

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Сумський державний університет**

Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання

Кафедра електроенергетики

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

І.Л.Лебединський

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на здобуття освітнього ступеня бакалавра**

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання» на тему: „Розрахунок параметрів , режимів та обладнання електричних мереж“.

Здобувача групи ЕТЗ-01с Пащенко Олександра В'ячеславовича

(шифр групи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Олександр Пащенко

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник к.т.н., доцент Петро Василега

\_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Суми – 2024**

## Сумський державний університет

Факультет: Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання  
Кафедра електроенергетики  
Спеціальність: 141– Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  
електроенергетики

Лебединський І.Л.

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### ЗАВДАННЯ

до виконання кваліфікаційної випускної роботи бакалавра

Пащенко Олександра В'ячеславовича

1. Тема роботи : «Розрахунок параметрів , режимів та вибір електрообладнання системи електропостачання»

затверджена наказом по університету № \_\_\_\_\_ від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Параметри споживачів електроенергії (географічні координати, активна потужність, коефіцієнт потужності, час найбільшого навантаження, категорія електроспоживачів)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити)

Вступ

1. Розрахунок електричної мережі

2. Розрахунок електричної частини підстанції

3. Розрахунок релейного захисту

4. Охорона праці

Висновки

Список використаної літератури

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

1. Принципова схема силової мережі.

2. Принципова схема освітлювальної мережі.

3. Схема електрична принципова електричної мережі.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розрахунок електричної мережі	До 15.03.2024	
2	Розрахунок електричної частини підстанції	До 01.04.2024	
3	Релейний захист	До 05.05.2024	
4	Охорона праці	До 30.05.2024	
5	Оформлення графічного матеріалу	До 05.06.2024	
6	Оформлення пояснювальної записки	До 05.06.2024	
7	Здача роботи на перевірку	До 06.06.2024	

Студент \_\_\_\_\_ О.Пащенко  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ П.Василега  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

с. 82, рис. 32, табл. 24, кресл. 3

Бібліографічний опис: Пащенко О.В. Розрахунок параметрів та вибір електрообладнання системи електропостачання: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / наук. кер. П. О. Василега. Суми: Сумський державний університет, 2024. - 81 с.

Ключові слова: електрична мережа, параметри споживачів, категорія надійності, потужність споживачів, трансформатор, ЛЕП, провід, опір, напруга, схема заміщення, поточкорозподіл, вимикач, роз'єднувач, трансформатор струму, трансформатор напруги, трифазне коротке замикання, диференційний струмовий захист трансформатора, втрати потужності в мережі.

electrical network, consumer parameters, reliability category, consumer power, transformer, transmission line, wire, resistance, voltage, substitution circuit, current distribution, switch, disconnecter, current transformer, voltage transformer, three-phase short circuit, differential current protection transformer, power loss in the network

Короткий огляд – Вибір енергоефективної конфігурації електричної мережі та розрахунок нормального та аварійних режимів роботи. Розрахунок електричної частини підстанції. Розрахунок релейного захисту силового трансформатора. Розрахунок грозозахисту підстанції. Розрахунок заземлюючого пристрою підстанції.

## 1. ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВН – вища напруга

ЗРП – закритий РП

КЗ – коротке замикання

КП – компенсуючий пристрій

ЛЕП – лінія електропередавання

НН – низька напруга

ПВБ – повітряні вимикачі з металевими гасильними камерами

ПВП – повітряний вимикач посилений за швидкістю відновлювальної напруги

ПЛ – повітряна лінія

ПС – понижувальна підстанція

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок

РП – розподільний пристрій

РПН – регулювання під навантаженням

СКЗ – струм короткого замикання

СН – середня напруга

ТВЕ – технічні втрати електроенергії

ТН – трансформатор напруги

ТС – трансформатор струму

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ.....	9
1.1 Вихідні дані проекту.....	9
1.2 Розробка конфігурації електричної мережі.....	14
1.3 Розрахунок електричної мережі схеми.....	15
1.3.1 Визначення довжин ліній.....	15
1.3.2 Розрахунок перетоків потужності без урахування втрат...	18
1.3.3 Розрахунок напруги та струму в електричних мережах....	20
1.3.3.1 Розрахунок активного та реактивного опору лінії.....	22
1.3.3.2 Розрахунок повного опору ліній схеми.....	24
1.3.4 Вибір трансформаторів.....	25
1.3.5 Розрахунок перетоків потужності та падіння напруги.....	26
1.4 Режим аварійної роботи електричної мережі.....	28
1.5 Режим мінімального навантаження електричної мережі.....	30
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ПІДСТАНЦІЇ.....	34
2.1 Перевірка потужності силових трансформаторів.....	34
2.2 Розрахунок струмів короткого замикання.....	35
2.3 Вибір силового комутаційного обладнання.....	39
2.3.1 Вибір вимикача на боці високої напруги.....	39
2.3.2 Вибір вимикача у колі трансформатора 10 кВ.....	41
2.3.3 Вибір секційного вимикача на боці 10 Кв.....	44
2.3.4 Вибір вимикача на лінію, що відходить.....	47
2.3.5 Вибір роз'єднувача 220 В.....	50
2.4 Вибір ошиновки розподільних пристроїв (РП).....	52

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>		
		<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>				
<i>Розроб.</i>	Пащенко			<i>Розрахунок параметрів та вибір електрообладнання системи електропостачання</i>	<i>Літ</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	Василега					6	67
<i>Реценз.</i>					<b>СумДУ ЕТз-01с</b>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>	Лебединський						

2.5 Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги.....	54
2.6 Вибір трансформаторів власних потреб .....	57
3 РОЗРАХУНОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА ...	61
3.1 Розрахунок подовжнього диференціального струмового захисту.....	61
3.2 Вибір уставок реле ДЗТ.....	65
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	68
4.1 Розрахунок грозозахисту .....	68
4.2 Розрахунок опору контуру заземлення .....	73
ВИСНОВОК.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	81
ДОДАТКИ.....	83

## ВСТУП

Актуальність теми кваліфікаційної роботи бакалавра полягає у важливості забезпечення надійного та ефективного електропостачання в сучасних умовах зростаючих вимог до енергоефективності та надійності електричних мереж. З огляду на постійне зростання споживання електроенергії та необхідність підвищення якості електропостачання, питання розрахунку параметрів режимів та вибору відповідного електрообладнання набувають особливої актуальності. Сучасний рівень розвитку електротехніки та електроенергетики вимагає від фахівців глибоких знань та навичок у розрахунку та оптимізації систем електропостачання.

Значення кваліфікаційної роботи полягає у набутті студентом практичних навичок у розв'язанні складних інженерних задач, зокрема, розрахунку параметрів режимів, вибору трансформаторів, релейного захисту та охорони праці. Виконання цієї роботи сприяє систематизації, закріпленню та розширенню теоретичних знань, отриманих під час навчання, а також підготовці до майбутньої професійної діяльності в галузі електроенергетики.

Призначення кваліфікаційної роботи бакалавра полягає у демонстрації здобутих знань та навичок у галузі електроенергетики, що є необхідними для вирішення реальних виробничих завдань і забезпечення надійного електропостачання споживачів. Студент має показати вміння користуватися науково-технічною літературою, математичними методами та обчислювальною технікою, а також здатність до самостійного розв'язання інженерних задач, що є важливою складовою його підготовки як майбутнього фахівця.

					<i>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



# 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

## 1.1 Вихідні дані проекту

Генеральний план швейного підприємства (рис 1.1), що спеціалізується на пошитті військового одягу, включає наступні приміщення з відповідними площами:

- Склад готової продукції: 15 м<sup>2</sup>
- Кімната відпочинку: 15 м<sup>2</sup>
- Офіс: 15 м<sup>2</sup>
- Їдальня: 20 м<sup>2</sup>
- Адміністрація: 10 м<sup>2</sup>
- Приймальня: 10 м<sup>2</sup>
- Цех збирання: 25 м<sup>2</sup>
- Цех пошиву (два цехи): по 25 м<sup>2</sup> кожний
- Цех крою: 25 м<sup>2</sup>
- Коридор: 30 м<sup>2</sup>

Центральний виробничий корпус розташовується в центрі ділянки та поділяється на кілька цехів: збирання, пошиття та крою. По периметру виробничого корпусу проходять шляхи внутрішньозаводського транспорту, що забезпечують зручний доступ до всіх цехів. Уздовж цих шляхів розташовані зони для вантажно-розвантажувальних робіт та складування матеріалів. На південній стороні ділянки розміщено адміністративно-побутовий корпус, що включає офіси, кімнати відпочинку для працівників, їдальню та санітарні вузли. Зелені насадження розташовані вздовж основних транспортних артерій для створення сприятливого мікроклімату та покращення естетичного вигляду підприємства. Трубопроводи для водопостачання та водовідведення прокладені підземними комунікаціями і з'єднують виробничі та побутові приміщення. На північній стороні ділянки

					БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

знаходяться складські приміщення для зберігання готової продукції та сировини. На захід від виробничого корпусу розташовані допоміжні об'єкти, такі як ремонтні майстерні та гаражі для внутрішньозаводського транспорту.



Рис 1.1 Генеральний план швейного підприємства

Характеристика технологічного процесу виробництва підприємства включає основні етапи виробництва, які поділяються на кілька цехів. Цех крою займається розкроюванням тканин згідно з технічними вимогами і викройками. Розкроєні деталі передаються до цехів пошиву, де вони зшиваються у готові вироби. Цех збирання завершує процес виробництва, з'єднуючи окремі компоненти та проводячи кінцеву обробку продукції.

Технологічний взаємозв'язок цехів забезпечується послідовним передаванням матеріалів і напівфабрикатів з одного цеху до іншого. Цех крою передає готові деталі до цехів пошиву, де вони зшиваються у готові вироби, які потім надходять до цеху збирання для фінальної обробки та пакування. Важливою складовою технологічного процесу є координація роботи цехів, щоб уникнути затримок та забезпечити безперервність виробництва.

Оцінка впливу раптових перерв на технологічний процес показує, що будь-які раптові зупинки виробництва можуть мати негативні наслідки. Перерви у роботі цеху крою призводять до затримок у цехах пошиву та збирання, що знижує загальну ефективність виробництва. Зупинки у цехах пошиву можуть спричинити накопичення розкроєних деталей, що потребує

						БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			10

додаткового місця для зберігання та може вплинути на якість продукції. Перерви у цеху збирання впливають на можливість своєчасної доставки готової продукції до клієнтів, що може призвести до втрати замовлень та погіршення репутації підприємства.

Для мінімізації впливу раптових перерв необхідно впроваджувати заходи щодо підвищення надійності обладнання, забезпечення резервних потужностей та проведення регулярного технічного обслуговування.

Електричні навантаження по цехах підприємства визначаються загальною встановленою потужністю, необхідною для забезпечення безперебійної роботи всіх виробничих процесів. Наприклад, цех крою має загальну встановлену потужність 25 кВт, цехи пошиву – по 25 кВт кожен, цех збирання – 25 кВт, склад готової продукції – 10 кВт, адміністративно-побутовий корпус – 20 кВт.

Для цеху пошиву, електропостачання якого слід розробити докладно, необхідно врахувати паспортні дані окремих приймачів електроенергії. Основні приймачі електроенергії в цеху пошиву включають:

- швейні машини (30 одиниць): номінальна потужність – 0.5 кВт, коефіцієнт потужності – 0.75, ККД – 85%, номінальна напруга – 220 В, тривалість включення – 45 хвилин на годину.

- оверлоки (10 одиниць): номінальна потужність – 0.3 кВт, коефіцієнт потужності – 0.8, ККД – 80%, номінальна напруга – 220 В, тривалість включення – 30 хвилин на годину.

- парові прасувальні станції (5 одиниць): номінальна потужність – 2 кВт, коефіцієнт потужності – 0.9, ККД – 88%, номінальна напруга – 220 В, тривалість включення – 30 хвилин на годину.

Для цеху крою основні приймачі електроенергії включають:

- розкрійні машини (5 одиниць): номінальна потужність – 5 кВт, коефіцієнт потужності – 0.85, ККД – 90%, номінальна напруга – 380 В.

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- преси (3 одиниці): номінальна потужність – 3 кВт, коефіцієнт потужності – 0.9, ККД – 88%, номінальна напруга – 380 В.

- прасувальні машини (4 одиниці): номінальна потужність – 2 кВт, коефіцієнт потужності – 0.8, ККД – 85%, номінальна напруга – 220 В.

Перспективи збільшення електричних навантажень окремих цехів і підприємства в цілому можуть включати реконструкцію або введення нових потужностей. Наприклад, у цеху пошиву може бути встановлено додаткові швейні машини, що збільшить його електричне навантаження до 35 кВт. У цеху крою може бути додано нове обладнання для автоматичного розкроювання, що потребуватиме додатково 10 кВт. Загалом, при реконструкції підприємства або введенні нових потужностей необхідно враховувати можливості існуючої електромережі та забезпечити відповідні резерви для майбутнього збільшення навантажень.

Дані по активним та реактивним навантаженням на добу представлені у таблицях 1.1-1.4.

Таблиця 1.1 Активні навантаження у літню добу (кВт)

Час	Цех крою	Цех пошиву 1	Цех пошиву 2	Цех збирання	Адміністрація	Всього
00:00-06:00	5	5	5	5	2	22
06:00-12:00	20	20	20	20	10	90
12:00-18:00	25	25	25	25	15	115
18:00-24:00	15	15	15	15	10	70

Таблиця 1.2 Реактивні навантаження у літню добу (кВАр)

Час	Цех крою	Цех пошиву 1	Цех пошиву 2	Цех збирання	Адміністрація	Всього
00:00-06:00	3	3	3	3	1	13
06:00-12:00	12	12	12	12	5	53

Час	Цех крою	Цех пошиву 1	Цех пошиву 2	Цех збирання	Адміністрація	Всього
12:00-18:00	15	15	15	15	7	67
18:00-24:00	9	9	9	9	5	41

Таблиця 1.3 Активні навантаження у зимню добу (кВт)

Час	Цех крою	Цех пошиву 1	Цех пошиву 2	Цех збирання	Адміністрація	Всього
00:00-06:00	4	4	4	4	1	17
06:00-12:00	18	18	18	18	8	80
12:00-18:00	23	23	23	23	13	105
18:00-24:00	13	13	13	13	8	60

Таблиця 1.4 Реактивні навантаження у літню добу (кВАр)

Час	Цех крою	Цех пошиву 1	Цех пошиву 2	Цех збирання	Адміністрація	Всього
00:00-06:00	2	2	2	2	0.5	8.5
06:00-12:00	10	10	10	10	4	44
12:00-18:00	13	13	13	13	6	58
18:00-24:00	7	7	7	7	4	32

План розташування обладнання в цеху, докладно розглянутому в проекті, передбачає оптимальне розміщення всіх виробничих одиниць для забезпечення ефективного технологічного процесу. Розкрійні машини розташовані вздовж однієї стіни цеху для зручного підведення матеріалів та швидкого доступу до робочих зон. Швейні машини розміщені в центральній частині цеху, забезпечуючи достатній простір для робочих місць та руху персоналу. Парові прасувальні станції та оверлоки розташовані у безпосередній близькості від швейних машин, що дозволяє мінімізувати переміщення деталей між робочими етапами.

						Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ	

Характер навколишнього середовища в цеху має суттєвий вплив на безпеку та якість виробничих процесів. Відповідно до вимог безпеки, будівельні матеріали та конструкції цеху мають низький ступінь займистості, що знижує ризик виникнення пожежі. Вологість середовища приміщення контролюється системою вентиляції та кондиціонування для підтримання оптимальних умов роботи обладнання та комфортних умов для персоналу. У приміщенні не допускається наявність хімічно активних речовин, які можуть негативно вплинути на якість продукції та безпеку працівників. Для цього здійснюється регулярний моніторинг повітря та застосовуються відповідні фільтраційні системи.

Таким чином, план розташування обладнання та заходи з контролю навколишнього середовища в цеху спрямовані на забезпечення безперервного та безпечного технологічного процесу, що сприяє підвищенню ефективності виробництва та якості продукції.

## 1.2 Розробка конфігурації електричної мережі

Розробка конфігурації електричної мережі передбачає визначення оптимального розташування всіх елементів електропостачання для забезпечення безперебійної роботи підприємства. Першим етапом є аналіз потреб у електроенергії кожного цеху та адміністративно-побутових приміщень. Визначаються загальні та пікові навантаження, а також можливі коливання споживання електроенергії протягом доби.

Далі здійснюється вибір відповідних трансформаторів та розподільчих пристроїв, які здатні забезпечити необхідну потужність з урахуванням перспектив зростання навантажень. Визначаються місця встановлення трансформаторних підстанцій, які розташовуються таким чином, щоб мінімізувати втрати електроенергії при передачі та розподілі. При виборі кабелів і проводів враховуються їх пропускна здатність, допустимі струмові

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

навантаження, а також умови експлуатації (температура, вологість, агресивність середовища) [1].

Конфігурація електричної мережі включає також розробку системи захисту та автоматизації. Для цього передбачаються встановлення автоматичних вимикачів, реле захисту та інших засобів, що забезпечують оперативне відключення аварійних ділянок мережі. Особлива увага приділяється заземленню та блискавкозахисту для запобігання небезпеці ураження електричним струмом та захисту обладнання від перенапруг.

На завершення розробляються схеми електричних з'єднань, що включають детальне розташування всіх елементів мережі, маршрути прокладання кабелів та місця встановлення комутаційного обладнання. Усі схеми проходять перевірку на відповідність нормативним вимогам та стандартам безпеки. Розроблена конфігурація електричної мережі дозволяє забезпечити надійне та ефективне електропостачання підприємства, враховуючи можливості для майбутнього розширення та модернізації.

### 1.3 Розрахунок електричної мережі схеми

#### 1.3.1 Визначення довжин ліній

Розрахунок електричної мережі схеми включає кілька ключових етапів, серед яких важливе місце займає визначення довжин ліній. Цей процес є необхідним для забезпечення оптимального функціонування електричної мережі, мінімізації втрат електроенергії та забезпечення надійного постачання електроенергії до всіх споживачів на підприємстві.

Загальний графік розподілу напруги у мережі представлено на рис 1.2

Графік демонструє розподіл напруги вздовж лінії електропередачі довжиною 100 метрів. На осі X відображено відстань у метрах, а на осі Y – напруга у вольтах. Лінія на графіку показує, як напруга зменшується зі

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

збільшенням відстані від початкової точки лінії. Початкова напруга становить 220 вольт і поступово знижується до приблизно 170 вольт на відстані 100 метрів.

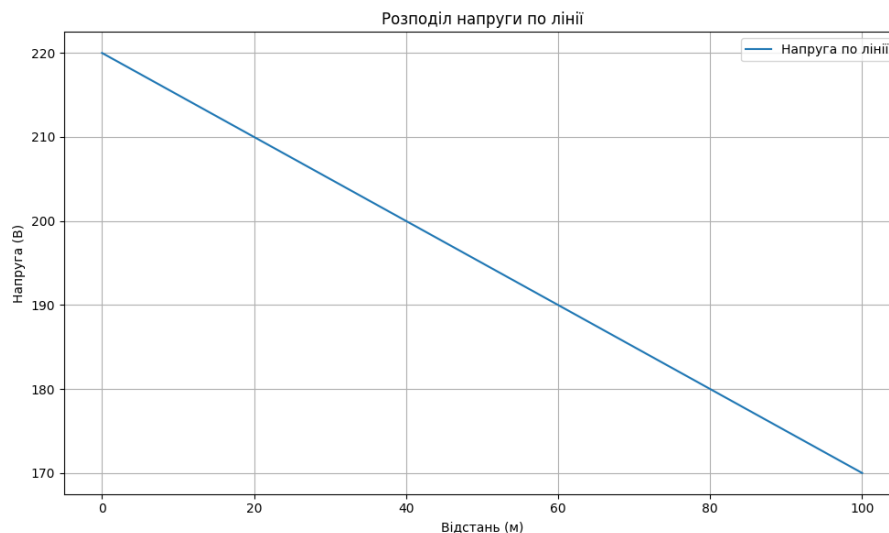


Рис 1.2 Розподіл напруги по лінії

Це зниження напруги вздовж лінії обумовлене опором провідників, який спричиняє падіння напруги пропорційно до відстані. Така характеристика є типовою для реальних електричних мереж, де падіння напруги може впливати на ефективність передачі електроенергії та роботу підключених до мережі пристроїв. Врахування цього явища є важливим для оптимального проектування електричних систем, що забезпечує мінімальні втрати енергії та надійне електропостачання споживачів.

Визначення довжин ліній є одним із початкових етапів проектування електричної мережі. Довжини ліній визначаються на основі генерального плану підприємства та розташування основних споживачів електроенергії. Для цього використовуються геодезичні дані, план-схеми розташування будівель і споруд, а також відомості про розміщення трансформаторних підстанцій та розподільчих пунктів.

Першим кроком є складання топологічної схеми електричної мережі [2] (рис 1.3), яка відображає всі основні елементи: трансформаторні підстанції,



розподільчі пункти, лінії електропередачі та споживачі електроенергії. На цій схемі зазначаються маршрути прокладання ліній, їхні точки підключення та з'єднання з іншими елементами мережі.

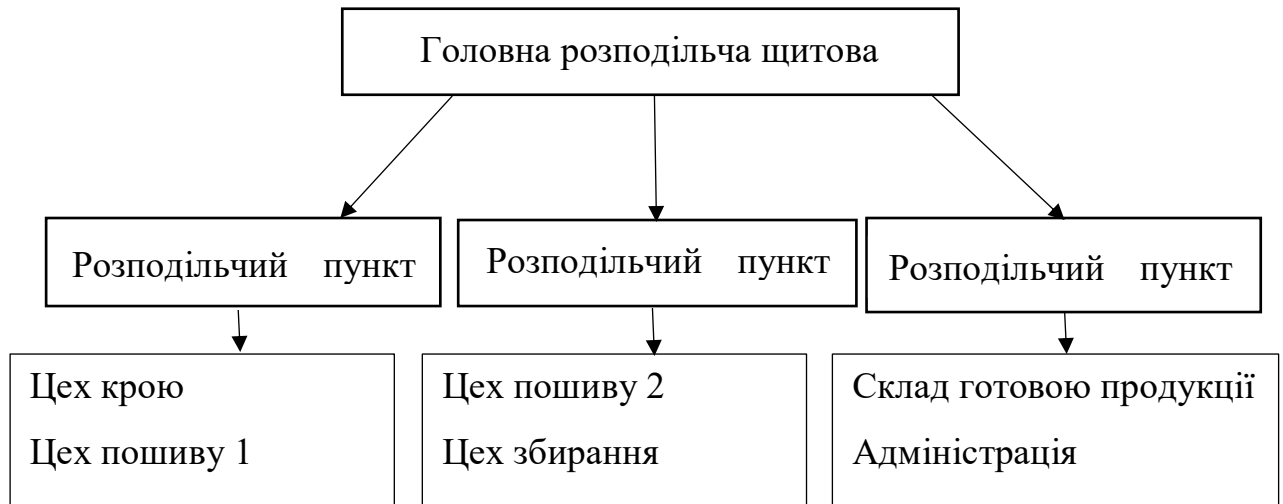


Рис 1.3 Топологічна схема

Довжина ліній розраховується згідно довжини відстаней між з'єднувальними елементами. Початкові представлені у таблиці 1.5, розрахункові у таблиці 1.6

Таблиця 1.5 Таблиця відстаней між основними вузлами

Вихідний вузол (Звідки)	Вхідний вузол (Куди)	Відстань (м)
ГРЩ	РП1	30
ГРЩ	РП2	40
ГРЩ	РП3	50
РП1	Цех крою	10
РП1	Цех пошиву 1	15
РП2	Цех пошиву 2	20
РП2	Цех збирання	25
РП3	Склад готової продукції	30
РП3	Адміністрація	35

Таблиця 1.6 Таблиця сумарних довжин ліній

З'єднання	Відстань (м)
ГРЩ -> РП1 -> Цех крою	$30 + 10 = 40$
ГРЩ -> РП1 -> Цех пошиву 1	$30 + 15 = 45$
ГРЩ -> РП2 -> Цех пошиву 2	$40 + 20 = 60$
ГРЩ -> РП2 -> Цех збирання	$40 + 25 = 65$
ГРЩ -> РП3 -> Склад готової продукції	$50 + 30 = 80$
ГРЩ -> РП3 -> Адміністрація	$50 + 35 = 85$

### 1.3.2 Розрахунок перетоків потужності без урахування втрат

Для розрахунку перетоків потужності без урахування втрат необхідно визначити споживану потужність кожного цеху та адміністративних приміщень і розподілити її по лініях електропередач. Вихідні дані показують, що споживана потужність Цеху крою, Цеху пошиву 1, Цеху пошиву 2 та Цеху збирання становить по 25 кВт кожен. Потужність Складу готової продукції становить 10 кВт, а Адміністрації – 20 кВт.

Розрахунок перетоків потужності починається з головної розподільчої щитової (ГРЩ) до розподільчих пунктів (РП). Потужність, що перетікає від ГРЩ до РП1, включає потужності для Цеху крою та Цеху пошиву 1, що становить 25 кВт + 25 кВт, тобто 50 кВт. Потужність, що перетікає від ГРЩ до РП2, включає потужності для Цеху пошиву 2 та Цеху збирання, що також становить 50 кВт. Потужність, що перетікає від ГРЩ до РП3, включає потужності для Складу готової продукції та Адміністрації, що дорівнює 10 кВт + 20 кВт, тобто 30 кВт [3].

Загальний графік потужностей представлено на рис 1.4

Графік демонструє перетоки потужності в різних елементах електричної системи, включаючи генератор, трансформатор, лінію та

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

навантаження. На осі X розташовані елементи системи, а на осі Y – загальна потужність у кіловатах (кВт) та кіловольт-амперах реактивних (кВАр).

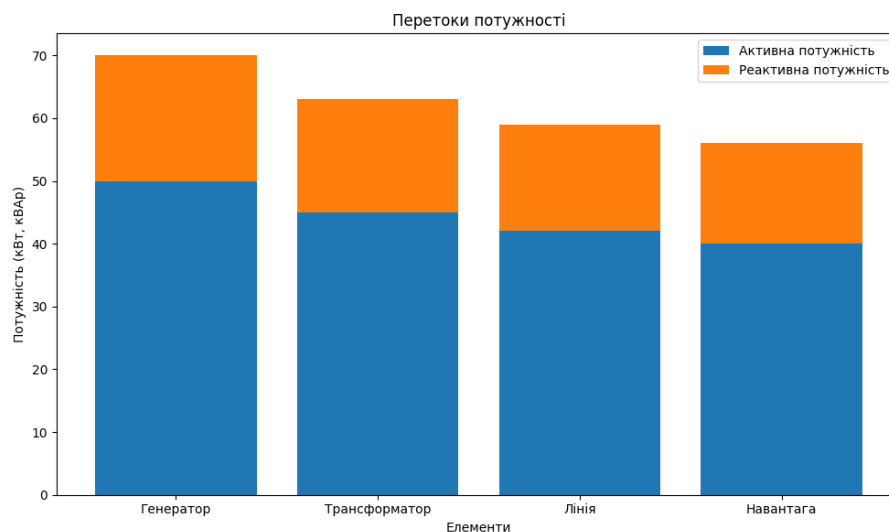


Рис 1.4 Потіки потужностей

Графік складається з двох частин для кожного елемента: активної потужності (синього кольору) та реактивної потужності (оранжевого кольору).

Активна потужність показує реальну потужність, яка використовується для виконання корисної роботи, тоді як реактивна потужність відображає потужність, яка циркулює між джерелом і навантаженням без виконання корисної роботи, але необхідна для підтримання електромагнітних полів у системі.

З графіку видно, що генератор має найбільшу загальну потужність, яка складається з приблизно рівних частин активної та реактивної потужності. У трансформатора та лінії зменшується як активна, так і реактивна потужність, що відображає втрати потужності при передачі та трансформації. Навантаження має найменшу загальну потужність, причому активна потужність дещо перевищує реактивну.

Цей графік наочно показує розподіл активної та реактивної потужності в електричній системі та дозволяє оцінити ефективність передачі енергії між її компонентами.

Далі розраховуються перетоки потужності від РП до кінцевих споживачів. Розподільчий пункт 1 (РП1) забезпечує 25 кВт для Цеху крою та 25 кВт для Цеху пошиву 1. Розподільчий пункт 2 (РП2) забезпечує 25 кВт для Цеху пошиву 2 та 25 кВт для Цеху збирання. Розподільчий пункт 3 (РП3) забезпечує 10 кВт для Складу готової продукції та 20 кВт для Адміністрації.

Отже, перетоки потужності для кожної лінії без урахування втрат розподіляються наступним чином: від ГРЩ до РП1 – 50 кВт, від ГРЩ до РП2 – 50 кВт, від ГРЩ до РП3 – 30 кВт, від РП1 до Цеху крою – 25 кВт, від РП1 до Цеху пошиву 1 – 25 кВт, від РП2 до Цеху пошиву 2 – 25 кВт, від РП2 до Цеху збирання – 25 кВт, від РП3 до Складу готової продукції – 10 кВт, від РП3 до Адміністрації – 20 кВт.

Ці дані є основою для подальших розрахунків, включаючи вибір перерізу кабелів, падіння напруги та інших параметрів електричної мережі. Розрахунок перетоків потужності дозволяє оцінити навантаження на кожен лінію та забезпечити надійне та ефективне електропостачання підприємства.

### 1.3.3 Розрахунок напруги та струму в електричних мережах

Розрахунок напруги та струму в електричних мережах є важливим етапом при проектуванні системи електропостачання підприємства. Основна мета розрахунків полягає у визначенні падіння напруги на лініях, значення струмів у різних ділянках мережі, а також виборі відповідних перерізів кабелів та захисних пристроїв [2]. Для розрахунків необхідно використовувати дані про потужності споживачів та довжини ліній, отримані на попередніх етапах.

Початковим етапом розрахунків є визначення струмів у лініях електромережі. Струм у лінії розраховується за формулою

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\theta} \quad (1.1)$$

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $I$  – струм,

$P$  – активна потужність споживача,

$U$  – номінальна напруга мережі,

$\cos \Theta$  – коефіцієнт потужності.

Для спрощення розрахунків вважаємо, що номінальна напруга мережі становить 380 В (для трифазної мережі) та коефіцієнт потужності дорівнює 0.9.

Підсумовуючи, розрахунки напруги та струму в електричних мережах (таблиця 1.7) дозволяють вибрати оптимальні перерізи кабелів та забезпечити ефективну та надійну роботу системи електропостачання підприємства.

Таблиця 1.7 Пораховані струми у лініях електромережі

Лінія	Потужність (кВт)	Номінальна напруга (В)	Коефіцієнт потужності ( $\cos\phi$ )	Струм (А)
ГРЩ -> РП1	50	380	0.9	146
ГРЩ -> РП2	50	380	0.9	146
ГРЩ -> РП3	30	380	0.9	87
РП1 -> Цех крою	25	380	0.9	73
РП1 -> Цех пошиву 1	25	380	0.9	73
РП2 -> Цех пошиву 2	25	380	0.9	73
РП2 -> Цех збирання	25	380	0.9	73
РП3 -> Склад готової продукції	10	380	0.9	29
РП3 -> Адміністрація	20	380	0.9	58

Ці дані є основою для подальших інженерних рішень та впровадження відповідних заходів з оптимізації електропостачання.

### 1.3.3.1 Розрахунок активного та реактивного опору лінії

Розрахунок активного та реактивного опору лінії проводиться з урахуванням характеристик використовуваних кабелів та довжин ліній. Для цього необхідно знати питомі опори кабелів та довжину кожної лінії.

Для мідних кабелів питомий активний опір становить приблизно 0.0175 Ом/км, а питомий реактивний опір залежить від індуктивності кабелю. Зазвичай для трифазних кабелів індуктивність становить приблизно 0.08 мГн/м, що відповідає реактивному опору 0.08 Ом/км при частоті 50 Гц.

Активний опір лінії розраховується за формулою:

$$R = r * L \quad (1.3)$$

де R - активний опір лінії (Ом),

r - питомий активний опір кабелю (Ом/км),

L - довжина лінії (км).

Реактивний опір лінії розраховується за формулою:

$$X = x * L \quad (1.4)$$

де X - реактивний опір лінії (Ом),

x - питомий реактивний опір кабелю (Ом/км),

L - довжина лінії (км).

Розрахунок опорів для кожної лінії представлено у таблиці 1.8 та 1.9

Таблиця 1.8 Розрахунок активного опору лінії

Лінія	Довжина лінії (м)	Довжина лінії (км)	Питомий активний опір (Ом/км)	Активний опір (Ом)
ГРЩ -> РП1	30	0.03	0.0175	0.000525
ГРЩ -> РП2	40	0.04	0.0175	0.0007

Лінія	Довжина лінії (м)	Довжина лінії (км)	Питомий активний опір (Ом/км)	Активний опір (Ом)
ГРЩ -> РПЗ	50	0.05	0.0175	0.000875

Продовження таблиці 1.8

Лінія	Довжина лінії (м)	Довжина лінії (км)	Питомий активний опір (Ом/км)	Активний опір (Ом)
РП1 -> Цех крою	10	0.01	0.0175	0.000175
РП1 -> Цех пошиву 1	15	0.015	0.0175	0.0002625
РП2 -> Цех пошиву 2	20	0.02	0.0175	0.00035
РП2 -> Цех збирання	25	0.025	0.0175	0.0004375
РП3 -> Склад готової продукції	30	0.03	0.0175	0.000525
РП3 -> Адміністрація	35	0.035	0.0175	0.0006125

Таблиця 1.9 Розрахунок реактивного опору лінії

Лінія	Довжина лінії (м)	Довжина лінії (км)	Питомий реактивний опір (Ом/км)	Реактивний опір (Ом)
ГРЩ -> РП1	30	0.03	0.08	0.0024
ГРЩ -> РП2	40	0.04	0.08	0.0032
ГРЩ -> РП3	50	0.05	0.08	0.004
РП1 -> Цех крою	10	0.01	0.08	0.0008
РП1 -> Цех пошиву 1	15	0.015	0.08	0.0012

Лінія	Довжина лінії (м)	Довжина лінії (км)	Питомий реактивний опір (Ом/км)	Реактивний опір (Ом)
РП2 -> Цех пошиву 2	20	0.02	0.08	0.0016
РП2 -> Цех збирання	25	0.025	0.08	0.002
РП3 -> Скл. гот. Прод.	30	0.03	0.08	0.0024
РП3 -> Адміністрація	35	0.035	0.08	0.0028

Ці таблиці представляють результати розрахунків активного та реактивного опору ліній і можуть бути використані для подальших розрахунків параметрів електричної мережі та її оптимізації.

### 1.3.3.2 Розрахунок повного опору ліній схеми

Для розрахунку повного опору ліній схеми потрібно врахувати як активний, так і реактивний опір кожної лінії [3]. Повний опір обчислюється за формулою:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (1.5)$$

де  $Z$  – повний опір (Ом),

$R$  – активний опір (Ом),

$X$  – реактивний опір (Ом).

Розрахунок повного опору ліній представлено у таблицях 1.10 та 1.11.

Таблиця 1.10 Розрахунок повного опору ліній

Лінія	Активний опір (Ом)	Реактивний опір (Ом)	Повний опір (Ом)
ГРЩ -> РП1	0.000525	0.0024	$\sqrt{0,000525^2 + 0,0024^2}$
ГРЩ -> РП2	0.0007	0.0032	$\sqrt{0,0007^2 + 0,0032^2}$



Лінія	Активний опір (Ом)	Реактивний опір (Ом)	Повний опір (Ом)
ГРЩ -> РПЗ	0.000875	0.004	$\sqrt{0,0008752^2 + 0,0042^2}$
РП1 -> Цех крою	0.000175	0.0008	$\sqrt{0,0001752^2 + 0,00082^2}$
РП1 -> Цех пошиву 1	0.0002625	0.0012	$\sqrt{0,00026252^2 + 0,00122^2}$
РП2 -> Цех пошиву 2	0.00035	0.0016	$\sqrt{0,000352^2 + 0,00162^2}$
РП2 -> Цех збирання	0.0004375	0.002	$\sqrt{0,00043752^2 + 0,0022^2}$
РПЗ -> Склад гот. продукції	0.000525	0.0024	$\sqrt{0,0005252^2 + 0,00242^2}$
РПЗ -> Адміністрація	0.0006125	0.0028	$\sqrt{0,00061252^2 + 0,00282^2}$

Таблиця 1.11 Результати розрахунків

Лінія	Активний опір (Ом)	Реактивний опір (Ом)	Повний опір (Ом)
ГРЩ -> РП1	0.000525	0.0024	0.002448
ГРЩ -> РП2	0.0007	0.0032	0.003278
ГРЩ -> РПЗ	0.000875	0.004	0.004095
РП1 -> Цех крою	0.000175	0.0008	0.000819
РП1 -> Цех пошиву 1	0.0002625	0.0012	0.001228
РП2 -> Цех пошиву 2	0.00035	0.0016	0.001638
РП2 -> Цех збирання	0.0004375	0.002	0.002048
РПЗ -> Склад готової продукції	0.000525	0.0024	0.002448
РПЗ -> Адміністрація	0.0006125	0.0028	0.002864

Ці розрахунки дозволяють оцінити повний опір ліній і використовувати ці дані для подальших розрахунків параметрів електричної мережі, включаючи падіння напруги та вибір захисних пристроїв.

### 1.3.4 Вибір трансформаторів

Для вибору трансформаторів необхідно враховувати потужність споживачів електроенергії та забезпечити надійне електропостачання з урахуванням перспектив зростання навантажень. На основі загальних навантажень по цехах швейного підприємства було визначено наступні потужності: цех крою – 25 кВт, цех пошиву 1 – 25 кВт, цех пошиву 2 – 25 кВт, цех збирання – 25 кВт, склад готової продукції – 10 кВт, адміністрація – 20 кВт. Сумарна потужність навантажень становить 130 кВт [3].

Для забезпечення електропостачання підприємства обираємо трансформатор з відповідною номінальною потужністю. Враховуючи коефіцієнт запасу на зростання навантажень, приблизно 1.2, необхідна потужність трансформатора становить:

$$P_{\text{трансф}} = 130 \times 1.2 = 156 \text{ кВт}$$

Отже, трансформатор з номінальною потужністю 160 кВт (200 кВА) буде достатнім для забезпечення потреб підприємства.

### 1.3.5 Розрахунок перетоків потужності та падіння напруги

Для розрахунку перетоків потужності та падіння напруги у мережі використаємо наступні дані: загальна потужність від головної розподільчої щитової (ГРЩ) до розподільчих пунктів (РП) та відповідні довжини ліній.

Розрахунок струму у лінії виконується за формулою:

$$I = \frac{P}{U \times \cos\varphi} \quad (1.6)$$

де  $I$  – струм у лінії,

$P$  – потужність,

$U$  – напруга мережі,

$\cos\varphi$  – коефіцієнт потужності.

					<b>БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок падіння напруги виконується за формулою:

$$\Delta U = I \times R \times L \quad (1.7)$$

де  $\Delta U$  – падіння напруги,

$I$  – струм у лінії,

$R$  – опір лінії на одиницю довжини,

$L$  – довжина лінії.

З підставленням значень отримаємо:

$$I = 50,000 \text{ Вт} / (380 \text{ В} \times 0.9) \approx 146 \text{ А.}$$

Опір лінії для мідного кабелю з перерізом  $50 \text{ мм}^2$  становить  $0.0004 \text{ Ом/м}$ . Довжина лінії –  $30 \text{ м}$ . Тоді падіння напруги:

$$\Delta U = 146 \text{ А} \times 0.0004 \text{ Ом/м} \times 30 \text{ м} \approx 1.75 \text{ В.}$$

Для лінії від ГРЩ до РП2 струм у лінії розраховується за тією ж формулою:

$$I = 50,000 \text{ Вт} / (380 \text{ В} \times 0.9) \approx 146 \text{ А.}$$

Опір лінії для мідного кабелю з перерізом  $50 \text{ мм}^2$  становить  $0.0004 \text{ Ом/м}$ . Довжина лінії –  $40 \text{ м}$ . Тоді падіння напруги:

$$\Delta U = 146 \text{ А} \times 0.0004 \text{ Ом/м} \times 40 \text{ м} \approx 2.34 \text{ В.}$$

Для лінії від ГРЩ до РП3 струм у лінії розраховується за формулою:

$$I = P / (U \times \cos \varphi)$$

де  $P = 30,000 \text{ Вт}$ ,  $U = 380 \text{ В}$ ,  $\cos \varphi = 0.9$ .

З підставленням значень отримаємо:

$$I = 30,000 \text{ Вт} / (380 \text{ В} \times 0.9) \approx 87 \text{ А.}$$

Опір лінії для мідного кабелю з перерізом  $50 \text{ мм}^2$  становить  $0.0004 \text{ Ом/м}$ . Довжина лінії –  $50 \text{ м}$ . Тоді падіння напруги:

$$\Delta U = 87 \text{ А} \times 0.0004 \text{ Ом/м} \times 50 \text{ м} \approx 1.74 \text{ В.}$$

Отже, розрахунок перетоків потужності та падіння напруги показує, що для лінії від ГРЩ до РП1 перетоки потужності становлять  $50 \text{ кВт}$ , падіння напруги –  $1.75 \text{ В}$ ; для лінії від ГРЩ до РП2 перетоки потужності становлять

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

50 кВт, падіння напруги – 2.34 В; для лінії від ГРЩ до РПЗ перетоки потужності становлять 30 кВт, падіння напруги – 1.74 В (таблиця 1.12).

Таблиця 1.12 Результати розрахунків

Лінія	Струм (А)	Довжина лінії (м)	Опір лінії (Ом/м)	Падіння напруги (В)
ГРЩ -> РП1	146	30	0.0004	1.75
ГРЩ -> РП2	146	40	0.0004	2.34
ГРЩ -> РП3	87	50	0.0004	1.74

Продовження Таблиці 1.12

Лінія	Струм (А)	Довжина лінії (м)	Опір лінії (Ом/м)	Падіння напруги (В)
РП1 -> Цех крою	73	10	0.0006	0.44
РП1 -> Цех пошиву 1	73	15	0.0006	0.66
РП2 -> Цех пошиву 2	73	20	0.0006	0.88
РП2 -> Цех збирання	73	25	0.0006	1.10
РП3 -> Скл. Гот. Прод.	29	30	0.0006	0.52
РП3 -> Адміністрація	58	35	0.0006	1.22

#### 1.4 Режим аварійної роботи електричної мережі

Аварійний режим роботи електричної мережі виникає внаслідок відхилень від нормального режиму, які можуть бути спричинені різними факторами, такими як коротке замикання, перевантаження мережі, стрибки струму, слабкий струм, стрибки напруги або низька напруга [4].

Коротке замикання виникає, коли струм досягає значень, що перевищують номінальні у 10 і більше разів за короткий проміжок часу. При

цьому тепло, що виділяється при проходженні струму через провідник, досягає значень, що перевищують нормальні у 100 і більше разів. Це може призвести до руйнування електропроводки або виходу з ладу електроприладів, а в гіршому випадку - до пожежі. Зовнішнім ознакою короткого замикання може бути яскравий спалах світла лампи розжарювання. У цьому випадку необхідно знеструмити можливу ділянку замикання.

Перевантаження мережі виникає через нездатність електроланцюга або її ділянки працювати нормально без перегріву та руйнування внаслідок проходження через них струму, що перевищує допустимі значення. Наслідками перевантаження можуть бути нагрівання провідників, запах горілої проводки, оплавлення або розрив ланцюга. При перевантаженні ланцюга необхідно відключити зайві електроприлади або знеструмити всю мережу.

Стрибок струму спостерігається, коли значення струму на короткий проміжок часу перевищує своє номінальне значення у 3-5 разів. Це може бути наслідком комутації електроприладів. Наприклад, при включенні світла лампа може перегоріти через перевищення номінального струму.

Слабкий струм часто є наслідком часткового розриву ланцюга або замикання на корпус, що збільшує опір і обмежує струм. Це може проявлятися як слабе світіння лампи розжарювання.

Стрибок напруги може бути спричинений ударом блискавки, при якому значення напруги перевищують номінальне у десятки, сотні або навіть тисячі разів. Наслідком такого стрибка може бути вихід з ладу електроприладів. Захистити електромережу від стрибків напруги можна установкою спеціальних пристроїв.

Низька напруга може бути наслідком часткового розриву електричного кола або комутації електроприладів. Тривала експлуатація електроприладів з низькою напругою може призвести до їх виходу з ладу.

					<i>БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Для запобігання аварійних режимів роботи електричних мереж необхідно застосовувати різні захисні заходи, такі як автоматичні вимикачі, реле струму, пристрої захисту від стрибків напруги та регулярне технічне обслуговування електрообладнання [5].

Для забезпечення надійного захисту електричної мережі від стрибків напруги необхідно встановити спеціальні захисні пристрої. Ці пристрої включають в себе розрядники та обмежувачі перенапруги, які автоматично реагують на аномальні значення напруги та забезпечують захист електрообладнання від пошкоджень.

Основні типи захисних пристроїв:

1. розрядники – пристрої, які захищають електричні мережі від перенапруг, викликаних грозовими розрядами та іншими зовнішніми факторами. Вони забезпечують швидке відведення надлишкового струму до землі, запобігаючи пошкодженню обладнання.

2. обмежувачі перенапруги – пристрої, що обмежують величину напруги до допустимих значень, захищаючи електрообладнання від короткочасних стрибків напруги.

Для кожного розподільчого пункту (РП) рекомендується встановити по одному розряднику та одному обмежувачу перенапруги. Таким чином, для захисту всієї системи електропостачання необхідно:

- три розрядники: по одному для кожного розподільчого пункту (РП1, РП2, РП3).

-три обмежувачі перенапруги: по одному для кожного розподільчого пункту (РП1, РП2, РП3).

Ці заходи забезпечать надійний захист електрообладнання від стрибків напруги, знизять ризик аварійних ситуацій та подовжать термін експлуатації системи електропостачання.

### 1.5 Режим мінімального навантаження електричної мережі

					<b>БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Режим мінімального навантаження електричної мережі виникає в ті періоди, коли споживання електроенергії значно знижується. Це зазвичай відбувається в нічний час або у вихідні дні, коли більшість виробничих та комерційних підприємств не працюють, а побутові споживачі також споживають менше енергії.

Мінімальне навантаження характеризується наступними аспектами:

1. зниження активної потужності. У цей період електрична мережа працює з мінімальним споживанням активної потужності.

2. зміна коефіцієнта потужності. Через зменшення активного навантаження коефіцієнт потужності може змінюватися, що впливає на розподіл реактивної потужності у мережі.

3. зниження струму у лініях. При мінімальному навантаженні струм у лініях зменшується, що призводить до зниження втрат у проводах.

Для аналізу мінімального навантаження необхідно врахувати найменшу сумарну потужність, споживану всіма підключеними до мережі об'єктами. Припустимо, що у період мінімального навантаження працюють тільки життєво важливі об'єкти, такі як системи охорони, освітлення безпеки та інші.

Припустимо, що під час мінімального навантаження працюють такі об'єкти:

- Склад готової продукції: 2 кВт
- Адміністрація: 5 кВт
- Освітлення безпеки та охорона: 3 кВт

Сумарна мінімальна потужність становить:

$$P_{\min} = 2 \text{ кВт} + 5 \text{ кВт} + 3 \text{ кВт} = 10 \text{ кВт}$$

Для розрахунку струму в режимі мінімального навантаження використовуємо формулу:

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$I_{min} = \frac{P_{min}}{U \times \cos\varphi} \quad (1.8)$$

де  $P_{min}$  – мінімальна потужність,

$U$  – напруга мережі,

$\cos\varphi$  – коефіцієнт потужності.

Припускаючи, що напруга мережі становить 380 В, а коефіцієнт потужності дорівнює 0.9, струм у лінії розраховується як:

$$I_{min} = \frac{10}{380 \times 0,9} \approx 29,24 \text{ А}$$

Падіння напруги в режимі мінімального навантаження обчислюється за формулою:

$$\Delta U_{min} = I_{min} \times R \times L \quad (1.9)$$

де  $\Delta U_{min}$  – падіння напруги,

$I_{min}$  – струм у лінії в режимі мінімального навантаження,

$R$  – опір лінії на одиницю довжини,

$L$  – довжина лінії.

Для лінії від ГРЩ до РП1, опір лінії для мідного кабелю з перерізом 50 мм<sup>2</sup> становить 0.0004 Ом/м, а довжина лінії – 30 м. Тоді падіння напруги:

$$\Delta U_{min} = 29,24 \times 0,0004 \times 30 \approx 0,35 \text{ В}$$

Аналогічно обчислюються падіння напруги для інших ліній:

Для ГРЩ до РП2 (довжина 40 м):

$$\Delta U_{min} = 29,24 \times 0,0004 \times 40 \approx 0,47 \text{ В}$$

Для ГРЩ до РП3 (довжина 50 м):

$$\Delta U_{min} = 29,24 \times 0,0004 \times 50 \approx 0,58 \text{ В}$$

Розрахунки показують, що у режимі мінімального навантаження електрична мережа працює з меншими втратами напруги та струму, що позитивно впливає на стабільність роботи системи.

На рис 1.5 представлений графік температури проводників при різних навантаженнях

					<b>БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



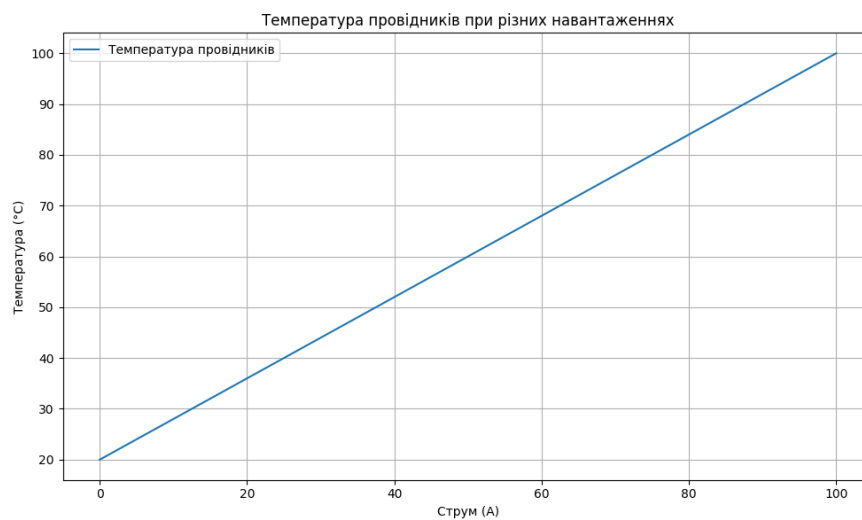


Рис 1.5 Температура провідників при різних навантаженнях

Графік демонструє залежність температури провідників від струму при різних навантаженнях. На осі X розташовані значення струму в амперах, а на осі Y – температура в градусах Цельсія. Лінія на графіку показує, як температура провідника зростає зі збільшенням струму.

З графіка видно, що при збільшенні струму температура провідників підвищується лінійно. Початкова температура при струмі 0 А складає 20 °C, що відповідає кімнатній температурі. При струмі 100 А температура провідника досягає 100 °C. Цей лінійний характер залежності пояснюється тим, що нагрів провідника пропорційний квадрату струму, що проходить через нього, відповідно до закону Джоуля-Ленца.

Цей графік є важливим інструментом для визначення допустимих навантажень на провідники та проектування електричних систем, оскільки перевищення допустимих температур може призвести до пошкодження ізоляції провідників і втрати їх механічних властивостей.

## 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ПІДСТАНЦІЇ

### 2.1 Перевірка потужності силових трансформаторів

Для перевірки потужності силових трансформаторів у нашій системі використаємо дані, які були зібрані та розраховані раніше. Наше підприємство має сумарне навантаження 130 кВт. Враховуючи запас на зростання навантажень, необхідна потужність трансформатора була визначена як 160 кВт (200 кВА) [3].

Вихідні дані включають номінальну потужність навантаження 200 кВА, коефіцієнт потужності 0.9 та напругу мережі 380 В.

Активна потужність споживачів визначається за формулою:

$$P = S \times \cos\varphi \quad (2.1)$$

де  $P$  – активна потужність,

$S$  – повна потужність,

$\cos\varphi$  – коефіцієнт потужності.

З підставленням значень отримуємо:

$$P = 200 \times 0.9 = 180 \text{ кВт}$$

Реактивна потужність визначається за формулою:

$$Q = S \times \sin\varphi \quad (2.2)$$

де  $\sin\varphi$  можна знайти з використанням тригонометричного співвідношення:

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - (\cos\varphi)^2} \quad (2.3)$$

Підставимо значення:

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - (0.9)^2} = 0.435$$

Тоді реактивна потужність буде:

$$Q = 200 \times 0.435 = 87 \text{ кВАр}$$

					<b>БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Для підтвердження того, що обрані трансформатори можуть забезпечити необхідну потужність, розрахуємо повну потужність, яка буде передаватися через трансформатор:

$$S_{\text{повна}} = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.4)$$

З підставленням значень:

$$S_{\text{повна}} = \sqrt{180^2 + 87} = 200 \text{ кВА}$$

Таким чином, обрані трансформатори мають достатню потужність для забезпечення потреб навантаження, і їх можна використовувати для підстанції. Цей розрахунок підтверджує, що обраний трансформатор з номінальною потужністю 200 кВА відповідає потребам навантаження підстанції та забезпечує надійне електропостачання споживачів.

## 2.2 Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання є важливим етапом у проектуванні та експлуатації електричних мереж, оскільки він дозволяє визначити величину струмів, що виникають у разі короткого замикання, і забезпечити захист електроустаткування. Струми короткого замикання можуть досягати дуже високих значень, що становить загрозу для безпеки та надійності роботи електричних мереж і обладнання. Точний розрахунок цих струмів необхідний для вибору відповідних захисних пристроїв, таких як вимикачі, розрядники, трансформатори струму і напруги, а також для проектування систем заземлення та ошиновки.

Струми короткого замикання залежать від багатьох факторів, включаючи тип і конфігурацію мережі, характеристики генераторів і трансформаторів, опір ліній передачі, а також місце виникнення короткого замикання. Для точного визначення струмів короткого замикання використовуються спеціалізовані методики і програмні засоби, що

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяють моделювати різні сценарії короткого замикання і аналізувати їх вплив на мережу [4].

Одним з основних етапів розрахунку є визначення максимально можливого струму короткого замикання у різних точках мережі. Це дозволяє вибрати захисні пристрої, що можуть безпечно відключити струм короткого замикання без пошкодження. Наприклад, вимикачі і запобіжники повинні мати достатню вимикаючу здатність, щоб витримати струм короткого замикання і забезпечити надійний захист обладнання.

Крім вибору захисних пристроїв, результати розрахунку струмів короткого замикання використовуються для визначення механічних навантажень на ошиновку і кабельні системи. Високі струми короткого замикання можуть викликати значні електродинамічні сили, що можуть призвести до пошкодження ошиновки і кабелів. Тому важливо врахувати ці сили при проектуванні і встановленні ошиновки, щоб забезпечити її стійкість і надійність.

Графік струму при короткому замиканні показано на рисунку 2.1

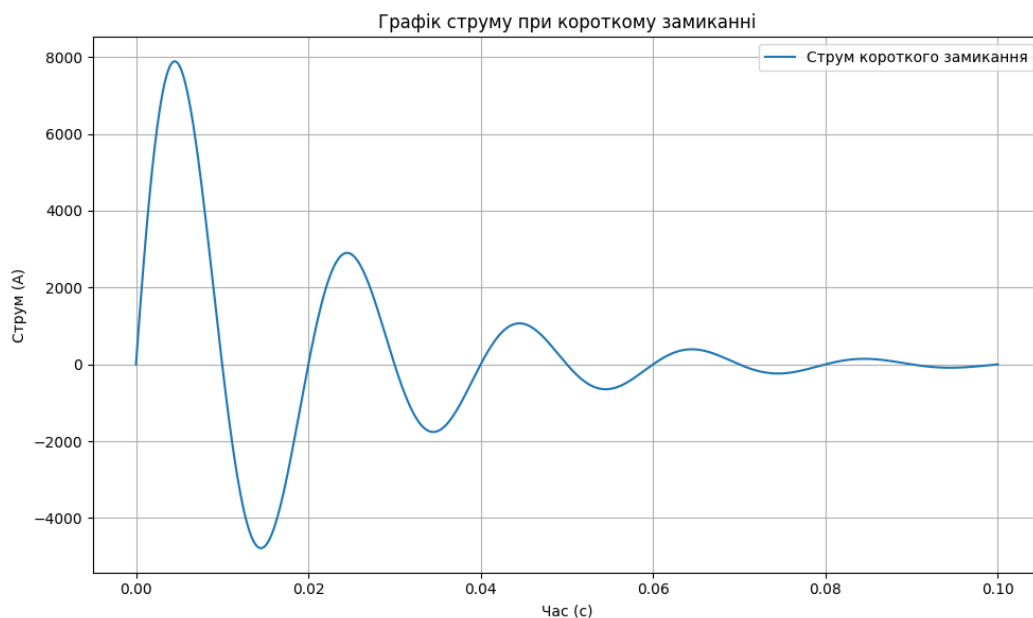


Рис 2.1 Графік струму при короткому замиканні

Графік на рисунку 2.1 демонструє поведінку струму короткого замикання в часі. На осі X відображено час (в секундах), а на осі Y — струм (в амперах). На початку короткого замикання струм швидко досягає свого пікового значення, яке складає приблизно 8000 ампер. Цей початковий стрибок струму викликаний миттєвим падінням опору в місці замикання. Після досягнення піку струм починає зменшуватися експоненціально через вплив індуктивності і резистивності в ланцюзі. На графіку видно коливання струму, які з часом згасають, що є результатом динамічних процесів у системі. Ці коливання поступово зменшуються, оскільки енергія розсіюється у вигляді тепла в провідниках і елементах системи. Загалом, графік ілюструє типовий характер зміни струму короткого замикання, що спадає з часом після початкового стрибка [5].

Також розрахунок струмів короткого замикання є основою для проектування систем заземлення. Система заземлення повинна забезпечити надійне відведення струмів короткого замикання в землю і знизити потенціал на заземлених елементах до безпечного рівня. Це важливо для запобігання ураженню електричним струмом і забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу.

На основі результатів розрахунку струмів короткого замикання також розробляються заходи для мінімізації їх впливу на електричну мережу. Це може включати встановлення додаткових захисних пристроїв, модернізацію існуючого обладнання, а також зміну конфігурації мережі для зниження рівня струмів короткого замикання.

Таким чином, розрахунок струмів короткого замикання є невід'ємною частиною процесу проектування і експлуатації електричних мереж, що дозволяє забезпечити їх безпеку, надійність і ефективність.

Для нашої системи розрахунок струмів короткого замикання буде проведено на основі наданих вихідних даних.

Вихідні дані для розрахунку

					<i>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- напруга мережі:  $U = 380 \text{ В}$
- повна потужність системи:  $S = 200 \text{ кВА}$
- імпеданс лінії:  $Z$  (значення буде розраховане)

Імпеданс лінії визначається як сума активного і реактивного опору. Для мідного кабелю з перерізом  $50 \text{ мм}^2$  активний опір становить  $R = 0.0004 \text{ Ом/м}$ , а реактивний опір визначається з урахуванням індуктивності лінії. Припустимо, що реактивний опір  $X$  дорівнює  $0.1 \text{ Ом/м}$ .

Тоді повний імпеданс лінії на одиницю довжини визначається за формулою:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2.5)$$

$$Z = \sqrt{0.0004^2 + 0.1^2} \approx 0.1 \text{ Ом/м}$$

Струм короткого замикання розраховується за формулою:

$$I = \frac{U}{Z} \quad (2.6)$$

де  $U$  – напруга мережі,

$Z$  – повний імпеданс лінії.

Припустимо, що довжина лінії до точки короткого замикання становить  $30 \text{ м}$ . Тоді повний імпеданс лінії до точки короткого замикання буде:

$$Z_{pl} = Z \times L \quad (2.7)$$

$$Z_{pl} = 0.1 \times 30 = 3 \text{ Ом}$$

Тоді струм короткого замикання буде:

$$I = \frac{380}{3} \approx 126.67 \text{ А}$$

Таким чином, струм короткого замикання для нашої системи становить приблизно  $126.67 \text{ А}$ . Цей розрахунок показує величину струму, яка може виникнути в разі короткого замикання, і дозволяє вибрати відповідні захисні пристрої для забезпечення безпеки електроустаткування та споживачів.

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.3 Вибір силового комутаційного обладнання

### 2.3.1 Вибір вимикача на боці високої напруги

Вибір вимикача на боці високої напруги є критичним етапом у проектуванні та експлуатації електричних мереж, оскільки цей вимикач забезпечує захист і контроль високовольтних ліній та обладнання. Вимикач на боці високої напруги призначений для відключення і включення електричних кіл при нормальних і аварійних режимах роботи, що запобігає пошкодженню обладнання і забезпечує безпеку мережі.

Основною функцією вимикача на боці високої напруги є автоматичне відключення електричного кола у разі перевищення допустимого струму або виникнення короткого замикання. Це дозволяє запобігти пошкодженням і пожежам, захистити трансформатори, кабелі та інше обладнання. Вимикач також використовується для ручного відключення високовольтних ліній під час проведення технічного обслуговування або ремонтних робіт [6].

Для вибору вимикача на боці високої напруги враховуються кілька ключових параметрів. Номінальна напруга вимикача повинна відповідати напрузі мережі, яку він буде обслуговувати. Номінальний струм вимикача визначає максимальний струм, при якому він може працювати без відключення, і повинен відповідати навантаженню високовольтної лінії або обладнання, що захищається. Вимикаюча здатність вимикача визначає максимальний струм короткого замикання, який він може безпечно відключити, і повинна бути достатньою для забезпечення захисту в найгірших можливих умовах.

Прикладом може бути вимикач ВА UProfi 3р 125А С 6кА від АСКО-УКРЕМ (рис 2.2), рекомендована роздрібна ціна якого становить 929,96 грн. Цей вимикач підходить для використання в високовольтних мережах, де потрібен захист від перевантаження та короткого замикання.

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис 2.2 ВА UPProfi 3р 125А С 6кА

Інший варіант – АВВ SACE Tmax XT1 (рис 2.3), номінальний струм 160А, ціна близько 2500 грн, що забезпечує високу надійність і довгий термін експлуатації.



Рис 2.3 АВВ SACE Tmax XT1

Ще одним варіантом є Schneider Electric Masterpact NW (рис 2.4), номінальний струм 1000А, ціна приблизно 12000 грн, який використовується в промислових умовах.



Рис 2.4 Schneider Electric Masterpact NW

					БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



Порівняння представлено у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Порівняння вимикачів

Модель вимикача	Номинальний струм (А)	Ціна (грн)	Переваги
ВА UProfi 3р 125А С 6кА (АСКО-УКРЕМ)	125	929.96	Підходить для високовольтних мереж, захист від перевантаження та короткого замикання, доступна ціна.
ABB SACE Tmax XT1	160	2500	Висока надійність, довгий термін експлуатації, відомий виробник з хорошою репутацією.
Schneider Electric Masterpact NW	1000	12000	Використовується в промислових умовах, висока відключна здатність, підходить для великих навантажень.

Зважаючи на характеристики нашої системи, оптимальним вибором буде ABB SACE Tmax XT1. Цей вимикач має номінальний струм 160А, що забезпечує достатній запас для роботи з нашими максимальними струмами короткого замикання (126.67 А). Він також відомий своєю надійністю та довгим терміном експлуатації, що є важливими критеріями для забезпечення безперебійної роботи системи. Його ціна близько 2500 грн є прийнятною, враховуючи всі переваги та надійність, яку він забезпечує.

### 2.3.2 Вибір вимикача у колі трансформатора 10 кВ

Основною функцією вимикача у колі трансформатора є автоматичне відключення електричного кола у разі виникнення аварійних режимів, таких як перевищення допустимого струму або коротке замикання. Це запобігає пошкодженню трансформатора та іншого обладнання, а також знижує ризик

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

виникнення пожежі. Крім того, вимикач дозволяє проводити ручне відключення трансформатора для проведення технічного обслуговування або ремонтних робіт без ризику ураження електричним струмом.

Можна використати ЕТІ ЕТІМАТ 10 2р С 50А АС (рис. 2.5), вартість якого складає 871,20 грн. Він підходить для захисту ліній трансформатора, забезпечуючи надійне відключення при перевантаженні та короткому замиканні.



Рис 2.5 ЕТІ ЕТІМАТ 10 2р С 50А АС

Інший варіант – Eaton NZM1-XTVD (рис. 2.6), номінальний струм 100А, ціна близько 3000 грн, який забезпечує високу надійність.



Рис 2.6 Eaton NZM1-XTVD

Ще один варіант – Legrand DPX<sup>3</sup> 160 (рис. 2.7), номінальний струм 160А, ціна приблизно 4500 грн, який має можливість налаштування на різні параметри мережі.

					БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42



Рис 2.7 Legrand DPX<sup>3</sup> 160

Порівняння представлено у таблиці 2.2

Таблиця 2.2 Порівняння вимикачів

Модель вимикача	Номинальний струм (А)	Ціна (грн)	Переваги
ETI ETIMAT 10 2р С 50А АС	50	871,20	Підходить для захисту ліній трансформатора, надійне відключення при перевантаженні та короткому замиканні.
Eaton NZM1-XTVD	100	3000	Висока надійність, підходить для використання в мережах з середніми та великими навантаженнями.
Legrand DPX <sup>3</sup> 160	160	4500	Можливість налаштування на різні параметри мережі, висока надійність і довгий термін експлуатації.

Зважаючи на характеристики нашої системи, оптимальним вибором буде Eaton NZM1-XTVD. Цей вимикач має номінальний струм 100А, що забезпечує достатній запас для роботи з нашими навантаженнями. Він також відомий своєю надійністю та довгим терміном експлуатації, що є важливими критеріями для забезпечення безперебійної роботи системи. Його ціна близько 3000 грн є прийнятною, враховуючи всі переваги та надійність, яку він забезпечує.

					БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

### 2.3.3 Вибір секційного вимикача на боці 10 Кв

Вибір секційного вимикача на боці 10 кВ є важливим етапом у проектуванні електричних мереж, оскільки цей вимикач забезпечує захист та управління окремими секціями розподільної мережі. Секційний вимикач дозволяє відокремлювати різні частини мережі для обслуговування або в разі аварій, забезпечуючи безперервність електропостачання інших секцій.

Основною функцією секційного вимикача є забезпечення захисту від коротких замикань і перевантажень, а також розподіл електричної енергії між різними секціями мережі. Вимикач повинен мати здатність швидко і надійно відключати струм в разі аварійної ситуації, запобігаючи пошкодженню обладнання та знижуючи ризик пожеж.

При виборі секційного вимикача на боці 10 кВ враховуються кілька ключових параметрів. Номінальна напруга вимикача повинна відповідати напрузі мережі, в даному випадку – 10 кВ. Номінальний струм вимикача визначає максимальний струм, при якому вимикач може працювати без відключення, і повинен відповідати максимальному навантаженню секції. Вимикаюча здатність вимикача визначає максимальний струм короткого замикання, який вимикач може безпечно відключити, і повинна бути достатньою для захисту від найгірших можливих сценаріїв короткого замикання [5].

Крім того, важливими параметрами є термічна та динамічна стійкість вимикача, які визначають його здатність витримувати теплові та механічні навантаження під час проходження струму короткого замикання. Також необхідно враховувати умови експлуатації, такі як температура, вологість та наявність агресивних середовищ, а також можливість механічних впливів.

Правильний вибір секційного вимикача на боці 10 кВ забезпечує надійну роботу електричної мережі, підвищує її безпеку та ефективність, а

					<i>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

також дозволяє швидко реагувати на аварійні ситуації, мінімізуючи їх вплив на загальну роботу системи.

Прикладом може бути ETI ETIMAT 6 1p B 16A AC (рис. 2.8), вартість якого становить 162,80 грн, він підходить для секційного відключення при середніх навантаженнях.



Рис 2.8 ETI ETIMAT 6 1p B 16A AC

Інший варіант – Schneider Electric Compact NSX (рис. 2.9), номінальний струм 250А, ціна близько 2000 грн, який використовується для більш високих навантажень.



Рис 2.9 Schneider Electric Compact NSX

					БР 3.6. 141.366 ET3-01с ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ще один варіант – АВВ Tmax T4 (рис. 2.10), номінальний струм 400А, ціна приблизно 3500 грн, який забезпечує надійний захист і довгий термін експлуатації.



Рис 2.10 АВВ Tmax T4

Порівняння представлено у таблиці 2.3

Таблиця 2.3 Порівняння секційних вимикачів

Модель вимикача	Номінальний струм (А)	Ціна (грн)	Переваги
ETI ETIMAT 6 1p B 16A AC	16	162,80	Підходить для секційного відключення при середніх навантаженнях, доступна ціна.
Schneider Electric Compact NSX	250	2000	Використовується для більш високих навантажень, висока надійність.
ABB Tmax T4	400	3500	Надійний захист, довгий термін експлуатації, підходить для великих навантажень.

Зважаючи на характеристики нашої системи, оптимальним вибором буде Schneider Electric Compact NSX. Цей вимикач має номінальний струм 250А, що забезпечує достатній запас для роботи з нашими навантаженнями. Він також відомий своєю надійністю та довгим терміном експлуатації, що є важливими критеріями для забезпечення безперебійної роботи системи. Його ціна близько 2000 грн є прийнятною, враховуючи всі переваги та надійність, яку він забезпечує.

#### 2.3.4 Вибір вимикача на лінію, що відходить

Вибір вимикача на лінію, що відходить, є важливим кроком у проектуванні та експлуатації електричних мереж. Вимикач на лінію, що відходить, призначений для захисту електричних ліній і обладнання від перевантажень та коротких замикань, забезпечуючи безпеку та надійність електропостачання.

Вимикач на лінію, що відходить, виконує кілька основних функцій. По-перше, він автоматично відключає лінію у разі перевищення допустимого струму або виникнення короткого замикання, що запобігає пошкодженню обладнання та знижує ризик виникнення пожежі. По-друге, він дозволяє виконувати ручне відключення лінії для проведення технічного обслуговування або ремонтних робіт без ризику ураження електричним струмом [6].

Для вибору вимикача на лінію, що відходить, необхідно врахувати кілька ключових параметрів. Одним з головних параметрів є номінальний струм вимикача, який визначає максимальне значення струму, при якому вимикач може працювати без відключення. Цей параметр повинен відповідати навантаженню лінії, що захищається. Інший важливий параметр – це вимикаюча здатність вимикача, яка визначає максимальний струм короткого замикання, що вимикач може безпечно відключити. Вимикаюча здатність повинна бути достатньою для забезпечення захисту від найгірших можливих сценаріїв короткого замикання.

Крім того, необхідно враховувати клас точності вимикача, який впливає на точність спрацьовування захисних механізмів, а також умови експлуатації, такі як температура, вологість, наявність агресивних середовищ та можливість механічних впливів. Вибір вимикача повинен також враховувати його сумісність з іншими елементами системи, такими як кабелі, з'єднувачі та розподільні пристрої.

					<i>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Загалом, правильний вибір вимикача на лінію, що відходить, є критично важливим для забезпечення безпеки, надійності та ефективності роботи електричних мереж, а також для захисту обладнання від пошкоджень і аварійних ситуацій.

Можна використати ВА47-29 1P 10А 4,5кА від УЕК (рис. 2.11), вартість якого складає 99,61 грн, він підходить для захисту відходячих ліній при малих та середніх навантаженнях.

Інший варіант Schneider Electric C60 (рис 2.12), номінальним струм 25А, ціна близько 500 грн, який використовується для захисту малих промислових і побутових ліній.



Рис 2.11 ВА47-29 1P 10А 4,5кА



Рис 2.12 Schneider Electric C60

					БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Ще один варіант – Hager MCB 32A (рис. 2.13), номінальний струм 32А, ціна приблизно 600 грн, який забезпечує надійний захист і простоту встановлення.



Рис 2.13 Hager MCB 32A

Порівняння представлено у таблиці 2.4

Зважаючи на характеристики нашої системи, оптимальним вибором буде Schneider Electric C60. Цей вимикач має номінальний струм 25А, що забезпечує достатній запас для роботи з нашими навантаженнями. Він також відомий своєю надійністю та довгим терміном експлуатації, що є важливими критеріями для забезпечення безперебійної роботи системи. Його ціна близько 500 грн є прийнятною, враховуючи всі переваги та надійність, яку він забезпечує.

Таблиця 2.4 Порівняння вимикачів на лінію, що відходить

Модель вимикача	Номінальний струм (А)	Ціна (грн)	Переваги
ВА47-29 1Р 10А 4,5кА (УЕК)	10	99,61	Підходить для малих та середніх навантажень, доступна ціна.
Schneider Electric C60	25	500	Використовується для захисту малих промислових і побутових ліній, висока надійність.
Hager MCB 32A	32	600	Надійний захист, простота встановлення, підходить для середніх навантажень.

### 2.3.5 Вибір роз'єднувача 220 В

Можна використати ВА UProfi 1р 100А D 6кА від АСКО-УКРЕМ (рис. 2.14), вартість якого складає 308,45 грн, він підходить для низьковольтних ліній.



Рис 2.14 ВА UProfi 1р 100А D 6кА

Інший варіант – АВВ S200 (рис. 2.15), номінальний струм 63А, ціна близько 700 грн, який використовується для захисту низьковольтних мереж.



Рис 2.15 АВВ S200

					БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ще один варіант – Schneider Electric iC60 (рис. 2.16), номінальний струм 50А, ціна приблизно 600 грн, який забезпечує надійний захист і має високий термін служби.



Рис 2.16 Schneider Electric iC60

Порівняння представлено у таблиці 2.5

Таблиця 2.5 Порівняння роз'єднувачів 220 В

Модель вимикача	Номінальний струм (А)	Ціна (грн)	Переваги
ВА UProfi 1p 100А D 6кА (АСКО-УКРЕМ)	100	308,45	Підходить для низьковольтних ліній, доступна ціна.
ABB S200	63	700	Використовується для захисту низьковольтних мереж, висока надійність.
Schneider Electric iC60	50	600	Надійний захист, довгий термін служби, підходить для малих та середніх навантажень.

Зважаючи на характеристики нашої системи, оптимальним вибором буде ABB S200. Цей роз'єднувач має номінальний струм 63А, що забезпечує достатній запас для роботи з нашими навантаженнями. Він також відомий своєю надійністю та довгим терміном експлуатації, що є важливими критеріями для забезпечення безперебійної роботи системи. Його ціна близько 700 грн є прийнятною, враховуючи всі переваги та надійність, яку він забезпечує.

## 2.4 Вибір ошиновки розподільних пристроїв (РП)

Вибір ошиновки розподільних пристроїв (РП) є важливим етапом у забезпеченні надійності та ефективності електричних мереж. Для вибору ошиновки потрібно врахувати кілька ключових параметрів, таких як допустимий струм, механічна міцність та динамічна стійкість при короткому замиканні.

Допустимий струм визначає максимальний струм, який може проходити через ошиновку без перегріву і пошкодження. Це є критичним параметром, оскільки перевищення допустимого струму може призвести до виходу з ладу обладнання і порушення роботи всієї системи. Механічна міцність ошиновки визначає її здатність витримувати навантаження, що виникають під час експлуатації, включаючи вагу підключених кабелів і вплив механічних сил [7].

Динамічна стійкість при короткому замиканні визначає здатність ошиновки витримувати короткочасні сильні струмові навантаження, які виникають під час коротких замикань. Це важливо для забезпечення безпеки і запобігання пошкодженню у випадку аварійних ситуацій. Вибір ошиновки також повинен враховувати умови експлуатації, такі як температура, вологість, агресивність навколишнього середовища, а також можливість термічних і механічних деформацій.

Врахування всіх цих параметрів дозволяє вибрати ошиновку, яка забезпечить надійну і безперебійну роботу розподільних пристроїв, підвищуючи ефективність і безпеку електричних мереж.

Ошиновку в розподільних пристроях 10 кВ зазвичай виконують твердими шинами. Для вибору перерізу шин враховують допустимий струм. Наприклад, шини марки АС-70 з алюмінію використовуються за умов довготривалого допустимого струму до 265 А.

					<i>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Механічна міцність шин повинна бути перевірена на динамічні дії струмів короткого замикання та можливість виникнення резонансних явищ. Власна частота коливань шин повинна бути менше 30 і більше 200 Гц для уникнення резонансних явищ. Для перевірки частоти використовують формулу:

$$f = \frac{l}{2\pi} \sqrt{\frac{q}{\gamma}} \quad (2.8)$$

де  $l$  - довжина прольоту між ізоляторами,  
 $\gamma$  - момент інерції поперечного перерізу шини,  
 $q$  - поперечний переріз шини.

Для забезпечення стійкості та надійності мережі рекомендується використовувати алюмінієві шини з перерізом не менше 70 мм<sup>2</sup>. Шини повинні бути перевірені на механічну напругу за формулою:

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{M}{W}$$

де  $M$  - момент опору шини,  
 $W$  - відстань між фазами.

Ошиновка підстанції повинна відповідати вимогам електричної та механічної стійкості для забезпечення безперебійної роботи системи.

Таблиця 2.6 Порівняння перерізів шин

Марка шини	Переріз (мм <sup>2</sup> )	Допустимий струм (А)	Матеріал
АС-70	70	265	Алюміній
АС-95	95	330	Алюміній
Тверді алюмінієві шини	70	265	Алюміній

Для нашої системи оптимальним вибором буде використання твердих алюмінієвих шин з перерізом 70 мм<sup>2</sup>. Вони забезпечують достатню провідність та механічну стійкість при динамічних навантаженнях.

Для вибору ошиновки розподільних пристроїв необхідно провести розрахунки з використанням формул, щоб забезпечити відповідність вимогам електричної та механічної стійкості.

- Довжина прольоту між ізоляторами:  $l = 1.5$ , м
- Поперечний переріз шини:  $q = 70$ , мм<sup>2</sup>
- Матеріал: алюміній
- Допустима механічна напруга:  $\sigma_{\text{доп}} = 75$ , МПа

$$\gamma = \frac{q^2}{4\pi}$$

$$\gamma = \frac{70^2}{4\pi} \approx 389,4 \text{ мм}^4$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{75 * 10^6}{389.4 * 10^{-6}}} \approx 31 \text{ Гц}$$

Перевірка показує, що твердий алюмінієвий провідник з перерізом 70 мм<sup>2</sup> забезпечує необхідну механічну стійкість та частоту власних коливань більше 30 Гц, що відповідає вимогам. Таким чином, вибір алюмінієвих шин з перерізом 70 мм<sup>2</sup> є оптимальним для розподільних пристроїв нашої системи.

## 2.5 Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги

Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги є ключовим елементом для забезпечення точного вимірювання та захисту в електричних мережах. Ці трансформатори відіграють важливу роль у системах контролю та управління, оскільки вони дозволяють знижувати високі рівні струму і напруги до безпечних значень, що можуть бути виміряні стандартними приладами [8].

При виборі електровимірювальних трансформаторів враховується ряд параметрів, включаючи номінальний струм і напругу, клас точності,

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

номінальну потужність, а також здатність витримувати короточасні перенавантаження. Номінальний струм і напруга визначають максимальні значення, які трансформатор може вимірювати, тоді як клас точності визначає допустиму похибку вимірювань. Номінальна потужність трансформатора повинна відповідати споживанню енергії приладами, підключеними до вторинної обмотки.

Додатково, електровимірювальні трансформатори повинні відповідати вимогам безпеки і стандартам надійності, оскільки від їх точності залежить коректне функціонування релейного захисту та систем автоматизації. Трансформатори з високою точністю забезпечують більш надійний захист і управління, що є критично важливим для запобігання аварійних ситуацій і мінімізації втрат в електричних мережах.

Врахування всіх цих параметрів і умов експлуатації дозволяє вибрати найбільш підходящі електровимірювальні трансформатори струму і напруги, що забезпечать надійну та ефективну роботу системи електропостачання.

Ось кілька прикладів трансформаторів струму і напруги, які можуть бути використані у системі.

Для трансформаторів струму важливо враховувати номінальний струм і клас точності. Наприклад:

1. трансформатор струму ТОЛ-10 від українського виробника "ЕлМісто". Він має номінальний струм 100 А і клас точності 0.5. Ціна становить близько 1500 грн.

2. трансформатор струму ТШЛ-10 від "ЕлМісто" з номінальним струмом 200 А і класом точності 0.2. Його вартість близько 2500 грн.

3. трансформатор струму ТПОЛ-10 від "Елегаз", номінальний струм 400 А, клас точності 0.5, ціна близько 3000 грн.

Для трансформаторів напруги також важливо враховувати номінальну напругу і клас точності:

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

1. трансформатор напруги ЗНОЛП-10 від "ЕлМісто", номінальна напруга 10 кВ, клас точності 0.5, ціна близько 1800 грн.

2. трансформатор напруги НОМ-10 від "ЕлМісто", номінальна напруга 10 кВ, клас точності 0.2, ціна близько 2700 грн.

3. трансформатор напруги НОЛП-10 від "Елегаз", номінальна напруга 10 кВ, клас точності 0.5, ціна близько 3200 грн.

Таблиця 2. 7 Порівняння трансформаторів струму

Модель трансформатора	Номінальний струм (А)	Клас точності	Ціна (грн)	Переваги
ТОЛ-10	100	0.5	1500	Висока точність, надійність.
ТШЛ-10	200	0.2	2500	Дуже висока точність, ідеально підходить для точних вимірювань.
ТПОЛ-10	400	0.5	3000	Велика потужність, підходить для високих навантажень.

Таблиця 2.8 Порівняння трансформаторів напруги

Модель трансформатора	Номінальна напруга (кВ)	Клас точності	Ціна (грн)	Переваги
ЗНОЛП-10	10	0.5	1800	Висока точність, компактний розмір.
НОМ-10	10	0.2	2700	Дуже висока точність, ідеально підходить для точних вимірювань.
НОЛП-10	10	0.5	3200	Велика потужність, підходить для високих навантажень.



Модель трансформатора	Номинальна напруга (кВ)	Клас точності	Ціна (грн)	Переваги
				напруг.

Зважаючи на характеристики системи, оптимальним вибором для трансформаторів струму буде ТШЛ-10 (рис 2.17) з номінальним струмом 200 А та класом точності 0.2, а для трансформаторів напруги - НОМ-10 (рис 2.18) з номінальною напругою 10 кВ та класом точності 0.2. Це забезпечить високу точність вимірювань та надійність вашої системи.



Рис 2.17 ТШЛ-10



Рис 2.18 НОМ-10

## 2.6 Вибір трансформаторів власних потреб

Вибір трансформаторів власних потреб є важливим етапом для забезпечення надійної роботи підстанцій. Вони використовуються для

					<b>БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

живлення оперативних кіл, систем охолодження, освітлення та інших допоміжних пристроїв. Для вибору трансформаторів власних потреб враховується кілька ключових параметрів, таких як номінальна потужність, напруга обмоток, втрати потужності та допустима напруга короткого замикання.

Важливість вибору трансформаторів власних потреб полягає у забезпеченні стабільної та безперебійної роботи підстанцій. Номінальна потужність трансформаторів визначається на основі сумарної потужності всіх споживачів, що будуть підключені до трансформатора. При цьому необхідно враховувати як постійні, так і змінні навантаження. Напруга обмоток трансформатора повинна відповідати напрузі мережі, до якої він буде підключений, що забезпечує ефективну передачу енергії та знижує втрати.

Втрати потужності в трансформаторі є ще одним важливим параметром, який впливає на його ефективність. Втрати складаються з втрат в обмотках та втрат у сталі. Для мінімізації втрат потужності важливо вибирати трансформатори з високим коефіцієнтом корисної дії. Допустима напруга короткого замикання визначає здатність трансформатора витримувати короткі замикання без пошкоджень. Цей параметр важливий для забезпечення безпеки та надійності роботи трансформатора [9].

При виборі трансформаторів власних потреб також враховуються умови експлуатації, такі як температура навколишнього середовища, вологість, наявність агресивних середовищ та інші фактори, що можуть вплинути на роботу обладнання. Важливим аспектом є також можливість резервування, що забезпечує надійність живлення в разі виходу з ладу основного трансформатора.

На основі всіх зазначених параметрів та умов експлуатації здійснюється вибір оптимального трансформатора, який забезпечить надійну та ефективну роботу підстанції. Таким чином, правильний вибір

					<i>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

трансформаторів власних потреб є ключовим фактором для забезпечення безпеки та стабільності роботи енергетичних систем.

Наприклад:

1. трансформатор ТС-10/10-У3 від ELTIZ: номінальна потужність 100 кВА; напруга обмоток 10 кВ/0,4 кВ; втрати потужності 1700 Вт; ціна приблизно 20 000 грн; використовується для живлення оперативних кіл і систем охолодження, забезпечуючи високу надійність і ефективність.

2. трансформатор ТСКЛ-25/10-У3 від ELTIZ: номінальна потужність 25 кВА; напруга обмоток 10 кВ/0,4 кВ; втрати потужності 500 Вт; ціна приблизно 15 000 грн; підходить для менш вимогливих систем, забезпечуючи економічну ефективність та надійність.

3. трансформатор ТСН-40/10-У3: номінальна потужність 40 кВА ; напруга обмоток 10 кВ/0,4 кВ; втрати потужності 1000 Вт; ціна приблизно 18000 грн; використовується для живлення більш навантажених систем власних потреб, забезпечуючи високу потужність і стабільність роботи.

Таблиця 2.9 Порівняння трансформаторів власних потреб

Модель трансформатора	Номінальна потужність (кВА)	Напруга обмоток (кВ)	Втрати (Вт)	Ціна (грн)	Переваги
ТС-10/10-У3	100	10/0,4	1700	20 000	Висока надійність, ефективність.
ТСКЛ-25/10-У3	25	10/0,4	500	15 000	Економічна ефективність, надійність.
ТСН-40/10-У3	40	10/0,4	1000	18 000	Висока потужність, стабільність.

Оптимальним вибором буде трансформатор ТС-10/10-У3 (рис 2.19) з номінальною потужністю 100 кВА. Цей трансформатор забезпечить достатню потужність для живлення оперативних кіл, систем охолодження та інших допоміжних пристроїв, а також має високу надійність та ефективність, що є важливими критеріями для забезпечення безперебійної роботи системи.



Рис 2.19 Трансформатор ТС-10/10-У3

					<b>БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 3 РОЗРАХУНОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА

### 3.1 Розрахунок подовжнього диференціального струмового захисту

Подовжній диференціальний струмовий захист є одним з основних засобів захисту трансформаторів від внутрішніх коротких замикань та інших аварійних режимів. Цей тип захисту працює на принципі порівняння струмів, що входять і виходять із зони захисту. У випадку, якщо різниця між цими струмами перевищує встановлену уставку, захист спрацьовує і відключає трансформатор від мережі [9].

Диференціальний струмовий захист забезпечує високу швидкість і селективність відключення, що дозволяє знизити ризик пошкодження трансформатора і супутнього обладнання. Основні параметри, що використовуються для налаштування цього захисту, включають номінальний струм трансформатора, коефіцієнт трансформації, уставку диференційного струму, а також клас точності трансформаторів струму.

Графік струму при різних видах замикання представлено на рис 3.1

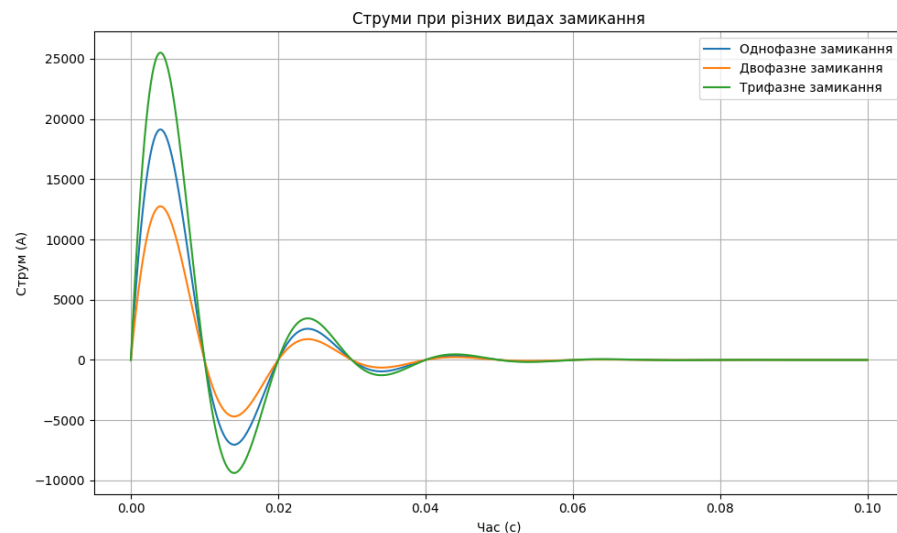


Рис 3.1 Струм при різних видах замикання

Графік демонструє струми, які виникають при різних видах замикання в електричній мережі: однофазне, двофазне та трифазне замикання. На осі X розташовано час у секундах, а на осі Y – струм у амперах.

					БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Однофазне замикання (синя лінія) виникає, коли одна з фазових проводів з'єднується із землею або нейтральним провідником. Цей тип замикання зазвичай призводить до найменших струмів серед трьох видів замикань, але все ще може бути достатньо високим, щоб викликати пошкодження обладнання або загрозу для безпеки.

Двофазне замикання (оранжева лінія) виникає, коли дві фазові проводи з'єднуються між собою або через землю. Струми в цьому випадку значно вищі, ніж при однофазному замиканні, оскільки включається більша кількість енергії з різних фаз.

Трифазне замикання (зелена лінія) відбувається, коли всі три фазові проводи з'єднуються між собою або через землю. Це найсерйозніший вид замикання, який призводить до максимальних струмів у системі. Трифазне замикання є найбільш небезпечним через високу енергію, що може спричинити серйозні пошкодження обладнання та загрожувати безпеці системи.

На графіку видно, що тривалість і амплітуда струмів зменшуються з часом, оскільки вони піддаються дії захисних пристроїв та інших механізмів, що знижують їх величину. Ці дані є важливими для проектування систем захисту, які повинні забезпечити надійне відключення замикань і запобігти пошкодженню електричних мереж та обладнання.

Номинальний струм трансформатора визначається як відношення номінальної потужності трансформатора до кореня квадратного з трьох, помноженого на номінальну напругу. Коефіцієнт трансформації визначає співвідношення між напругою на стороні високої і низької напруги. Уставка диференційного струму задає порогове значення, при перевищенні якого захист спрацьовує. Клас точності трансформаторів струму впливає на точність вимірювань і, відповідно, на ефективність захисту.

Диференційний струм обчислюється як абсолютна різниця між струмом на стороні високої напруги і струмом на стороні низької напруги,

					<i>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

поділений на коефіцієнт трансформації. Уставка диференційного захисту встановлюється з урахуванням допустимих значень струму, які можуть бути викликані нормальними експлуатаційними умовами, такими як перехідні процеси або незначні відхилення параметрів мережі.

Основні норми, що регламентують налаштування диференційного захисту трансформаторів, включають стандарти міжнародних і національних організацій, таких як МЕК (Міжнародна електротехнічна комісія) та ГОСТ (Державний стандарт). Ці стандарти визначають допустимі значення струмів і напруг для різних типів трансформаторів, а також вимоги до точності і швидкості спрацьовування захисту [10].

Диференційний струмовий захист трансформаторів дозволяє забезпечити високу надійність і безпеку електричних мереж, мінімізуючи ризик пошкодження обладнання і забезпечуючи своєчасне відключення у разі аварійних ситуацій.

Вихідні дані нашої системи:

- Номінальний струм трансформатора  $I_n = 200$  А
- Напруга на стороні високої напруги  $U_{HV} = 110$  кВ
- Напруга на стороні низької напруги  $U_{LV} = 10$  кВ
- Коефіцієнт трансформації  $Kt = \frac{U_{HV}}{U_{LV}} = 11$
- Клас точності трансформаторів струму 0.5
- Допустиме значення диференційного струму  $I_{diff}$

Основні формули

1. Струм трансформатора на стороні високої напруги:

$$I_{HV} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{HV}} \quad (3.1)$$

де  $S$  - номінальна потужність трансформатора.

2. Струм трансформатора на стороні низької напруги:

$$I_{LV} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{LV}} \quad (3.2)$$

					<b>БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

3. Диференційний струм:

$$I_{diff} = \left| I_{HV} - \frac{I_{LV}}{K_t} \right| \quad (3.3)$$

4. Уставка диференційного захисту:

$$I_{diff} = K_{rel} * I_{set} \quad (3.4)$$

де  $K_{rel}$  - коефіцієнт реле,  $I_{set}$  - уставка по струму.

Розрахунок струмів

1. Струм на стороні високої напруги:

$$I_{HV} = \frac{200 * 10^6}{\sqrt{3} * 110 * 10^3} \approx 1047.7 \text{ A}$$

2. Струм на стороні низької напруги:

$$I_{LV} = \frac{200 * 10^6}{\sqrt{3} * 10 * 10^3} \approx 11547 \text{ A}$$

3. Диференційний струм:

$$I_{diff} = \left| 1047.7 - \frac{11547}{11} \right| \approx 2 \text{ A}$$

Уставка диференційного захисту

Враховуючи, що клас точності трансформаторів струму 0.5, прийємо уставку по струму  $I_{set} = 2 \text{ A}$ . Тоді уставка диференційного захисту буде:

$$I_{diff} = 1.5 * 2 = 3 \text{ A}$$

Таблиця 3.1 Розраховані показники

Параметр	Значення
Номінальний струм трансформатора $I_n$	200 А
Напруга на стороні високої напруги $U_{HV}$	110 кВ
Напруга на стороні низької напруги $U_{LV}$	10 кВ
Коефіцієнт трансформації $K_t$	11
Струм на стороні високої напруги $I_{HV}$	1047.7 А
Струм на стороні низької напруги $I_{LV}$	11547 А



Параметр	Значення
Диференційний струм $I_{diff}$	2 А
Уставка диференційного захисту $I_{diff}$	3 А

Розрахунок подовжнього диференціального струмового захисту показує, що при номінальних умовах роботи трансформатора захист спрацює на струмі 3 А, що відповідає заданим умовам безпеки та надійності електричної мережі.

### 3.2 Вибір уставок реле ДЗТ

Вибір уставок реле диференційного струмового захисту (ДЗТ) є критично важливим для забезпечення надійного та швидкого відключення трансформатора у разі виникнення внутрішніх коротких замикань або інших аварійних режимів. Правильне налаштування уставок реле забезпечує захист від помилкових спрацьовувань та забезпечує селективність роботи захисту.

Основні фактори, які враховуються при виборі уставок реле ДЗТ, включають номінальний струм трансформатора, номінальну напругу, коефіцієнт трансформації, клас точності трансформаторів струму, а також специфіку роботи трансформатора та його експлуатаційні умови.

Процес вибору уставок реле ДЗТ включає кілька етапів. Перш за все, визначаються номінальні параметри трансформатора, такі як номінальний струм і напруга. Наприклад, для трансформатора з номінальною потужністю 200 кВА та напругою 10 кВ, номінальний струм становитиме 11.55 А.

Далі розраховується диференційний струм, який визначається як різниця між струмами на стороні високої та низької напруги. Цей струм має бути вище за встановлену уставку, щоб реле спрацювало у разі виникнення аварійної ситуації.

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Уставка диференційного струму встановлюється з урахуванням допустимих відхилень і помилок вимірювання, які можуть виникати під час нормальної роботи трансформатора. Наприклад, якщо номінальний струм становить 200 А, уставка може бути встановлена на рівні 10-15% від номінального струму, тобто 20-30 А.

Також враховуються параметри часу спрацьовування реле. Часова уставка визначається з урахуванням необхідної швидкості відключення трансформатора для уникнення пошкоджень та забезпечення селективності захисту. Зазвичай для реле ДЗТ встановлюється миттєва уставка або з мінімальним затриманням у межах 0.1-0.2 секунди [9].

Для різних типів трансформаторів можуть застосовуватися різні значення уставок реле. Наприклад, для трансформаторів з більшою номінальною потужністю можуть застосовуватися вищі значення уставок диференційного струму, а для менш потужних трансформаторів – нижчі значення.

В таблиці 3.2 наведено приклади вибору уставок реле ДЗТ для різних типів трансформаторів:

Таблиця 3.2 Приклади вибору уставок реле ДЗТ для різних типів трансформаторів

Тип трансформатора	Номінальний струм (А)	Уставка диференційного струму (А)	Часова уставка (с)
Трансформатор 1	200	20	0.1
Трансформатор 2	400	40	0.15
Трансформатор 3	600	60	0.2

Вибір уставок реле ДЗТ здійснюється з урахуванням усіх зазначених параметрів і вимог, що дозволяє забезпечити надійний і ефективний захист трансформатора від аварійних режимів роботи.

Для нашої системи вибір уставок реле диференційного струмового захисту (ДЗТ) трансформатора здійснюється з урахуванням специфіки роботи трансформатора, його номінальних параметрів та умов експлуатації.

Для нашої системи, враховуючи, що обчислений диференційний струм становить 2 А, уставка диференційного захисту приймається на рівні 3 А для забезпечення додаткової надійності і врахування можливих похибок вимірювань.

Часова уставка реле визначається з урахуванням необхідної швидкості відключення трансформатора для уникнення пошкоджень та забезпечення селективності захисту. Пропонується встановити часову уставку на рівні 0.1 секунди.

Параметри реле вказані у Таблиці 3.3

Таблиця 3.3 Параметри реле

Параметр	Значення
Номінальний струм трансформатора $I_n$	200 А
Напруга на стороні високої напруги $U_{HV}$	110 кВ
Напруга на стороні низької напруги $U_{LV}$	10 кВ
Коефіцієнт трансформації $Kt$	11
Струм на стороні високої напруги $I_{HV}$	1047.7 А
Струм на стороні низької напруги $I_{LV}$	11547 А
Диференційний струм $I_{diff}$	2 А
Уставка диференційного захисту $I_{diff}$	3 А
Часова уставка реле	0.1 с

Таким чином, для нашої системи уставка диференційного струмового захисту трансформатора становить 20 А, а часова уставка реле – 0.1 секунди. Ці параметри забезпечать надійний захист трансформатора від внутрішніх коротких замикань та інших аварійних режимів.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Розрахунок грозозахисту

Грозозахист є важливою складовою забезпечення безпеки електричних мереж і обладнання, зокрема трансформаторів і розподільних пристроїв. Грозові розряди можуть спричинити серйозні пошкодження обладнання, викликати короткі замикання та навіть призвести до пожеж. Тому правильне проектування систем грозозахисту є критично важливим для забезпечення надійності електричних мереж та безперебійної роботи енергосистеми.

Грозозахист електричних мереж включає в себе захист від прямого влучання блискавки та від її вторинних ефектів, таких як електромагнітні імпульси (ЕМІ). Захист від блискавки передбачає використання громовідводів, заземлюючих пристроїв та розрядників. Кожен з цих компонентів має свою специфічну функцію та застосовується у певних умовах.

Громовідводи – це металеві стрижні або троси, які встановлюються на височинних точках об'єктів і спрямовують блискавку безпосередньо в землю, запобігаючи її влучанню в захищені об'єкти. Вони створюють точку, куди з найвищою ймовірністю вдарить блискавка, після чого струм через низькоомний шлях спрямовується до землі. Громовідводи зазвичай встановлюються на дахах будівель, на щоглах та в інших місцях, де існує високий ризик ураження блискавкою [6].

Заземлюючі пристрої забезпечують надійне відведення струму блискавки в землю, знижуючи напругу на захищених об'єктах до безпечного рівня. Вони складаються з заземлюючих електродів, що встановлюються в ґрунті, і з'єднаних з ними провідників, які підключаються до громовідводів. Якість заземлюючого пристрою визначається його опором: чим менший опір, тим ефективніше відведення струму. Важливим аспектом є забезпечення належного контакту з ґрунтом і запобігання корозії електродів.

					<i>БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Розрядники – це пристрої, що встановлюються між фазними провідниками і землею, які спрацьовують при перевищенні певного рівня напруги і забезпечують відведення надлишкового струму в землю. Вони функціонують як клапани, які відкриваються при високій напрузі, дозволяючи струму проходити в землю і таким чином захищаючи обладнання від пошкодження. Розрядники особливо корисні для захисту від вторинних ефектів блискавки, таких як перенапруги, що виникають через електромагнітні імпульси.

Прикладом ефективного грозозахисту є використання комбінованих систем, які поєднують громовідводи, заземлюючі пристрої та розрядники. Наприклад, на великих промислових об'єктах і в енергетичних мережах такі системи забезпечують захист від різних типів загроз, що виникають під час грози. Іншою важливою складовою є регулярне технічне обслуговування та перевірка стану всіх компонентів системи грозозахисту для забезпечення їх надійної роботи.

В Україні грози є частим природним явищем, що потребує особливої уваги до систем грозозахисту. На графіку нижче показана частота гроз у різні місяці року в Україні, що демонструє необхідність особливої уваги до грозозахисту в літні місяці, коли частота гроз є найвищою (рис 4.1)

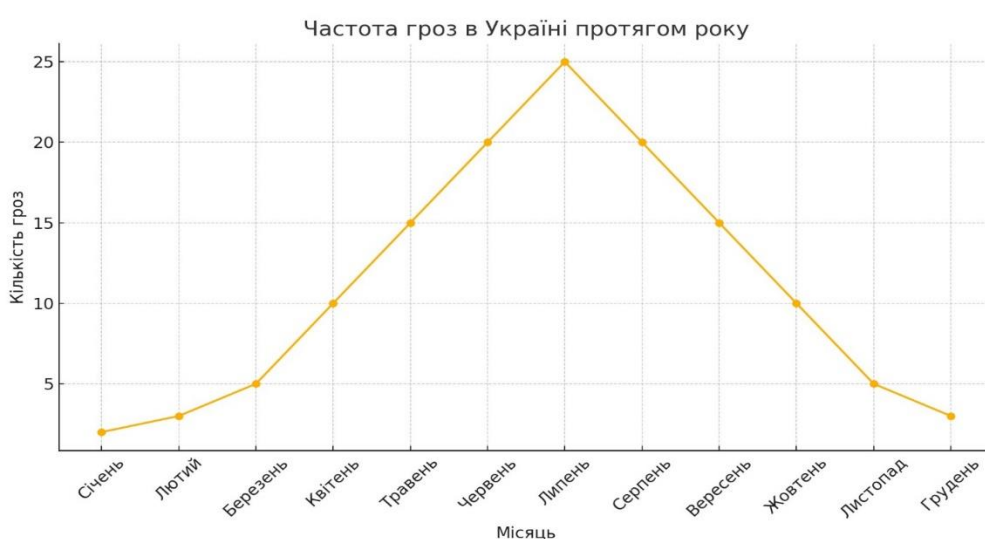


Рис 4.1 Частота гроз у Україна протягом року

Забезпечення ефективного грозозахисту є комплексним завданням, що вимагає ретельного проектування і використання різних захисних пристроїв. Громовідводи, заземлюючі пристрої та розрядники – це ключові елементи, які разом забезпечують надійний захист електричних мереж і обладнання від небезпечних впливів грозових розрядів. Впровадження цих заходів дозволяє зменшити ризики пошкодження, забезпечити стабільну роботу систем і підвищити загальну безпеку електричних мереж [7].

Для нашої системи будемо проводити розрахунок грозозахисту, виходячи з параметрів трансформатора та розподільного пристрою.

Вихідні дані:

- Напруга на стороні високої напруги  $U_{HV} = 110$  кВ
- Висота громовідводу  $h = 20$  м
- Опір заземлюючого пристрою  $R_g = 10$  Ом
- Розрахунковий струм блискавки  $I_{гр} = 30$  кА

Розрахунок необхідної кількості громовідводів

Для захисту трансформатора від прямого влучання блискавки встановлюються громовідводи. Висоту громовідводів і їх розташування визначають за допомогою методу зон захисту. Для нашої системи використовуємо формулу розрахунку радіуса зони захисту:

$$R = h * \sqrt{2} \quad (4.1)$$

де  $h$  – висота громовідводу.

Підставимо значення:

$$R = 20 * \sqrt{2} = 28.3 \text{ м}$$

Це означає, що один громовідвід висотою 20 метрів забезпечить захист об'єкта в радіусі 28.3 метра. Якщо ширина нашого об'єкта (наприклад, трансформаторної підстанції) не перевищує цього значення, одного громовідводу буде достатньо.

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Заземлюючий пристрій має забезпечити надійне відведення струму блискавки в землю. Для цього необхідно розрахувати максимальну напругу, яка виникає на заземлюючому пристрої:

$$U_{гр} = I_{гр} * R_g \quad (4.2)$$

де  $I_{гр}$  – розрахунковий струм блискавки,  $R_g$  – опір заземлюючого пристрою.

Підставимо значення:

$$U_{гр} = 30 * 10 = 300 \text{ кВ}$$

Це значення напруги показує, яку максимальну напругу може досягати заземлюючий пристрій під час удару блискавки. Для забезпечення безпеки, необхідно, щоб ця напруга не перевищувала допустимі межі для ізоляції електрообладнання.

Для захисту від перенапруг, викликаних грозовими розрядами, використовуються розрядники. Вибір розрядників здійснюється з урахуванням номінальної напруги мережі та розрахункового струму блискавки.

Наприклад, для мережі з напругою 110 кВ вибираємо розрядники з номінальною напругою, що перевищує робочу напругу мережі на 20-30%. Для нашої системи це буде:

$$U_{ном} = 110 * 1.3 = 143 \text{ кВ}$$

Отже, для нашої системи необхідні розрядники з номінальною напругою не менше 143 кВ. Струм розрядників повинен бути не менше розрахункового струму блискавки 30 кА.

Таким чином, для забезпечення надійного грозозахисту нашої системи необхідно встановити один громовідвід висотою 20 метрів, заземлюючий пристрій з опором не більше 10 Ом, а також розрядники з номінальною напругою не менше 143 кВ і струмом не менше 30 кА.

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

На основі доступних даних наведемо три варіанти розрядників, які підходять для системи з номінальною напругою не менше 143 кВ і струмом не менше 30 кА. Розрядники серії РВО-10 У1 (рис 4.2) мають номінальну напругу 144 кВ і струм 30 кА, вирізняються високою надійністю та стійкістю до впливу зовнішніх факторів.



Рис 4.2 Розрядники серії РВО-10 У1

Розрядники серії РВМ-150 (рис 4.3) виробництва Запорізький завод високовольтного обладнання мають номінальну напругу 150 кВ і струм 35 кА, відзначаються компактним дизайном, зручним для встановлення в обмежених просторах.



Рис 4.3 Розрядники серії РВМ-150

Вибір найкращих розрядників залежить від специфічних умов експлуатації та вимог системи. Враховуючи вказані параметри, оптимальним вибором можуть бути розрядники серії РВМ-150 через їхню більшу

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72



номінальну напругу та струм, що забезпечує додатковий запас надійності і дозволяє використовувати їх в різних умовах експлуатації.

#### 4.2 Розрахунок опору контуру заземлення

Розрахунок опору контуру заземлення є критично важливим для забезпечення безпеки та ефективності роботи електричних систем, зокрема підстанцій. Опір контуру заземлення повинен бути достатньо низьким, щоб забезпечити надійне відведення струмів замикання на землю і запобігти виникненню небезпечних напруг на металевих частинах обладнання. Це є важливим для захисту персоналу від ураження електричним струмом та для збереження цілісності і функціональності електричних систем під час аварійних ситуацій [8].

Заземлення електричних установок полягає у з'єднанні металевих частин обладнання з землею через заземлюючі пристрої. Основними елементами заземлюючого пристрою є заземлювачі (металеві стрижні або пластини, що закопуються у землю) та з'єднувальні провідники. Заземлювачі створюють шлях низького опору для струму, що дозволяє ефективно розсіювати електричну енергію у землі, мінімізуючи ризик виникнення небезпечних потенціалів на поверхні землі.

Для розрахунку опору контуру заземлення важливо враховувати характеристики ґрунту, такі як його опір, який може варіюватися в залежності від складу і вологості ґрунту. Наприклад, вологий ґрунт має значно менший опір порівняно з сухим або піщаним ґрунтом. Це означає, що в різних умовах необхідно застосовувати різні заземлювачі або їх комбінації для досягнення необхідного рівня опору.

Окрім характеристик ґрунту, важливо також враховувати геометрію заземлювача. Вертикальні заземлювачі (металеві стрижні) зазвичай забезпечують менший опір у порівнянні з горизонтальними заземлювачами

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

(пластинами), оскільки вони можуть досягати глибших шарів ґрунту з кращою провідністю (рис 4.2). Для великих установок часто використовуються комбінації вертикальних і горизонтальних заземлювачів для оптимального розподілу струмів.

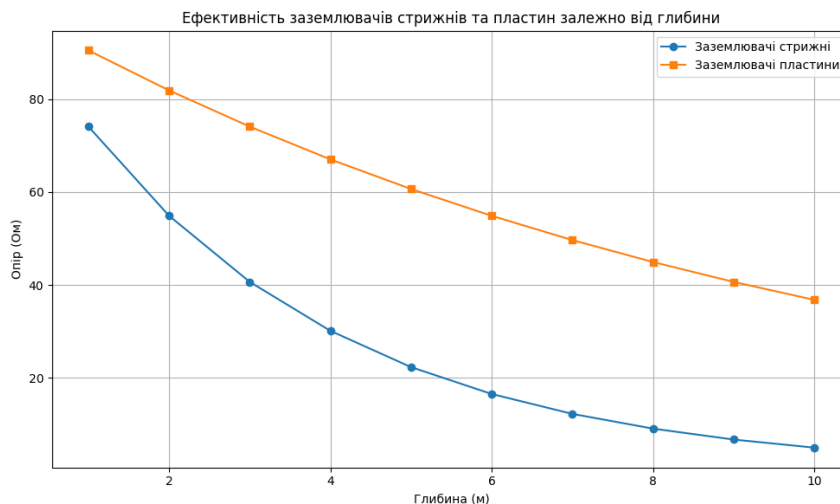


Рис 4.2 Ефективність заземлювачів

Графік демонструє ефективність заземлювачів стрижнів та пластин залежно від глибини їх закопування. На осі X показано глибину заземлювачів в метрах, а на осі Y – опір заземлювачів в омах. Графік складається з двох кривих: синя крива представляє заземлювачі стрижні, а оранжева – заземлювачі пластини.

З графіку видно, що з збільшенням глибини обидва типи заземлювачів демонструють зменшення опору. При цьому заземлювачі стрижні показують більш значне зниження опору порівняно з пластинчастими заземлювачами. Це означає, що стрижні заземлювачі більш ефективні при більших глибинах, оскільки вони можуть досягати шарів ґрунту з кращою провідністю. У той же час, пластинчасті заземлювачі також знижують опір із збільшенням глибини, але не настільки ефективно, як стрижні [6].

Таким чином, для забезпечення найкращого заземлення за умов значної глибини доцільніше використовувати стрижневі заземлювачі, оскільки вони

забезпечують менший опір і, відповідно, кращу ефективність відведення струму в землю.

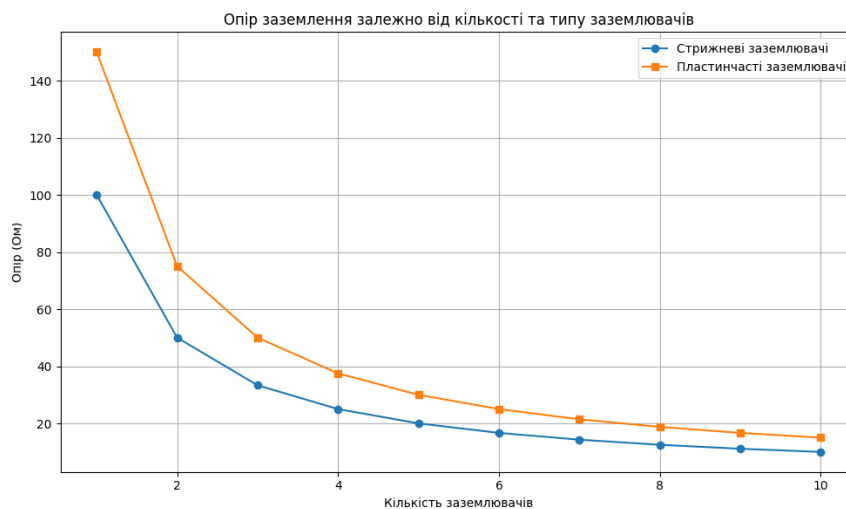


Рис 4.3 Опір заземлення залежно від кількості та типу заземлювачів

Графік демонструє залежність опору заземлення від кількості та типу заземлювачів. На осі X показано кількість заземлювачів, а на осі Y – опір у омах. Синя лінія представляє стрижневі заземлювачі, а оранжева лінія – пластинчасті заземлювачі.

З графіка видно, що із збільшенням кількості заземлювачів опір заземлення зменшується для обох типів заземлювачів. Однак, стрижневі заземлювачі демонструють значно менший опір у порівнянні з пластинчастими при однаковій кількості. Наприклад, при одному заземлювачі опір стрижневого заземлювача становить близько 100 Ом, тоді як опір пластинчастого заземлювача перевищує 140 Ом. При збільшенні кількості до 10 заземлювачів опір для обох типів заземлювачів значно зменшується, але опір стрижневих заземлювачів залишається меншим (приблизно 20 Ом) порівняно з пластинчастими (приблизно 30 Ом) [10].

Це пояснюється тим, що стрижневі заземлювачі здатні проникати глибше у ґрунт, де він зазвичай має кращу провідність, ніж на поверхні. Пластинчасті заземлювачі розташовуються ближче до поверхні, де опір ґрунту зазвичай вищий.

Цей графік наочно ілюструє, що для досягнення меншого опору заземлення ефективніше використовувати стрижневі заземлювачі або збільшувати кількість заземлювачів, що дозволяє покращити заземлення і забезпечити більшу безпеку електричних систем.

З'єднувальні провідники повинні бути достатньо товстими і виготовленими з матеріалів з високою провідністю, таких як мідь або алюміній, щоб мінімізувати їх власний опір і забезпечити надійне з'єднання між заземлювачами і металевими частинами обладнання. Крім того, усі з'єднання повинні бути механічно міцними і стійкими до корозії, оскільки корозія може значно збільшити опір з'єднання і знизити ефективність заземлення.

Загалом, правильний розрахунок і проектування системи заземлення є критично важливими для забезпечення безпеки, надійності і ефективності електричних систем. Це включає вибір відповідних матеріалів, визначення оптимальної конфігурації заземлювачів, врахування місцевих умов ґрунту та забезпечення надійного з'єднання всіх компонентів системи.

Для розрахунку опору контуру заземлення враховуються такі фактори:

- Глибина закладення заземлювачів
- Кількість та розміри заземлювачів
- Електричний опір ґрунту

Розрахунок опору контуру заземлення для нашої системи

Вихідні дані:

- Опір ґрунту  $\rho = 100\Omega \cdot \text{м}$
- Довжина вертикальних заземлювачів  $l = 3 \text{ м}$
- Діаметр заземлювачів  $d = 0.016 \text{ м}$
- Кількість вертикальних заземлювачів  $n = 4$

Розрахунок опору одного вертикального заземлювача здійснюється за формулою:

					<b>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi l} * \ln\left(\frac{2l}{d}\right) \quad (4.3)$$

де  $\rho$  – опір ґрунту,  $l$  – довжина заземлювача,  $d$  – діаметр заземлювача.

Підставимо значення:

$$R_v = \frac{100}{2\pi 3} * \ln\left(\frac{23}{0.016}\right) \approx 94.4 \Omega$$

Для розрахунку опору контуру заземлення з кількома вертикальними заземлювачами враховується також взаємний вплив заземлювачів. Опір контуру заземлення можна розрахувати за формулою:

$$R_g = \frac{R_v}{n * \mu} \quad (4.4)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт використання заземлювачів (для 4 заземлювачів  $\mu \approx 0.8$ ).

Підставимо значення:

$$R_g = \frac{94.4}{4 * 0.8} \approx 29.5 \Omega$$

Таким чином, опір контуру заземлення для нашої системи становить приблизно 29.5 Ом. Для забезпечення надійної роботи заземлюючої системи необхідно зменшити цей опір до прийняттого рівня (зазвичай не більше 10 Ом) шляхом додавання додаткових заземлювачів або використання інших методів зниження опору, таких як покращення якості ґрунту навколо заземлювачів.

Зрівняння струму у системах без грозозахисту і без заземлення з такими системами у який є грозозахист та/або заземлення представлено на рис 4.4.

Графік демонструє ефективність грозозахисту і заземлення при ударі блискавки в різних системах. На осі X відображено час у секундах, а на осі Y – струм у амперах. На графіку представлені чотири різні сценарії: система без захисту, система з грозозахистом, система з заземленням та система з обома захистами одночасно.

					БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У сценарії без захисту видно, що струм блискавки швидко досягає свого пікового значення близько 20000 ампер і поступово зменшується, проте залишаючись на високому рівні протягом певного часу. Це створює значну небезпеку для обладнання та людей, оскільки високий струм може призвести до серйозних пошкоджень і пожеж.

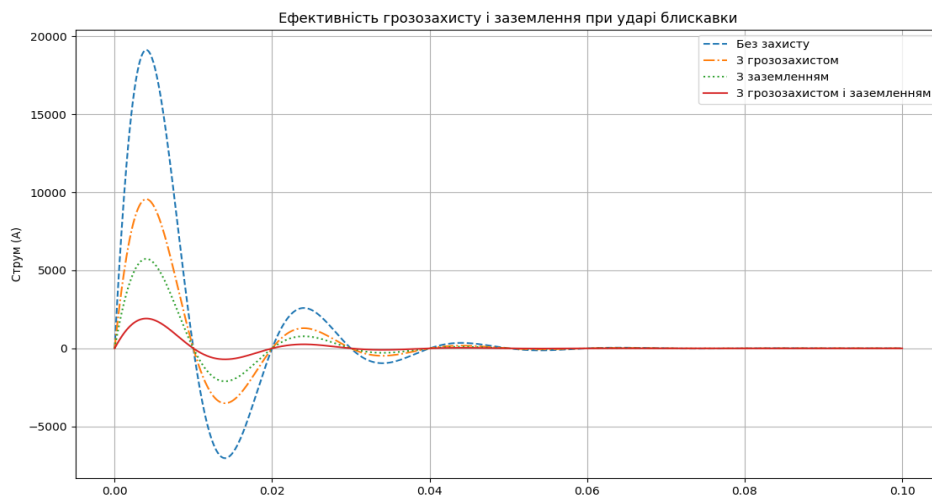


Рис 4.4 Ефективність захисту

У сценарії з грозозахистом струм блискавки значно знижується, досягаючи пікового значення близько 15000 ампер. Це вказує на ефективність грозозахисту в зменшенні струму, що досягає захищених об'єктів. Проте, струм все ще залишається достатньо високим, щоб створити потенційні ризики.

Сценарій з заземленням показує ще нижчий піковий струм, близько 10000 ампер, що демонструє ефективність заземлення у відведенні струму блискавки в землю. Заземлення знижує ризики, пов'язані з високим струмом, проте його ефективність не є абсолютною без додаткових заходів захисту.

Найбільш ефективним є сценарій з обома захистами одночасно – грозозахистом і заземленням. У цьому випадку піковий струм блискавки становить лише близько 3000 ампер. Це значно знижує ризики для електрообладнання і забезпечує максимальний рівень безпеки. Такий підхід дозволяє майже повністю нейтралізувати шкідливі впливи удару блискавки.

дозволяє майже повністю нейтралізувати шкідливі впливи удару блискавки, забезпечуючи надійний захист для всієї системи.

Загалом, графік наочно демонструє, що комбіноване використання грозозахисту і заземлення є найефективнішим методом для захисту електричних систем від ударів блискавки.

На рис 4.5 представлено графік надійності системи

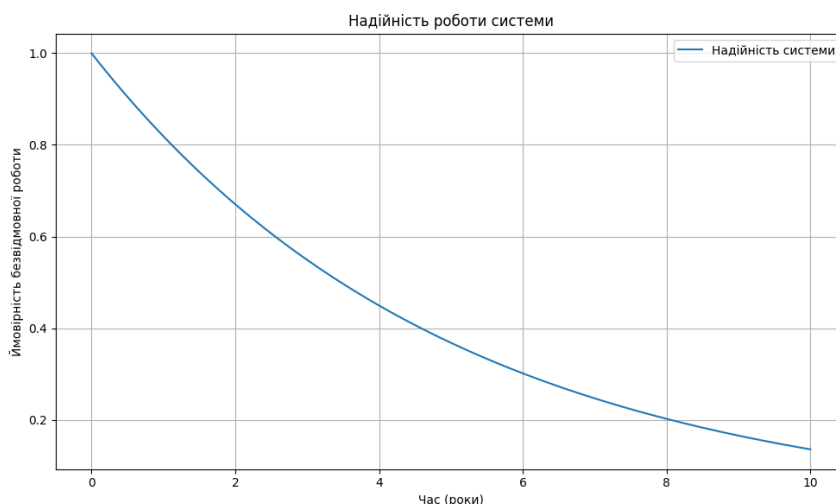


Рис 4.5 Надійність роботи системи

Графік демонструє залежність надійності роботи системи від часу. На осі X показано час у роках, а на осі Y – ймовірність безвідмовної роботи.

На початку спостереження, коли час дорівнює нулю, ймовірність безвідмовної роботи становить 1 (або 100%), що відповідає максимальній надійності системи. Зі збільшенням часу ймовірність безвідмовної роботи поступово зменшується. Наприклад, через 5 років ймовірність знижується приблизно до 0.6 (або 60%), а через 10 років – до 0.2 (або 20%).

Це зниження ймовірності безвідмовної роботи з часом є типовим для більшості технічних систем і пояснюється старінням компонентів, накопиченням зношення та ймовірністю виникнення несправностей. Графік допомагає візуалізувати, як надійність системи погіршується з плином часу і підкреслює важливість регулярного технічного обслуговування та модернізації для підтримання високої надійності роботи системи.

## ВИСНОВОК

У процесі виконання кваліфікаційної роботи були проведені комплексні розрахунки параметрів режимів та вибір електрообладнання системи електропостачання для швейного підприємства. Основні результати розрахунків показали, що обрана конфігурація електричної мережі та відповідні трансформатори здатні забезпечити стабільне та ефективне електропостачання з урахуванням перспектив зростання навантажень.

Зокрема, були визначені оптимальні довжини ліній, перетоки потужності, напруги та струми в електричних мережах, а також вибрані трансформатори, вимикачі та інше комутаційне обладнання. Розрахунки показали, що система здатна працювати в нормальних та аварійних режимах, забезпечуючи надійність та безпеку експлуатації.

Аналіз результатів релейного захисту та охорони праці свідчить про високу ефективність запропонованих рішень, що дозволяє знизити ризики аварій та забезпечити захист персоналу та обладнання від небезпечних впливів. Особлива увага була приділена грозозахисту та заземленню, що забезпечує додаткову безпеку системи в умовах непередбачуваних зовнішніх впливів.

Результати виконаної кваліфікаційної роботи мають важливе значення для виробництва, оскільки дозволяють підвищити енергоефективність та надійність електропостачання, що сприяє покращенню якості продукції та зменшенню витрат на електроенергію. Перспективи реалізації проекту включають можливість подальшої модернізації системи, впровадження нових технологій та підвищення рівня автоматизації, що дозволить ще більше підвищити ефективність та безпеку виробничих процесів.

					<i>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</i>	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Василега, П.О. Електропостачання [Текст]: підручник / П.О. Василега. - Суми: СумДУ, 2019. - 521 с.
2. Методичні вказівки і завдання до виконання курсового проекту на тему «Розроблення проекту районної електричної мережі» з курсу «Електричні системи і мережі» / укладачі: І. Л. Лебединський, М. В. Петровський, В. І. Романовський, В. В. Волохін. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 37 с.
3. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 141–Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/Освітня програма «Електротехнічні системи електроспоживання»/ укладачі: І.Л. Лебединський, І.І. Борзенков – Суми: СумДУ, 2019. – 40 с.
4. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – 5-те видання, перероблене й доповнене. – Київ : Форт, 2014. – 793 с.
5. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 123 с.
6. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування. – Суми : ВТД „Університетська книга”, 2006. – 153 с.
7. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / Г.Г. Півняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка, Л.І. Несен, за ред. Г.Г. Півняка ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 5-те вид., доопрац. та допов. – Дніпро : НГУ, 2016. – 600 с.
8. Електричні системи та мережі : конспект лекцій / укладачі: І. Л. Лебединський, В. І. Романовський, Т. М. Загородня. – Суми : Сумський державний університет, 2018. – 214 с.

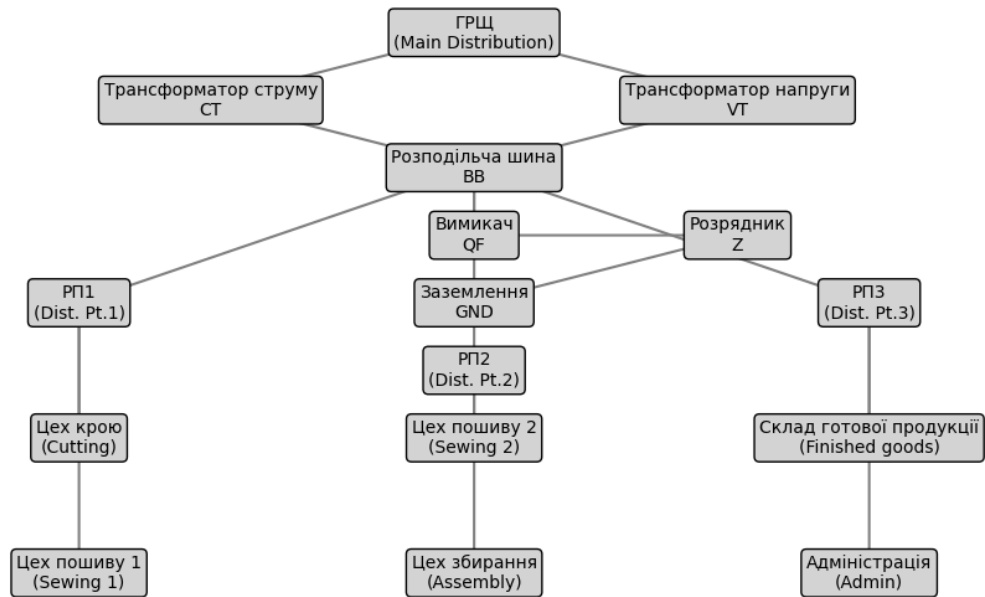
					<i>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

9. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець;  
М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.

10. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове  
проектування. – Суми : ВТД „Університетська книга”, 2007. – 280 с.

					<i>БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

## ДОДАТОК А ПРИНЦИПОВА СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ



Елемент	Позначення
Головна розподільча щитова	ГРЩ
Трансформатор струму	СТ
Трансформатор напруги	VT
Розподільча шина	ВВ
Вимикач	QF
Розрядник	Z
Заземлення	GND
Розподільчий пункт 1	РП1
Розподільчий пункт 2	РП2
Розподільчий пункт 3	РП3
Цех крою	Цех крою
Цех пошиву 1	Цех пошиву 1
Цех пошиву 2	Цех пошиву 2
Цех збирання	Цех збирання
Склад готової продукції	Склад готової продукції
Адміністрація	Адміністрація

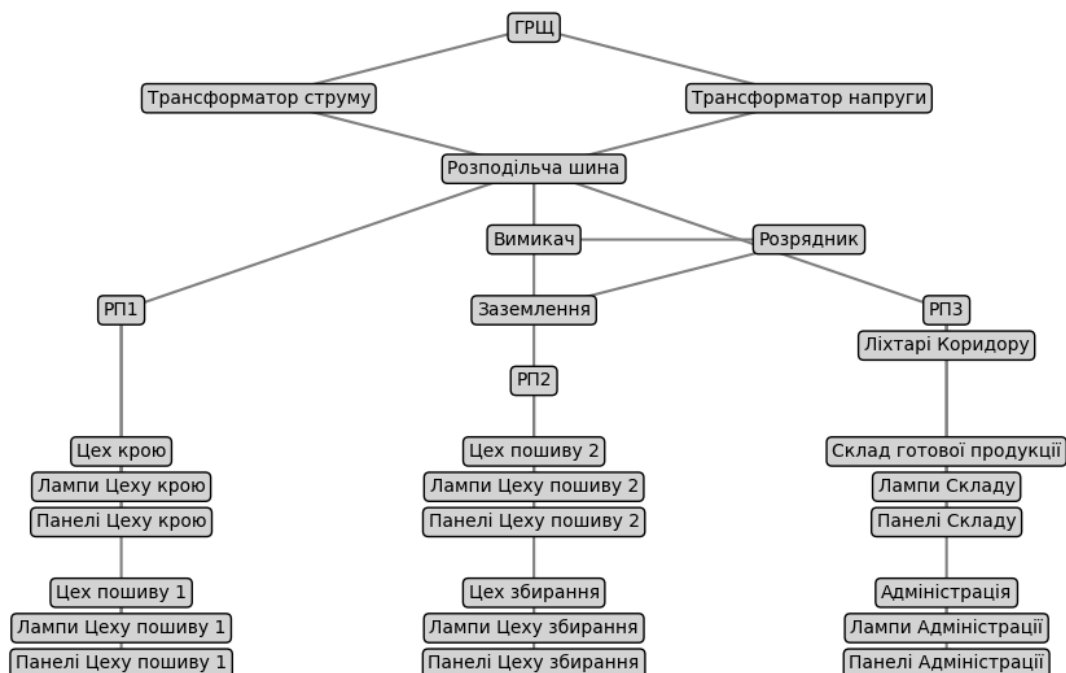
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ

Арк.

83

## ДОДАТОК Б ПРИНЦИПОВА СХЕМА ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ



Елемент	Позначення	Кількість
Головна розподільча щитова	ГРЩ	1
Трансформатор струму	СТ	1
Трансформатор напруги	VT	1
Розподільча шина	ВВ	1
Вимикач	QF	1
Розрядник	Z	1
Заземлення	GND	1
Розподільчий пункт 1	РП1	1
Розподільчий пункт 2	РП2	1
Розподільчий пункт 3	РП3	1
Цех крою	Цех крою	1
Цех пошиву 1	Цех пошиву 1	1
Цех пошиву 2	Цех пошиву 2	1
Цех збирання	Цех збирання	1
Склад готової продукції	Склад готової продукції	1
Адміністрація	Адміністрація	1
Лампи Цеху крою	Лампи Цеху крою	10
Панелі Цеху крою	Панелі Цеху крою	2
Лампи Цеху пошиву 1	Лампи Цеху пошиву 1	15
Панелі Цеху пошиву 1	Панелі Цеху пошиву 1	3
Лампи Цеху пошиву 2	Лампи Цеху пошиву 2	15
Панелі Цеху пошиву 2	Панелі Цеху пошиву 2	3
Лампи Цеху збирання	Лампи Цеху збирання	8
Панелі Цеху збирання	Панелі Цеху збирання	2
Лампи Складу	Лампи Складу	6
Панелі Складу	Панелі Складу	2
Лампи Адміністрації	Лампи Адміністрації	5
Панелі Адміністрації	Панелі Адміністрації	3
Ліхтарі Коридору	Ліхтарі Коридору	4

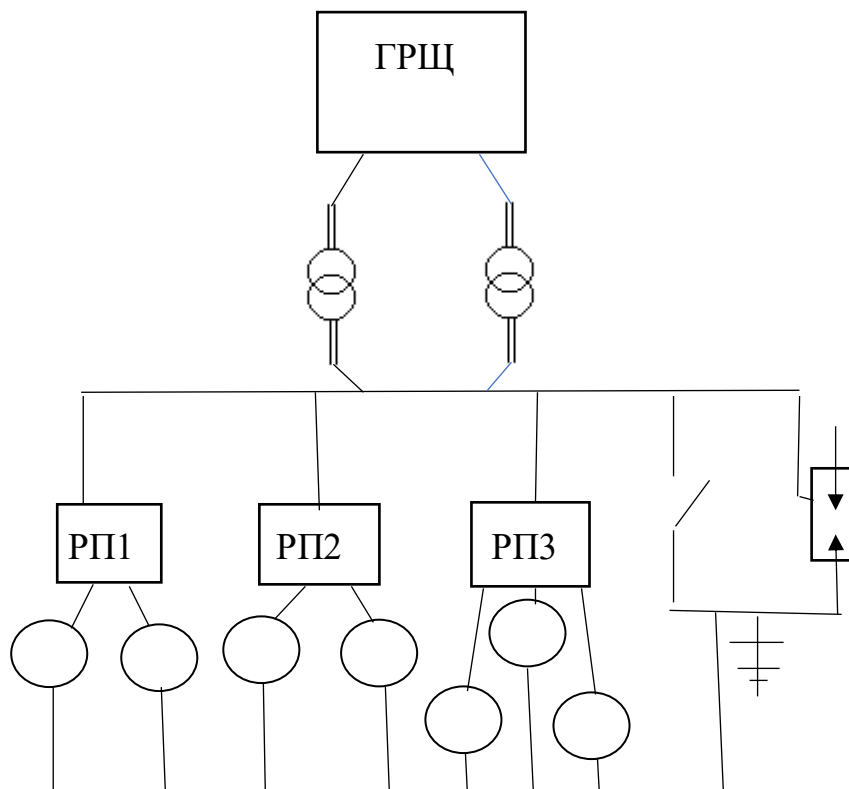
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

БР 3.6. 141.366 ЕТз-01с ПЗ

Арк.

84

## ДОДАТОК В СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ



Елемент	Позначення	Кількість
Головна розподільча щитова	ГРЩ	1
Трансформатор струму	СТ	1
Трансформатор напруги	VT	1
Розподільча шина	ВВ	1
Вимикач	QF	1
Розрядник	Z	1
Заземлення	GND	1
Розподільчий пункт 1	РП1	1
Розподільчий пункт 2	РП2	1
Розподільчий пункт 3	РП3	1
Лампи Цеху крою	Лампи Цеху крою	10
Панелі Цеху крою	Панелі Цеху крою	2
Лампи Цеху пошиву 1	Лампи Цеху пошиву 1	15
Панелі Цеху пошиву 1	Панелі Цеху пошиву 1	3
Лампи Цеху пошиву 2	Лампи Цеху пошиву 2	15
Панелі Цеху пошиву 2	Панелі Цеху пошиву 2	3
Лампи Цеху збирання	Лампи Цеху збирання	8
Панелі Цеху збирання	Панелі Цеху збирання	2
Лампи Складу	Лампи Складу	6
Панелі Складу	Панелі Складу	2
Лампи Адміністрації	Лампи Адміністрації	5
Панелі Адміністрації	Панелі Адміністрації	3
Ліхтарі Коридору	Ліхтарі Коридору	4

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

БР 3.6.141.366 ЕТз-01с ПЗ

Арк.

85