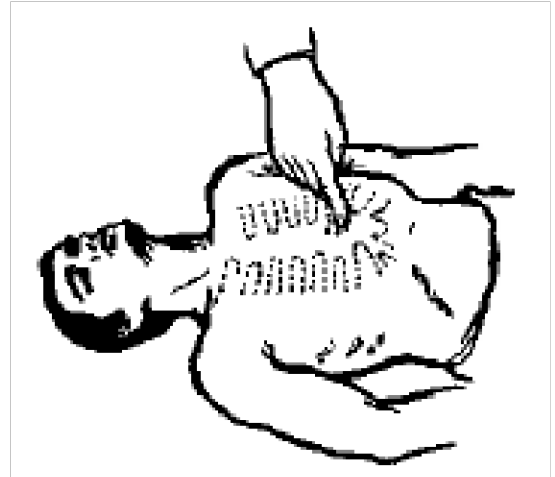


Рисунок 4.5 – Місце натискання на грудну клітку потерпілого при виконанні зовнішнього масажу серця

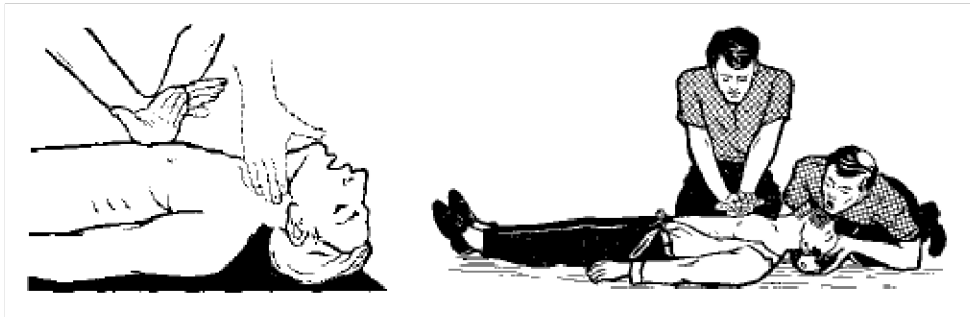


Рисунок 4.6 – Положення рук того, хто проводить масаж серця, й перевірка пульсу на сонній артерії

Рисунок 4.7 – Зовнішній масаж серця та штучне дихання «з рота в рот», виконувані двома особами

Ефективність зовнішнього масажу серця проявляється в першу чергу в тому, що при кожному натисканні на грудину на сонній артерії чітко прощупується пульс. Для визначення пульсу вказівний і середній пальці накладають на адамове яблуко постраждалого й, просуваючи пальці вбік, обережно обмацують поверхню шиї до визначення сонної артерії (рис. 4.6). Іншими ознаками ефективності масажу є звуження зіниць, поява в потерпілого самостійного дихання, зменшення синюшності шкіри й видимих слизових оболонок [29].

4.4 Розробка заходів із питань безпеки в надзвичайних ситуаціях

Рятувальні та невідкладні аварійно-відновлювальні роботи залежно від масштабів стихійного лиха та обставин, які склалися, мають різноманітний характер. Так, при землетрусах, для виконання рятувальних, невідкладних, аварійно-відновлювальних робіт залучаються рятувальні зведені загони, загони механізації робіт, аварійно-технічні команди, інші формування, які мають бульдозери, екскаватори, крани, механізований інструмент і засоби малої механізації. При землетрусах, перш за все, витягують з-під завалів, напівзруйнованих і палаючих будинків людей, яким надають першу медичну допомогу. Влаштовують в завалах проїзди, локалізують і усувають аварії на інженерних мережах, які загрожують життю людей або заважають виконувати рятувальні роботи. Завалюють або укріплюють конструкції приміщень та споруд, що знаходяться в аварійному стані, організують водопостачання та обладнують пункт збору потерпілих та медичні пункти.

При повенях, для виконання рятувальних робіт залучають загони ЦО, міністерства надзвичайних ситуацій, а також відомчі спеціалізовані команди та підрозділи, які оснащені плавзасобами, санітарні пости і дружини, гідрометеорологічні пости, розвідувальні групи, збірні загони механізації робіт, формування будівельних, ремонтно-будівельних організацій та охорони громадського порядку. Рятувальні роботи при повенях спрямовані на пошуки людей на затоплених територіях, посадку їх в плавзасоби або вертольоти і евакуацію в безпечні місця. Групи розвідки повинні переміщуватись на швидких плавзасобах і вертольотах, встановлювати місця накопичення людей на затоплених територіях, їх стан, а потім подавати звукові і світлові сигнали.

Невеликим групам людей, що знаходяться у воді, кидають рятівні круги, гумові кулі, дошки, жердини та інші предмети, що плавають. При виконанні цих робіт треба враховувати течію та напрям вітру. Для рятування і вивезення із затоплених територій великої кількості людей використовують судна, баржі, баркаси та інші плавзасоби. Посадку людей на них здійснюють

безпосередньо з берега. Для цього вибирають і позначають місця, зручні для підходу суден до берега, а також обладнують причали [30].

Після буревію формування спільно з усім працездатним населенням об'єкта, виконують рятувальні та аварійно-відновлювальні роботи, рятують людей із завалених захисних та інших споруд та надають їм допомогу, відновлюють пошкоджені приміщення, лінії електропередач, зв'язку, газо- та водопроводу, ремонтують техніку і виконують інші аварійно-відновлювальні роботи. Значна частина катастрофічних явищ у природі виникає у результаті техногенної діяльності людини. На промислових об'єктах завчасно розробляються спеціальні заходи із запобігання або максимального зниження наслідків стихійних лих та зменшенню можливих втрат людей і матеріальних цінностей. До таких заходів відносяться:

- ❖ суворе дотримання вимог безпеки;
- ❖ організація повідомлення керівного складу, формувань цивільної оборони (ЦО) і населення;
- ❖ спеціальна підготовка та оснащення формувань (ЦО);
- ❖ надання медичної допомоги ураженим та матеріальної допомоги потерпілим.

Великі аварії та катастрофи на об'єктах можуть виникнути внаслідок стихійного лиха, а також порушень технології виробництва, правил експлуатації різних машин, обладнання та встановлених норм безпеки. Людина повинна, перш за все, сама турбуватися та приймати рішення із захисту від небезпеки, вміти захищати своє життя. Для прийняття рішення щодо заходів захисту необхідно знати фактори ураження даного типу НС і характеристики осередку ураження. Оскільки аварії та катастрофи завдають великих збитків народному господарству, забезпечення безаварійної роботи має виключно велике державне значення. Заходи по запобіганню від аварій і катастроф є дуже складними і трудомісткими. Це комплекс організаційних і інженерно-технічних заходів, спрямованих на виявлення і усунення причин аварій і катастроф, забезпечення мінімальних руйнувань і втрат [30].

5 ЗАХОДИ ПОКРАЩАННЯ КООРДИНАТ РЕЖИМІВ ТА ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

5.1 Заходи покращання якості напруги

Якщо проаналізувати однолінійну схему мережі 10/0,4 кВ, то побачимо, що навантаження 10/0,4 підключено двоконтурною лінією електропередачі. Від цієї лінії, перед збагачувальною машиною живиться екскаватор, який і є однією із причин виникнення вищих гармонік [15].

Ми пропонуємо підключити його до окремої лінії, яка йде від тих самих шин трансформатора, це дасть змогу уникнути у системі вищих гармонік, за рахунок чого поркащиться коефіцієнт потужності, а також значно зменшаться значення гармонік, що дасть змогу відключити фільтрокомпенсуювальні установки.

Оскільки, для вибору кабелю лінії нам потрібно знати допустимий струм, то обчислюємо його за такою формулою:

$$I_P = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (5.1)$$

$$I_P = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,8 \text{ А},$$

де I_P – розрахунковий струм; S – повна потужність екскаватора; U_H – номінальна напруга екскаватора.

Вибираємо кабель СІП-3 3x25, який має $I_{\text{доп}} = 130 \text{ А}$. Розрахунковий струм має бути меншим від $I_{\text{доп}}$:

$$I_P \leq I_{\text{доп}}, \quad (5.2)$$

$$57,8 < 130 \text{ А}$$

Визначимо фактичний тривалий струм нагріву для післяаварійного режиму, тобто. коли відключається один із паралельних контурів лінії, згідно з формулою (5.3) та перевіримо вибраний переріз за допустимим струмом (5.4):

$$I_{\text{НБ}} = 2 \cdot I_P; \quad (5.3)$$

$$I_{НБ} \leq I_{ДОП}; \quad (5.4)$$

$$I_{НБ} = 2 \cdot 57,8 = 115,6 \text{ А};$$

$$115,6 \leq 130 \text{ А},$$

де $I_{ДОП}$ – тривало допустимий струм проводу; $I_{НБ}$ – максимальний струм після аварійного або ремонтного режиму, який відповідає відмиканню однієї із живлячих повітряних ліній.

З умови (5.4) бачимо, що вибраний кабель підходить за умовами нагріву у післяаварійному та ремонтному режимах.

5.1.1 Моделювання запропонованої лінії електропередачі. При виборі проводу лінії, за основу було взято максимальний режим роботи, який є найтяжчим. Проте, моделювання цієї лінії ми проводимо для нормального режиму роботи, яка йде на збагачувальну фабрику та позначено окремим навантаженням. Це показано на розробленій моделі продемонстрованій на рисунку 5.1.

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 5.1 – Розроблена модель мережі із запропонованою лінією електропередачі

Розроблена модель демонструє нормальний режим роботи. При аналізі результатів моделювання бачимо, що напруга на вузлах навантаження також відхиляється у меншу сторону, як і у раніше розглянутих випадках $U_1 = 10,25$ кВ та $U_2 = 10,32$ кВ, тоді як номінальна напруга на цих вузлах має бути рівною $U_{НОМ} = 10,5$ кВ. Відтак, для компенсації реактивної потужності та підняття рівня напруги, проведемо заходи, які дають змогу досягнути номінальних значень напруг на вузлах.

5.1.2 Регулювання напруги мережі за допомогою батарей конденсаторів. Одним із можливих заходів є увімкнення встановлених на підстанції батарей конденсаторів. У вище розглянутому режимі аналізувалася схема із відімкненими батареями конденсаторів. На рисунку 5.2 представлено модель мережі з увімкненими батареями конденсаторів на першу ступінь.

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 5.2 – Модель мережі з однією ступенею увімкнених конденсаторів

З рисунку 5.2 видно, що було підключено першу ступінь батарей конденсаторів, для цього у програмі було підключено два вузли, які позначають перший ступінь. У даному випадку бачимо, що напруга у вузлах навантаження рівна $U_1 = 10,32$ кВ та $U_2 = 10,4$ кВ, що також не відповідає рівню номінальної напруги.

Тепер здійснимо моделювання для двох увімкнених ступеней батарей конденсаторів, ця розроблена модель представлена на рисунку 5.3.

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 5.3 – Модель мережі з двома увімкненими ступенями конденсаторів

Тут розглянуто випадок, коли на підстанції було підключено дві ступені батарей статичних конденсаторів. Бачимо, що при увімкненні батарей статичних конденсаторів на повну потужність напруга на вузлах навантаження вирівнюється майже до допустимих значень $U_1 = 10,45$ кВ та $U_2 = 10,45$ кВ.

5.1.3 Регулювання напруги за допомогою РПН. Встановлені на підстанції трансформатори мають можливість регулювання напруги за допомогою

пристроїв РПН, якими вони обладнані. Межі регулювання цих пристроїв є $\pm 4 \times 2,5 \%$. Ми розглянемо випадок регулювання напруги за допомогою зміни відпайок на трансформаторах за відімкнених батарей статичних конденсаторів. На рисунку 5.4 представлено таблицю «гілок» для цього експерименту.

Видалено керівником задля енергетичної безпеки України

Рисунок 5.4 – Таблиця «гілок» при регулюванні напруги за допомогою РПН

Якщо звернути увагу на таблицю «гілок» (рис. 5.4), то можемо побачити, що за допомогою РПН, також можна встановити потрібний рівень напруги. Для цього було задано відповідну таблицю анцапф, завдяки якій ми змогли змінювати відпаювання, а також внесено зміни до таблиці «гілок». Бачимо, що для встановлення необхідних нам рівнів напруг, потрібно встановити відпаювання № 3 на трансформаторі ТМН-4000/35 та відпаювання № 2 на ТМН-6300/35. Результати комп'ютерної симуляції показали, що напруги будуть рівні $U_1 = 10,54$ кВ та $U_2 = 10,43$ кВ.

5.2 Обчислення показників витрат для реалізації запропонованих заходів

Оскільки серед запропонованих рішень покращання якості напруги на підстанції «Шахта-2» є зведення додаткової лінії електропередачі, то потрібно обчислити показники витрат для цього. Решта запропонованих рішень не передбачає капітальних затрат, оскільки на підстанції вже є наявні пристрої компенсації реактивної потужності, а трансформатори обладнані пристроями РПН.

Вартість зведення лінії електропередачі буде складатися з вартості опор лінії електропередачі, вартості дроту та вартості монтажу. Відтак, розрахунок показників затрат для зведення лінії електропередачі будемо здійснювати за формулою [31]:

$$C_{БУД} = C_{ОПОР} + C_{ПРОВОД} + C_{МОНТАЖ}, \quad (5.5)$$

де $C_{ПРОВОД}$ – вартість проводу; $C_{ОПОР}$ – вартість опор; $C_{МОНТАЖ}$ – вартість монтажу.

Згідно з [32], вартість проводів СІП-3 3х25 та опор становить 62 тис. грн/км, а вартість опор Пб-10 – 216 тис. грн/км.

Обчислюємо показники витрат для зведення повітряної лінії електропередачі довжиною 500 м за формулою (5.5):

$$C = 1,4 \cdot 216 \cdot 15 + 3 \cdot 2 \cdot 87 \cdot 124 + 3 \cdot 0,5 \cdot 109 \cdot 62 + 14,19 = 94258 \text{ грн}$$

Бачимо, що для вирішення проблеми покращення якості напруги на підстанції «Шахта-2» потрібно здійснити капіталовкладення у розмірі 94 тис. грн.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі репрезентовано аналіз параметрів якості напруги ПС 35/10 кВ «Шахта-2» та розроблено заходи для їх покращання. Ключові висновки по виконаній кваліфікаційній роботі, можна відобразити так:

1. Здійснено характеристику досліджуваного об'єкта електропостачання, живильної підстанції ДВАТ Шахта «Червоноградська № 2» 35/10 кВ «Шахта-2». Зроблено детальний аналіз наявних споживачів, пристроїв компенсації та трансформаторів. Проведено аналіз технічних вимірів електроспоживання споживачів ПС 35/10 кВ «Шахта-2», який показав, що споживачі підстанції мають неналежні рівні напруг, працюють із низьким коефіцієнтом потужності, а також мають спотворення синусоїд міжфазних напруг.

2. Для дослідження координат режимів роботи підстанції, було розроблено її модель у програмі РАСТРВІН та проведено ряд симуляцій. Поведені симуляції дали змогу встановити причини низьких рівнів напруг та значне споживання реактивної потужності.

3. Також, у кваліфікаційній роботі, представлено детальний аналіз наявності вищих гармонік у мережі шахти. Для встановлення причин їх виникнення було побудовано частотні характеристики компенсаційних пристроїв для різних потужностей та самої мережі. Встановлено, що джерелом поширення вищих гармонік є електричний екскаватор збагачувальної машини.

4. Розкрито ключові питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, які стосуються тематики кваліфікаційної роботи.

5. Запропоновано, для підвищення рівня напруг, уникнення виникнення у мережі вищих гармонік та підвищення коефіцієнта потужності заживити електричний екскаватор збагачувальної машини окремою лінією електропередачі, дообладнати компенсаційні установки відповідними фільтрами вищих гармонік та використовувати пристрої РПН трансформаторів сумісно із пристроями компенсації реактивної потужності. Капіталовкладення для зведення лінії електропередачі становлять 94 тис. грн.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бурбело М. Й., Бірюков О. О., Мельничук Л. М. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2011. 204 с.
2. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова книга, 2004. 656 с.
3. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B0%D1%85%D1%82%D0%B0_%C2%AB%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0%C2%BB
4. Охріменко В. М. Споживачі електричної енергії: підручник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 286 с.
5. ДСТУ 3466-96 Якість електричної енергії. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт України, 1997.
6. Лозинський О. Ю., Марущак Я. Ю. Ситуаційне керування в дугових сталеплавильних печах. Львів: Видавництво Національного ун-ту «Львівська політехніка», 2004. 382 с.
7. Бондар І. Л., Бондар О. І., Сиченко В. Г. Електричні системи та мережі споживачів залізничного транспорту. Дніпропетровськ: Наука, 2009. 158 с.
8. <https://zakon.rada.gov.ua/go/n0002120-13>
9. Разумний Ю. Т., Заїка В. Т., Степаненко Ю. В. Енергозбереження: навч. посібник. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. 166 с.
10. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=78046
11. Мілих В. І., Павленко Т. П. Електропостачання промислових підприємств: підручник для студентів електромеханічних спеціальностей. Харків: ФОП Панов А. М., 2016. 272 с.
12. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. Донецьк: НГУ, 2015. 540 с.

13. Осташевський М. О. Електричні машини і трансформатори. Київ: Каравклла, 2018. 452 с.
14. Червінський Л. С. Електротехнології та електроосвітлення. Київ. 2017. 690 с.
15. Бурбело М. Й., Гадай А. В. Динамічна компенсація реактивної потужності в пускових режимах електроприводів: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2010. 104 с.
16. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем. Львів: В-во НУ«ЛП», 2013. 533 с.
17. Давиденко Л. В., Коменда Н. В., Давиденко В. А., Євсюк М. М. Електропостачання промислових об'єктів: практикум. Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022. 244 с.
18. Журахівський А. В., Кінаш Б. М., Пастух О. Р. Надійність електричних систем і мереж: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 280 с.
19. Риндюк Д. В., Пешко В. А. Інформаційні технології. Київ: КПІ, 2022. 180 с.
20. Жежеленко І. В., Півняк Г. Г., Трофімов Г. Г., Папаїка Ю. А. Реактивна потужність в електричних мережах: монографія. Дніпро: НТУ«ДП», 2020. 72 с.
21. Шестерінко Е. В. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця. Видавництво «Нова книга», 2004. 655 с.
22. <https://energyall.com.ua/scotts-transformer/>
23. Аніськов О. В. Електропостачання промислових підприємств: конспект лекцій. Кривий Ріг: КТУ, 2010. 95 с.
24. Казанський С. В. Надійність електроенергетичних систем. Київ: КПІ, 2020. 67 с.
25. Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Харків: Вид-во «Точка», 2012. 340 с.
26. Зорін Є. В., Олефір Д. О. Забезпечення надійної роботи ОЕС України – нагальна потреба сучасності. *Електронанорама*, № 4. 2007. С. 7 – 8.

27. Тісленко В. В. Системи електропостачання загального призначення. Чернігів: ЧНТУ, 2005. 341 с.
28. Панченко С. В., Акімов О. І., Бабаєв М. М. Електробезпека: підручник. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 295 с.
29. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тимочко В. О., Городецький І. М. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія). Львів: Тріада плюс, 2017. 620 с.
30. Касьянов М. А., Ревенко Ю. П., Тищенко Ю. А. Захист населення в умовах надзвичайних ситуацій. Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля., 2003. 183 с.
31. Мірошник О. О., Черкашина В. В., Мороз О. М., Черемісін М. М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності на прикладах задач електроенергетики. Харків: ФЛП Панов А. Н., 2018. 214 с.
32. ГКД 340.000.001-95. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Методика. (Загальні методичні положення). Київ: Міненерго України, 1995. 34 с.