

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут (факультет) _____ ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого _____
Кафедра _____ Електропостачання та енергоменеджменту _____

«До захисту в ЕК»
Директор інституту
_____ Сергій БЛАЖЕНКО _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ___ » _____ грудня _____ 2025 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Сергій БАЛЮТА _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ___ » _____ грудня _____ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

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

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної _____ програми _____ «Електротехнічні системи
електроспоживання» _____

на тему: « _____ Розробка системи електропостачання швейної фабрики в
м.Бердичів та моделювання електроенергетичних мереж із застосуванням
програмного забезпечення Siemens PSS SINCAL _____

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЕЛ-2-6М

_____ Богданович Віталій Володимирович _____

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник _____ Зінькевич Петро Олексійович _____

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти _____

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент _____ Роман ГРИЩЕНКО _____

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально - науковий інженерно - технічний інститут ім. акад. І. С. Гулого

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри ЕПЕМ

/Сергій

БАЛЮТА/

“17” вересня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Богдановича Віталія Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання швейної фабрики в м.Бердичів та моделювання електроенергетичних мереж із застосуванням програмного забезпечення Siemens PSS SINCAL

керівник роботи Зінькевич Петро Олексійович, доктор філософії

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 17 вересня 2025 року № 712-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 10 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Призначення підприємства та його розміри, Потужності споживачів швейної фабрики і ремонтно-механічного цеху, Розташування технологічного обладнання в цеху.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Умови проектування; розрахунок електричних навантажень; побудова картограми навантаження; вибір зовнішнього електропостачання; вибір внутрішнього електропостачання; вибір потужності трансформаторів; визначення необхідної потужності компенсуючи пристроїв; вибір перерізу кабелів; розрахунок струмів; вибір обладнання; вибір релейного захисту елементів системи електропостачання.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Схема електропостачання фабрики

2. Схема розташування обладнання у цеху.

3. Схема освітлення цеху.

4. ГПП.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____ 17 вересня 2025 р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Отримання завдання на магістерську роботу	17.09.2025 р.	
	Вступ	20.09.2025 р	
	Вибір напруги живлячих та розподільчих мереж	30.09.2025 р	
	Розрахунок електричних навантажень цеху.	3.10.2025 р	
	Розрахунок електричних навантажень цеху.	10.10.2025 р	
	Вибір потужності трансформатора.	15.10.2025 р	
	Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ).	20.10.2025 р	
	Вибір апаратури розподільчої мережі, ШРА і СПМ.	30.11.2025 р	
	Вибір комутаційної та захисної апаратури	10.11.2025 р	
	Розрахунок розподільчої мережі.	20.11.2025 р	
	Спец-питання.	30.11.2025 р	
	Оформлення пояснювальної записки	3.12.2026	
	Оформлення графічної частини роботи (презентація, Схема електропостачання фабрики, <u>Схема розташування обладнання у цеху</u> , <u>Схема освітлення цеху</u> , ГПП)	5.12.2025	
	Подання готової роботи для перевірки на плагіат	10.12.2025 р.	

Здобувач

_____ (підпис)

Богданович В. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Зінькевич П. О.
(прізвище та ініціали)

Анотація

Богданович Віталій Володимирович

Дипломний проект на тему:

«Розробка системи електропостачання швейної фабрики в м.Бердичів та моделювання електроенергетичних мереж із застосуванням програмного забезпечення Siemens PSS SINCAL»

Національний Університет Харчових Технологій, Київ-2025
141. «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Додана пояснювальна записка складається із вступу, 12 розділів, висновків та списку використаної літератури. Обсяг проекту становить 102 сторінок.

До опису надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень: схема електропостачання цеху, схема розташування обладнання цеху, схема освітлювальної мережі, силове обладнання цеху.

У проекті розглянуто характеристику підприємства і надано опис технологічного процесу. Виконано розрахунки електричних навантажень і побудовано картограму навантажень. Розраховано трансформатори головної понижувальної підстанції, а також розраховані кількість і потужність цехових трансформаторів. Виконано розрахунок робочих струмів і обрано відповідні кабелі. Для системи електропостачання заводу виконано розрахунок струмів короткого замикання. Обрано електричні апарати захисту і управління. Розраховано кількість і тип обладнання для компенсації реактивної потужності.

Ключові слова: понижувальна підстанція, силовий трансформатор, струми короткого замикання, апарати захисту, компенсація реактивної потужності.

Abstract

Bogdanovich Vitalii Volodymyrovych

Diploma project on the topic:

Development of the electrical supply system of a garment factory in Berdychiv and modeling of electrical power lines using Siemens PSS SINCAL software

National University of Food Technologies, Kiev -2025

141. "Electric power engineering, electrical engineering and electro-mechanics"

The added explanatory note consists of an introduction, 12 chapters, conclusions and a list of used literature. The project is 102 pages.

The description includes a graphical part consisting of four drawings: the general plan of the enterprise, the scheme of power supply of the plant, the scheme of power supply of the coloring workshop, lighting network, power equipment of the workshop.

The project examines the characteristics of the enterprise and provides a description of the technological process. Calculations of electrical loads were performed and load cartogram was built. Transformers of the main substation are calculated, as well as the calculated number and power of the department transformers. The calculation of operating currents was performed and the corresponding cables were selected. For the power supply system of the plant, the calculation of short-circuit currents was performed. Electrical protection and control devices are selected. The number and type of equipment for reactive power compensation was calculated.

Keywords: low-power substation, power transformer, short-circuit currents, protection devices, reactive power compensation.

Завдання

Тема. Розробка системи електропостачання швейної фабрики в м.Бердичів

Вихідні дані на проектування:

1. Генеральний план заводу – мал. 1.
2. Відомості про електричні навантаження швейної фабрики - табл. 1.
3. Відомість електричних навантажень ремонтно-механічного цеха (в. 31).
4. Живлення можна здійснити від підстанції, з первинною напругою 110 кВ і вторинною – 10 кВ.
5. Потужність енергосистеми 500 МВА; реактивний опір системи на стороні 110 кВ, віднесений до потужності системи становить 0,5 Ом.
6. Відстань від підстанції енергосистеми до швейної фабрики становить 10 км.

Таблиця 1

Відомість електричних навантажень швейної фабрики

Живлення від п/ст системи

№ № п/п	Найменування цеха	Встановлена потужність, кВт	F – площа приміщення , м ²
1	2	3	4
1	Венткамера	550	250
2	Насосна	1100	255
3	Котельня	320	240
4	Адміністративно-технічний корпус	175	400
5	Ремонтно-механічний цех	-	300
6	Ремонтно-будівельні майстерні	200	300
7	Ткацький цех	3100	400
8	Головний виробничий корпус	3000	400
9	Столова	35	100
10	Склад готової продукції	1400	400
11	Склад декоративних тканин	600	350
12	Прядильний цех	3000	400
13	Гараж	100	40
14	Красильний цех	2500	400
15	Гараж	100	40

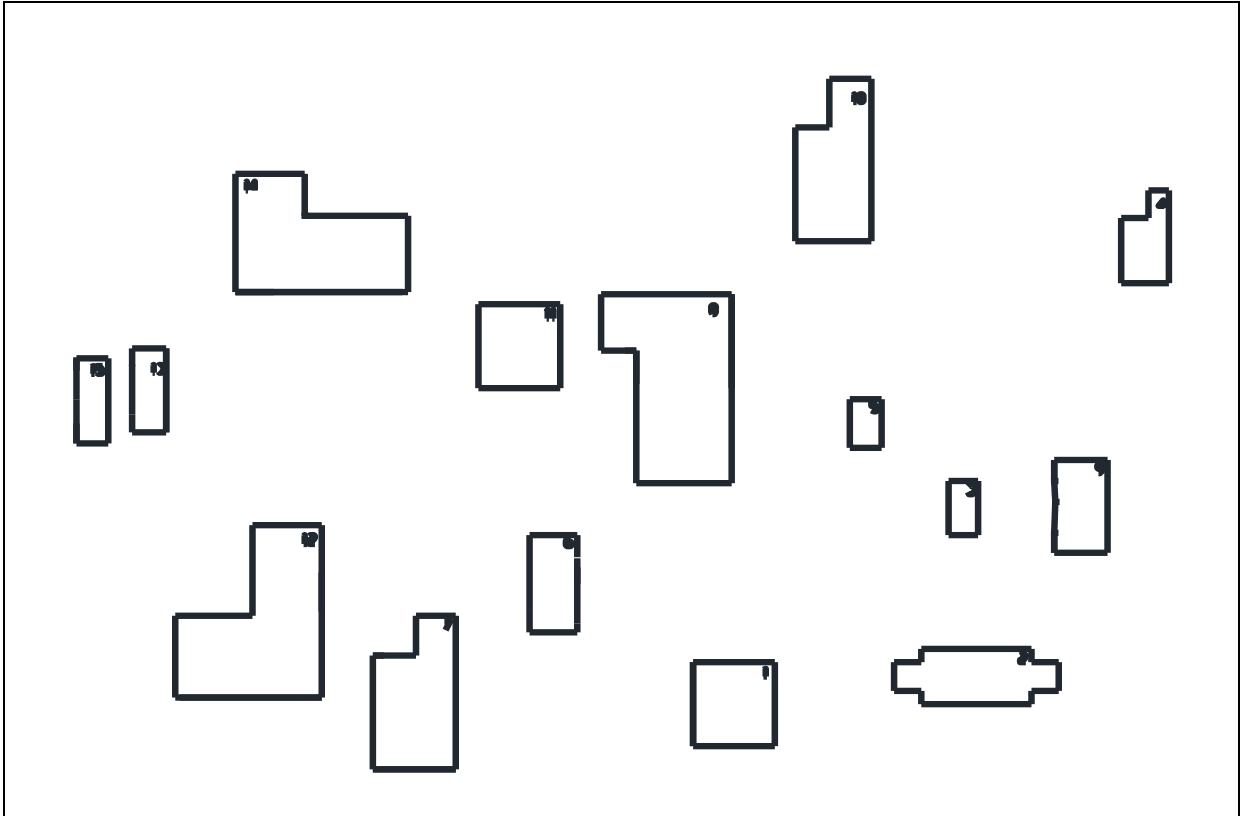


Рис. 1. Генеральний план швейної фабрики

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. УМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ.....	11
1.1. Загальна характеристика промислового об'єкта.....	11
1.2. Коротка характеристика технологічного процесу виробництва.....	12
1.3. Загальна характеристика споживачів електричної енергії.....	13
1.4. Характеристика джерел живлення.....	14
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	15
2.1. Розрахунок електричних навантажень силових установок.....	15
2.2. Розрахунок електричних навантажень освітлювальних установок.....	20
2.3. Розрахунок сумарного електричного навантаження підприємства.....	26
3. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ.....	29
4. ВИБІР ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	32
4.1. Вибір напруги живлячої мережі.....	32
4.2. Вибір трансформатора на ГПП.....	33
4.3. Вибір схеми головної підстанції підприємства.....	34
4.4. Вибір лінії електропередачі.....	36
5. ВИБІР ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	37
5.1. Вибір напруги внутрішньозаводської мережі.....	37
5.2. Вибір схеми внутрішнього електропостачання.....	37
6. ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ ТП.....	38
7. ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ.....	40
8. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ КАБЕЛІВ.....	45
9. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	47
10. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ.....	54
10.1. Вибір основних комутаційних апаратів.....	54
10.2. Вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги.....	58
11. ВИБІР РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	63
11.1. Розрахунок струмової відсічки.....	65
11.2. Розрахунок максимального струмового захисту.....	66
12. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. Моделювання електроенергетичних мереж із застосуванням програмного забезпечення Siemens PSS SINCAL.....	73
12.1. Світові тренди в електроенергетиці.....	74
12.2. Теоретичне ознайомлення з PSS®SINCAL.....	70
12.3. Побудова та параметризація моделі мережі.....	82
12.4. Розрахунок режиму роботи та аналіз результатів.....	86
ВИСНОВОК.....	105
Список використаної літератури.....	104

ВСТУП

Швейна промисловість є однією з ключових галузей легкої промисловості України. Вона охоплює виробництво одягу, спецодягу, білизни, трикотажних виробів та аксесуарів. Україна має давні традиції в цій сфері, а галузь продовжує розвиватися попри складні економічні та воєнні умови.

Швейна галузь активно формувалася ще в радянський період, коли в Україні діяли великі фабрики в Києві, Харкові, Львові, Чернівцях, Житомирі, Херсоні та інших містах. Після 1991 року виробництва частково втратили ринки, але багато підприємств змогли адаптуватися, переорієнтувавшись на приватне виробництво та експорт.

Сучасний стан галузі

Сьогодні швейна промисловість України характеризується такими особливостями:

1. Орієнтація на експорт

Багато українських фабрик працюють за моделлю **CMT (Cut, Make, Trim)** — виконують пошиття для європейських брендів за їхніми лекалами. Головні ринки збуту: **Німеччина, Польща, Італія, Франція, країни Скандинавії.**

2. Розвиток вітчизняних брендів

Останніми роками активно розвиваються українські марки одягу, серед яких можна згадати: **MustHave, Ksenia Schneider, Andre Tan, GASANOVA, VOVK, Oberig, Rito** та інші. Багато дизайнерів виходять на європейські ринки та беруть участь у міжнародних подіумах.

На ринку швейних фабрик МІК; Textile-Contact (ТК — ТК-Style, ТК-Korosten, ТК-Lubny та ін.); Inter-Text; Барська швейна фабрика; Швейна фабрика "Зорянка"; Українська швейна фабрика; Уманська швейна фабрика; Мукачівська швейна фабрика; Козятинська швейна фабрика; Тульчинська швейна фабрика; Хмільницька швейна фабрика «Лілея».

1. УМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Загальна характеристика промислового об'єкта

В дипломному проекті виконано електропостачання швейної фабрики. Даний об'єкт розташований в південно-західній частині міста Бердичів. Загальна площа об'єкта складає $S = 10500 \text{ м}^2$, площа виробничих приміщень $S = 4275 \text{ м}^2$, чисельність виробничого персоналу складає приблизно 450 чоловік.

Територія швейної фабрики забудована рівномірно на рівнинному рельєфі місцевості. Підземні води зосереджені на глибині близько 16-20 метрів.

Ґрунти дерново-підзолисті, піщані та глинисто-піщані в комплексі.

Клімат: річна кількість опадів 650-700 міліметрів, середня температура липня 23°C , середня температура січня -6°C , переважаючий напрям вітру у липні — південно-західний, а у січні — західний.

Середньорічна тривалість блискавок від 50 до 70 годин.

Основну частину забудови складають виробничі приміщення з кількістю поверхів 2-3 і першою, другою та третьою категорією надійності електропостачання. Також на території об'єкта розташовані зони для куріння, відпочинку та зелені насадження. Усі вище перераховані об'єкти збудовані з урахуванням рівномірності електричних навантажень і забезпеченням комфортного переміщення транспорту та виробничого персоналу.

1.2. Коротка характеристика технологічного процесу швейної фабрики

Технологічний процес у швейній промисловості — це комплекс взаємопов'язаних операцій, спрямованих на виготовлення одягу та інших текстильних виробів із тканин, трикотажу чи нетканих матеріалів. Він охоплює повний цикл перетворення сировини на готовий виріб і включає кілька послідовних стадій: підготовку матеріалів, настилення й розкрій, пошив, волого-теплову обробку, контроль якості та пакування. Ефективність і якість кінцевої продукції значною мірою залежать від правильності організації цього процесу, рівня механізації, кваліфікації працівників та технічного оснащення підприємства.

У цьому рефераті розглянуто основні стадії технологічного процесу швейного виробництва, їх зміст, значення та взаємозв'язок, а також фактори, які впливають на його ефективність.

1. Підготовка матеріалів до виробництва

Першим етапом процесу виготовлення одягу є приймання та підготовка матеріалів. До швейної майстерні надходять тканини, нитки, підкладкові матеріали, фурнітура, декоративні елементи та інші компоненти, необхідні для створення виробу. Кожен із цих матеріалів має відповідати стандартам якості, мати паспорт або сертифікат відповідності.

2. Настилення та розкрій матеріалів

Наступна стадія — це настилення тканини у шари на розкрійний стіл або спеціалізоване обладнання. Кількість шарів залежить від виду виробу, товщини тканини та обсягу партії. Важливо забезпечити рівномірне натягнення тканини, однакову довжину настилу та правильне розташування рисунка (якщо тканина має малюнок). Після настилення проводиться **розкладка лекал** — спеціальних шаблонів деталей, що визначають форму й розміри частин виробу. Розкладка здійснюється з урахуванням напрямку нитки основи, властивостей тканини та потреби мінімізувати відходи.

3. Пошив виробу

Етап пошиву є найбільш трудомістким та відповідальним. Він складається з великої кількості окремих операцій, які у підсумку формують готовий виріб. Для якісного пошиву використовуються різні типи швейного обладнання: універсальні машини, оверлоки, розпошивальні, гудзикові машини, петляльні автомати тощо.

4. Волого-теплова обробка (ВТО)

ВТО — це комплекс операцій, які надають виробу остаточної форми, усувають дрібні дефекти, забезпечують акуратний зовнішній вигляд. Вона виконується на всіх етапах пошиву: після виконання окремих швів, виготовлення вузлів і в кінці виробництва.

5. Контроль якості

Після завершення пошиву виріб проходить ретельний контроль. Він може бути технічним, операційним або вихідним.

6. Фінішна обробка і пакування готових виробів

Завершальний етап включає:

- видалення зайвих ниток;
- чистку виробу від пилу та маркерів;
- прикріплення ярликів, маркування розмірів;
- складання або розвішування виробів;
- пакування в індивідуальні чохла або поліетиленові пакети.

Правильно організоване пакування допомагає зберегти форму виробу під час транспортування, а також забезпечує належний рівень презентабельності.

Висновок

Технологічний процес швейного виробництва є складною системою взаємопов'язаних операцій, кожна з яких відіграє важливу роль у формуванні якісного кінцевого продукту. Починаючи з підготовки матеріалів і завершуючи пакуванням готового виробу, кожен етап потребує точності, професіоналізму та належної організації праці.

Сучасні швейні підприємства активно впроваджують автоматизовані системи розкрою, високопродуктивне обладнання, новітні методи контролю якості та підготовки матеріалів. Це дозволяє значно підвищити ефективність виробництва, зменшити собівартість продукції та покращити її конкурентоспроможність.

Таким чином, технологічний процес виготовлення швейних виробів — це поєднання традицій майстерності та сучасних технологій, які забезпечують високу якість, естетичність і функціональність одягу для споживача.

1.3. Загальна характеристика споживачів електричної енергії

Споживачів електроенергії за надійністю електропостачання розділяють на три категорії:

I - споживачі, порушення електропостачання яких може призвести до загрози життю людей, значних збитків у народному господарстві, пошкодження обладнання, масовий брак продукції, порушення складного технологічного процесу і особливо важливих елементів міського господарства;

II - споживачі, перерва в електропостачанні яких пов'язана з суттєвою недодачею продукції, простоем робочих механізмів і промислового транспорту, порушенням нормальної життєдіяльності міських мешканців.

III - решта споживачів, які не підходять під I та II категорії (споживачі цехів несерійного виробництва, допоміжних цехів, невеликих сіл і т. д.).

Споживачі I категорії повинні отримувати електроенергію від двох незалежних джерел живлення, і перерва в електропостачанні може бути лише на час автоматичного вводу резервного живлення.

Для споживачів II категорії допускаються перерви в електропостачанні на час, необхідний для включення резервного живлення черговим персоналом або виїзною бригадою. Живлення споживачів II категорії можливе по одній повітряній лінії напругою 6 кВ і більше. При живленні споживачів по кабелям допускається живлення однією лінією, розщепленою не менше ніж на 2 кабелі, підключених через самостійні роз'єднувачі. При наявності централізованого резерву споживачі II категорії живляться від одного трансформатора.

Для споживачів III категорії можливі перерви в електропостачанні на час, необхідний для ремонту або заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, але не більше однієї доби.

До споживачів I категорії відносяться: електроприймачі протипожежних установок (пожежні насоси, сигналізація, димовидалення, аварійне освітлення).

До споживачів II категорії відносяться: споживачі, залучені в основному виробничому процесі.

До споживачів III категорії відносяться: котельна та майстерні.

1.4. Характеристика джерел живлення

Джерелом живлення для проектного підприємства є підстанція енергосистеми, розташована на відстані 10 км від заводу.

Підстанція з первинною напругою 11 кВ і вторинною -10 кВ.

Потужність енергосистеми 500 МВА: реактивний опір системи на стороні 110 кВ, віднесений до потужності системи становить 0,5.

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1. Розрахунок електричних навантажень силових установок

Електричні навантаження – це вихідні дані для вирішення важкого комплексу технічних та економічних питань, які виникають при проектуванні електричного постачання підприємства.

За ступенями надійності електропостачання, електроприймачі заводу відносяться до I, II та III категорії.

Споживачами електроенергії є асинхронні електродвигуни технологічного та сантехнічного обладнання, а також лампи розжарювання та люмінесцентні лампи електроосвітлення.

Опис метода розрахунку електричних навантажень

Для даного підприємства відомі кількість, паспортні дані та режим роботи обладнання. Тому розрахункові навантаження визначають за формулою:

$$P_p = k_M \cdot P_{CM} = k_M \cdot P_H \cdot k_B, \text{ кВт},$$

де

P_{CM} - середнє навантаження за найнавантаженішу зміну групи електроприймачів однакового режиму, кВт;

P_H - сумарна встановлена потужність електроприймачів (ЕП) цієї групи, кВт;

k_M - коефіцієнт максимуму навантаження;

k_B - коефіцієнт використання.

За цією формулою визначаємо розрахункове активне навантаження групи ЕП. Групова встановлена потужність групи (ЕП) даного цеху визначається, як сума номінальних напруг окремих ЕП, тобто:

$$P_H = \sum_{i=1}^n P_{Hi}.$$

Середня активна та реактивна потужності за найнавантаженішу зміну для групи ЕП одного режиму роботи визначається:

$$P_{CM} = k_B \cdot P_H ;$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{CM} ,$$

де $\operatorname{tg} \varphi_{CM}$ - функція від характерного $\cos \varphi$ для даної групи ЕП.

Коефіцієнт максимуму k_M активної потужності визначається для різних коефіцієнтів використання за довідковими таблицями в залежності від ефективного числа ЕП або за залежностями $k_M = f(n_e)$, при $k_B = 0,1 \div 0,9$, в залежності від величини групового коефіцієнту використання та зведеного числа електроприймачів n_e .

У загальному виді ефективне число ЕП :

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n P_H)^2}{\sum_{i=1}^n P_H^2}$$

Для спрощення розрахунків вводиться поняття коефіцієнту максимуму:

$$m = \frac{P_{НОМ}^{макс}}{P_{НОМ}^{мін}} ,$$

Ефективне число електроприймачів приймається рівним дійсному їх числу, якщо $m < 3$. При $m > 3$ і $k_B = 0,2$:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_H}{P_H^{макс}}$$

де

$P_H^{макс}$ - потужність найбільшого ЕП групи, якщо $n_e > n$, то слід прийняти $n_e = n$.

При $m > 3$ та $n_e < 4$ – розрахункове навантаження приймається рівним:

$$P_P = \beta \cdot P_H, \text{ кВт};$$

де

β - коефіцієнт завантаження, який дорівнює 0,9 - для електроприймачів тривалого режиму роботи електрообладнання та 0,75 - для електроприймачів повторно-короткочасного режиму роботи.

ЕП, сумарна потужність яких не перевищує 5 % потужності всієї групи, не враховується в виразах для m .

Методика визначення розрахункової реактивної потужності залежить від значення n_e :

$$n_e > 10 ; Q_P = Q_{CM} , \text{квар};$$

$$n_e \leq 10; Q_P = 1,1 \cdot Q_{CM} , \text{квар}.$$

Після визначення електричних активних та реактивних навантажень, визначаємо повну розрахункову потужність:

$$S_P = \sqrt{(P_P)^2 + (Q_P)^2} .$$

Розрахунок навантажень цехової мережі

Проводимо розрахунок навантажень цехової мережі для СП1. Розраховуємо середню активну і реактивну потужність для ЕП:

- Токарно-гвинторізний верстат (1,2,3,8,9,10)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 6 \cdot 17,86 \cdot 0,12 = 12,85 \text{кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 6 \cdot 17,86 \cdot 0,12 \cdot 2,29 = 29,46 \text{квар};$$

- Зубофрезерний верстат (4)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 18,5 \cdot 0,12 = 2,22 \text{кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 1 \cdot 18,5 \cdot 0,12 \cdot 2,29 = 5,08 \text{квар};$$

- Зубострогальний верстат (5)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 11,31 \cdot 0,12 = 1,35 \text{кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 1 \cdot 11,31 \cdot 0,12 \cdot 2,29 = 3,10 \text{квар};$$

- Поздовжньо-стругальний верстат (6)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 83,71 \cdot 0,2 = 16,74 \text{кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 1 \cdot 83,71 \cdot 0,2 \cdot 1,17 = 19,57 \text{квар};$$

- Апарат точкового зварювання (7)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 85,7 \cdot 0,35 = 29,99 \text{кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 1 \cdot 85,7 \cdot 0,35 \cdot 1,33 = 39,99 \text{квар};$$

- Горизонтально-розточувальний верстат (11)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 13,38 \cdot 0,12 = 1,6 \text{кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 1 \cdot 13,38 \cdot 0,12 \cdot 2,29 = 3,67 \text{квар};$$

- Кран-балка (12)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 40 \cdot 0,05 = 2 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 1 \cdot 40 \cdot 0,05 \cdot 1,73 = 3,46 \text{ квар};$$

- Довжинний верстат (13)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 15,38 \cdot 0,12 = 1,84 \text{кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 1 \cdot 15,38 \cdot 0,12 \cdot 2,29 = 4,22 \text{квар};$$

- Верстат для завальцювання (14)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 7,11 \cdot 0,12 = 0,85 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 1 \cdot 7,11 \cdot 0,12 \cdot 2,29 = 1,95 \text{квар};$$

- Відрізний круглопильний автомат верстат (15,16)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 2 \cdot 17,67 \cdot 0,17 = 6,00 \text{кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 2 \cdot 17,67 \cdot 0,17 \cdot 1,17 = 7,02 \text{ квар};$$

- Токарно-револьверний автомат верстат (17, 19, 20)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 3 \cdot 11,67 \cdot 0,17 = 5,95 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 3 \cdot 11,67 \cdot 0,17 \cdot 1,17 = 6,95 \text{квар};$$

- Верстат безцентрово-шліфувальний напіваавтомат (18)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 21,67 \cdot 0,17 = 3,68 \text{кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 1 \cdot 21,67 \cdot 0,17 \cdot 1,73 = 4,30 \text{квар};$$

- Горизонтально-фрезерний верстат (21, 22)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 2 \cdot 7,29 \cdot 0,12 = 1,74 \text{кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg}\varphi = 2 \cdot 7,29 \cdot 0,12 \cdot 2,29 = 4 \text{ квар};$$

- Кругло-шліфувальний напіваавтомат верстат (23)

$$P_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 30,83 \cdot 0,17 = 5,24 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \text{tg} \varphi = 1 \cdot 30,83 \cdot 0,17 \cdot 1,17 = 6,12 \text{ квар};$$

Розрахункові навантаження визначаємо в такій послідовності:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Bi} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}} = \frac{92,11}{519,68} = 0,177$$

$$n_{\text{еф}} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{Hi})^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2} =$$

$$= \frac{(519,68)^2}{23}$$

де K_B – взято з таблиці 24-3 [3].

З таблиці 1.1 [1] беремо $K_M = 1,0$ і обчислюємо розрахункові потужності для електроприймачів РП-1:

$$P_M = K_M \cdot K_B \cdot P_H = 1,55 \cdot 92,11 = 142,77 \text{ кВт},$$

$$Q_M = 1,1 \cdot K_B \cdot P_H \cdot \text{tg} \varphi_{CM} = 1,1 \cdot 0,177 \cdot 99,41 \cdot 1,51 = 138,98 \text{ квар}.$$

Визначаємо S_M електроприймачів:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{142,77^2 + 138,98^2} = 199,57 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Решта розрахунків навантаження цеху і навантаження для інших цехів мідного заводу проводяться аналогічно. Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.1.1.

Приклад розрахунку навантаження ремонтно-будівельні майстерні

Визначення середньої активної та реактивної потужності за найнавантаженішу зміну цеха.

Сумарна встановлена потужність електроприймачів ремонтно-механічного цеху складає 200 кВт;

$$P_{CM} = K_B \cdot P_H = 0,5 \cdot 200 = 100 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{CM} = 100 \cdot 0,88 = 88 \text{ квар.}$$

Визначаємо ефективне число електричних приймачів:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_H}{P_{H \max}} = \frac{2 \cdot 200}{25} = 16$$

Для визначення розрахункової потужності P_p , знаходимо коефіцієнт максимуму (за табличними даними):

$$K_M = f(n_e; K_B); K_M = 1,26$$

Знаходимо P_p й Q_p цеху:

$$P_p = k_M \cdot P_{CM} = 1,26 \cdot 100 = 126 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{CM} = 88 \text{ квар.}$$

тому що $n_e > 10$.

Визначаємо повне розрахункове навантаження електроприймачів:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{126^2 + 88^2} = 153,63 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Аналогічно розраховується навантаження для інших цехів заводу і результати зводяться у таблицю 2.1.2.

2.2. Розрахунок електричних навантажень освітлювальних установок

Приклад розрахунку освітлювального навантаження ремонтно-механічного цеху

Навантаження, розрахункова величина якого визначається за формулою:

$$P_{p.o} = P_{уст} \cdot K_{п} \cdot K_{ПРА},$$

де $P_{уст}$ – установлена потужність ламп;

$K_{п}$ — коефіцієнт попиту;

$K_{ПРА}$ - коефіцієнт, враховує втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі.

Для визначення установленної потужності ламп необхідно знайти їх кількість, яка залежить від розміщення світильників. Розміщення світильників на плані цеху визначається наступними розмірами:

$H = 8$ м - задана висота цеху;

$h_c = 0,21$ м - відстань світильника від перекриття;

$h_{п} = H - h_c$ - висота світильника над підлогою;

$h_p = 0,8$ м - висота розрахункової поверхні над підлогою;

$h = h_{п} - h_p$ - розрахункова висота;

L - відстань між сусідніми світильниками або рядами ламп;

I - відстань від крайніх світильників до стіни.

Основною вимогою при виборі розташування світильників являється доступність їх при обслуговуванні. Крім того, розміщення світильників визначається умовою економічності. Важливе значення має відношення відстані між світильниками або рядами світильників до розрахункової висоти $\lambda = L / h$, її зменшення призводить до подорожчання освітлювальної установки і ускладнення при обслуговуванні, а надмірне збільшення призводить до різкої нерівномірності освітлення, а також зростання витрат енергії.

При кращому освітленні легше виявляються недоліки, допущені при обробці деталей і, отже, поліпшується якість продукції. У свою чергу, недостатнє або нераціональне освітлення можуть стати причиною підвищення травматизму, так як при недостатній освітленості утруднюється розрізнення небезпечних частин верстатів.

Для освітлення цеху вибрані світильники ЛПО 01-2x40 з люмінесцентними лампами ЛБ, для яких $\lambda = 0,9$.

Знаходимо значення розрахункової висоти h за формулою:

$$h = H - h_p - h_c,$$

$$h = 7,2 - 0,8 - 0,21 = 6,19 \text{ м}$$

Відстань між рядами світильників в цеху:

$$L = \lambda \cdot h$$

$$L_B = 0,9 \cdot 6,19 = 5,6 \text{ м}$$

Відповідно до отриманих значеннями L виконуємо розміщення світильників в цеху.

Для визначення потужності ламп методом коефіцієнта використання розраховуємо світловий потік кожного світильника, необхідний для отримання норми освітленості:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_{\text{зап}} \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}$$

де Φ - світловий потік одного світильника, лм;

E_n - нормована мінімальна освітленість, лк;

$K_{\text{зап}} = 1,3$ - коефіцієнт запасу;

S - площа приміщення, м^2 ;

$z = 1,1$ - для люмінесцентних ламп;

η - коефіцієнт використання світлового потоку;

N - кількість світильників.

Норма освітленості для верстатного відділення становить - $E_n = 300$ лк [3].

Коефіцієнт використання світлового потоку є функцією індексу приміщення i :

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

де A - довжина приміщення, м;

B - ширина приміщення, м.

Індекс приміщення для верстатного відділення цеху згідно плану:

$$i = \frac{20 \cdot 15}{6,19 \cdot (20 + 15)} = 1,38$$

Окрім індексу приміщення, для знаходження коефіцієнта використання світлового потоку необхідно знати коефіцієнти відбиття стелі, стін і робочої поверхні: $p_n = 70 \%$, $p_c = 50 \%$, $p_p = 30 \%$ [3, табл. 5-1].

За [3, табл. 5-9] визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку для токарно-автоматного цеху - $\eta = 90 \%$.

Відповідно до плану розміщення світильників визначаємо необхідний світловий потік для даного цеху:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 300 \cdot 1,1}{40 \cdot 0,9} = 3575 \text{ лм}$$

Вибираємо лампи ЛБ40, що мають потужність $P_{\text{ном}} = 40 \text{ Вт}$ і світловий потік $\Phi_{\text{ном}} = 2850 \text{ лм}$.

Кількість світильників:

$$N = \frac{E_n \cdot k \cdot S \cdot z}{2 \Phi_{\text{л}} \cdot \eta};$$

де k – коефіцієнт запасу: $k=1,3$;

z - кількість ламп в одному світильнику ЛПО 01-2x40.

$$N = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 300 \cdot 1,1}{2 \cdot 3575 \cdot 0,9} \approx 20 \text{ світильників}$$

Загальна кількість ламп ЛБ-40 в цеху $N = 468$.

Встановлена потужність ламп:

$$P_{\text{уст}} = N \cdot P_{\text{ном.л}}$$

$$P_{\text{уст}} = 20 \cdot 40 \cdot 2 + 6 \cdot 100 = 2200 \text{ Вт.}$$

Встановлюємо 6 рядів світильників по 39 світильників у ряду з відстанню між рядами по 5 м.

Для аварійного освітлення встановлюємо шість ламп розжарювання типу МОЕ27 100 W, потужністю 100 Ват кожна.

Визначаємо значення коефіцієнтів попиту і обліку втрат потужності в пуско-регулюючій апаратурі для люмінесцентних ламп: $K_{\text{п}} = 0,95$; $K_{\text{ПРА}} = 1,1$. Освітлювальне навантаження цеху буде становити:

$$P_{\text{р.о}} = 19,32 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 20,19 \text{ кВт.}$$

Розрахунок освітлювального навантаження приміщень

Виходячи з питомої потужності, що витрачається на одиницю освітлення площі виробничих корпусів і складів, визначається активна потужність, яка витрачається на освітлення:

$$P_{\text{р.о}} = P_{\text{пит}} \cdot F$$

де $P_{\text{р.о}}$ - розрахункове освітлювальне навантаження, кВт;

F – площа приміщення, м^2 .

Приймаємо для освітлювання виробничих приміщень:

$$P_{\text{пит}} = 15 \text{ Вт/м}^2;$$

для складів:

$$P_{\text{пит}} = 10 \text{ Вт/м}^2.$$

Переважає більшість освітлювальних установок підприємства – це люмінесцентні лампи, які працюють з коефіцієнтом потужності $\cos\varphi = 0,8$. Реактивна складова розрахункової потужності цехів дорівнює

$$Q_{\text{р.о}} = P_{\text{р.о}} \cdot \text{tg}\varphi.$$

Потужність аварійного освітлення становить 5 % від загального навантаження освітлення приміщень. Отже, дорівнюватиме 15,6 кВт.

Результати зведені у таблиці 2.2.1.

Таблиця 2.2.1

	Назва приміщення	P _о , кВт/м. кв.	F, м. кв.	P _{р.о.} , кВт	tg	Q _{р.о.} , квар	S _{р.о.} , кВА
1	Венткамера	0,015	250	3.75	1	3.75	5.30
2	Насосна	0,015	255	3.825	1.17	4.47525	5.881
3	Котельня	0,015	240	3.6	0.62	2.232	4.23
4	Адміністративно-технічний корпус	0,01	400	4	0.88	3.52	5.32
5	Ремонтно-механічний цех	0,015	300	4.5	1	4.5	6.36
6	Ремонтно-будівельні майстерні	0,015	300	4.5	1	4.5	6.36
7	Ткацький цех	0,015	400	6	1	6	8.48
8	Головний виробничий корпус	0,015	400	6	0.62	3.72	7.05
9	Столова	0,01	100	1	0.62	0.62	1.17
10	Склад готової продукції	0,015	400	6	1	6	8.48
11	Склад декоративних тканин	0,015	350	5.25	0.75	3.9375	6.56
12	Прядильний цех	0,015	400	6	0.75	4.5	7.5
13	Гараж	0,01	40	0.4	0.75	0.3	0.5
14	Красильний цех	0,015	400	6	1	6	8.48
15	Гараж	0,01	40	0.4	0.75	0.3	0.5
	Разом			61.225		49.85	80.37

Розрахунок навантаження зовнішнього освітлення

Освітлення проїздів та доріг, відкритих виробничих майданчиків, а також освітлення для потреб охорони виконується світильниками зовнішнього освітлення із ртутними лампами, що встановлюються на залізобетонних опорах вздовж підприємства, а також на покрівлях та стінах будівель на кронштейнах.

Орієнтовно на кожні 200 м² площі необхідно встановлювати світильник з лампою типу ДРЛ-250. Площа території підприємства 10500 м², отже необхідна кількість світильників визначається за формулою:

$$N_{\text{св}} = \frac{S}{200} = \frac{100500}{200} = 503 \text{ шт.}$$

Розрахункова активна потужність зовнішнього освітлення:

$$P_{\text{р.зовн.осв.}} = 503 * 250 = 125,75 \text{ кВт.}$$

Отже, для встановлення зовнішнього освітлення приймаємо світильники РСУ 01-250 з лампами типу ДРЛ з незалежним ПРА.

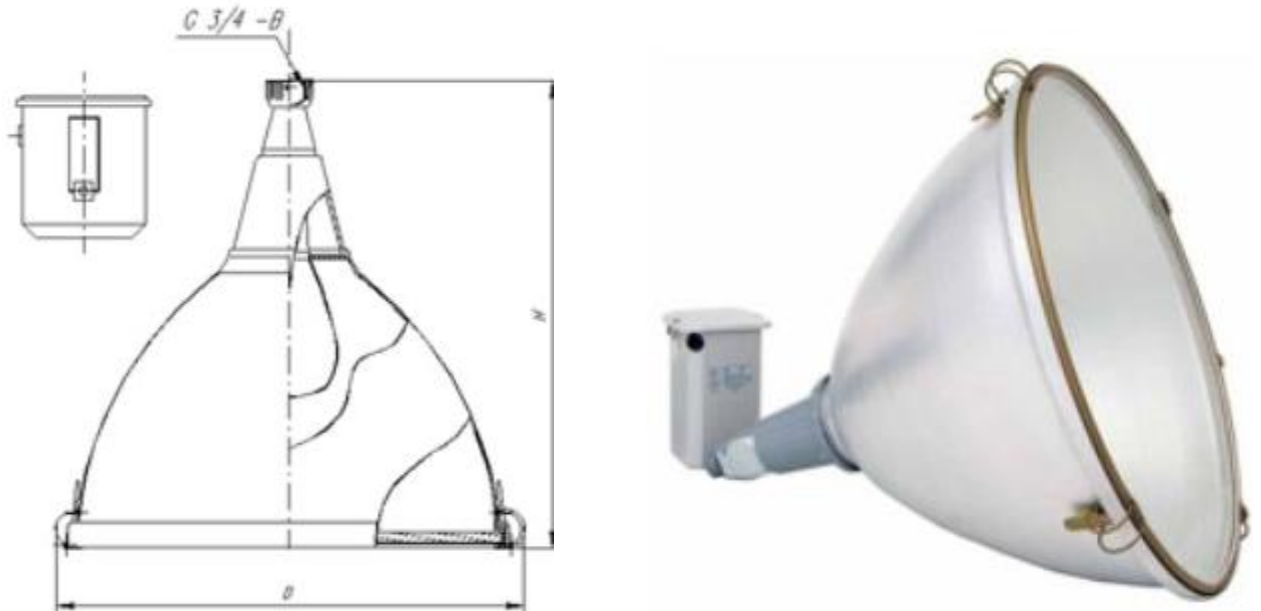


Рис. 2.1.

Конструкція:

- корпус світильника виготовлений з алюмінієвого сплаву литтям під тиском;
- кабельне уведення ущільнене гумовим сальником;
- відбивач алюмінієвий, освітлений, виготовлений методом видавки;
- захисне скло силікатне загартоване термостійке;
- пускорегулюючий апарат незалежний електромагнітний;
- патрон Е40, керамічний;

- спосіб установки - на трубу, підвіс (гак) або монтажний профіль;
- можливе комплектування захисною сіткою (захисна сітка сталева зварена).

Тип світильника	Розмір D, мм	Розмір H, мм	Маса, кг	Потужність лампи	Ступінь захисту
PCY 01-250	345	490	8,0	250	IP53

2.3. Розрахунок сумарного електричного навантаження підприємства

Сумарна розрахункова потужність по всьому підприємству:

$$P_{p.\Sigma} = P_{p.\text{прим.}} + P_{p.\text{осв.прим}} + P_{p.\text{зовн.осв}} =$$

$$= 15331.44 + 61.225 + 125,75 = 15617,67 \text{ кВа},$$

$$Q_{p.\Sigma} = Q_{p.\text{прим.}} + Q_{p.\text{осв.прим}} + Q_{p.\text{зовн.осв}} =$$

$$= 10836.08 + 49.85 + 0 = 10885,93 \text{ квар.}$$

Повна розрахункова потужність по всьому підприємству:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{15617,67^2 + 10885,93^2} = 19037.2 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Таблиця 2.1.1 - Розрахунок електричних навантажень низьковольтної мережі по групах підключення

Вихідні дані					Змінна потужність ЕП		pe	K _м	Розрахункова потужність		S _p , кВА		
По завданню				Довідкові дані		P _{см} , кВт			Q _{см} , квар	P _p , кВт		Q _p , квар	
Найменування	№ На плані	Кількість	Номинальна потужність, кВт		K _в								tgφ
			одного ЕП	загальна									
Токарно-гвинторізний верстат	1,2,3,8,9,10	6	17,86	107,17	0,12	2,29	12,85	29,46					
Зубофрезерний верстат	4	1	18,5	18,5	0,12	2,29	2,22	5,08					
Зубострогальний верстат	5	1	11,31	11,31	0,12	2,29	1,35	3,10					
Поздовжньо-стругальний верстат	6	1	83,71	83,71	0,2	1,17	16,74	19,57					
Апарат точкового зварювання	7	1	85,7	85,71	0,35	1,33	29,99	39,99					
Горизонтально-розточувальний верстат	11	1	13,38	13,38	0,12	2,29	1,6	3,67					
Кран-балка	12	1	40	40	0,05	1,73	2	3,46					
Довжинний верстат	13	1	15,38	15,38	0,12	2,29	1,84	4,22					
Верстат для завальцювання	14	1	7,11	7,11	0,12	2,29	0,85	1,95					
Відрізний круглопилний автомат верстат	15,16	2	17,67	35,34	0,17	1,17	6,00	7,02					
Токарно-револьверний автомат верстат	17, 19, 20	3	11,67	35	0,17	1,17	5,95	6,95					
Верстат безцентрово-шліфувальний напівавтомат	18	1	21,67	21,67	0,17	1,17	3,68	4,30					
Горизонтально-фрезерний верстат	21,22	2	7,29	14,58	0,12	2,29	1,74	4					
Кругло-шліфувальний напівавтомат верстат	23	1	30,83	30,83	0,17	1,17	5,24	6,12					
Всього		23	382,08	519,68	0,177	1,51	92,11	138,98	23	1,55	143,22	138,98	199,57

Таблиця 2.1.2 - Розрахунок електричних навантажень швейної фабрики													
№	Назва приміщення	$P_{ном}$, кВт	n_e	$P_{макс}$, кВт	K_b	$tg\phi$	$cos\phi$	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, квар	K_m	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	Венткамера	550	11	100	0,75	0,62	0,85	412,5	255,75	1,230	507,375	255,75	568,18
2	Насосна	1100	29	75	0,75	0,62	0,85	825	511,5	1,120	924	511,5	1056,12
3	Котельня	320	11	60	0,75	0,62	0,85	148,8	545,6	1,050	156,24	545,6	567,52
4	Адміністративно-технічний корпус	175	18	20	0,50	1,02	0,70	85,5	85,5	1,100	94,05	85,5	127,10
5	Ремонтно-механічний цех	519,68	12	85,7	0,25	0,75	0,80	92,11	138,98	1,110	143,22	138,98	199,57
6	Ремонтно-будівельні майстерні	200	16	25	0,50	0,88	0,75	100	88	1,260	126	88	153,68
7	Ткацький цех	3000	60	100	0,75	0,88	0,75	2250	1980	1,100	2475	1980	3169,55
8	Головний виробничий корпус	3100	47	130	0,80	0,62	0,85	2480	1537,6	1,120	2480,6	1537,6	2918,49
9	Столова	35	7	10	0,60	0,62	0,85	21	13	1,090	22,89	13	26,32
10	Склад готової продукції	1400	70	40	0,65	1	0,70	910	910	1,260	1146,6	910	1463,82
11	Склад декоративних тканин	600	55	22	0,70	0,75	0,80	420	315	1,130	474,6	315	569,62
12	Прядильний цех	3000	60	100	0,75	0,88	0,75	2250	1980	1,130	2542,5	1980	3222,53
13	Гараж	100	20	10	0,25	0,75	0,80	25	18,75	1	25	18,75	31,25
14	Красильний цех	2500	50	100	0,75	0,88	0,75	1875	1650	1,430	2681,25	1650	3148,26
15	Гараж	100	20	10	0,40	0,75	0,80	40	30	1,430	57,2	30	64,58
	Сумарне НН	18099,68									15331,44	10836,08	18774,28

3. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА З ВИЗНАЧЕННЯМ ЦЕНТРУ НАВАНТАЖЕННЯ МІДНОГО ЗАВОДУ

Для полегшення роботи щодо розміщення підстанції на генеральний план підприємства наноситься картограма навантажень. Картограма навантажень являє собою кола. Для кожного цеха креслиться коло, центр якого збігається з центром навантажень цеха. Кожне коло поділяється на сектори, які відповідають освітлювальному навантаженню та силовому. Користування картограмою навантажень робить роботу з розміщення підстанції найточнішою і дозволяє запобігти серйозним похибкам.

Центр електричних навантажень можна прийняти співпадаючим з центром ваги фігури, що зображає корпус підприємства на плані. Підстанцію слід розмістити якнайближче до центра навантажень. Таке розміщення підстанції дозволяє звести до мінімуму протяжність мереж, втрати енергії та коливання напруги.

Кола на картограмі навантажень відповідають у певному масштабі розрахунковому навантаженню. Площі кіл пропорційні навантаженням, а центри збігаються з центрами навантажень окремих цехів.

Кола поділяються на сектори, площі яких у певному масштабі відповідають певному типу навантажень:

- а) розрахункове навантаження електроприймачів;
- б) розрахункове освітлювальне навантаження.

На генплані підприємства довільно проводяться вісі координат і знаходяться координати центра навантажень цехів.

Розглянемо на приклад розрахунок ткацького цеху.

Сумарна потужність:

$$P_{p\Sigma} = P_{oc} + P_p.$$

$$P_{p\Sigma} = 6 + 2887.5 = 2893.5 \text{ кВт}$$

Радіус кола:

$$r = \sqrt{\frac{P_{p\Sigma}}{\pi \cdot m}},$$

де $m = 0,05$ - масштаб площі кола, який вибирається проаналізувавши картограму,

$$r = \sqrt{\frac{2893,5}{3,14 \cdot 0,5}} = 43,93$$

Кут, що обмежує сектор освітлювального навантаження

$$\gamma = \frac{P_{p0}}{P_{p\Sigma}} \cdot 360^\circ,$$

$$\gamma = \frac{6}{2893,5} \cdot 360^\circ = 0,75$$

Аналогічно розраховуємо інші приміщення, результати заносимо в таблицю 3.1.

Координати умовного центру електричних навантажень підприємства визначаємо, виходячи з виразу:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi}^\Sigma \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}^\Sigma},$$

$$X = 250$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi}^\Sigma \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}^\Sigma},$$

$$Y = 190$$

де n – кількість цехів;

X_i, Y_i — координати центра навантажень окремої споруди.

Табл. 3.1.

Назва приміщення	Р _о , кВт/м.кв.	F, м.кв.	Р _{р. о} , кВт	Р _{р.} , кВт	ΣР _р , кВт	г, мм	γ, град	X, м	Y, м
Венткамера	0,015	250	3.75	507.37 5	511.12 5	18	2.64	42 5	195
Насосна	0,015	255	3.825	924	927.82 5	24. 31	1.48	33 5	235
Котельня	0,015	240	3.6	156.24	159.84	10	8.11	29 5	235
Адміністративно-технічний корпус	0,015	400	4	94.05	98.05	7.9	14,6 9	26 0	235
Ремонтно-механічний цех	0,015	300	4.5	143,22	148,72	9.7	10.9 67	26 0	270
Ремонтно-будівельні майстерні	0,015	300	4.5	126	130.5	9.1 2	12.4 1	25 0	220
Ткацький цех	0,015	400	6	2887.5	2893.5	43, 93	0,75	18 5	240
Головний виробничий корпус	0,015	400	6	3584	3590	47. 82	0.6	18 5	290
Столова	0,015	100	1	22.89	23.89	3.9	15	18 5	320
Склад готової продукції	0,01	400	6	1146.6	1152.6	27. 1	1.87	18 5	370
Склад декоративних тканин	0,01	350	5.25	474.6	479.85	17. 48	3.93	18 5	460
Прядильний цех	0,015	400	6	2542.5	2548.5	40. 29	0.84 8	36 0	435
Гараж	0,01	40	0.4	25	25.4	4	5.66	18 5	30
Красильний цех	0,015	400	6	2681.2 5	2687.2 5	41. 37	0.8	19 5	100
Гараж	0,01	40	0.4	57.2	57.6	6.1	2.5	31 5	395

4. ВИБІР ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

4.1. Вибір напруги живлячої мережі

Вибір напруги живлячої мережі залежить від потужності, що споживається підприємством, його віддаленості від джерела живлення, кількості та потужності окремих електроприймачів.

Значення величини живлячої напруги визначає параметри ліній електропередачі та вибраного електрообладнання, а також розміри капіталовкладень, втрати електроенергії.

Для визначення раціональної напруги спочатку визначаємо нестандартну напругу, при якій мають місце мінімальні приведені річні витрати електроенергії.

Отже, напруга живлячої мережі становитиме 110 кВ.

Живлення підприємства здійснюється від підстанції енергосистеми, на якій встановлено два двохобмоткових трансформатори, кожен, з первинною напругою 110 кВ і вторинною – 10 кВ.

4.2. Вибір трансформатора на ГПП

Для підприємств середньої потужності ($P_p = 15...75 \text{ МВ}\cdot\text{А}$) пунктом прийому електроенергії за наявності у джерела живлення напруг $35...220 \text{ кВ}$ є *головна понижувальна підстанція* (ГПП).

Трансформатори ГПП повинні забезпечувати надійне електропостачання в нормальному і після-аварійному режимах.

Якщо на підприємстві маються споживачі першої та другої категорій, приймаємо до установки на підстанції два трансформатори однакової потужності з вбудованим регулюванням напруги під навантаженням. Потужність трансформаторів вибираємо таким чином, щоб при відключенні одного з трансформаторів інший, що залишився в роботі, міг передавати усю задану потужність при допустимому перенавантаженні.

Вибір потужності трансформаторів ГПП здійснюється на підставі розрахункового навантаження заводу та інших споживачів, що живляться від ГПП, S_p на шинах 10 кВ .

Необхідну потужність трансформаторів S_T попередньо визначаємо за умови

$$S_T \geq \frac{S_p}{2K_3},$$
$$S_T = \frac{19037,2}{2 \cdot 0,7} = 13598$$

де $K_3 = 0,7$ – коефіцієнт завантаження трансформатора в нормальному режимі.

За отриманим значенням потужності S_T вибирається номінальна потужність трансформатора $S_{T,ном}$.

Вибираємо трансформатор типу ТДН-16000/110 за табл. 4.2. [1] з такими характеристиками:

$$S_{тр}^{ном} = 16000 \text{ кВ}\cdot\text{А} \quad \Delta P_x = 21 \text{ кВт} \quad i_x = 0.85\%$$

$$U_{номВН} = 110 \text{ кВ} \quad \Delta P_k = 90 \text{ кВт}$$

$$U_{\text{номНН}} = 10 \text{ кВ}$$

$$U_{\text{к}} = 10,5 \%$$

4.3. Вибір схеми головної підстанції (розподільного пункту) підприємства

ГПП призначена для пониження напруги до величини розподільної мережі підприємства і розмноження відгалужень до окремих груп споживачів.

ГПП бувають: тупикові, відгалужувальні, прохідні, вузлові. Обираємо тупикову підстанцію, яка передбачає дві незалежні лінії до кожного з трансформаторів від ДЖ.

В більшості випадків живлення трансформаторів ГПП відбувається від повітряної лінії (ПЛ), в деяких випадках використовується кабельний ввід. До комутаційної апаратури високої напруги відносяться роз'єднувачі з заземлюючими ножами, високовольтні вимикачі, трансформатори струму і вимірювальні трансформатори напруги, а також розрядники. Використання замість високовольтних вимикачів струмовідокремлювачів і короткозамикачів небажано в зв'язку з їх нестійкою роботою в зимовий період та потребою в штучних коротких замиканнях. Схеми з роз'єднувачем застосовують в умовах забрудненої атмосфери.

Між двома живлячими лініями на підстанції, як правило, робиться ремонтна перемичка з двома роз'єднувачами.

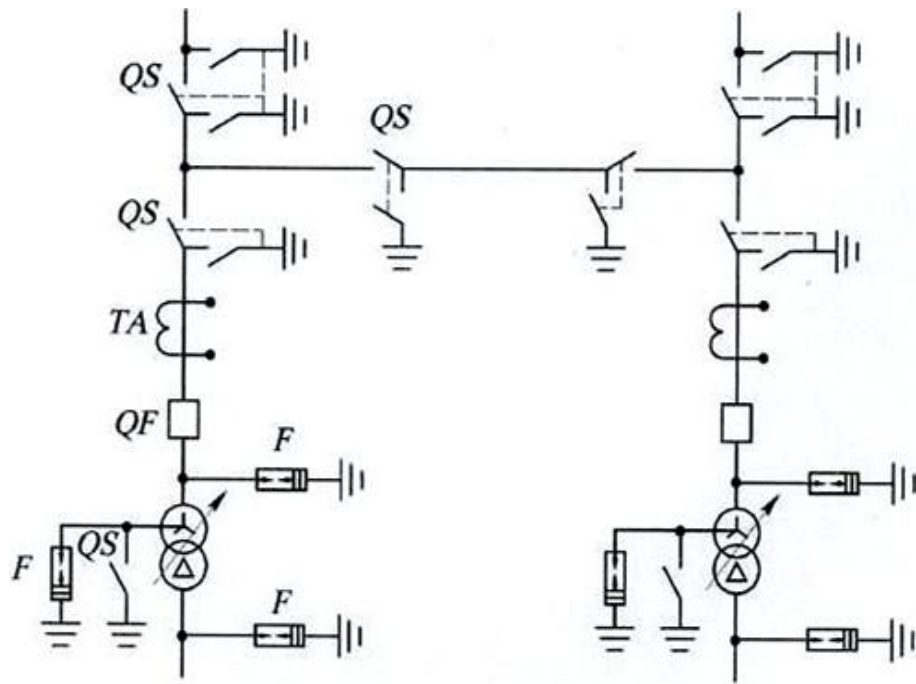


Рис. 4.1. Високовольтна електрична частина 110 кВ тупикової ГПП

Розподільний пристрій (РПр) 10(6) кВ виконується, як правило, закритого типу, має в більшості випадків одинарну секційну систему шин. У разі використання двох обмоткових трансформаторів з розщепленою неперемкненою вторинною обмоткою може мати подвійну секційну систему шин. Він складається з *комплектних розподільних пристроїв* (КРПр). До складу КРПр входять ввідні КРПр, які розташовуються посередині секції шин, трансформатора власних потреб, шино-з'єднуючого КРПр, КРПр для відгалужень до окремих споживачів (РП, трансформаторів і т.п), вимірювальних трансформаторів, конденсаторних батарей. Передбачається встановлення розрядників на стороні 10(6) кВ, а також резервних КРПр для відгалужень. Можлива електрична схема розподільного пристрою 10(6) кВ наведена на рисунку 4.2.

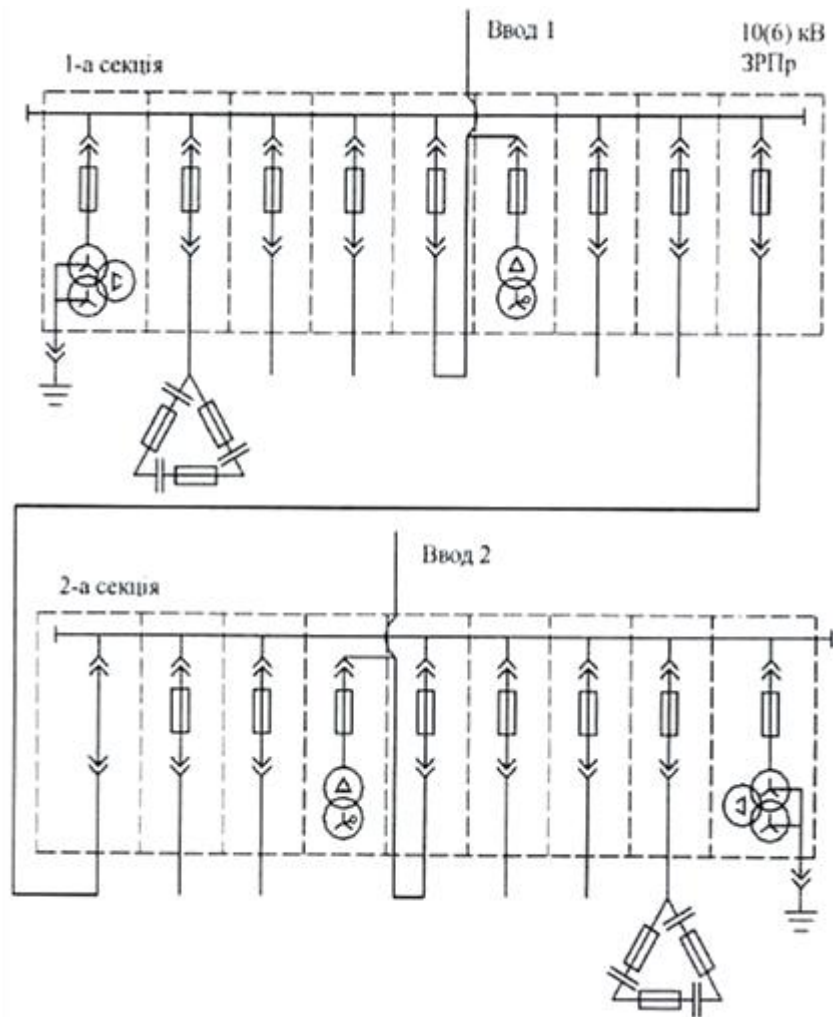


Рисунок 4.2. Електрична частина розподільного пристрою 10(6) кВ ГПП

4.4. Вибір лінії електропередачі

Для живлення ГПП (напруга 110) в більшості випадків використовується ПЛ, для живлення ЦРП (напруга 6...35 кВ) - кабельні лінії (КЛ).

Вибір повітряної лінії напругою 110 кВ

Визначаємо струми нормального та максимального режимів:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{ПЛ}} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{19037,2}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 110} = 49,96 \text{ А.}$$

$$I_{\text{макс}} = 2 \cdot I_{\text{норм}} = 2 \cdot 49,96 = 99,92 \text{ А.}$$

Економічно вигідну густину струму приймаємо $j_{\text{ек}} = 1.1 \text{ А/мм}^2$ (для алюмінієвих проводів, при $T_{\text{макс}} = 3800 \text{ год}$).

Знаходимо економічно вигідний переріз повітряної лінії:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{макс}}}{J_{\text{ек}}} = \frac{99,92}{1,1} = 90,84 \text{ мм}^2 .$$

За табл. 3.23. [1] вибираємо провід типу АС-95/16.

$$S_{\text{ст}} = 95 \text{ мм}^2 > S_{\text{ек}} = 90,84 \text{ мм}^2$$

$$I_{\text{доп}} = 300 \text{ А} > I_{\text{макс}} = 99,92 \text{ А} .$$

Мінімальний переріз повітряної лінії 110 кВ за умовою корони складає 70 мм^2 . Отже, вибираємо провід типу АС-95/16. Допустимий струм АС-95/16 складає 300 А.

Погонні параметри лінії: $r_0 = 0,46 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,275 \text{ Ом/км}$.

Перевіряємо переріз проводу з падіння напруги в лінії в нормальному і після-аварійному режимах:

$$\Delta U_{\%} = \frac{P_3 \cdot R + Q_3 \cdot X}{U_{\text{н}}^2} \cdot 100\% < 10 - 15\%;$$

$$R = r_0 \cdot l = 0,46 \cdot 10 = 4,6 \text{ Ом};$$

$$X = x_0 \cdot l = 0,275 \cdot 10 = 2,75 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{P_3 \cdot R + Q_3 \cdot X}{U_{\text{н}}^2} \cdot 100\% = \frac{19037,2 \cdot 4,6 \cdot 10^{-3} + 0,275 \cdot 10^{-3}}{110^2} \cdot 100\% = 0,01\%$$

За умовою коронного розряду проводу такого перерізу можна використовувати

5. ВИБІР ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

5.1. Вибір напруги внутрішньозаводської мережі

Серед споживачів електроенергії мідного заводу є споживачі з номінальною напругою 380/220 В. У зв'язку з цим для внутрішньозаводської мережі приймаємо номінальну напругу 10 кВ, оскільки вона є більш економічною та універсальною і забезпечує ефективне електропостачання підприємства з різнорідними споживачами

Вибір схеми внутрішнього електропостачання

На підприємстві розподіл енергії проводиться кабельними лініями. Можливі дві основні схеми розподілу електроенергії – радіальна та магістральна в залежності від розташування електроприймачів.

На мідному заводі приймаємо радіальну схему електропостачання. Вона забезпечує високу надійність, гнучкість розташування мережі дозволяє організувати керування.

Однак радіальна схема має недолік - висока вартість та наявність щитів до 1000 В у вигляді великої кількості радіальних ліній.

6. ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ ТП

Число і потужність цехових трансформаторів вибирають, виходячи з одержаних даних про повну розрахункову потужність цеху та категорії споживачів.

На ТП можуть встановлювати 1 або 2 трансформатори.

Якщо в цеху передбачено декілька підстанцій, та електроприймачі мають I і II категорію встановлюють, як правило, двотрансформаторні підстанції й одно-трансформаторні з обов'язковим з'єднанням по нижчій напрузі. Двотрансформаторні цехові підстанції мають застосовуватися при перевазі електроприймачів I і II категорій, а також при нерівномірному добовому чи річному графіку навантаження.

Потужність трансформатора вибирається на основі техніко-економічного розрахунку із врахуванням можливості перевантаження його в аварійному режимі.

Згідно з ПУЕ допускається після-аварійне перевантаження трансформаторів на 40 % на час максимуму загальною добовою тривалістю понад 6 годин протягом не більше як п'яти діб.

При цьому коефіцієнт заповнення добового графіка в умовах перевантаження не повинен перевищувати 0,75, тобто:

$$S_c / (1.4 \cdot S_{ном}) < 0,75.$$

Отже, за вказаних умов перевищення середньодобового навантаження трансформатора над його номінальною потужністю допускається не більше як 5%. Трансформатори перевантажувати по середній потужності не дозволяється. ПУЕ рекомендує перевантажувати трансформатори за рахунок нерівномірності добового графіка, графіка за місяць або за рік.

Номинальна потужність трансформатора на ТП 1

$$S_{\text{ном}}^{\text{тр}} = \frac{S_p}{K_{\text{пер}}^{\text{ав}}} = \frac{3323,2}{1,4} = 2373,74 \text{кВ} \cdot \text{А},$$

де $K_{\text{пер}}^{\text{ав}}$ - коефіцієнт перевантажувальної здатності трансформатора в аварійному режимі.

За $S_{\text{ном}}^{\text{тр}}$ з табл. 4.2. [2] вибираємо трансформатор типу ТМ 2500/10/0,4.

Аналогічно вибираються трансформатори для інших ТП.

Розміщення ТП показано на генплані підприємства (лист №1).

№ ТП	Назва цеху	S_p , кВА	$S_{p.\text{осв}}$, кВА	$S_{p\Sigma}$, кВА	$Q_{p\Sigma}$, кВА	$S_{p\Sigma}/$ 1,4, кВА	$S_{\text{тр.но}}^{\text{м}}$, кВА																																																																
ТП1	Ткацький цех	3169.5 5	8.48	3323,2 3	2068	2373, 74	2x25 00																																																																
	Ремонтно-будівельні майстерні	153.68	6.36					ТП2	Головний виробничий корпус	2918,4 9	7.05	2925,2 4	1537,6	2089, 46	2x25 00	ТП3	Прядильний цех	3222.5 3	7.5	3230	1980	2307, 16	2x25 00	ТП4	Красильний цех	3148.2 6	8.48	3350,3 6	1698,7 5	2233, 57	2x25 00	Гараж	31.25	0.5	Гараж	64.58	0.5	ТП5	Склад готової продукції	1463.8 2	8.48	2048,4 8	1225	1463	2x16 00	Склад декоративних тканин	569.62	6.56	ТП6	Венткамера	568.18	5.30	2367.1 41	1411,3 5	1590, 81	2x16 00	Столова	26.32	1.17	Насосна	1056.1 2	5.881	Котельня	567.52	4.23	Адміністративно- технічний корпус	127.10	5.32	ТП7	Ремонтно-механічний цех	199,57
ТП2	Головний виробничий корпус	2918,4 9	7.05	2925,2 4	1537,6	2089, 46	2x25 00																																																																
ТП3	Прядильний цех	3222.5 3	7.5	3230	1980	2307, 16	2x25 00																																																																
ТП4	Красильний цех	3148.2 6	8.48	3350,3 6	1698,7 5	2233, 57	2x25 00																																																																
	Гараж	31.25	0.5																																																																				
	Гараж	64.58	0.5																																																																				
ТП5	Склад готової продукції	1463.8 2	8.48	2048,4 8	1225	1463	2x16 00																																																																
	Склад декоративних тканин	569.62	6.56																																																																				
ТП6	Венткамера	568.18	5.30	2367.1 41	1411,3 5	1590, 81	2x16 00																																																																
	Столова	26.32	1.17																																																																				
	Насосна	1056.1 2	5.881																																																																				
	Котельня	567.52	4.23																																																																				
	Адміністративно- технічний корпус	127.10	5.32																																																																				
ТП7	Ремонтно-механічний цех	199,57	6.36	205,93	138,98	147	2x16 0																																																																

7. ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

Одним з основних питань, що вирішують при проектуванні та експлуатації систем електропостачання промислових підприємств, є питання компенсації реактивної потужності.

Компенсація реактивної потужності з одночасним покращанням якості електроенергії безпосередньо в мережах промислових підприємств являється одним з основних напрямків скорочення втрат електричної енергії та підвищення ефективності електричних установок підприємства.

Встановлення джерела реактивної потужності призводить до зниження втрат в період максимуму навантаження в середньому на 0,08 кВт / квар.

Оскільки силові обладнання та освітлювальне навантаження розташовані на стороні низької напруги з напругою 0,4 кВ та електричне більш віддалене від джерела живлення, тому передача реактивної потужності в мережу НН потребує збільшення перерізу проводів та кабелів, підвищення потужності силових трансформаторів і супроводжується втратами активної та реактивної потужностей.

Витрати, зумовлені переліченими вище факторами, можна зменшити та навіть ліквідувати, якщо здійснити компенсацію реактивної потужності безпосередньо в мережі НН.

Для компенсації реактивної потужності встановлюємо низьковольтні КУ. Виберемо низьковольтні КУ на ТП 1.

Оптимальне значення реактивної потужності, яку можна передати через трансформатори ТП

$$Q_T = \sqrt{(S_T \cdot N_T^e \cdot \beta)^2 - (P_p)^2} \text{ квар};$$
$$Q_T = \sqrt{(2500 \cdot 2 \cdot 0,75)^2 - 2602^2} = 2700 \text{ квар},$$

де $S_T = 2500$ кВА – потужність одного трансформатора на трансформаторній підстанції;

$\Delta N_T^e = 2$ шт. - кількість трансформаторів на ТП;

$\beta = 0,75$ - коефіцієнт завантаження трансформаторів;

$P_p = 2602,5$ кВт - розрахункова потужність електроприймачів напругою до 1 кВ.

Потужність КУ, що визначається пропускною здатністю трансформаторів ТП

$$Q_{HK1} = Q_{p.HH} - Q_T \text{ квар};$$

$$Q_{HK1} = 2068 - 2700 = -632.5 \text{ квар};$$

Так, як $Q_{H.K} \leq 0$, то встановлювати конденсатори номінальною напругою до 1 кВ не потрібно.

Аналогічно вибираємо КУ для інших ТП та інформацію заносимо в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1

Трансформаторна підстанція	Установка компенсації реактивної потужності
ТП1	-
ТП2	-
ТП3	-
ТП4	-
ТП5	-
ТП6	
ТП7	

Потужність високовольтних конденсаторних установок:

$$Q_{НК} = Q_p - Q_{р.вн} + \sum \Delta Q_{ТТП} - Q_{e1} - Q_{сДном} - \sum Q_{нкф} + \sum \Delta Q_{ТГПП} \text{ квар.}$$

Втрати реактивної потужності в трансформаторах трансформаторної підстанції:

$$\sum_{i=1}^n \Delta Q_{ТТП} = n \cdot [\Delta Q_x + \beta_T^2 \cdot \Delta Q_k],$$

Для ТП5:

$$\Delta Q_{ТТП} = 2 \cdot [22,4 + 0,612^2 \cdot 88] = 110,719 \text{ квар.}$$

де n – кількість трансформаторів на трансформаторній підстанції;

ΔQ_k , ΔQ_x - втрати реактивної потужності в трансформаторах при холостому ході пf короткому замиканні:

$$\Delta Q_x = \frac{S_{тр.ном} \cdot i_x}{100} = \frac{1600 \cdot 1,4}{100} = 22,4 \text{ квар.}$$

$$\Delta Q_k = \frac{S_{тр.ном} \cdot U_k}{100} = \frac{1600 \cdot 5,5}{100} = 88 \text{ квар.}$$

$$\beta_T = \frac{\sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{\text{нкф}})^2}}{n \cdot S_{\text{тр.ном}}} = \frac{\sqrt{1942,5^2 + (1750 - 1500)^2}}{2 \cdot 1600} = 0,612$$

- коефіцієнт завантаження трансформатора.

Отже, втрати реактивної потужності в трансформаторах трансформаторних підстанціях :

$\Delta Q_{\text{гтп1}}$	110,719 квар
$\Delta Q_{\text{гтп2}}$	112,236 квар
$\Delta Q_{\text{гтп3}}$	121,465 квар
$\sum_{i=1}^n \Delta Q_{\text{гтп}}$	344,12 квар

Фактична потужність КУ напругою до 1000 кВ:

$$\sum_{i=1}^n \Delta Q_{\text{нкф}} = 1500 + 1350 + 1250 = 4100 \text{ квар.}$$

Втрати реактивної потужності в трансформаторах ГПП:

$$\sum \Delta Q_{\text{тгпп}} = n \cdot [\Delta Q_x + \beta_T^2 \cdot \Delta Q_k] = 2 \cdot [90 + 0,675^2 \cdot 1050] = 1136,8 \text{ квар.}$$

Потужність високовольтних конденсаторних установок:

$$Q_{\text{нк}} = 4003,71 + 0 + 344,12 - 0 - 0 - 4100 + 1136,8 = 1384,63 \text{ квар}$$

Знак «+» вказує на недокомпенсацію реактивної потужності.

З розрахунків видно, що на стороні високої напруги трансформаторної підстанції необхідно ставити конденсаторні установки потужністю $Q_{\text{нк}} = 1384,63$ квар.

За табл. 4.33/ [1] маємо дві конденсаторні установки:

УКРМ-10,5-2250-450 (3x450 +2x450)

Низьковольтні конденсаторні установки підключені через автоматичні вимикачі.

Розрахунковий струм:

$$I_{p.ку1} = \frac{Q_{ку}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{750}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1082 \text{ А.}$$

$I_{p.ку1}$	1082 А
$I_{p.ку2}$	974 А
$I_{p.ку3}$	902 А

Вибираємо вимикач типу ВА57-43, який має струм до 1600 А і широкий діапазон номінальних струмів.

Номінальний струм для високовольтної конденсаторної установки:

$$I_p = \frac{Q_{ку}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi} = \frac{2250}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 129.9 \text{ А.}$$

Економічно вигідний переріз:

$$S_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек.кл}} = \frac{129.9}{1.4} = 92,786 \text{ мм}^2$$

Вибираємо кабель типу ААШВУ-10-3x95.

$$S_{ст} = 95 \text{ мм}^2 > S_{ек} = 92,786 \text{ мм}^2.$$

8. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ КАБЕЛІВ

Вибір кабелів для підключення цехових ТП.

Приклад розрахунку для ТП1:

Нормальний та максимальний струми:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{ном.тр}} \cdot \beta}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{2500 \cdot 0,73}{\sqrt{3} \cdot 10} = 105,36 \text{ А.}$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{1,4 \cdot 2500}{\sqrt{3} \cdot 10} = 216,51 \text{ А.}$$

Знаходимо економічно вигідний переріз кабельної лінії:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{норм}}}{J_{\text{ек.кл}}} = \frac{105,36}{1,1} = 94,5 \text{ мм}^2.$$

По економічно вигідному перерізу обираємо стандартний переріз кабельної лінії: $S_{\text{ст}} = 95 \text{ мм}^2 > S_{\text{ек}} = 94,5 \text{ мм}^2$.

Вибираємо 2 кабелі типу 2хААШВУ -10-3х95 прокладка в землі.

Погонні параметри кабельної лінії за табл. 3.28. [1]:

$$r_0 = 0,443 \text{ Ом/км}, \quad x_0 = 0,083 \text{ Ом/км.}$$

Перевіряємо кабельну лінію за умовою допустимого нагріву ($I_{\text{доп}}$ за табл. 3.36. [1]): $I_{\text{доп}} = 260 \text{ А} > I_{\text{макс}} = 216,51 \text{ А}$.

Дані розрахунків заносимо до таблиці 8.1.

Таблиця 8.1

Назва КЛЕП	$I_{\text{р}}^{\text{норм}}$, А	$I_{\text{р}}^{\text{макс}}$, А	$S_{\text{ек}}$, мм ²	$I_{\text{доп}}^{\text{нр}}$, А	К-сть, марка і переріз кабеля
ГПП-ТП1	105,36	216,51	94,5	260	2хААШВУ-10-3х95
ГПП-ТП2	105,36	216,51	94,5	260	2хААШВУ-10-3х95
ГПП-ТП3	105,36	216,51	94,5	260	2хААШВУ-10-3х95
ГПП-ТП4	105,36	216,51	94,5	162	2хААШВУ-10-3х95
ГПП-ТП5	67,43	129,326	61,27	162	2хААШВУ-10-3х70
ГПП-ТП6	67,43	129,326	61,27	162	2хААШВУ-10-3х70
ГПП-ТП7	6,74	20,207	6,13	75	2хААШВУ-10-3х16

Визначаємо переріз кабелю від ТП1 до РП 1 ремонтно-будівельні майстерні: Визначаємо струми нормального і максимального режимів:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{кл}} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{153.68}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 0,4} = 110,91 \text{ А.}$$

$$I_{\text{макс}} = 2 \cdot I_{\text{норм}} = 2 \cdot 110,91 = 221,82 \text{ А.}$$

Економічно вигідну густину струму приймаємо $J_{\text{ск}} = 1,4 \text{ А/мм}^2$ та при $T_{\text{макс}} = 3800 \text{ год.}$

Знаходимо економічно вигідний переріз кабельної лінії:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{норм}}}{J_{\text{ек}}} = \frac{110,91}{1,4} = 75,22 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель типу ААШВУ-0,4-95 $I_{\text{доп}} = 217 \text{ А}$, прокладений в землі.

Перевіряємо кабельну лінію за умовами нагріву:

$$S_{\text{ст}} = 95 \text{ мм}^2 > S_{\text{ек}} = 75,22 \text{ мм}^2.$$

$$I_{\text{доп}} = n_{\text{кб}} \cdot k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{п}} = 217 \cdot 1 \cdot 1,15 = 249,55 \geq I_{\text{макс}} = 221,82 \text{ А.}$$

Вибираємо кабель типу, ААШВУ-0,4-4x95. Дані заносимо до таблиці 8.2.

Таблиця 8.2

Назва КЛЕП	$I_{\text{норм}}$, А	$I_{\text{макс}}$, А	$S_{\text{ск}2}$, мм ²	$I_{\text{доп}}^{\text{нр}}$, А	К-сть, марка і переріз кабеля
ТП1-РП1	110,91	221,82	100,82	249,55	2хААШВУ-0,4-4х95
ТП4-РП2	22,55	45,1	15,90	558,9	2хААШВУ-0,4-4х16
ТП4-РП3	41,68	83,36	29,37	103,5	2хААШВУ-0,4-4х35
ТП5-РП4	367,69	735,38	63,4	414	4хААШВУ-0,4-4х240
ТП6-РП5	367	734	222,27	558,9	4х ААШВУ-0,4-4х240
ТП6-РП6	18,99	37,98	14,5	496,8	2хААШВУ-0,4-4х16
ТП6-РП7	409,57	819,14	228	414	4хААШВУ-0,4-4х240
ТП6-РП8	89,56	179,12	170,10	155,25	2хААШВУ-0,4-4х70

9. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Коротким замиканням називають будь-яке непередбачене нормальними умовами роботи з'єднання двох точок електричного кола. Причинами короткого замикання є механічні пошкодження ізоляції, її пробій від перенапруг і старіння, обриви, накиди та перетини проводів, повітряних ліній, помилкові дії обслуговуючого персоналу.

Внаслідок короткого замикання в колі виникають небезпечні для елементів кола струми, які можуть вивести його з ладу. Тому для забезпечення надійності роботи цих мереж, електрообладнання пристроїв релейного захисту проводиться розрахунок струмів короткого замикання.

Місце розташування точок короткого замикання вибираємо таким чином, щоб при короткому замиканні електрообладнання, що перевіряється, та провідники знаходились в найбільш не вигідних умовах.

Для розрахунку струмів короткого замикання необхідно скласти розрахункову схему та схему заміщення. В схему заміщення включені всі елементи зі своїми опорами, приведеними до базових умов.

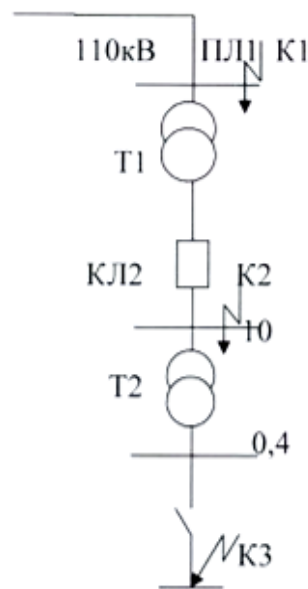


Рис. 9.1. Розрахункова схема

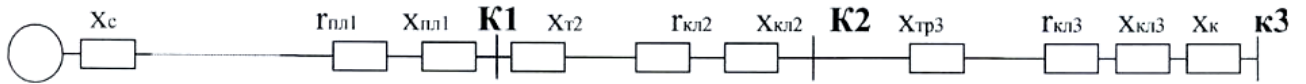


Рис. 9.2. Схема заміщення

Розрахунок струмів короткого замикання проводимо у відносних базисних величинах.

Електроустаткування, встановлюване в системах електропостачання, повинно бути стійким до струмів К.З. і вибиратися з урахуванням сили цих струмів.

1. Задаємося базисним значенням потужності: $S_6 = 100$ МВА
2. Задаємося базисними значеннями напруг:

$$U_{61} = 115 \text{ кВ}$$

$$U_{62} = 10.5 \text{ кВ}$$

$$U_{63} = 0.4 \text{ кВ}$$

3. Визначаємо базисні струми:

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502 \text{ кА}$$

$$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{62}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

$$I_{63} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{63}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,34 \text{ кА}$$

4. Визначаємо опір схеми заміщення:

а) ПЛ:

$$X_{пл1*} = X_{*б.л.} = \frac{x_0 L S_6}{U_{61}^2} = \frac{0.46 \cdot 10 \cdot 100}{115^2} = 0,035$$

$$r_{пл1*} = r_{*б.л.} = \frac{r_0 L S_6}{U_{61}^2} = \frac{0.46 \cdot 10 \cdot 100}{115^2} = 0,035$$

б) Трансформатора на ГПП:

$$x_{T2*} = x_{*б.т.} = \frac{U_k S_6}{100 \cdot S_{НОМ.Т}} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 16} = 0,66$$

в) КЛЕП:

$$x_{ПЛ2*} = x_{*б.л.} = \frac{x_0 L S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,081 \cdot 0,3 \cdot 100}{10,5^2} = 0,022$$

$$r_{ПЛ2*} = r_{*б.л.} = \frac{r_0 L S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,258 \cdot 0,3 \cdot 100}{10,5^2} = 0,07$$

5. Трансформатор на підстанції № 6:

$$x_{Т3} = x_{*б.т.} = \frac{U_k S_6}{100 \cdot S_{НОМ.Т}} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 1,6} = 6,56$$

Визначаємо силу струмів К.З.:

Точка К-1

$$z_{1*} = \sqrt{(x_{1*} + x_c)^2 + r_{1*}^2} = \sqrt{(0,035 + 0,5)^2 + 0,035^2} = 0,536$$

$$I_{к1} = \frac{I_{61}}{z_{1*}} = \frac{0,5}{0,536} = 0,932 \text{ кА}$$

$$i_{y1} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,932 = 2,372 \text{ кА}$$

де $K_y = 1,8$, [2]

Аперіодична стала часу для системи:

$$T_a^{(c)} = \frac{-0,01}{\ln(k_y - 1)} \text{ с;}$$

$$T_a^{(c)} = \frac{-0,01}{\ln(1,8 - 1)} = 0,045 \text{ с;}$$

де $k_y = 1,8$ – ударний коефіцієнт.

Час протікання К.З.:

$$\tau_{к.з.} = \tau_{р.з.} + \tau_{в.в.} \text{ с,}$$

$$\tau_{к.з.} = 0,32 + 0,08 = 0,4 \text{ с.}$$

Аперіодична складова струму К.З.:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{к1} \cdot e^{\frac{-\tau_{nb}}{\tau_a}} \text{ кА,}$$

$$i_a = \sqrt{2} \cdot 0,915 \cdot e^{\frac{-0,09}{0,045}} = 0,178 \text{ кА.}$$

Тепловий імпульс:

$$B_K^{к1} = (I_{к1})^2 \cdot (\tau_{к.з.} + T_a) \text{ кА}^2 \cdot \text{с,}$$

$$B_K^{к1} = (0,932)^2 \cdot (0,4 + 0,045) = 0,386 \text{ кА}^2 \cdot \text{с,}$$

Перевіряємо КЛ, яка йде від джерела за умовою:

$$S_{\text{мин}} = \frac{\sqrt{B_K^{к1}}}{C} < S_{\text{СТ}}^{\text{КЛ}} \text{ мм}^2 ,$$

$$S_{\text{мин}} = \frac{\sqrt{0,386 \cdot 10^6}}{90} = 69,03 \text{ мм}^2 < S_{\text{СТ}}^{\text{КЛ}} = 70 \text{ мм}^2 ,$$

Точка К-2

$$x_{\Sigma 2} = x_{Т2} + x_{кЛ2} + x_c + x_{пл1} = 0,66 + 0,022 + 0,50 + 0,035 = 1,217$$

$$r_{\Sigma 2} = r_{пл1} + r_{кЛ2} = 0,035 + 0,07 = 0,105$$

Активний опір не враховуємо, тому що $r_{\Sigma 2} \leq 0,3x_{\Sigma 2}$, $0,105 \text{ Ом} \leq 0,50 \text{ Ом}$.

$$I_{к2} = \frac{I_{62}}{X_{\Sigma 2}} = \frac{5,5}{1,217} = 4,52 \text{ кА}$$

$$i_{y2} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к2} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,52 = 11,5 \text{ кА,}$$

де $K_y = 1,8$ = для напруги 10 кВ

$$S_{к2} = \frac{S_6}{x_{\Sigma 2}} = \frac{100}{1,217} = 82,17 \text{ МВА}$$

Аперіодична стала часу для системи:

$$T_a^{(c)} = \frac{-0,01}{\ln(K_y - 1)} \text{ с};$$

$$T_a^{(c)} = \frac{-0,01}{\ln(1,8 - 1)} = 0,045 \text{ с};$$

де $k_y = 1,8$ – ударний коефіцієнт.

Час протікання К.З.:

$$\tau_{\text{к.з.}} = \tau_{\text{р.з.}} + \tau_{\text{в.в.}} \text{ с},$$

$$\tau_{\text{к.з.}} = 0,32 + 0,08 = 0,4 \text{ с}.$$

Аперіодична складова струму К.З.:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{\text{к2}} \cdot e^{\frac{-\tau_{\text{кз}}}{T_a}} \text{ кА},$$

$$i_a = \sqrt{2} \cdot 4,52 \cdot e^{\frac{-0,09}{0,045}} = 0,654 \text{ кА}.$$

Тепловий імпульс:

$$B_{\text{к}}^{\text{к2}} = (I_{\text{к2}})^2 \cdot (\tau_{\text{к.з.}} + T_a) \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$B_{\text{к}}^{\text{к2}} = (3,422)^2 \cdot (0,4 + 0,045) = 5,21 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

Точка К-3. Опір контактів для цехових ТП

$$r_{\text{к}} = 20 \text{ Ом}.$$

Опір кабельних ліній, що живлять ТП потужністю 1600 кВА

$$r_{\text{кЛЗ}} = r_0 \cdot l_{\text{кЛ}} \cdot \left(\frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} \right)^2 \cdot 10^3 ,$$

$$r_{\text{кЛЗ}} = 0,07 \cdot 0,3 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,034 ,$$

$$x_{\text{кЛЗ}} = x_0 \cdot l_{\text{кЛ}} \cdot \left(\frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} \right)^2 \cdot 10^3 ,$$

$$x_{кЛ3} = 0,022 \cdot 0,3 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right)^2 \cdot 10^3 = 0,011,$$

Опір трансформаторів на ТП потужністю 1600 кВА

$$r_{Т3} = \frac{\Delta P_{к}}{(S_{НОМ}^T)^2} \cdot (U_{НОМ}^{cp})^2 \cdot 10^3 ,$$

$$r_{Т3} = \frac{23,5 \cdot 10^3}{1600^2} \cdot 0,4^2 \cdot 10^3 = 1,468 ;$$

$$x_{Т3} = \sqrt{(10 \cdot U_{к})^2 - \frac{\Delta P_{к}}{(S_{НОМ}^T)^2} \cdot \frac{(U_{НОМ}^{cp})^2}{S_{НОМ}^T}} \cdot 10^3 ,$$

$$x_{Т3} = \sqrt{(10 \cdot 605)^2 - \frac{23,5 \cdot 10^3}{1600^2} \cdot \frac{0,4^2}{1600}} \cdot 10^3 = 6,04 .$$

Сумарні опори

$$r_{\Sigma} = r_{ПЛ1} + r_{кЛ2} + r_{кЛ3} + r_{Т3} + r_{к} ,$$

$$r_{\Sigma} = 0,035 + 0,07 + 0,034 + 1,468 + 20 = 21,607,$$

$$x_{\Sigma} = x_{ПЛ1} + x_{кЛ2} + x_{Т2} + x_{кЛ3} + x_{Т3} ,$$

$$x_{\Sigma} = 0,035 + 0,022 + 1,05 + 0,011 + 6,04 = 7,158 ,$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{(r_{\Sigma})^2 + (x_{\Sigma})^2}$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{21,607^2 + 7,158^2} = 22,761$$

Початковий струм К.З.

$$I_{к4} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma}} \text{ кА},$$

$$I_{к4} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 22,761} = 10,14 \text{ кА}.$$

Ударний струм К.3.

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{c,к4}'' \text{ кА},$$

$$i_y = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,14 = 14,340 \text{ кА},$$

Таблиця 9.1

Результати розрахунків струмів короткого замикання

Т-ки к.з.	Місце к.з.	Базисні умови			Зак- лючні опори	Початкові струми, кА I_c	Аперіодична складова, кА i_a	Ударні струми, кА i_y	Тепловий імпульс, кА ² ·с
		U_6 , кВ	S_6 , МВА	I_6 , кА					
К1	КЛ1	115	100	0,502	0,536	0,932	0,178	2,372	0,386
К2	Шини ТП 10 кВ	10,5	100	5,5	1,607	3,422	0,654	8,671	5,21
К3	НН ТП1	0,4	-	-	22,761	10,14	—	14,340	—

10. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

10.1. Вибір основних комутаційних апаратів

Вибір вимикачів 110 кВ ГПП

Вимикачі вибираємо по параметрах нормального режиму:

$$\left. \begin{array}{l} U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{НОМ.мер}} \\ I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{НОМ.розр}} \end{array} \right\}$$

а потім перевіряємо за критеріями аварійного режиму:

$$\left. \begin{array}{l} I_{\text{відкл}} \geq I_{\text{роб.відкл}} \\ i_{\text{макс}} \geq i_{\text{у}} \\ B_{\text{к}} = I_t^2 \cdot t \geq I_{\infty}^2 \cdot t \end{array} \right\}$$

За номінальними параметрами $U_{\text{НОМ}} = 110\text{кВ}$ і $I_{\text{НОМ}} = 162,45\text{ А}$ вибираємо вимикач ВБК-110Б-20/1000У1 з такими даними:

$$U_{\text{НОМ}} = 110\text{кВ};$$

$$I_{\text{НОМ}} = 1000\text{ А};$$

$$I_{\text{НОМ.откл}} = 20\text{ кА};$$

$$I_{\text{Мах}} = 52\text{ кА};$$

$$I_t = 20\text{ кА};$$

$$T = 3\text{с.}$$

Перевірка за (1.40):

$$20\text{ кА} > 0,932\text{ кА}$$

$$52\text{ кА} > 2,372\text{ кА}$$

$$20^2 \cdot 3 = 1200 > 0,386^2 \cdot 2 = 0,297\text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Вибір роз'єднувачів 110 кВ

Роз'єднувачі вибираємо по номінальних параметрах аналогічно вимикачам.

Вибираємо роз'єднувачі РНД-3-110/1000У1 з такими даними:

$$U_{\text{НОМ}} = 110\text{кВ}; I_{\text{НОМ}} = 1000\text{ А}; i_{\text{мак}} = 80\text{ кА}; I_t = 31,5\text{ кА}; t = 4\text{ с.}$$

Перевіряємо по (1.40):

$$80 \text{ кА} > 2,372 \text{ кА}$$

$$31,5^2 \cdot 4 = 3969 > 0,386^2 \cdot 2 = 0,297 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Вибір вимикачів 10 кВ

Вибір вимикачів на вторинній стороні ГПП

Розрахунковий струм на вторинній стороні ГПП складає:

$$I_p = \frac{S_i}{2\sqrt{3}U_i}$$

$$I_p = \frac{19037,2}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 549,55 \text{ А}$$

Вибираємо вимикачі ВВ/TEL-10 з наступними даними:

$$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}, I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}, I_{\text{НОМ.откл}} = 12,5 \text{ кА}, I_{\text{max}} = 32 \text{ кА}, I_t = 20 \text{ кА}, t = 4 \text{ с.}$$

Перевіряємо обрані вимикачі за умовами (1.40):

$$12,5 \text{ кА} > 3,422 \text{ кА}$$

$$32 \text{ кА} > 8,671 \text{ кА}$$

$$12,5^2 \cdot 4 = 625 > 5,21^2 \cdot 2 = 54,288 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Вибір вимикачів навантаження напругою 10 кВ цехових ТП

Вимикачі навантаження вибираємо по номінальних параметрах аналогічно вимикачам.

Вибираємо вимикачі навантаження ВНЗ-17 з такими даними:

$$U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А};$$

$$i_{\text{откл}} = 400 \text{ А};$$

$$I_t = 14 \text{ кА};$$

$$t = 1 \text{ с.}$$

Перевіряємо по (1.40):

$$400 \text{ А} > 389,56 \text{ А}$$

$$14^2 \cdot 1 = 196 > 5,21^2 \cdot 2 = 54,288 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Вибір запобіжників напругою 10 кВ цехових ТП

Запобіжники вибираємо по номінальних параметрах аналогічно вимикачам.

Вибираємо запобіжники ПКТ-10-400-40УЗ з параметрами:

$$U_{\text{НОМ}} = 10\text{кВ},$$

$$I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А},$$

$$I_{\text{НОМ.откл}} = 40 \text{ кА}.$$

Вибір апаратів захисту мережі 0.4 кВ

Згідно з ПУЕ, як апарати захисту мереж застосовуються автоматичні вимикачі або запобіжники.

Апарати захисту слід встановлювати в місцях мережі, де переріз провідника зменшується, а також у місцях приєднання провідників, що захищаються, до живильної лінії.

Запобіжники мають встановлюватися на всіх незаземлених полюсах або фазах. Установлення запобіжників у нульових робочих провідниках заборонено. При захисті мереж з глухо заземленою нейтраллю розчеплювачі автоматичних вимикачів мають встановлюватися в усіх незаземлених провідниках.

Апарати захисту за своєю вимикаючою здатністю мають відповідати максимальному значенню струму короткого замикання на початку ділянки, що захищається, електричної мережі.

Номінальні струми плавких вставок і струми розчеплювачів автоматичних вимикачів слід обирати за розрахунковими струмами ділянок мережі, чи за номінальними струмами електроприймачів. Причому апарати захисту не повинні вимикати електроустановки при короткочасних перевантаженнях (пускові струми, пікові струми тощо).

Умови вибору автоматичних вимикачів:

° За номінальною напругою:

$$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{НОМ.мер}};$$

де $U_{\text{НОМ.мер}}$ - номінальна напруга мережі, в якій застосовується вимикач.

° За номінальним струмом розчеплювача:

$$I_{\text{ном.розч}} \geq I_{\text{розч}}$$

де $I_{\text{розч}}$ – розрахунковий струм ділянки мережі, що захищається.

° За номінальним струмом автоматичного вимикача:

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.розр}}$$

° За умовою спрацювання при короткочасних перевантаженнях:

$$I_{\text{спр}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пік}}$$

- За умовою спрацювання при однофазному короткому замиканні:

$$I_{\text{к}}^1 \geq 3 \cdot I_{\text{спр}}$$

Якщо автоматичний вимикач має тільки електромагнітний розчеплювач,
то

$$I_{\text{к}}^1 \geq 1,1 \cdot I_{\text{спр}}$$

Перевірку за умовою спрацювання при однофазному короткому замиканні здійснимо наступним чином. Визначимо струм КЗ для найбільш віддаленого споживача, який живиться проводом незначного перерізу (1,5 мм). Цей струм буде мінімальним із всіх струмів КЗ, тому якщо захист спрацює на його значення, то отже спрацює і на більші струми.

Для трансформаторів максимальний струм розчеплення:

$$I_{\text{розч}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3403 \text{ А.}$$

Для секційного вимикача:

$$I_{\text{розч}} = \frac{(0,7 \div 0,8) \cdot S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{0,7 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1701 \text{ А.}$$

Вибираємо автоматичні вимикачі серії ВА45. Автоматичні вимикачі показані на листі № 2 графічної частини.

10.2. Вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги

10.2.1. Вибір вимірювальних трансформаторів струму

Трансформатори струму являють собою однофазні електричні пристрої та вибираються у двофазному чи трифазному виконанні для кожного приєднання усіх розподільчих пристроїв конкретної системи електропостачання. У зв'язку з цим вимірювальні трансформатори струму з'єднуються за схемою неповної або повної зірки.

Вибираємо вимірювальні трансформатори струму в колі РП на стороні 10 кВ.

Вибираємо трансформатор ТЛ -10.

Паспортні дані :

$$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{НОМ1}} = 400 \text{ А};$$

$$I_{\text{НОМ2}} = 5 \text{ А};$$

$$z_{\text{НОМ}^2} = 0,8 \text{ Ом};$$

$$k_{\text{Т}} = 0,5.$$

Таблиця 10.1

Прилад	Тип приладу	Ф. «А», ВА	Ф. «В», ВА	Ф. «С», ВА
Амперметр	Э -351	-	0.5	-
Варметр	Д - 305	0.5	0.5	0.5
Лічильник активної та реактивної енергії	«Альфа»	3.6	3.6	3.6
Разом		4.6	4.6	4.6

Визначасмо опір найбільш завантаженої фази:

$$z_{\Sigma\text{прил}} = \frac{S_{\Sigma\text{прил}}}{I_{\text{ном.2}}^2} = \frac{4,6}{5^2} = 0,184 \text{ Ом}$$

Розрахунок максимального значення опору проводів, які з'єднують трансформатор струму з приладами, при роботі його в заданому класі точності:

$$z_{\text{прил}} = z_{\text{ном}^2} - z_{\Sigma\text{прил}} - z_{\text{к}} [\text{Ом}],$$

де $z_{\Sigma\text{прил}}$ - максимальний струмовий опір котушок приладів найбільш завантаженої фази;

$z_{\text{ном}^2}$ - номінальний опір вторинної обмотки ($z_{\text{ном}^2} = 0,8 \text{ Ом}$);

$z_{\text{к}}$ - опір контактів ($z_{\text{к}} = 0,1 \text{ Ом}$).

$$z_{\text{прил}} = 0,8 - 0,184 - 0,1 = 0,516 \text{ Ом.}$$

Мінімально можливий переріз з'єднувальних проводів:

$$S_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{р}}}{z_{\text{прил}}} = \frac{0,028 \cdot 60 \cdot \sqrt{3}}{0,516} = 5,6 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо стандартний переріз 6 мм^2 .

Перерахунок опору з'єднувальних проводів :

$$z_{\text{пр}} = \frac{0,028 \cdot 60 \cdot \sqrt{3}}{16} = 0,29 \text{ Ом.}$$

Розрахунок навантаження лінії:

$$z_{\text{роз}} = z_{\text{прил}} + z_{\text{пр}} + z_{\text{к}} = 0,516 + 0,181 + 0,1 = 0,797 \text{ Ом.}$$

Оскільки номінальне навантаження трансформатора струму більше ніж розрахункове:

$$z_{\text{ном}} \geq z_{\text{роз}} [\text{Ом}]$$

$$0,8 \text{ Ом} \geq 0,797 \text{ Ом.}$$

то вибраний трансформатор струму працюватиме в даному класі точності.

Схема підключення вимірювальних трансформаторів струму представлена на рис. 10.1.

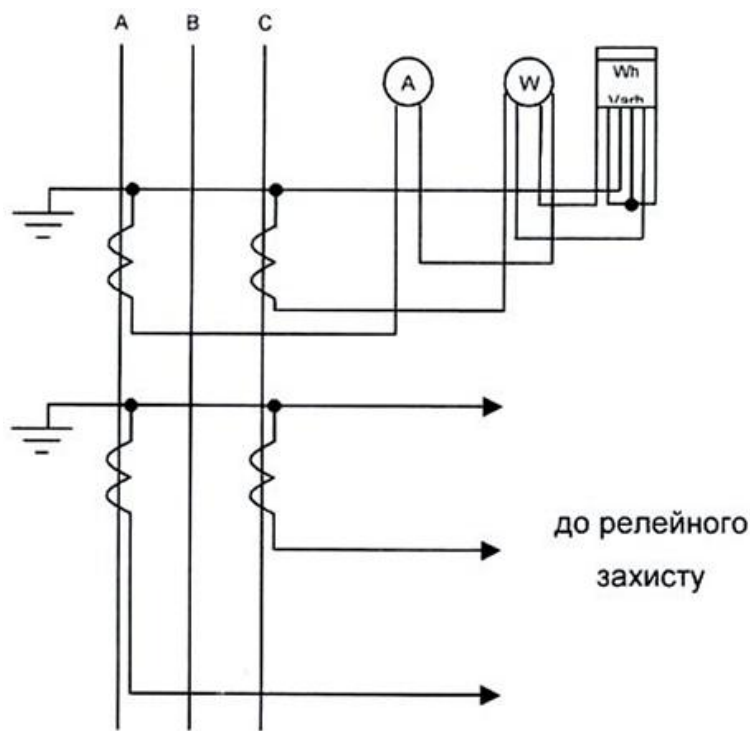


Рис. 10.1. Схема підключення вимірювальних трансформаторів струму

10.2.2. Вибір вимірювального трансформатора напруги

Для живлення лічильників, вольтметрів та пристроїв релейного захисту застосуємо вимірювальний трансформатор напруги типу НТМИ-10-66УЗ.

Вимірювальний трансформатор напруги призначений для пониження високої напруги до стандартного значення - 100 або л/3 -100, від первинних кіл високої напруги для кіл вимірювання та релейного захисту.

Паспортні дані НТМИ -10-66УЗ:

$$U_{\text{НОМ1}} = 100 \text{ кВ}$$

$$U_{\text{НОМ2}} = 10 \text{ кВ}$$

$$S_{\text{НОМ2}} = 120 \text{ ВА}$$

Трансформатори напруги встановлюємо на кожній секції збірних шин 10кВ.

Умова роботи вимірювального трансформатора напруги в класі точності 0.5.

$$S_{\text{НОМ2}} \geq S_{\text{P}}, [\text{В А}].$$

Таблиця 10.2

Прилад	Тип приладу	Потужність однієї котушки, В А	Кількість приладів, шт.	Сумарна потужність, В А
Ватметр	Д-305	2	1	4
Лічильник активної та реактивно енергії	«Альфа»	-	6	22
Вольтметр	Э-335	2	1	2
Разом				28

Розраховуємо сумарне навантаження вторинних обмоток вимірювального трансформатора напруги.

$$S_{\Sigma 2} = S_{\text{ПР}} + S_{\text{р.з.}}, [\text{В А}],$$

де $S_{\text{ПР}}$ — навантаження приладів;

$S_{\text{р.з.}}$ — навантаження оперативних кол.

$$S_{\Sigma 2} = 28 + 90 = 118 \text{ В А}$$

Оскільки, умова:

$$S_{\text{НОМ2}} = 120 \text{ В А} \geq S_{\text{р}} = 118 \text{ В А.}$$

виконується, то трансформатори напруги задовольняють умову перенавантаження і можуть бути прийняті до установки.

Визначаємо втрати напруги в з'єднувальних проводах.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{НОМ}} \cdot z_{\text{пр}}}{U_{\text{НОМ2}}} \cdot 100\% \leq 0.5\%,$$

$$\text{де } I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\Sigma 2}}{U_{\text{НОМ2}}} = \frac{118}{100} = 1.18 \text{ А};$$

$$z_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{р}}}{S_{\text{ст}}} = \frac{0,028 \cdot 40}{6} = 0,186 \text{ Ом};$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,18 \cdot 0,186}{100} \cdot 100\% = 0,38\% \leq 0,5\%$$

Оскільки умова

$$\Delta U \leq 0,5\%$$

виконується, приймаємо провід стандартним перерізом $S_{ст.} = 6 \text{ мм}^2$.

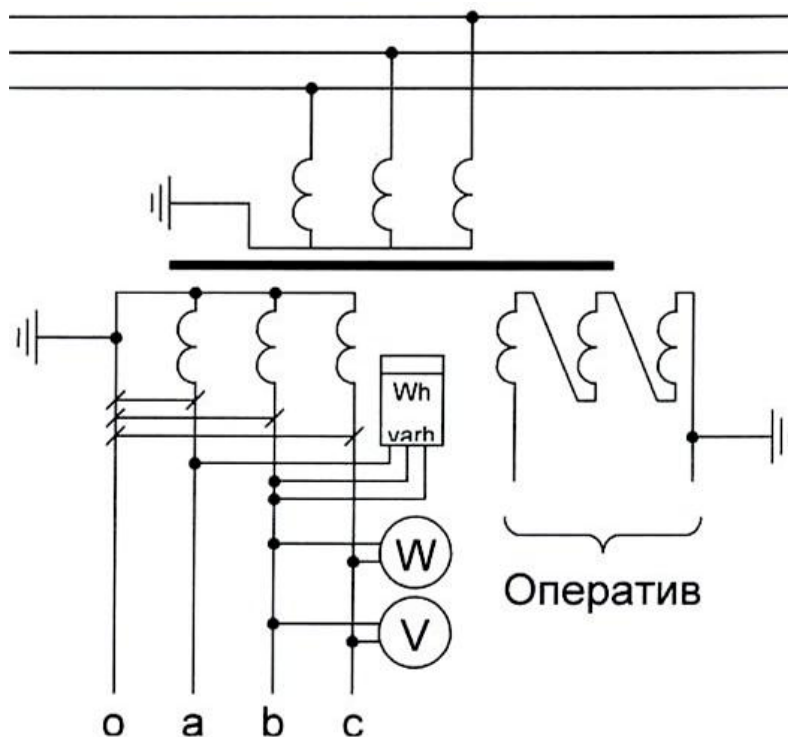


Рис. 10.2. Схема підключення оперативних ланцюгів та приладів до трансформатора напруги

11. Релейний захист та автоматика (РЗА)

Загальні вимоги до релейного захисту в мережах 10/0,4 кВ

До релейного захисту висувають наступні вимоги:

- **Надійність** – безвідмовна робота у випадку від нормального режиму.
- **Селективність (вибірковість)** – відключення тільки тієї мінімальної частини або елемента установки, що викликала порушення режиму;
- **Чутливість** – швидка реакція на визначені, заздалегідь задані відхилення від нормальних режимів, іноді самі незначні;

Надійність захисту забезпечується як правильним вибором схеми й апаратів, так і правильною експлуатацією, що передбачає періодичні профілактичні перевірки й іспити.

По своєму призначенню реле розділяють на реле керування і реле захисту. Реле керування звичайно включають безпосередньо в електричні ланцюги і спрацьовують вони при відхиленнях від технологічного процесу або змінам у роботі механізмів. Реле захисту включають в електричні ланцюги через вимірювальні трансформатори і тільки іноді безпосередньо. Вони спрацьовують при неформальних чи аварійних режимах роботи установки.

Для живлення релейного захисту та автоматики, управління вимикачами, аварійної і попереджувальної сигналізації вибираємо в якості джерела живлення постійний струм на номінальну напругу 220 В. для забезпечення надійного живлення оперативним струмом відповідних пристроїв мережа ділиться на різні ділянки, для того щоб пошкодження на одному з них не порушувало роботу інших категорій. Найбільш відповідальними із споживачів є ланцюги оперативного струму релейного захисту, автоматики та управління вимикачами.

При виборі типів релейного захисту (РЗ) слід керуватися тим, що пристрої РЗ мають забезпечувати автоматичне вимикання елемента, що захищається, на випадок його пошкодження, яке становить безпосередню безпеку для нього чи для всієї установки, а також у разі виникнення умов, що загрожують пошкодженням (різке зниження рівня масла у трансформаторі) або порушення нормального режиму роботи електроустановки.

Необхідна швидкість спрацювання реле визначається проектом у залежності від характеру технологічного процесу. Іноді для зведення до мінімуму збитку від виниклих ушкоджень релейний захист повинний забезпечувати повне відключення протягом сотих часток секунди.

Якщо порушення нормального режиму роботи чи пошкодження не являють безпосередню безпеку для електроустановки, то пристрої релейного захисту мають забезпечувати сигналізацію, яка вказує на виникнення цих режимів.

При виборі джерел оперативного струму слід враховувати що постійний оперативний струм від акумуляторних батарей використовується на потужних підстанціях при наявності масляних вимикачів великої потужності, а також тоді, коли акумуляторні батареї необхідні крім живлення кіл оперативного струму для інших потреб (наприклад, на заводських ТЕЦ і т. ін.).

Частіше використовується змінний оперативний струм. Як джерела змінного оперативного струму використовуються вимірювальні трансформатори струму, напруги та власних потреб. Трансформатори струму можуть бути надійними джерелами живлення захистів тільки від коротких замикань, що супроводжуються значними струмами пошкодження та непридатні для живлення оперативних кіл у робочих режимах, також однофазних замиканнях на землю. Трансформатори напруги та власних потреб, навпаки, непридатні для живлення захистів при коротких замиканнях і можуть

застосовуватися для керування у нормальних режимах, в також для захисту від пошкоджень, що не супроводжуються значними зниженнями напруги перевантаження, виткові замикання трансформатора, зниження рівня масла. Для живлення кіл захисту уразі відсутності як напруги, такі струму у силових колах (наприклад АПВ) використовують схеми з попередньо зарядженими конденсаторами. Зарядка конденсаторів здійснюється через зарядний пристрій від трансформаторів напруги чи власник потреб. Ці пристрої придатні для вимикання вимикачів практично а будь-якими приводами. Основним недоліком їх є імпульсність дії що обумовлює неможливість їх застосування для живлення елементів, які працюють зі значним уповільненням. В основному вони використовуються для вимкнення вимикачів і віддільників .

Як джерело випрямного оперативного струму використовуються випрямляючі блоки живлення, що являють собою пристрої, які підключають до трансформаторів струму, напруги чи власних потреб. Вони випрямляють струм і забезпечують постійну напругу, що використовується для живлення оперативних кіл. Бувають випрямлячі блоки живлення струму, напруги та комбіновані. Джерела випрямленого змінного струму можуть використовуватися для живлення захистів, що реагують на будь-які види пошкоджень і ненормальні режими роботи. Недоліками таких блоків є недостатня потужність для живлення котушок вмикавання електромагнітних приводів і одночасного вимкнення кількох вимикачів а також неможливість їх використання при вимкненні джерела живлення.

При виборі схеми релейного захисту треба керуватися типовим схемними рішеннями. Проте слід пам'ятати про особливості конкретного РЗ, що накладаються використовуваною комутаційною апаратурою, фактичне джерело оперативного струму, віддаленість підстанції від джерела живлення тощо.

Витримка часу максимального струмового захисту вибирається з умови узгодження із захистом попередньої ділянки. При узгодженні із захистом, що має незалежну витримку часу, ступінь часу обирається 0,35...0,6 с при

узгодженні із захистом, що має залежну характеристику, - 0,6 ...1 с. При узгодженні зі швидкодіючим захистом ступінь часу обирається 0,35...0,4 с.

Методика вибору струмів спрацьовування захистів визначається типом захистів і вимогами, що ставляться до її чутливості й надійності. Наприклад, для спрацьовування вибирається з умов відстроювання від кидків струму намагнічування при вмиканні трансформатора й небалансу за зовнішніх коротких замикань. Струм спрацьовування максимального струмового захисту відстроюється від максимальних струмів навантаження.

Загальні принципи побудови диференційного струмового захисту силових трансформаторів.

Поздовжній диференційний струмовий захист - основний швидкодіючий захист трансформаторів з обмоткою ВН 3 кВ та вище.

Згідно з правилами влаштування електроустановок рекомендується використовувати диференційний захист на поодинокі працюючих трансформаторах потужністю $S_{\text{ном}} \geq 6,3 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ і на трансформаторах потужністю $S_{\text{ном}} \geq 4 \text{ МВ} \cdot \text{А}$, що працюють паралельно, Диференційний захист встановлюється також на трансформаторах потужністю $S_{\text{ном}} = 1...4 \text{ МВ} \cdot \text{А}$. у випадку, якщо більш простий захист (струмова відсічка, максимальний струмовий захист) не задовольняє умовам чутливості або має більшу витримку часу (понад 0,5 с).

Розглянемо більш докладно релейний захист і автоматику знижувального трансформатора. Знижувальний трансформатор повинен мати максимальний струмовий захист від надструмів, узгоджений за струмом і часом з наступними елементами схеми.

Окрім максимального струмового захисту від надструмів силовий трансформатор, залежно від потужності повинен мати газовий захист, що забезпечує його вмикання при пошкодженні на стороні вищої напруги. Якщо на підстанції передбачене чергування персоналу чи передача попереджувальних і аварійних сигналів на який-небудь черговий пункт, то встановлюють захист

трансформатора від перевантаження, який діє на сигнал з витримкою часу більшою за витримку часу інших захистів на об'єкті, як правило, 8...10с.

11.1 РЗА трансформаторів цехових ТП та максимальний струмовий захист

Максимальний струмовий захист (МСЗ)- Найпростіший і надійний захист, що широко застосовується для захисту трансформаторів.

Визначаємо номінальний струм на стороні 10 кВ:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,43 \text{ А.}$$

Трансформатори струму прийняті з коефіцієнтом трансформації 50/5, схема захисту неповна зірка; $K_{\text{СХ}}=1$.

Струм спрацювання захисту:

$$I_{\text{СЗ}} = \frac{K_{\text{Над}} \cdot (I_{\text{НОМ}} \cdot K_{\text{СЗ}} + I_{\text{НОМ}})}{K_{\text{ПОВ}}} = \frac{1,2 \cdot (14,43 \cdot 1,5 + 14,43)}{0,85} = 50,93$$

де $K_{\text{Н}}=1,2$ -коефіцієнт надійності; $K_{\text{СЗ}}=1,5$ -коефіцієнт само запуску; $K_{\text{П}}=0,85$ -коефіцієнт повернення реле.

$$K_{\text{Ч}} = \frac{I_{\text{к.мін}}}{I_{\text{СЗ}}} = \frac{194}{50,93} = 3,8 > 1,5,$$

де $I_{\text{к.мін}}$ - мінімально ймовірне значення струму при кз на стороні НН трансформатора, приведене до сторони ВН.

$$I_{\text{к.мін}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{к.макс}}^{\text{НН}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5600 \cdot \frac{0,4}{10} = 194 \text{ А}$$

Уставка реле струму:

$$I_{\text{РС}} = \frac{I_{\text{СЗ}} \cdot K_{\text{СХ}}}{K_{\text{ТС}}} = \frac{50,93 \cdot 1}{10} = 5,09 \text{ А.}$$

Обираємо реле типу - Siemens Siprotek 5.

Установка часу захисту (реле):

$$t_{c31} = t_{\max} + \Delta t.$$

Ступінь селективності.

$$\Delta t = 0,12 + 0,12 + 0,08 + 0,1 = 0,42 \approx 0,4 \text{ с},$$

де 0,12- похибка двох мікропроцесорних реле Siemens Siprotek 5; 0,08 - час до згасання дуги на контактах вимикача; 0,1- запас часу.

Тоді

$$t_{c31} = 1,2 + 0,4 = 1,6 \text{ с};$$

$$t_{c32} = 1,6 + 0,4 = 2 \text{ с}.$$

Розрахунок миттєвого діючого струмового захисту (відсічки)

Максимальний струм на стороні 10 кВ:

$$I_{\max} = \frac{S_{\text{НОМ}} \cdot K_{\text{пер}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}} = \frac{250 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 10} = 20,2 \text{ А}.$$

Відсічка – найбільш простий з диференційних захистів трансформаторів. Вона виконується на базі мікропроцесорних реле Siemens Siprotek 5. При цьому відстройка захисту від піку струму намагнічування здійснюється за допомогою невеликої витримки. Справа в тому, що пік миттєвого значення струму намагнічення швидко знижується від початкового рівня $(6...8)I_{\text{НОМ}}$ до $(2...3)I_{\text{НОМ}}$ усього за 0,04...0,06 с. Приблизно такий самий час потрібен для спрацювання реле. В результаті приблизно з запасом 1,5 разів приймається

$$I_{\text{Від}}^{\text{нам}} = K_{\text{Від}}^{\text{нам}} \cdot I_{\max} = 4,5 \cdot 20,2 = 90,9$$

Також відстройка відсічки здійснюється за максимальним значенням струму к.з. на стороні НН трансформатора

$$I_{\text{СК}}^{\text{кз}} = K_{\text{Від}} \cdot I_{\text{к.тmax}}^{\text{НН}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} = 1,2 \cdot 5600 \cdot \frac{0,4}{10} = 268,8 \text{ А}.$$

З двох значень $I_{\text{сз}}^{\text{нам}}$ та $I_{\text{сз}}^{\text{кз}}$ вибираємо найбільше.

Перевіримо коефіцієнт чутливості:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін}}^{\text{ВН}}}{I_{\text{сз}}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 857}{268,8} = 2,76 > 1,5.$$

де $I_{\text{к.мін}}^{\text{ВН}}$ - мінімально ймовірне значення струму при короткому замиканні на стороні ВН трансформатора.

Знаходимо вторинний струм:

$$I_{\text{рс}} = \frac{I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{тс}}} = \frac{268,8 \cdot 1}{10} = 26,88 \text{ А.}$$

Так як, $K_{\text{ч}} > 1,5$ диференційна струмова відсічка прийнята.

Захист від перевантажень

Струм спрацювання сигналізації:

$$I_{\text{сиг}} = \frac{K_{\text{від}} \cdot K_{\text{сз}}}{K_{\text{п}}} \cdot I_{\text{ном}} = \frac{1,2 \cdot 1,35}{0,85} \cdot 14,43 = 27,5 \text{ А.}$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{\text{рел}} = \frac{I_{\text{сиг}} \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{тс}}} = \frac{27,5 \cdot 1}{10} = 2,75 \text{ А.}$$

Час спрацювання сигналізації:

$$T_{\text{сиг}} = t_{\text{сз}}^{\text{МСЗ}} + \Delta t = 2 + 0,4 = 2,4 \text{ с,}$$

де $\Delta t = 0,4 \text{ с}$ - ступінь селективності.

Таблиця 10.1

Струм спрацювання		Коефіцієнт	Час спрацювання захисту
захисту	реле		
$I_{\text{сз}}$	$I_{\text{рел}}$	$K_{\text{ч}}$	$t_{\text{сз}}$
А	А	-	с
Відсічка			
90,9	26,88	2,76	-
Максимальний струмовий захист (МСЗ)			
50,93	5,09	3,8	2
Захист від перевантажень (з дією на сигнал)			
27,5	2,75	-	2,4

12. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Моделювання електроенергетичних мереж із застосуванням програмного забезпечення Siemens PSS SINCAL

12.1. Світові тренди в електроенергетиці

Енергетичні системи сьогодні переживають стрімкі та глибокі перетворення. Змінюється значення окремих джерел електричної енергії, а також підходи до її виробництва, передачі й розподілу. Зростання децентралізованих потужностей ускладнює управління енергомережами, що зумовлює потребу у впровадженні сучасних засобів аналізу та моделювання для підтримання ефективних режимів їх роботи.



Рис. 12.1. Світова тенденція в електроенергетиці

Інфографіка демонструє, що майбутнє електроенергетики формується одночасним розвитком трьох взаємопов'язаних напрямів — електрифікації, децентралізації та цифровізації.

Сучасна енергетика переходить від централізованої, інерційної та вуглецево-ємної моделі до гнучкої, оптимізованої й орієнтованої на споживача системи.

- **Електрифікація** створює фундамент для скорочення викидів, переводячи ключові сектори економіки на електроенергію з чистих джерел.
- **Децентралізація** підвищує стійкість енергосистеми, оскільки поява великої кількості локальних генерацій та накопичувачів робить мережу менш залежною від великих електростанцій. Споживач перетворюється на «прос'юмера» — і виробника, і споживача.
- **Цифровізація** є обов'язковою умовою для ефективної інтеграції двох попередніх трендів. Без цифрового моніторингу, прогнозування та автоматизації сучасна мережа не здатна стабільно працювати з великою кількістю розподілених джерел і мінливим попитом.

У взаємодії ці тренди забезпечують перехід до розумної, низьковуглецевої та гнучкої енергосистеми, здатної адаптуватися до викликів кліматичної політики, зростання споживання та необхідності підвищення енергоефективності.



Рис. 12.2 Перехід від традиційної системи електропостачання до розподіленої моделі генерації та споживання енергії

На рисунку показано перехід від традиційної системи електропостачання до розподіленої моделі генерації та споживання енергії. Зображення складається з двох частин — традиційної та розподіленої систем.

1. Традиційна система енергопостачання

У лівій частині рисунка видно:

- великі централізовані електростанції (ТЕС, ГЕС, АЕС), що забезпечують генерацію;
- магістральні лінії передачі електроенергії;
- окремо позначені об'єкти розподілу, де електрика подається до споживачів;
- споживачі й об'єкти інфраструктури знаходяться в кінці ланцюга.

Ця модель показана як лінійна: від великої генерації → через мережу → до кінцевих споживачів. Потоки енергії рухаються в одному напрямку.

2. Розподілена система енергопостачання

У правій частині наведено сучасну розподілену модель, яка містить:

- різноманітні джерела відновлюваної енергії (сонячні панелі, вітрові турбіни);
- промислових та побутових споживачів, які також можуть виступати продуцерами енергії (prosumer);
- накопичувачі енергії, мікромережі, зарядні станції тощо;
- значно більше різноспрямованих потоків електроенергії.

Система виглядає багаторівневою та взаємопов'язаною, з енергією, що може надходити з багатьох локальних джерел до мережі та від мережі — до споживачів.

12.2. Теоретичне ознайомлення з PSS®SINCAL

PSS® SINCAL - це програмний комплекс компанії *Siemens*, призначений для моделювання, аналізу та планування електроенергетичних систем. Його використовують оператори мереж, інженери та проектант для дослідження поведінки мережі в різних режимах.

Ключові можливості PSS® SINCAL

- Аналіз електричних мереж: розрахунок ustalених режимів, потоків потужності, коротких замикань, перехідних процесів.
- Моделювання розподільчих, передавальних та промислових мереж.
- Оцінка надійності та стійкості електроенергетичних систем.
- Моделювання інтеграції ВДЕ (сонячні, вітрові станції), мікромереж і систем накопичення енергії.
- Оптимізація мережі: компенсація реактивної потужності, вибір налаштувань реле, аналіз втрат.
- Підтримка мереж різних типів: електричних, газових, теплових, водопровідних (як комплексна інфраструктурна платформа).

Де застосовується

- енергетичні компанії та оператори систем розподілу/передачі;
- проектні організації;
- промислові підприємства;
- навчальні та дослідницькі інститути.

PSS®SINCAL - це програмний комплекс для моделювання енергосистем, призначений для планування, аналізу та дослідження всіх типів електричних мереж: магістральних, розподільчих, промислових, залізничних, а також систем із відновлюваною та розподіленою генерацією. Програму застосовують фахівці більш ніж у 90 країнах: інженери з передачі та розподілу, спеціалісти із захисту, консультанти в галузі енергетики, інженери з якості електроенергії, оператори електростанцій, фахівці з промислових мереж і систем розподіленої генерації, а також IT-спеціалісти та науковці.

Платформа розрахунку мереж PSS®SINCAL (Siemens Network Calculation) розроблена для аналізу електричних і трубопровідних систем, а також для зручного відображення та оформлення результатів моделювання. Вона поєднує три програмні модулі, що функціонують на спільній базі та мають єдиний інтерфейс: SINCAL, NETOMAC і PDMS. Основним інструментом аналізу є PSS®SINCAL; PSS®NETOMAC використовується як

графічний інтерфейс для розрахунків динамічної стійкості, тоді як PSS®PDMS відповідає за управління даними пристроїв релейного захисту.

PSS®SINCAL створена для потреб як промислових підприємств, так і комунальних служб, і широко застосовується у світі. Серед її користувачів — міські енергетичні служби, оператори розподільчих мереж, промислові компанії, електростанції та проєктні організації.

Протягом понад 50 років Siemens удосконалює PSS®SINCAL у тісній співпраці з користувачами. Компанія заслужено входить до числа провідних світових розробників програмного забезпечення для моделювання та аналізу енергомереж. Ще у 1960-х роках Siemens почала використовувати центральні ЕОМ для розрахунків у електромережах і швидко здобула репутацію одного з лідерів у цій сфері.

PSS®SINCAL надає інженерам потужні засоби для аналізу режимів роботи енергосистем та пошуку оптимальних конфігурацій мережі. Платформа дає змогу оцінювати вплив комутацій, змін навантаження та генерації, моделювати сценарії розвитку мережі, а також оптимізувати її структуру з урахуванням втрат та завантаження елементів.

Однією з головних переваг PSS®SINCAL є повна прозорість у роботі з даними: усі вихідні параметри, графічні схеми (географічні та однолінійні) та результати розрахунків зберігаються в реляційній базі даних. Користувач може вводити й редагувати інформацію як у самій програмі, так і через сторонні додатки, що значно спрощує керування даними та скорочує витрати на розробку додаткових інтерфейсів.

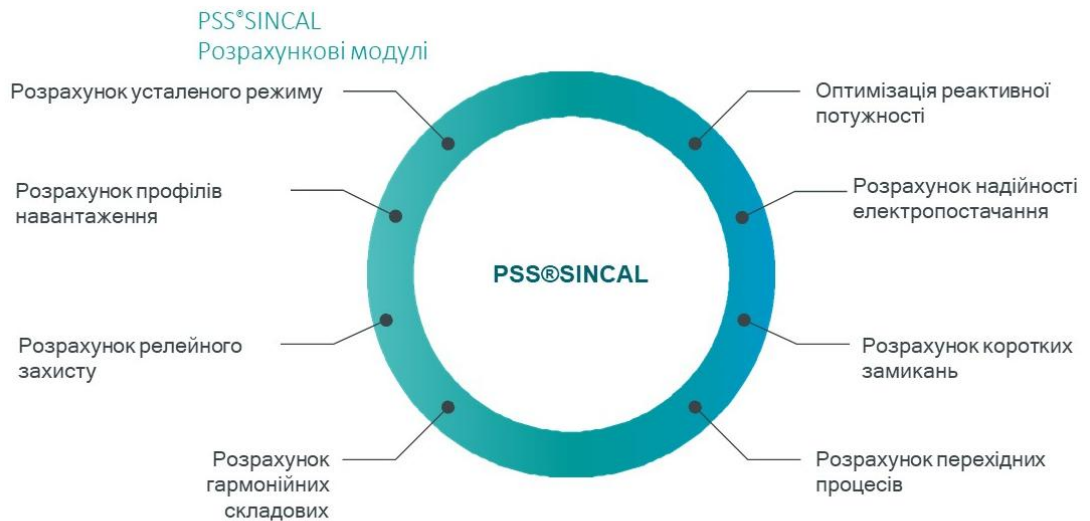


Рис.12.3. Розрахункові модулі PSS Sincal

Нижче подано **детальний опис кожного розрахункового модуля PSS@SINCAL**, наведеного на схемі. Це дає повне уявлення про те, які види аналізу може виконувати програма.

1. Розрахунок усталеного режиму (Load Flow Analysis)

Це один із базових модулів. Він визначає:

- розподіл активної та реактивної потужності в мережі,
- напруги у вузлах,
- потоки струмів по лініях,
- втрати електроенергії.

Дає можливість оцінити відповідність режиму нормативам, знайти перевантаження та вузли з проблемною напругою.

2. Розрахунок профілів навантаження

Модуль дозволяє моделювати:

- добові, тижневі та сезонні графіки навантаження,
- поведінку мережі під час пікових та мінімальних споживань,
- вплив ВДЕ (сонця, вітру) та динамічних споживачів.

Використовується для довгострокового планування та оцінки роботи мережі при змінних навантаженнях.

3. Розрахунок релейного захисту (Protection Coordination)

Функції модуля:

- вибір і налаштування уставок реле,
- координація і селективність роботи різних ступенів захисту,
- аналіз часу спрацювання та ізоляції аварійних ділянок,
- перевірка коректності захисних пристроїв.

Допомагає забезпечити безпечну та надійну роботу мережі.

4. Розрахунок гармонічних складових (Harmonics Analysis)

Модуль аналізує вплив нелінійних навантажень:

- визначає гармонічні струми та напруги,
- обчислює коефіцієнти спотворення THD,
- моделює фільтри для компенсації гармонік,
- оцінює вплив перетворювачів, електроприводів і ВДЕ.

Корисний для промислових об'єктів і міських мереж.

5. Розрахунок перехідних процесів (Transient Analysis)

Дозволяє моделювати:

- електромеханічні перехідні процеси,
- пуски двигунів,
- вмикання/вимикання елементів мережі,
- реакцію на короткі замикання.

Використовується для перевірки стійкості та оцінки роботи обладнання в динамічних режимах.

6. Розрахунок коротких замикань (Short-Circuit Analysis)

Проводить:

- розрахунок струмів КЗ для різних типів замикань (однофазне, двофазне, трифазне),
- визначення струмів у елементах мережі,
- перевірку обладнання на термічну та динамічну стійкість,
- оцінку селективності захистів.

Модуль відповідає стандартам IEC/IEEE.

7. Розрахунок надійності електропостачання (Reliability Analysis)

Аналізує:

- ймовірність відмов елементів,
- очікувані недовідпущені обсяги електроенергії,
- показники SAIDI, SAIFI, ENS,
- наслідки аварій та сценарії відмов.

Дає можливість оптимізувати експлуатацію та інвестиції в мережу.

8. Оптимізація реактивної потужності (Reactive Power Optimization)

Визначає найефективніші:

- режими роботи компенсаторів,
- налаштування трансформаторних перемикачів,
- конфігурацію мережі для зменшення втрат,
- методи уникнення перенапруг та зниження навантажень.

Мета - покращення якості напруги та зменшення енергетичних втрат.

Кожен модуль охоплює окремий аспект роботи енергосистеми: від режимів та аварій до якості електроенергії та захистів. У сукупності вони роблять **PSS@SINCAL** універсальним інструментом для аналізу, планування і модернізації електричних мереж.

Таблиця 12.1. Порівняльна таблиця модулів PSS®SINCAL

Модуль	Основна мета	Тип задач	Що отримує користувач
Розрахунок усталеного режиму	Аналіз нормальної роботи мережі	Потоки потужності, баланс енергії	Напруги у вузлах, струми, втрати, перевантаження
Профілі навантаження	Моделювання зміни навантаження з часом	Добові/сезонні графіки, сценарії	Вплив пікових навантажень, прогнозні режими
Релейний захист	Перевірка й налаштування захисних пристроїв	Координація захистів, селективність	Часові діаграми, параметри реле, селективність аварій
Гармонічні складові	Оцінка якості електроенергії	Аналіз спотворень, THD, фільтрація	Рівні гармонік, вплив нелінійних навантажень
Перехідні процеси	Аналіз динаміки системи	Пуски двигунів, комутації, аварії	Напруга/струм у часі, стійкість системи
Короткі замикання	Оцінка аварійних струмів	Одно-, дво-, трифазні КЗ	Струми КЗ, перевірка обладнання на стійкість
Надійність електропостачання	Оцінка работоздатності мережі	SAIDI, SAIFI, ENS, моделювання відмов	Ймовірність аварій, недовідпущена енергія
Оптимізація реактивної потужності	Мінімізація втрат і контроль напруги	Налаштування компенсаторів, перемикачів	Оптимальні режими, зниження втрат і перенапруг

Нижче подано структурований огляд переваг PSS®SINCAL у порівнянні з іншими популярними програмами (DIgSILENT PowerFactory, ETAP, NEPLAN тощо). Переваги базуються на практичному досвіді інженерів, особливостях функціоналу та позиціонуванні Siemens.

1. Глибока інтеграція з реальними мережами та стандартами

PSS®SINCAL широко використовується європейськими операторами систем передачі та розподілу (TSO/DSO).

Переваги:

- повна відповідність стандартам **ІЕС**, включаючи моделі обладнання та алгоритми розрахунків;
- точні розрахунки коротких замикань та захистів за європейською методологією;
- актуальні бібліотеки обладнання

2. Сильна платформа для моделювання розподільчих мереж

Порівняно з PowerFactory та ETAP, SINICAL особливо добре адаптований для:

- мереж **0,4–35 кВ**,
- моделей з великою кількістю розподілених джерел,
- балансування та оптимізації низьконапружових мереж.

Саме тому його часто використовують оператори міських електромереж та проектні компанії з Distribution Grid Planning.

3. Універсальність: електрика, газ, тепло, вода в одній платформі

Це одна з унікальних особливостей, якої немає у більшості конкурентів.

SINICAL дозволяє моделювати:

- електричні мережі,
- теплові мережі,
- газові мережі,
- водопровідні мережі.

Це особливо корисно для муніципалітетів та комплексних інфраструктурних проєктів (Smart City).

4. Високий рівень автоматизації та сценарного аналізу

В SINICAL дуже розвинені:

- сценарні моделі режимів,
- пакетна обробка сценаріїв,
- автоматизовані дослідження і оптимізація великих мереж.

Це значно прискорює роботу при плануванні на 5–20 років.

5. Сильні інструменти для аналізу надійності

На відміну від PowerFactory (який більше орієнтований на динаміку) та ETAP (орієнтований на промисловість), SINICAL має:

- розширені модулі SAIDI/SAIFI/ENS,
- аналіз варіантів реконфігурації,
- можливість оцінки впливу аварій на міські мережі.

Це робить SINCAL популярним серед міських енергокомпаній.

6. Проста візуалізація та робота зі схемами

Інтерфейс SINCAL часто вважають більш легким для навчання, ніж PowerFactory. Переваги:

- інтуїтивне креслення та редагування схем,
- гнучкі інструменти для групового редагування,
- зручна робота з великими моделями (міських районів, підстанцій).

7. Глибока інтеграція з продуктами Siemens

Оскільки Siemens - світовий лідер серед виробників обладнання, SINCAL часто використовують у проектах:

- підстанцій,
- Smart Grid,
- обліку та автоматизації.

Інтеграція з SCADA, системами АСКОЕ та іншими PSS-продуктами (PSS®E, PSS®ODMS) забезпечує цілісність цифрового двійника енергосистеми.

12.3. Побудова та параметризація моделі мережі

Створення моделі радіальної електричної мережі є базовим, але надзвичайно важливим етапом при проектуванні та аналізі енергетичних систем. У цьому процесі використовується програмне забезпечення PSS®SINCAL, яке містить широкий набір аналітичних модулів для вирішення задач розвитку, проектування й експлуатації енергетичних мереж. Сфера його застосування охоплює коротко- та довгострокове планування, аналіз пошкоджень, надійності, частотних характеристик, координацію релейного захисту, розрахунки статичної та динамічної стійкості, а також моделювання електромагнітних перехідних процесів (EMT). На початку моделювання створюється новий проект, у якому обираються одиниці вимірювання - правильний вибір зменшує ризик похибок при введенні параметрів.

Короткий опис пакета PSS Sincal

Запуск системи

Попередньо необхідно виконати запуск системи PSS Sincal Після відкриття командного вікна системи PSS Sincal потрібно запустити новий документ New.

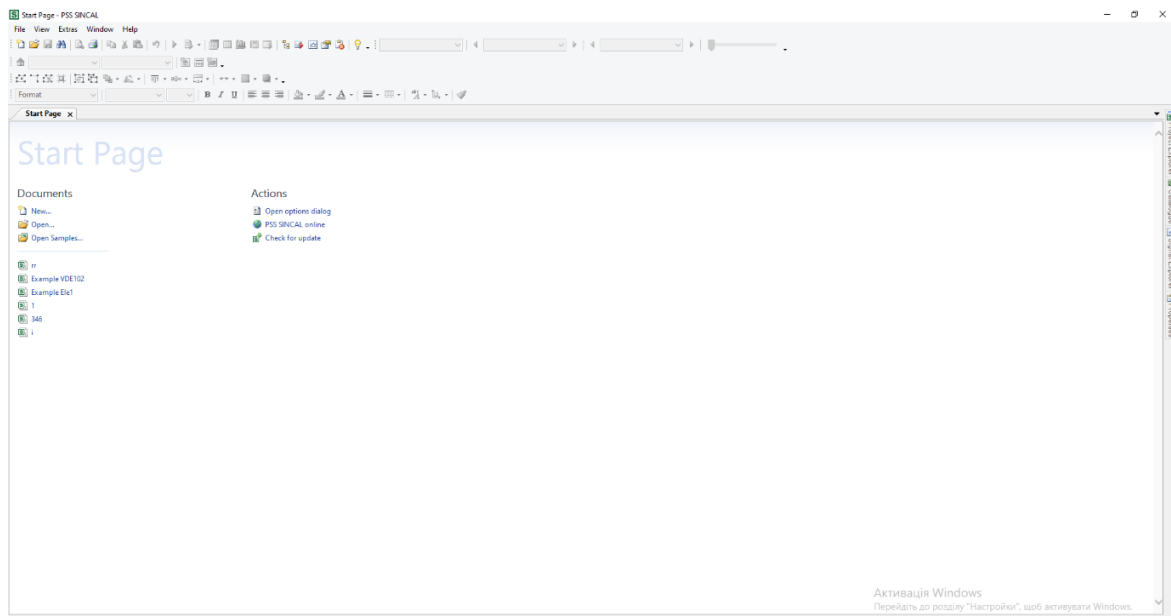


Рис.12.4. Основне вікно програми MATLAB

Після відкриття нового документа New, називаємо файл та формат (рис.12.5.)

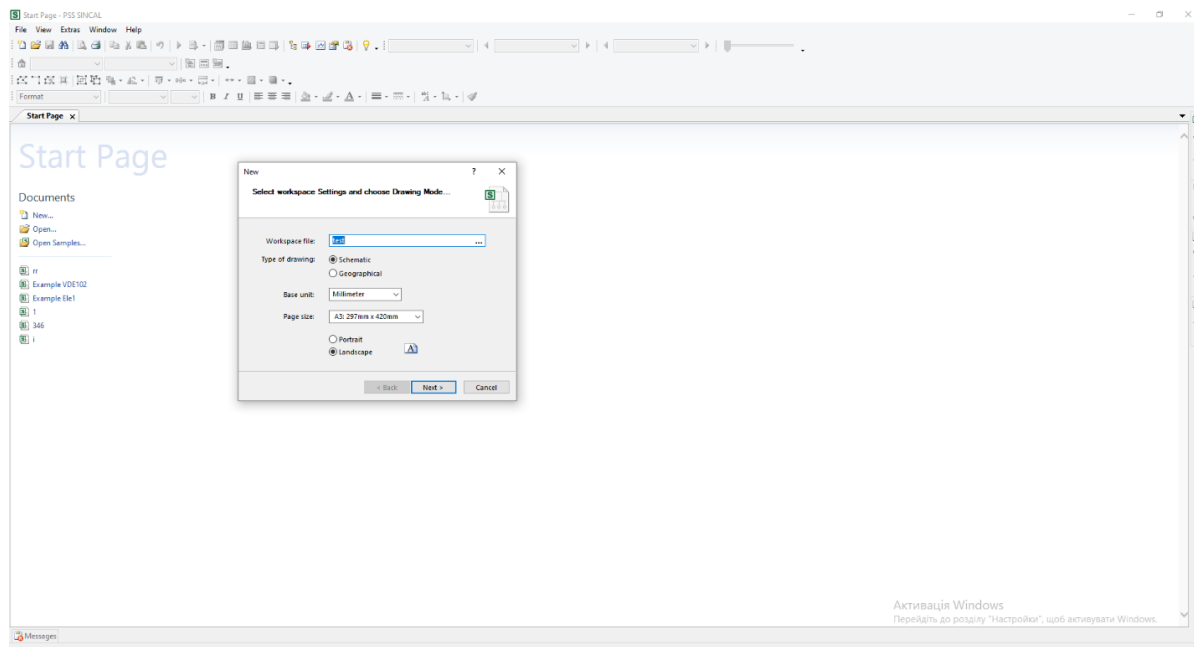


Рис.12.5. Вікно оглядача назви файлу

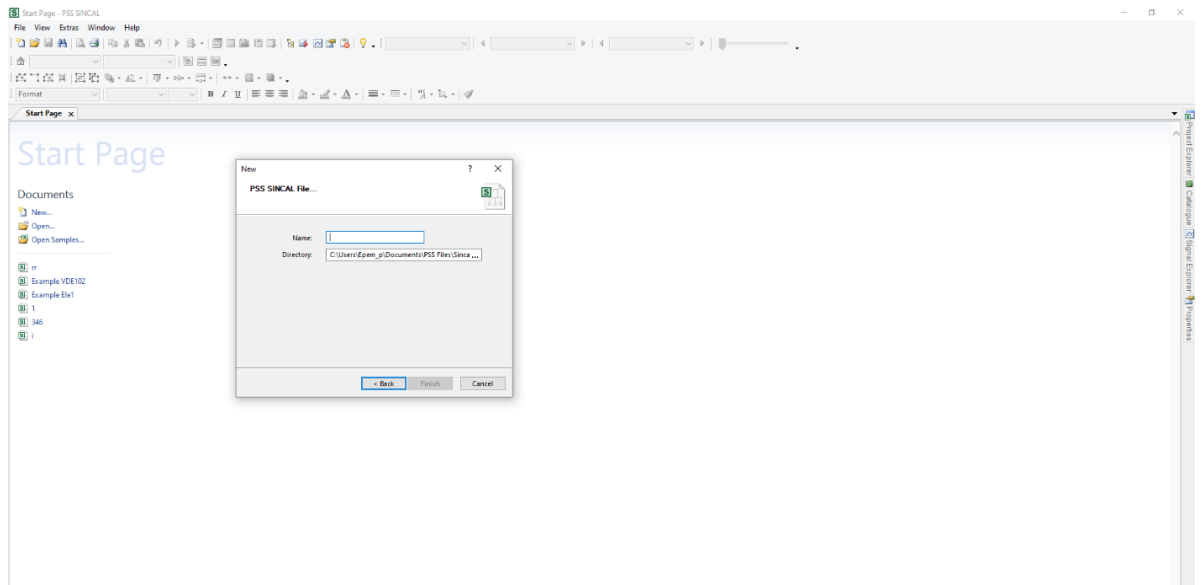
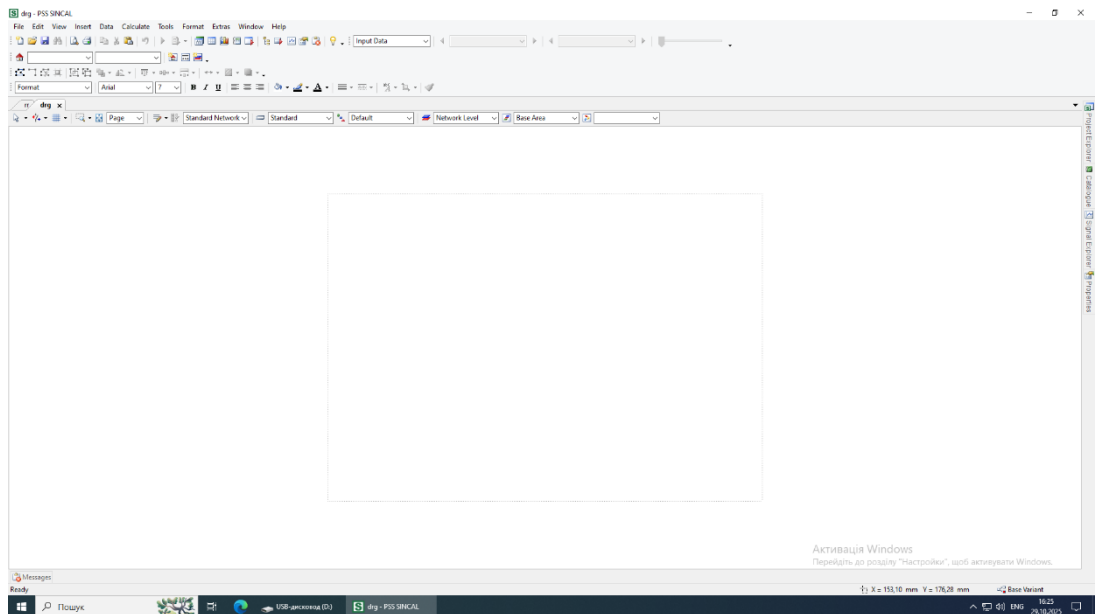
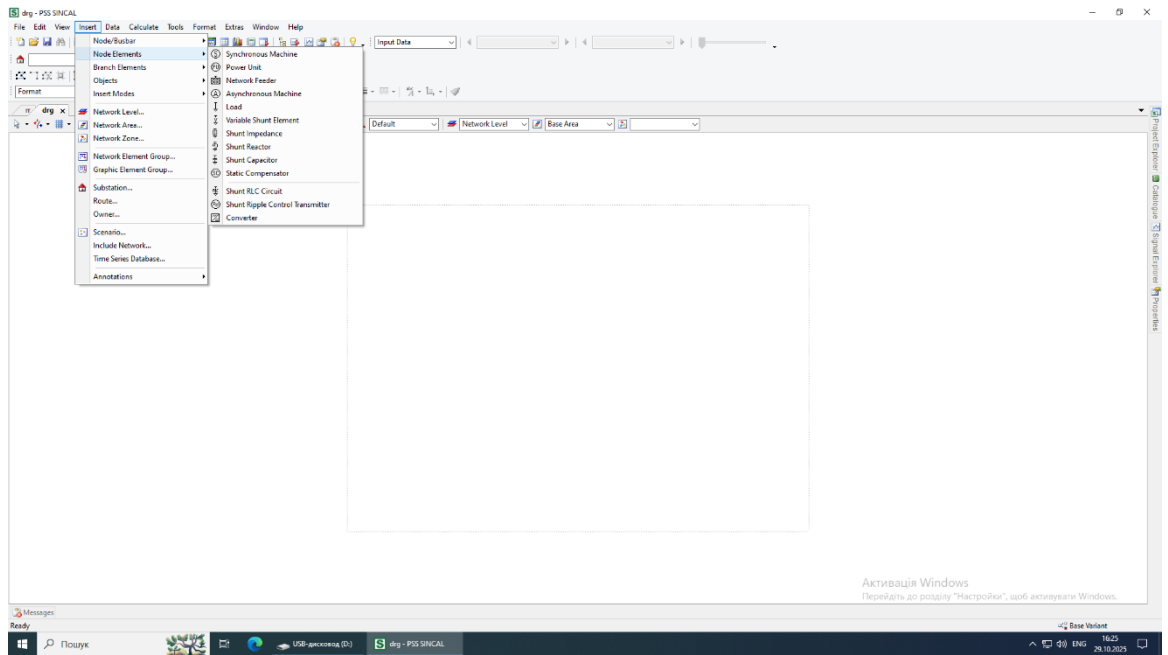


Рис.12.6. Вікно оглядача назви файлу

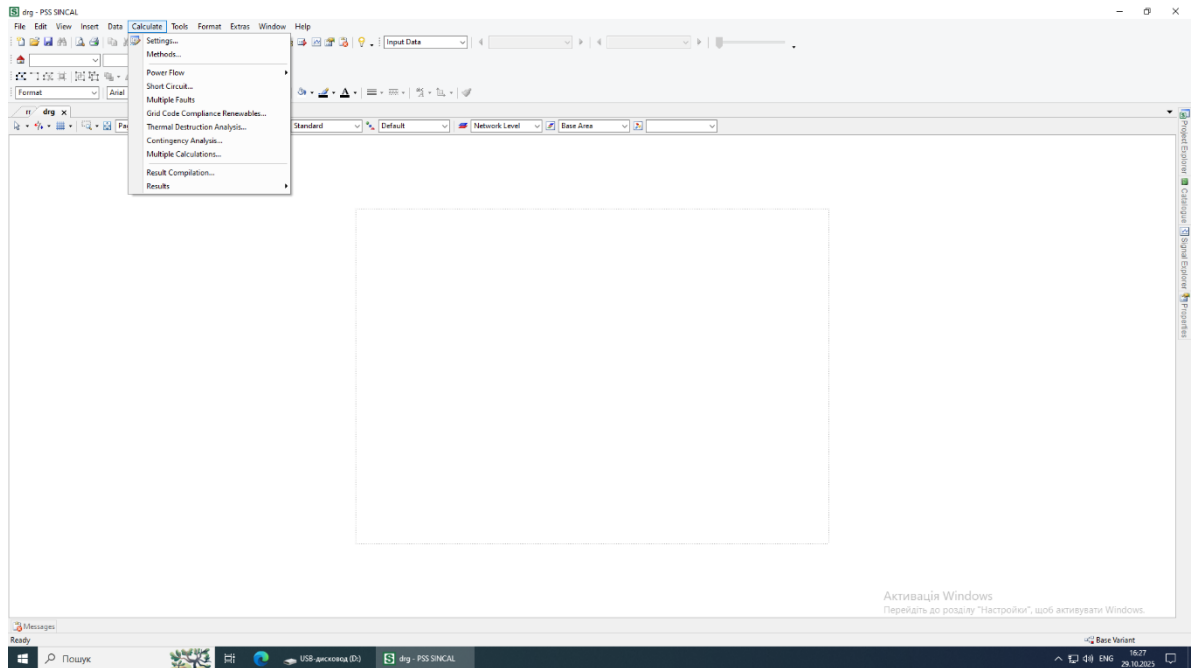
Після назви файлу, відкриється шаблон файлу



12.7. Вікно назви обраного розділу бібліотеки.



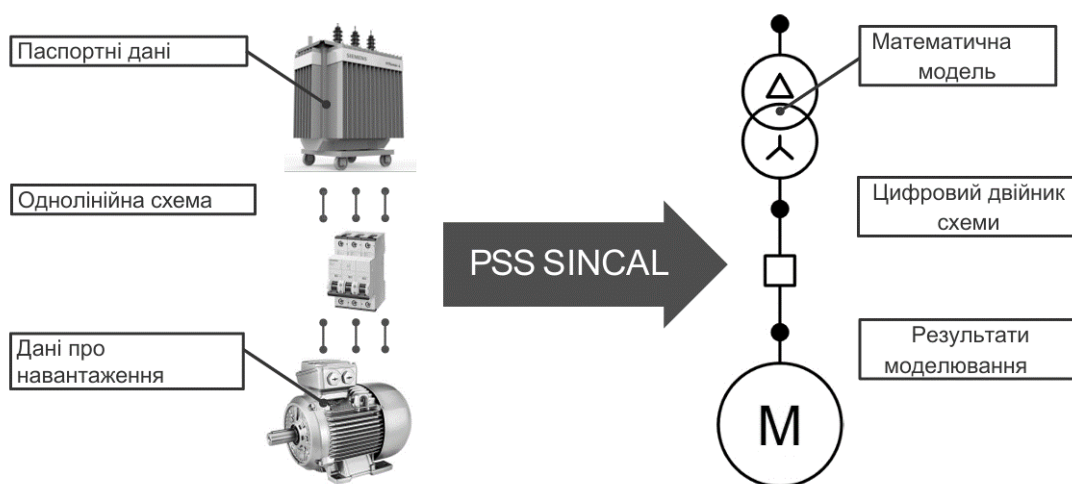
12.8. Вікно назви обраного розділу бібліотеки.



12.9. Вікно налаштування моделі

У середовищі PSS®SINCAL, поряд зі стандартними компонентами електричної мережі, можна моделювати й додаткові об'єкти, що дають змогу глибше аналізувати режими роботи системи. До них належать комутаційні апарати - вимикачі, роз'єднувачі, запобіжники, автоматичні вимикачі - які характеризуються власними електричними параметрами, такими як допустимий струм, час відключення та алгоритм спрацювання. Завдяки їх застосуванню можна досліджувати реакцію мережі під час перемикань, аварійних ситуацій і роботи релейного захисту, що є ключовим для формування селективних схем і визначення часу усунення аварій.

1



2.10. Вікно налаштування моделі

Рисунок демонструє процес перетворення вихідних інженерних даних у математичну модель енергетичного об'єкта за допомогою програмного комплексу PSS® SINCAL.

Ліва частина рисунка — вихідні дані

Показані типові дані, які інженер вводить у систему для створення цифрової моделі:

- **Паспортні дані** - технічні характеристики обладнання (наприклад, трансформатора): номінальна потужність, напруга, втрати, клас ізоляції тощо.

- **Однолінійна схема** - структура електричної мережі, що відображає з'єднання елементів, комутаційні апарати та конфігурацію системи.
- **Дані про навантаження** - параметри споживачів, такі як потужність, характер навантаження, коефіцієнт потужності, графіки навантаження.

Центр рисунка - програмний інструмент

- Стрілка з написом **PSS SINCAL** символізує процес обробки вхідних даних програмою.

Права частина рисунка - результат моделювання

Після опрацювання інформації програма формує:

- **Математичну модель** - точне математичне представлення роботи обладнання та мережі.
- **Цифровий двійник схеми** - віртуальну копію електричної системи, що відтворює її поведінку в різних режимах.
- **Результати моделювання** - розрахункові параметри (струми, напруги, втрати, перехідні процеси, режими роботи двигуна тощо), які слугують основою для аналізу та проектних рішень.

12.4. Розрахунок режиму роботи та аналіз результатів

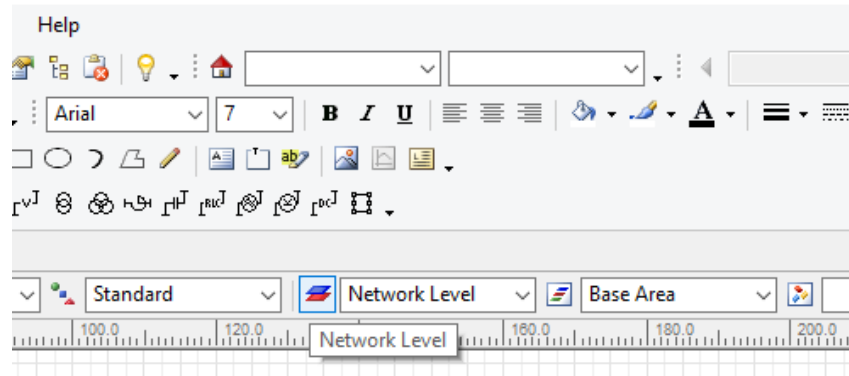
ПРАКТИКА З ОКРЕМИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

ЗАВДАННЯ 01: Намалюйте наступну мережу в PSS Sincal, як показано нижче, та обчисліть розподіл навантаження, щоб отримати вхідні та вихідні параметри мережі.

ПРАЦЯ НАВАНТАЖЕННЯ:

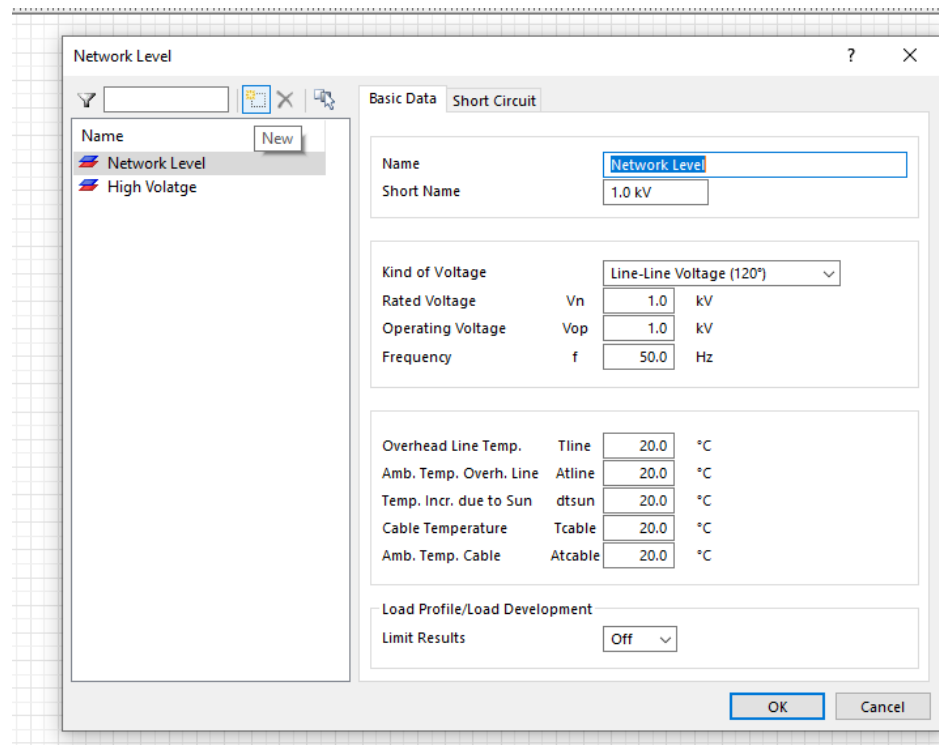
КРОК 01: Створіть рівень мережі, припустимо, 380 кВ, як показано на наступному рисунку:

- Перейдіть до рівня мережі:

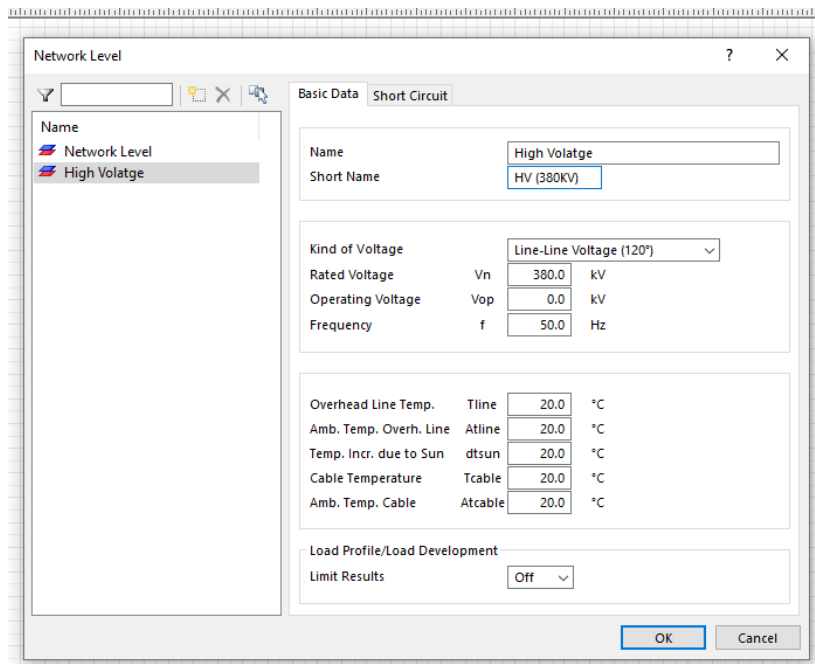


12.11. Вікно налаштування рівня мережі

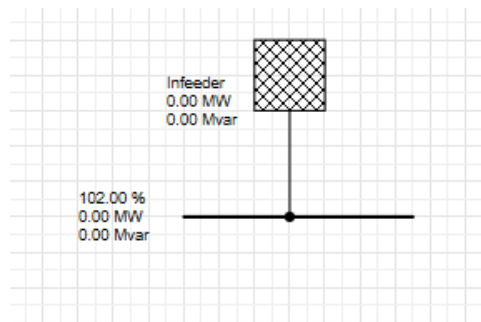
- Створіть новий мережевий рівень, заповніть наступні дані та натисніть кнопку «ОК»:



12.12. Вікно налаштування рівня мережі 1 кВ



12.13. Вікно налаштування рівня мережі 330 кВ



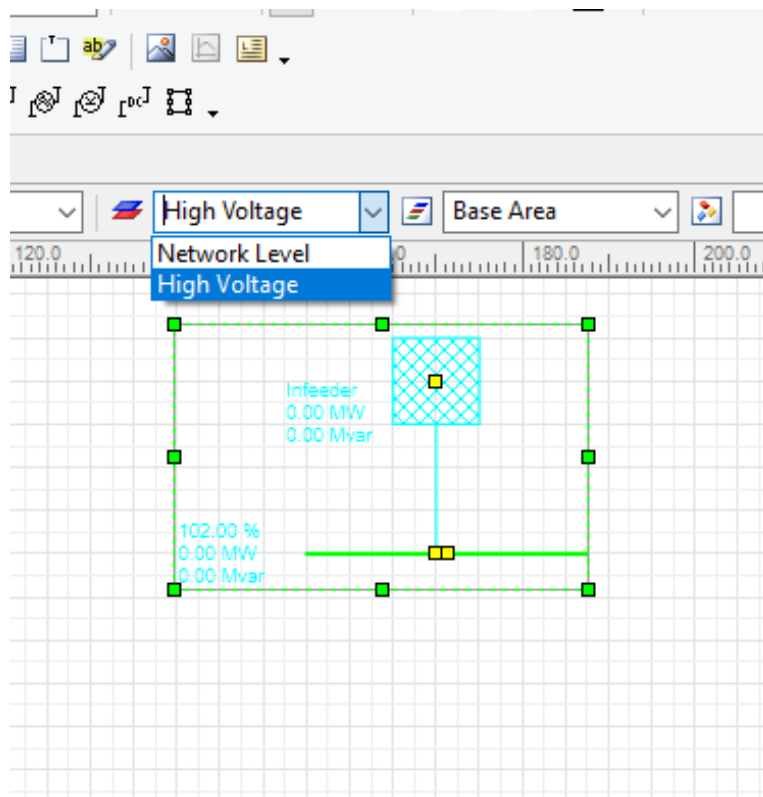
12.14. Вікно налаштування елемента енергосистеми

- Розмістіть «Вхідний фідер» та шину. Введіть такі дані у вхідний фідер:
- $S_{k''} = 0.000001$
 - $S_{k'' \max} = 0$
 - $S_{k'' \min} = 0$
 - $R/X = 0$
 - $R/X \min = 0$
 - $R/X \max = 0$
 - $V_c = 0$
 - $V_c \min = 0$
 - $V_c \max = 0$
 - Тип потоку навантаження = $|V_{src}|$ та Дельта

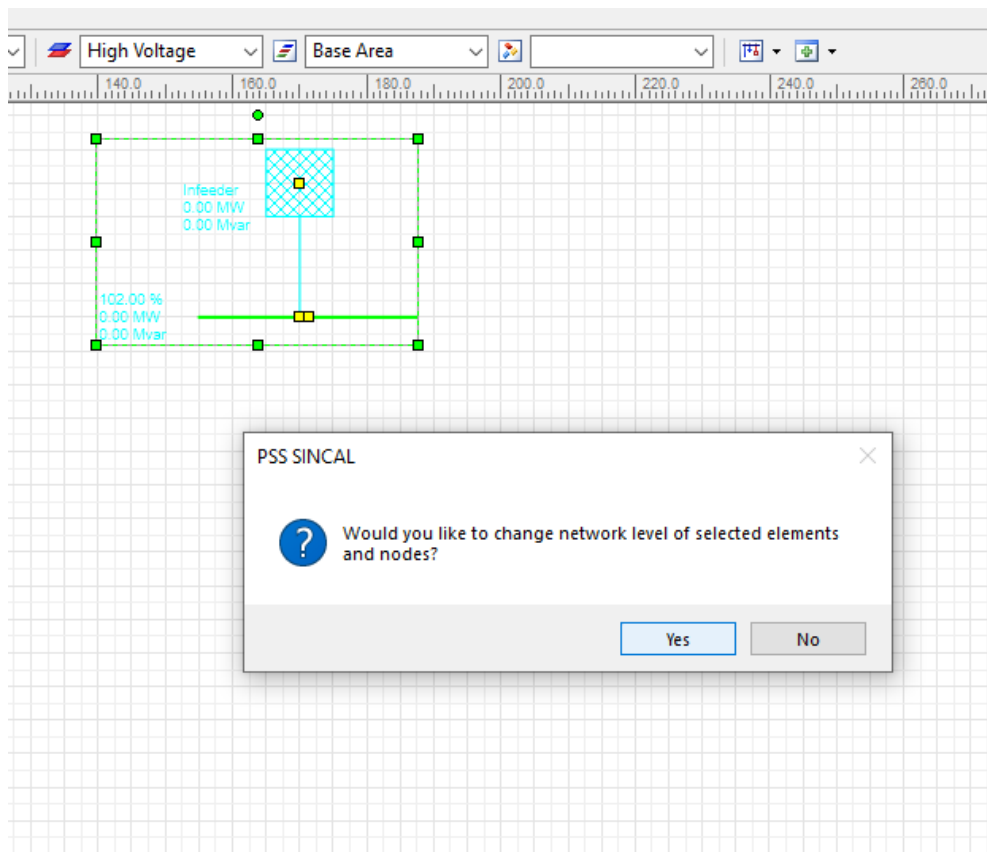
• $V = 1.02$ pu

12.15. Вікно налаштування елемента енергосистеми

- Перенесіть мережу на попередньо створений мережевий рівень. Виберіть мережу, натисніть на створений мережевий рівень і натисніть «Так».

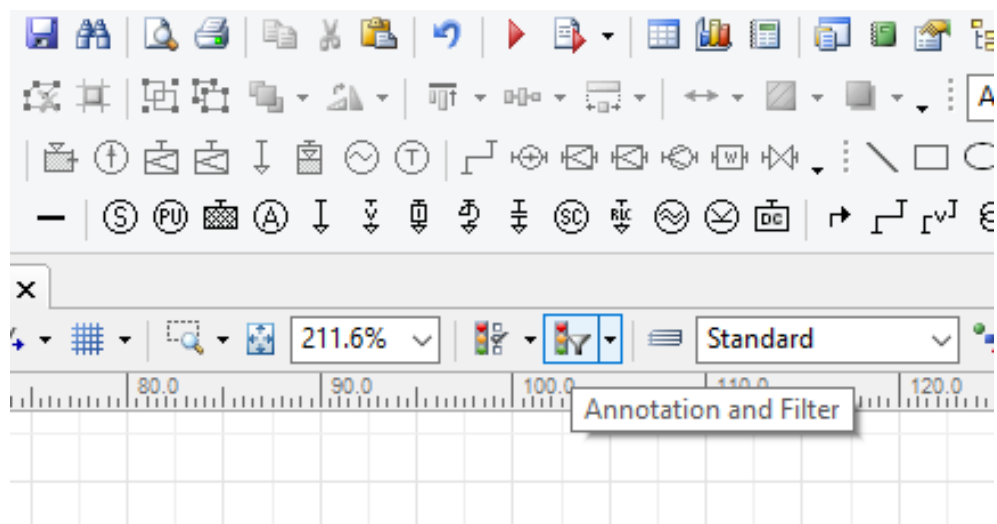


12.16. Вікно налаштування елемента енергосистеми

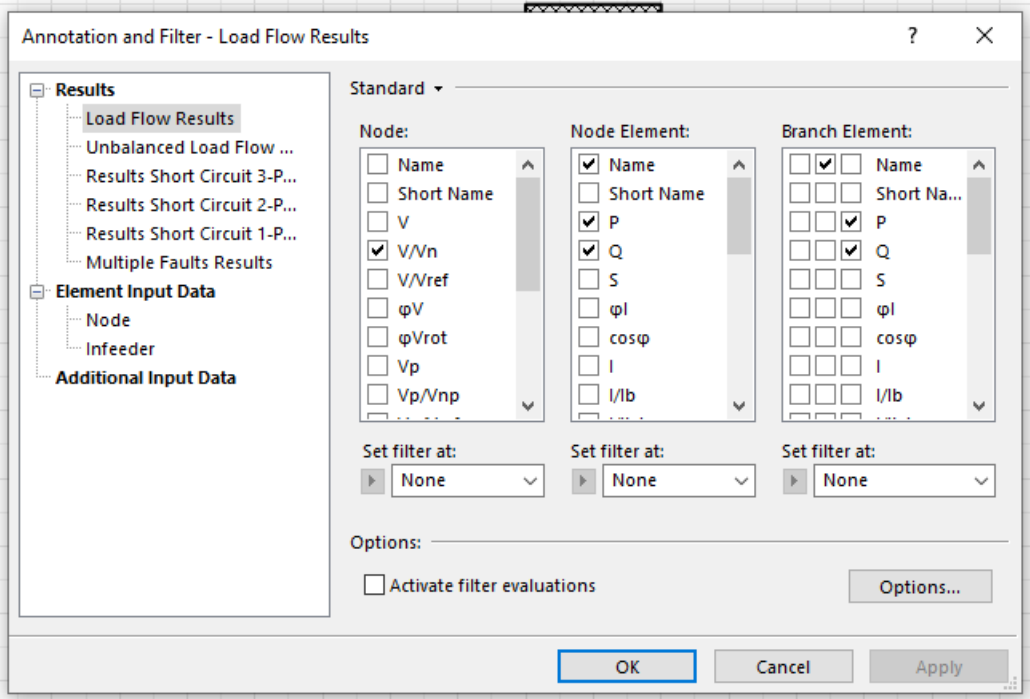


12.17. Вікно налаштування елемента енергосистеми

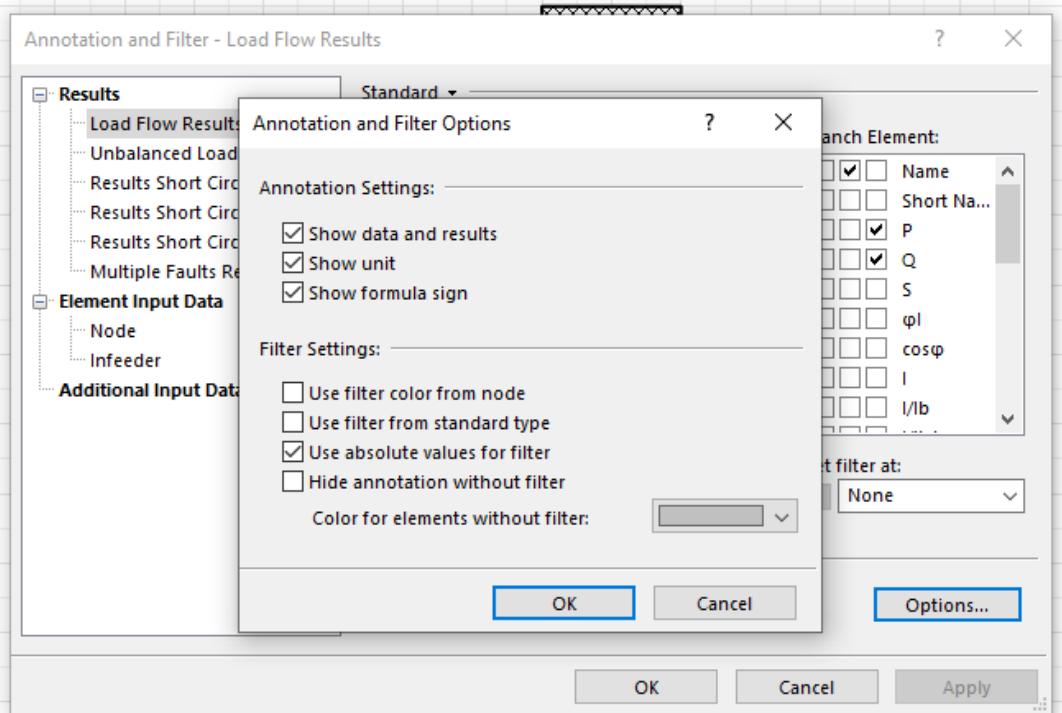
Переемо до розділу «Анотації» та відфільтруйте



12.18. Вікно налаштування елемента енергосистеми

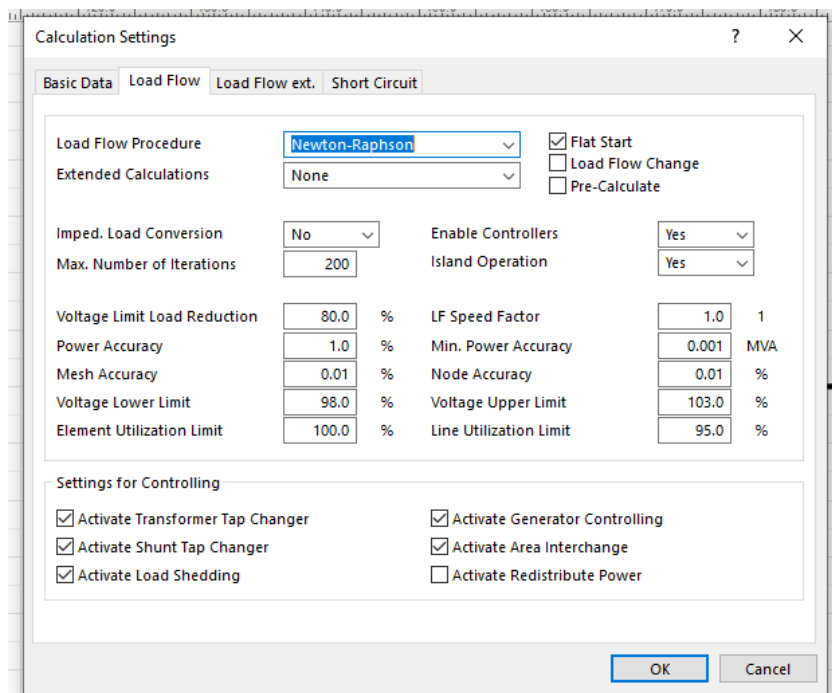


12.19. Вікно налаштування елемента енергосистеми

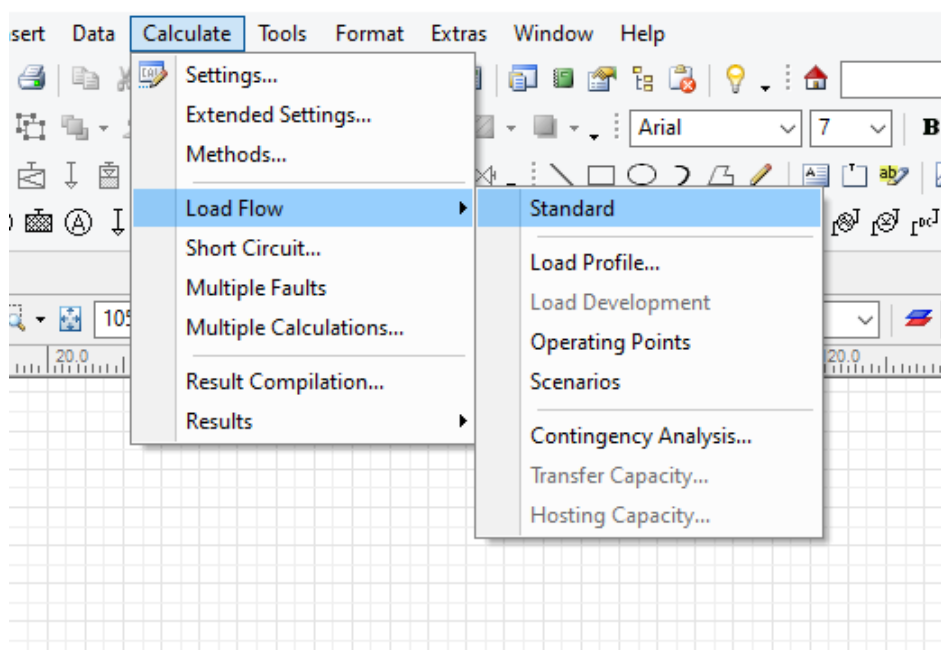


12.20. Вікно налаштування елемента енергосистеми

Перейдемо до налаштувань потоку навантаження

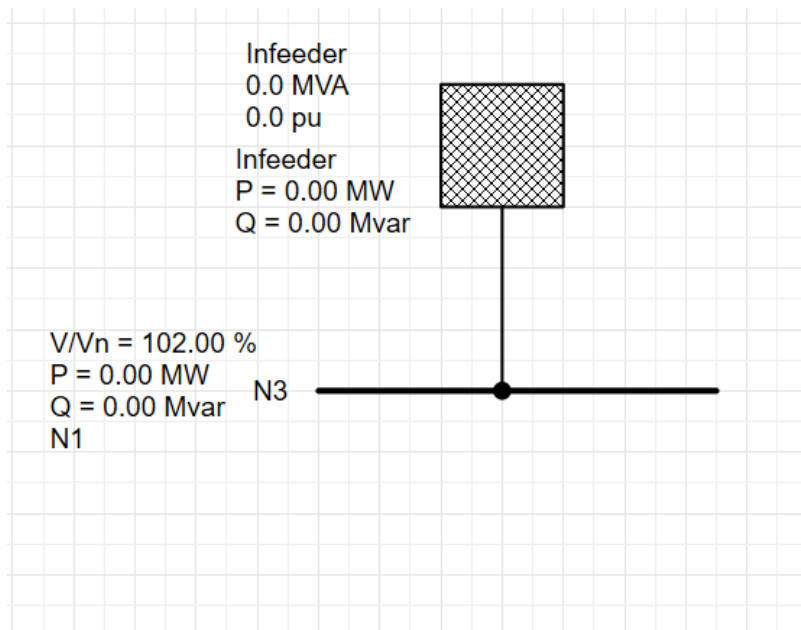


12.21. Вікно налаштування елемента енергосистеми
Запустити потік навантаження



12.22. Вікно налаштування елемента енергосистеми

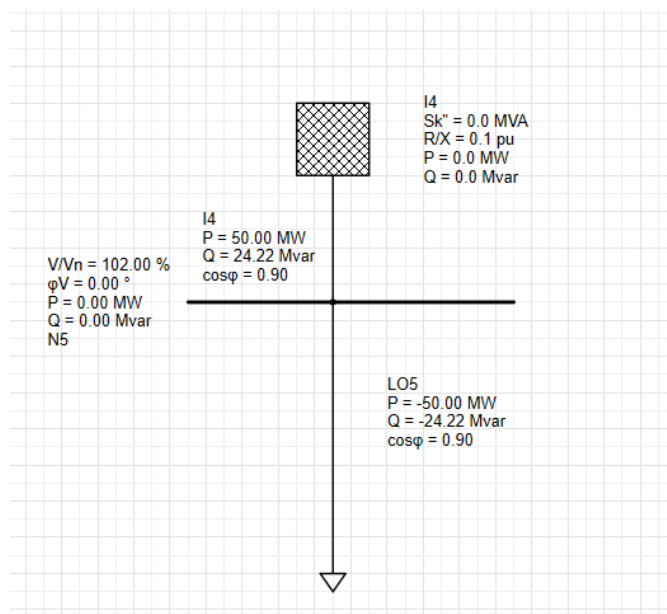
Після запуску потоку навантаження ви зможете отримати наступні результати в мережі



12.23. Вікно налаштування елемента енергосистеми
Додати навантаження,

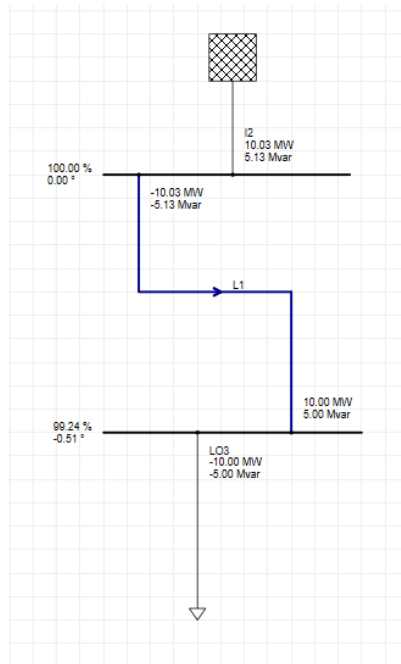
- $P=50$ МВт
- $Pf = 0,9$ пф
- Тип потоку навантаження = P та Q постійні
- Вхідне навантаження = P , $\cos\varphi$ та v
- Напруга = 380,0 кВ

Знову розрахуйте потік навантаження



12.24. Вікно налаштування елемента енергосистеми

ЗАВДАННЯ 02: Намалюйте наступну мережу в PSS Sincal, як показано нижче, та обчисліть розподіл навантаження, щоб отримати вхідні та вихідні параметри мережі.



12.25. Вікно налаштування елемента енергосистеми
Табличний вигляд діаграми

Node 1	Node 2	Element ...	Network ...	OP State	Name	Short Na...	Desc.	T1	Ts
N1	N2	Line	Medium Volta...	On	L1	L1			
N1		Infeeder	Medium Volta...	On	I2	I2			
N2		Load	Medium Volta...	On	LO3	LO3			

12.26. Вікно налаштування елемента енергосистеми

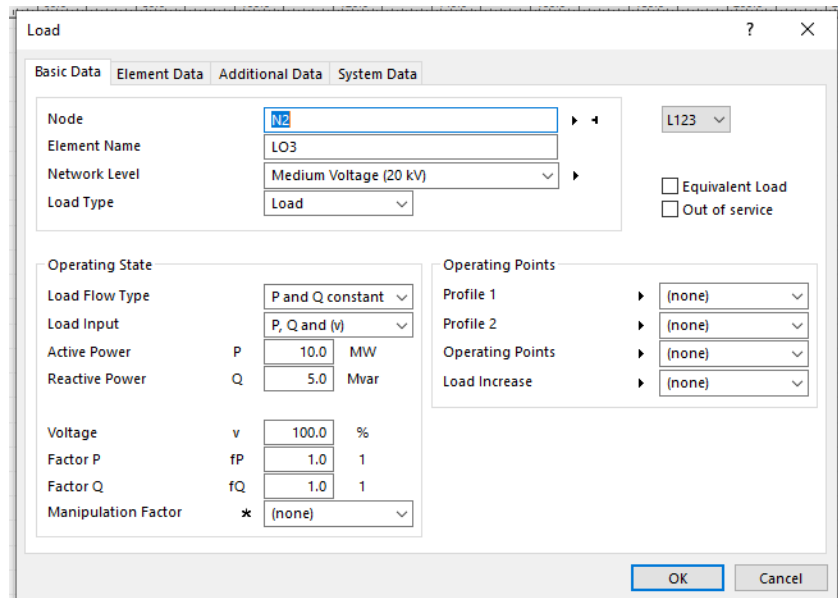
Введення наступні дані в блок «вхідний пристрій».

12.27. Вікно налаштування елемента енергосистеми

Введіть наступні дані в блок «Лінія».

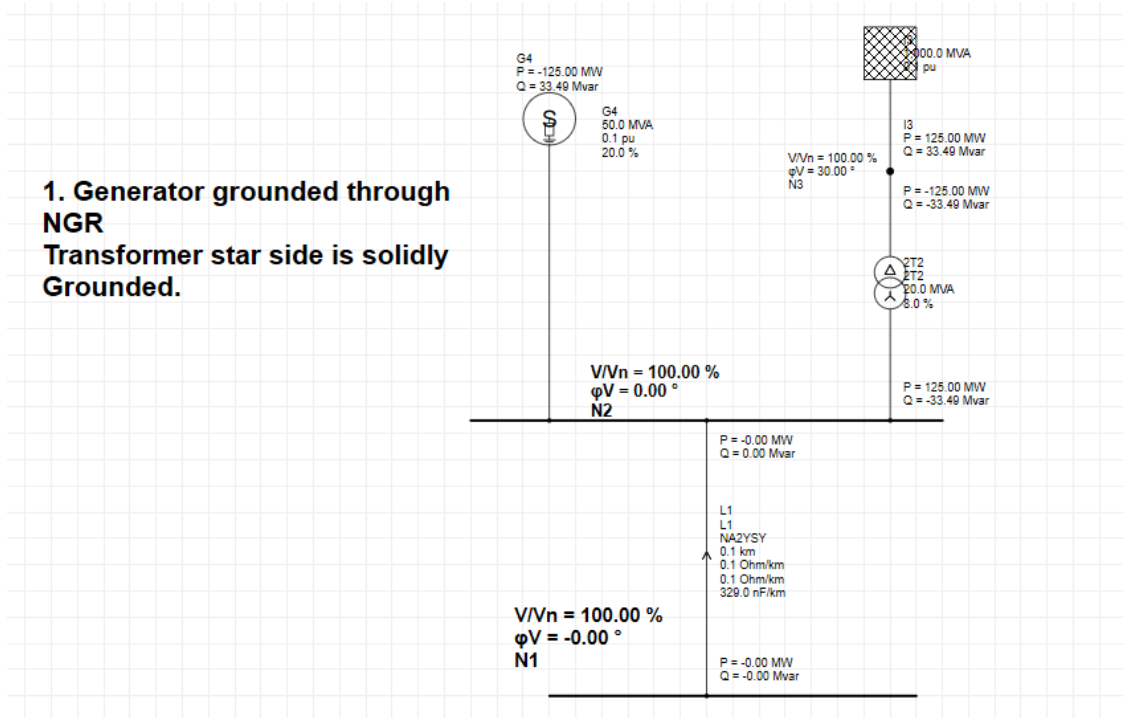
12.28. Вікно налаштування елемента енергосистем

□ Введіть наступні дані в блок «Завантаження».

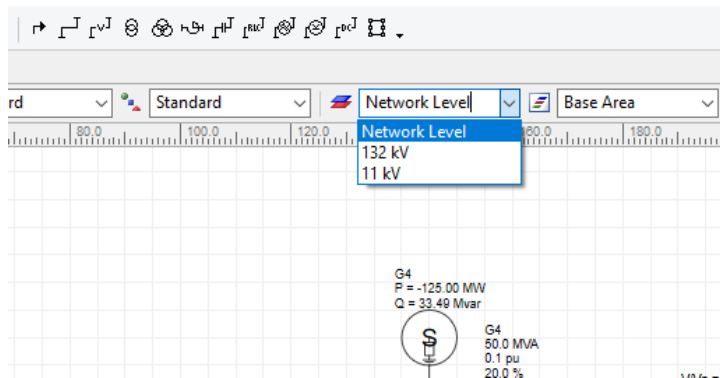


12.29. Вікно налаштування елемента енергосистеми

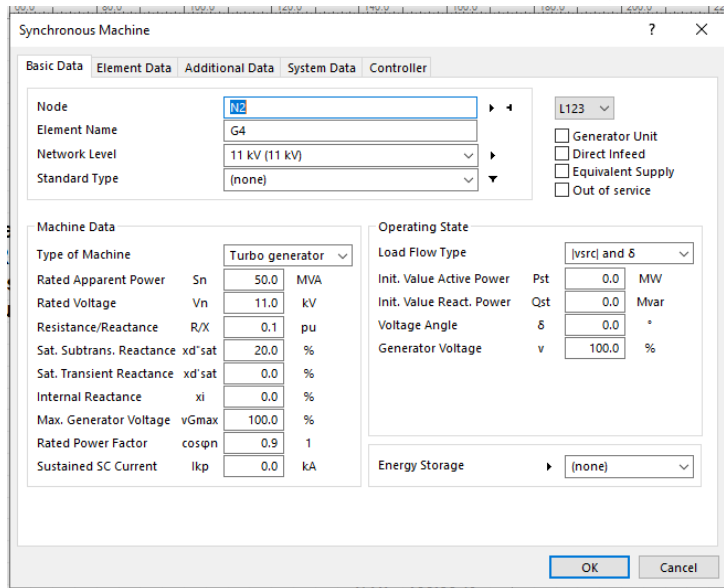
Нарешті, виконайте розрахунок потоку навантаження, проаналізуйте результати та завершіть лабораторну роботу своїми словами.



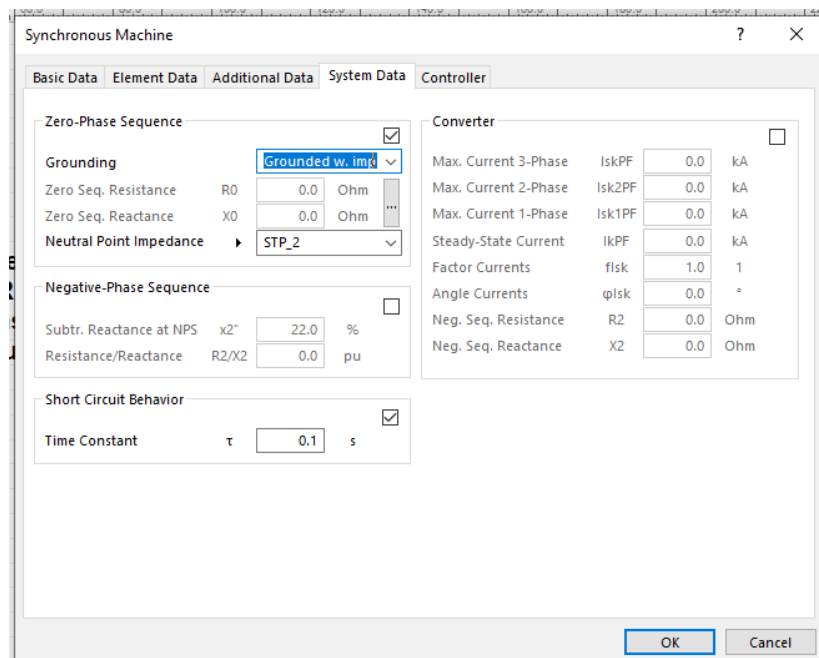
12.30. Вікно налаштування елемента енергосистеми



12.31. Вікно налаштування елемента енергосистеми



12.32. Вікно налаштування елемента енергосистеми



12.33. Вікно налаштування елемента енергосистеми

Infeeder

Basic Data | Element Data | Additional Data | Controller

Node: N3
 Element Name: I3
 Network Level: 132 kV (132 kV)
 Standard Type: (none)

Maximum Minimum
 Short Circuit Power Sk* 1,000.0 MVA Sk* 1,000.0 MVA Sk* 1,000.0 MVA
 Resistance/Reactance R/X 0.1 pu R/X 0.1 pu R/X 0.1 pu
 Voltage Sk* vc 1.0 1 vc 1.1 1 vc 1.0 1
 Internal Reactance xi 0.0 %

Operating State
 Load Flow Type: [vsrc] and δ
 Init. Value Active Power Pst 0.0 MW
 Init. Value React. Power Qst 0.0 Mvar
 Voltage Angle δ 0.0 °
 Voltage v 100.0 %

Zero-Phase Sequence
 Grounding: Fixed grounded
 Zero Seq. Resistance R0 0.0 Ohm R0max 0.0 Ohm R0min 0.0 Ohm
 Zero Seq. Reactance X0 0.0 Ohm X0max 0.0 Ohm X0min 0.0 Ohm

OK Cancel

12.34. Вікно налаштування елемента енергосистеми

Two-Winding Transformer

Basic Data | Element Data | Additional Data | Controller

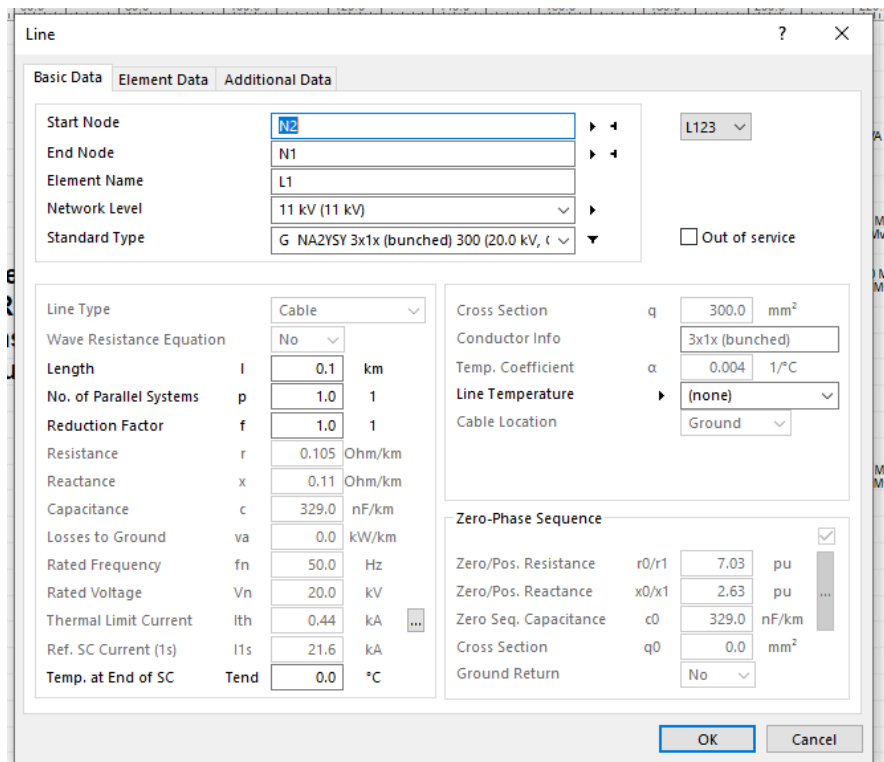
Start Node: N3
 End Node: N2
 Element Name: 2T2
 Network Level: 132 kV (132 kV)
 Standard Type: (none)

Transformer Data
 Rated Voltage Side 1 Vn1 132.0 kV
 Rated Voltage Side 2 Vn2 11.0 kV
 Rated Apparent Power Sn 20.0 MVA
 Full Load Power Smax 26.0 MVA
 Ref. SC Voltage vsc 8.0 %
 SC Voltage - Ohmic Part vr 0.0 %
 Iron Losses Vfe 0.0 kW
 No Load Current i0 0.0 %
 Additional Rotation ϕ 0.0 °
 Vector Group: DYN11

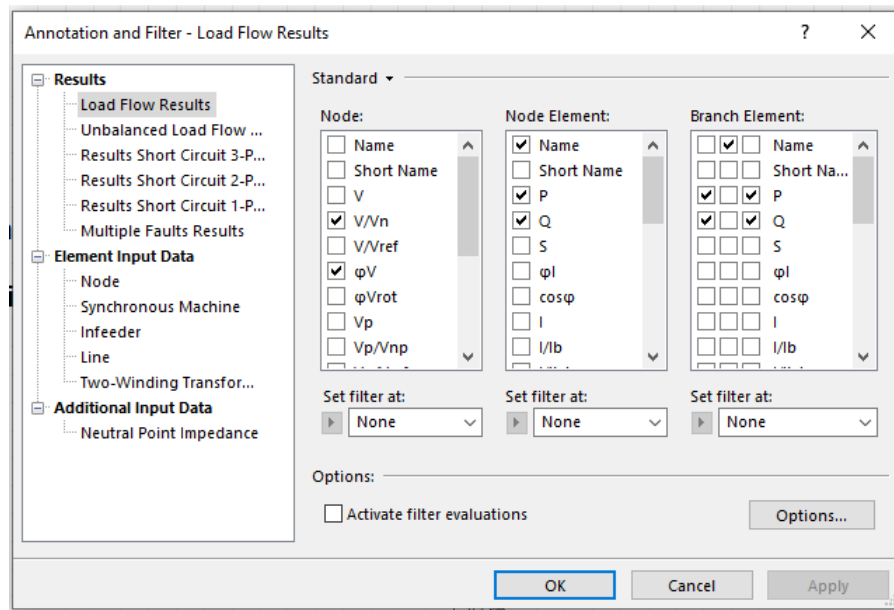
Zero-Phase Sequence
 Zero/Pos. Impedance Z0/Z1 0.0 pu
 Resistance/Reactance R0/X0 0.0 pu
 Neutral Point Imp. Side 2: Fixed Grounded

OK Cancel

12.35. Вікно налаштування елемента енергосистеми



12.36. Вікно налаштування елемента енергосистеми



12.37. Вікно налаштування елемента енергосистеми

Висновок:

PSS@SINCAL - це комплексне програмне середовище для моделювання, аналізу та оптимізації електроенергетичних систем, яке охоплює як задачі оперативного, так і стратегічного планування мереж. Завдяки широкому набору розрахункових модулів - від усталених режимів і коротких замикань до

релейного захисту, перехідних процесів та надійності - програма дає можливість створювати точні цифрові моделі енергосистем різної складності.

Основні переваги застосування SINICAL полягають у високій точності моделювання, відповідності міжнародним стандартам, гнучкості інтеграції з іншими інженерними інструментами, а також у можливості аналізувати як традиційні мережі, так і системи з високою часткою ВДЕ, мікромереж та накопичувачів енергії. Це робить SINICAL ефективним інструментом для проєктування нових об'єктів, модернізації електричних мереж, оцінки надійності та підвищення якості електропостачання.

У реальних проєктах програма забезпечує зниження експлуатаційних витрат, підвищення безпеки, оптимізацію інвестицій та стійку роботу енергосистем у різних режимах. Таким чином, PSS®SINICAL є одним з найбільш потужних і комплексних рішень на ринку для інженерів-електриків, операторів систем розподілу та передання, дослідників і консультантів у сфері енергетики.

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проекті був зроблений розрахунок електропостачання м'ясокомбінату та були вивчені основні методики розрахунків і вибору електрообладнання. На підставі отриманих розрахункових значень потужності комбінату і додаткового навантаження було обрано для головної понижувальної підстанції трансформатор ТНД-16000/110, також розроблена схема головної підстанції підприємства і обрані лінії електропередач, які були електричною частиною проекту електропостачання. Побудували картограму навантаження і визначили точку центру електричних навантажень. Здійснили вибір внутрішньозаводської мережі та схеми внутрішнього електропостачання. На підставі значень розрахункових потужностей і струмів були обрані типи і марки електроустаткування, необхідні для системи електропостачання. Живильні кабелі та проводи були перевірені на відповідність тривало припустимих струмів, а захисна апаратура – запобіжники і автомати – були обрані за номінальним значенням струмів і за значеннями пускових струмів. Був проведений розрахунок короткого замикання, що дозволило перевірити обрану апаратуру на динамічну стійкість.

У спеціальній частині дипломного проекту (спецзавдання) було проведено розрахунок компенсації реактивної потужності і вибрано конденсаторні установки, що дають змогу знизити втрати електроенергії до мінімуму і підвищити ефективність електроустановок.

Список використаної літератури

1. О. М. Сірий, В. Є. Шестеренко. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств. - К.: ІСДО, 1993. - 592 с.
2. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. - Вінниця : Нова Книга, 2004. – 656 с.
3. Благой В. С. Струми коротких замикань: Навч. посібник. - К.: ІДСО, 1994.-236 с.
4. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 р. № 476.