Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр
(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Впровадження заходів підвищення надійності системи електропостачання електромеханічного заводу**

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи ЕЕм-61
спеціальності 141
електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Клебан К. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Лупенко А. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Вакуленко О. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Тарасенко М. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2021

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Тарасенко М. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« 30 » листопада 2021 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Клебану Костянтину Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Впровадження заходів підвищення надійності системи електропостачання електромеханічного заводу

Керівник роботи Лупенко Анатолій Миколайович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 30 » листопада 2021 року № 4/7-1006

2. Термін подання студентом завершеної роботи 10 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) План підприємства із зовнішніми електричними мережами, графіки електричних навантажень, характеристики споживачів електричної енергії. Перелік наявних основних та допоміжних електропотужностей цеху.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Аналітичний розділ
2. Розрахунково-дослідницький розділ
3. Проектно-конструкторський розділ
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Генеральний план підприємства з картограмою навантажень	1л. ф – А1
2. Однолінійна схема електропостачання підприємства	1л. ф – А1
3. Схема розміщення потужностей ремонтного цеху	1л. ф – А1
4. Схема релейного захисту, автоматики та вимірювання	1л. ф – А1
5. Оцінка показників якості електричної енергії	1л. ф – А1
6. Грозозахист та заземлення трансформаторної підстанції	1л. ф – А1

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 30 листопада 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	10.09.2021	
2	Аналітичний розділ	20.10.2021	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	15.11.2021	
4	Проектно-конструкторський розділ	01.12.2021	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	10.12.2021	
6	Висновки	10.12.2021	
7	Оформлення пояснювальної записки	20.12.2021	
8	Оформлення графічної частини	20.12.2021	

Студент _____ Клебан К. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Лупенко А. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Клебан К. М. «Впровадження заходів підвищення надійності системи електропостачання електромеханічного заводу».

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Стор.– 76; рис. - 4; табл. - 18; креслень - 6; джерел - 22; додатків - -.

У кваліфікаційній роботі магістра здійснено розробку та впровадження технічних заходів щодо підвищення надійності системи електропостачання електромеханічного заводу із детальною розробкою ремонтного цеху.

Здійснено розробку надійної та економічної системи електропостачання електромеханічного заводу. У роботі були розглянуті різні варіанти вибору електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства, вибір автоматики і захисту обладнання трансформаторів і ліній електропередачі.

Всі прийняті рішення ґрунтувалися на техніко-економічних розрахунках відповідно до чинних навчальних матеріалів.

Розглянуто оцінку якості електроенергії через прилад «Ресурс-UF2M».

У кваліфікаційній роботі були застосовані: нова, сучасна, автоматична система електроприводу; автоматичні вимикачі з мікропроцесорами для захисту трансформаторів; гексафторидні автоматичні вимикачі та вакуумні автоматичні вимикачі.

Ключові слова: НАДІЙНІСТЬ, ЕЛЕКТРОПОСТАННЯ, НАВАНТАЖЕННЯ, ЕЛЕКТРОПРИВІД МІКРОПРОЦЕСОР.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ 9
1.1 Характеристика підприємства 9
1.2 Характеристика цехів і технології виробництва 10
1.3 Оцінка ПЯЕ за допомогою приладу "РЕСУРС-UF2M" 13
1.3.1 Призначення і умови застосування 13
1.3.2 Технічні характеристики приладу "РЕСУРС-UF2M" 15
1.4 Висновки до розділу 1 17
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ 18
2.1 Розрахунок електричних навантажень ремонтного цеху 18
2.2 Визначення розрахункових електричних навантажень підприємства 23
2.3 Побудова картограми навантаження 25
2.4 Визначення навантаження на шинах НН та ВН 26
2.5 Вибір напруги живлення зовнішнього електропостачання 27
2.6 Проектування внутрішньої системи електропостачання підприємства 28
2.6.1 Вибір цехових трансформаторів 28
2.6.2 Вибір місця розташування для цехових трансформаторних підстанцій 30
2.7 Електропостачання інструментального цеху 31
2.7.1 Вибір контакторів і теплових реле для електричних приймачів ШР8 31
2.7.2 Видбір автоматичних вимикачів для захисту електричних приймачів ШР8 31
2.7.3 Вибір дроту, для живлення ШР8 32
2.7.4 Вибір розподільчої шафи ШР8 32
2.7.5 Вибір проводів, що постачають електричні приймачі ШР8 33
2.7.6 Вибір розподільчої шафи ШР8 33
2.7.7 Вибір кабелів живлення ШР 34
2.7.8 Вибір трансформатора струму на стороні 0,4 кВ 36

2.7.9 Вибір ввідного автоматичного вимикача 36
2.8 Розрахунок струмів короткого замикання 37
2.9 Висновки до розділу 2 41
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ 42
3.1 Вибір комутаційно-захисної апаратури 42
3.1.1 Вибір вимикачів 10 кВ в колі кабельних ліній живлення 42
3.1.2 Перевірка кабелю на ділянці ГПП–ТП9 44
3.1.3 Вибір трансформатора струму 10кВ 44
3.1.4 Вибір трансформатора напруги 10кВ 47
3.1.5 Вибір вимикачів і роз'єднувачів 110 кВ 47
3.1.6 Вибір трансформатора струму на стороні 110кВ 48
3.2 Компенсація реактивної потужності 49
3.3 Розрахунок релейного захисту 54
3.3.1 Розрахунок селективності релейного захисту 54
3.3.2 Розрахунок релейного захисту кабельної лінії 10 кВ 56
3.3.3 Захист силового трансформатора ТП-9 ТМЗ-1000/10 59
3.3.4 Перевірка трансформаторів струму на 10% похибку 62
3.4 Схема обліку та вимірювань по ТП–9 при напрузі 0,4 кВ 64
3.5 Висновки до розділу 3 65
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 67
4.1 Електробезпека 67
4.2 Блискавкозахист ГПП 68
4.3 Основні способи захисту в надзвичайних ситуаціях 70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 74

ВСТУП

Актуальність проблеми.

Завдання електропостачання промислових підприємств постало одночасно з широким впровадженням електроприводу як рушійної сили різних машин і механізмів і будівництва електростанцій.

Розвиток і ускладнення структури систем електропостачання, зростаючі вимоги до ефективності і надійності їх експлуатації в поєднанні зі зміною структури і характеру споживачів електроенергії, широке впровадження приладів управління розподілом і споживанням електроенергії на основі сучасних комп'ютерних технологій диктують необхідність вдосконалення промислової електроенергетики.

Виникає необхідність створення економічних, надійних систем електропостачання промислових підприємств, освітлення, автоматизованих систем управління електроприводами і технологічними процесами; впровадження мікропроцесорної технології, елегазового та вакуумного електрообладнання, нових комплектних перетворювальних пристроїв.

Система електропостачання (СЕ) – це сукупність взаємопов'язаних електроустановок, призначених для виробництва, передачі і розподілу електроенергії.

Системи електропостачання промислових підприємств створюються для забезпечення електроенергією промислових приймачів електричної енергії, до складу яких входять електричні двигуни різних машин і механізмів, електропечі, електролізні установки, прилади і машини для електрозварювання, освітлювальні установки та інші промислові приймачі електроенергії.

З розвитком споживання електроенергії системи електропостачання промислових підприємств також ускладняються. До них відносяться високовольтні мережі, розподільні мережі, а в деяких випадках і промислові ТЕЦ-мережі. В даний час створені методи розрахунку і проектування мереж цеху, вибору потужності трансформаторів, визначення електричних

навантажень, вибору напруги, кабельно-провідникової продукції і т.д.

Кваліфікаційна робота спрямована на систематизацію і розширення теоретичних знань студентів, розвиток аналітичного і творчого мислення, в ході якого розвиваються навички самостійного вирішення інженерних завдань і практичного застосування теоретичних знань.

Мета і завдання дослідження. Основною метою роботи є розробка та впровадження технічних заходів підвищення надійності системи електропостачання електромеханічного заводу.

Поставлена в роботі мета вимагає вирішення наступних задач:

– аналіз та характеристика підприємства, його цехів, та технології виробництва;

– визначення електричних навантажень ремонтного цеху, та підприємства в цілому;

– вибір напруги зовнішнього електропостачання підприємства;

– вибір схеми внутрішнього електропостачання підприємства на основі техніко-економічного порівняння;

– розрахунок струмів короткого замикання із вибором пристроїв комутаційно-захисної апаратури;

– оцінка показників якості електричної енергії на підприємстві.

Об’єкт дослідження – процеси забезпечення надійної роботи системи електропостачання.

Предмет дослідження – система електропостачання промислового підприємства.

Наукова новизна отриманих результатів.

– Дістало подальший розвиток дослідження та впровадження шляхів забезпечення надійності роботи системи електропостачання промислового підприємства, шляхом раціонального розміщення джерел електричної енергії застосування сучасного обладнання.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропонована схема електропостачання, та застосування нової, сучасної,

автоматичної системи електроприводу; автоматичних вимикачів з мікропроцесорами для захисту трансформаторів; гексафторидні автоматичні вимикачі та вакуумні автоматичні вимикачі забезпечить надійну та безвідмовну роботу.

Апробація.

Основні положення та результати досліджень доповідались та обговорювались на X Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“ (2021), на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (20 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 76 сторінок.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Характеристика підприємства

Досліджуваний ремонтний цех відноситься до заводу для ремонту різних електричних двигунів змінного і постійного струму, генераторів, електродвигунів і спеціального обладнання.

Жодна з сучасних галузей промисловості на виробництві не обходиться без використання електродвигунів (різного роду приводи, механічні машини, крани, тельфери, вентилятори і так далі).

На території підприємства розташовані адміністративні та допоміжні приміщення, інструментальний корпус і корпус для ремонту електродвигунів спеціального призначення.

Всі споживачі електроенергії відносяться до надійності електропостачання II і III категорій.

Електропостачання підприємства характеризується рівномірним графіком навантаження, тобто нормальним режимом з невеликими добовими коливаннями навантаження.

Підприємство є споживачем електроенергії середнього розміру встановленою потужністю близько 21 МВт. Встановлені потужності цехів підприємства вказані в табл. 1.1

Переривання подачі електроенергії призводить в основному до недовипуску продукції без ризику пошкодження обладнання і загроз здоров'ю персоналу. Споживачі підприємства відносяться до 2-ї і 3-ї категорії електропостачання.

Таблиця 1.1 – Встановлені потужності цехів підприємства

№ на ген. плані	Найменування цехів і ділянок	$P_{вст}$, $кВт$
1	Механічна ділянка	1870
2	Заводоуправління	1440
3	Їдальня	740
4	Ділянка обробки валів роторів	1010
5	Складальний цех	1315
6	Обмотувальна ділянка	950
7	Фреонові двигуни	265
8	Ремонтна ділянка механічного цеху	1110
9	Штампувальний цех	1420
10	Інструментальний цех	1700
11	Цех електродвигунів	2290
12	Електроцех	290
13	Заготівельний цех	1515
14	Цех спецобладнання	935
15	Зборка двигунів спеціального призначення	820
16	Склади	425
17	Виробничий корпус	2370
	Освітлення цехів і території заводу	Визначити по площі
	РАЗОМ по заводу	20465

1.2 Характеристика цехів і технології виробництва

Для нормальної роботи підприємства необхідно забезпечити виробництво первинної сировини: металу, комплектуючих.

У **механічному цеху** виготовляються основні компоненти для машин. Основне обладнання: металообробні машини універсального призначення, різної потужності і призначення. Навколишнє середовище в цеху нормальне, бетонна підлога забруднена металевою стружкою.

Управління заводом – призначене для розміщення адміністративного та управлінського персоналу. Основне обладнання - кондиціонери і комп'ютерні технології в бухгалтерії, офісі і т.д., є заземлене обладнання. Навколишнє середовище в нормі. Споживач відноситься до II категорії.

Місце обробки валів – включає в себе все необхідне обладнання для виконання спеціальних процесів на валах статорів і роторів. Це плазмовий розпилювач, піскоструминний блок, обладнання для шліфування, балансування і спеціального контролю цих деталей. Навколишнє середовище запорошене, підлога бетонна. Переривання електропостачання призведе до простою обладнання і праці.

Складальний цех – в цьому цеху проводиться збірка готової продукції. Основним обладнанням є кранова балка, зварювальні апарати, є заземлене обладнання. Навколишнє середовище в цеху в нормі, підлога бетонна. Порушення електропостачання призводить до простою праці. Споживач відноситься до II категорії.

Обмотувальна ділянка – це цех виробляє обмотки з мідного і алюмінієвого обмотки матеріалу. Основним обладнанням є обмотувальні машини, машини для виготовлення клинів, гільйотинові ножиці для різання ізоляційних матеріалів, зварювальні та паяльні інструменти для з'єднання обмоткових проводів.

Ремонтна майстерня – в цьому цеху проводиться ремонт і профілактика основного і допоміжного обладнання, є заземлене обладнання. Навколишнє середовище сухе, підлога бетонна. Споживач відноситься до II категорії.

Штампувальна майстерня – в цьому цеху проводиться попередня обробка металевих заготовок. Основним обладнанням є плазмові ріжучі установки, преси, гільйотини, є заземлене обладнання. Навколишнє середовище в цеху нормальне, підлога бетонна. Споживач відноситься до I категорії.

Інструментальний цех – в цьому цеху виготовлення і ремонт штампів, виготовлення і ремонт фрез металорізальних верстатів. Основним обладнанням є металообробні верстати універсального призначення, точильні верстати, є заземлене обладнання. Навколишнє середовище в цеху в нормі, бетонна підлога забруднена металевою стружкою. Перерва в енергопостачанні призведе до простою обладнання і праці.

Електромонтажник - працівники цього цеху ремонт електрообладнання встановлюють на підприємстві (перемотування двигунів, електромагнітних муфт). Навколишнє середовище в приміщенні в нормі, підлога бетонна. Споживач відноситься до II категорії.

Електроцех – в цьому цеху проводиться попередня обробка металевих заготовок.

Склади призначені для зберігання матеріалів і супутніх комплектуючих для продукції. Основним обладнанням є кранові балки, мостові крани, є заземлене обладнання. Споживач відноситься до II категорії.

Виробничий корпус – складається, як правило, з трьох основних зон: діагностики, обслуговування та ремонту. У діагностичній зоні визначається технічний стан систем і складальних агрегатів машин. Зона технічного обслуговування складається з універсальних або спеціалізованих постів, де виконуються контрольно-коригувальні роботи. Площа ремонту включає: спеціалізовані або універсальні пости, де замінюються несправні агрегати і монтажні агрегати. Підлога бетонна. Споживач відноситься до II категорії.

У таблиці 1.2 подано характеристику виробничим цехам заводу.

Таблиця 1.2 – Характеристика виробничих цехів підприємства

Назва майстерні	Навколишнє середовище	Категорія безперебій-ності	Ступінь небезпеки ураження ел. струмом	Категорія вибухо і пожеже небезпеки
1	2	3	4	5
Механічна ділянка	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-
Заводоуправління	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-
Їдальня	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-
Ділянка обробки валів роторів	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-
Складальний цех	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-
Обмотувальна ділянка	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-

продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
Фреонові двигуни	Нормальне	III	З підвищеною небезпекою	-
Ремонтна ділянка механічного цеху	Нормальне	III	З підвищеною небезпекою	-
Штампувальний цех	Нормальне	III	З підвищеною небезпекою	-
Інструментальний цех	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-
Цех електродвигунів	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-
Електроцех	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-
Заготівельний цех	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-
Цех спецобладнання	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-
Зборка двигунів спеціального призначення	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-
Склади	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-
Виробничий корпус	Нормальне	II	З підвищеною небезпекою	-

1.3 Оцінка ПЯЕ за допомогою приладу "РЕСУРС-UF2M"

1.3.1 Призначення і умови застосування

Прилад для вимірювання показників якості електричної енергії "Ресурс-UF2M" призначений для виміру характеристик напруги, включаючи основні показники якості електричної енергії (ПЯЕ), а також характеристик струму, потужності і енергії змінного трифазного і однофазного струму, при роботі, як в автономному режимі, так і у складі інформаційно-вимірювальних систем.

Сфера застосування : вимір показників якості, організація обліку кількості електроенергії на підприємствах промисловості і в енергосистемах, обстеження електромереж підприємств (енергоаудит), облік потоків потужності в енергосистемах, міжсистемних перетікань, вироблення і використання

електроенергії.

Вимірники можуть бути використані в якості зразкового лічильника електроенергії для перевірки і перевірки лічильників електроенергії, у тому числі і на місці експлуатації, класу 0,5 (0,5S) і менш точних (модифікації "Ресурс-UF2C", "Ресурс - UF2M") і класу 1,0 (1,0S) і менш точних (модифікація "Ресурс-UF2").

Прилад призначений для роботи в однофазних, трифазних трипровідних, трифазних чотирипровідних (усі модифікації) і трифазних п'ятидротяних (модифікації "Ресурс-UF2C" і "Ресурс-UF2M") електричних мережах при безпосередньому підключенні або з використанням вимірювальних трансформаторів.

Вимірювальні прилади можуть використовуватися з роз'ємними трансформаторами струму (струмовими кліщами) з комплекту постачання. У комплект постачання можуть входити струмові кліщі типів КТ52, КП15, КП46 та ін., де число вказує максимальний діаметр провідника, на якого вони можуть підключатися. Струмові кліщі повіряються спільно з вимірювальними приладами.

Нормальні умови застосування приладу відповідають ГОСТ 22261-94:

- нормальне значення температури навколишнього повітря плюс 20°С, допустимі відхилення від нормального значення ± 5 °С;
- нормальна область значень відносної вологості повітря від 30 до 80%;
- нормальна область значень атмосферного тиску від 84 до 106 кПа (від 630 до 795 мм рт. ст.);
- нормальне значення частоти живлячої мережі 50 Гц, допустимі відхилення від нормального значення 0,5 Гц;
- нормальне значення напруги живлячої мережі змінного струму 220 В, допустимі відхилення від нормального значення 4,4 В;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності напруги мережі живлення не більше 5 %.

Робочі умови застосування

Робочі умови застосування приладу в частині стійкості до климатичних дій відповідають групі 4 по ГОСТ 22261-94:

- температура навколишнього повітря від мінус 20 до плюс 55 °С
- відносна вологість повітря 90 % при температурі навколишнього повітря +30 °С.
- атмосферний тиск від 70 до 106,7 кПа (від 537 до 800 мм рт. ст.).

Електроживлення приладу здійснюється від окремого входу електричного живлення змінною однофазною напругою з середньоквадратичним значенням від 85 до 265 В і частотою від 42,5 до 57,5 Гц.

Граничні значення коефіцієнта спотворення синусоїдальності напруги електроживлення 20 %.

1.3.2 Технічні характеристики приладу "РЕСУРС-UF2M"

Прилад модифікації "Ресурс-UF2" має дві групи вимірювальних входів напруги. Кожна група вимірювальних входів напруги має три фазні вимірювальні входи напруга, сполучена за схемою "зірка" і один загальний вимірювальний вхід. Одна група вимірювальних входів напруги працює на діапазоні вимірів з номінальним середньоквадратичним значенням напруги 220/($220 \cdot \sqrt{3}$) В, інша група вимірювальних входів напруги - на діапазоні вимірів з номінальним середньоквадратичним значенням напруги ($100/\sqrt{3}$)/100 В. Напруги подаються одночасно тільки на одну групу входів.

Прилад модифікацій "Ресурс-UF2C", "Ресурс-UF2M" і "Ресурс-UF2MB" має чотири фазні вимірювальні входи напруги і один загальний вимірювальний вхід. Вимірювальні входи напруги працюють на двох діапазонах вимірів з номінальними середньоквадратичним значеннями напруги 220/($220 \cdot \sqrt{3}$) і ($100/\sqrt{3}$)/100 В.

Вимірювальні входи напруги гальванічно ізольовані від інших частин приладу.

Прилад модифікації "Ресурс-UF2" має три групи вимірювальних входів

струму для кожного діапазону вимірів. Прилад модифікацій "Ресурс-UF2C", "Ресурс-UF2M" і "Ресурс-LT2MB" має чотири групи вимірювальних входів струму для кожного діапазону вимірів. Кожна група вимірювальних входів струму має контакт підключення генератора вимірювального входу струму і контакт підключення навантаження вимірювального входу струму.

Прилад забезпечує роботу при прямому підключенні вимірювальних входів струму на двох діапазонах вимірів з номінальними середньоквадратичними значеннями сили струму 1 і 5 А.

Прилад модифікацій "Ресурс-UF2M" і "Ресурс-UF2MB" працює при підключенні вимірювальних входів струму за допомогою струмовимірювальних кліщів на одному або декількох діапазонах вимірів. Номінальне середньоквадратичне значення первинного струму визначається типом вживаних струмовимірювальних кліщів.

Струмовимірювальні кліщі підключаються до спеціально призначених входів. Вимірювальні входи струму гальванічно ізольовані один від одного і від інших частин приладу.

Одночасне використання вимірювальних входів струму різних діапазонів, що належать одній фазі не допускається.

Модифікація приладу «Ресурс-UF2MB» має чотири вимірювальні входи напруги для вимірювання значень напруги RMS до 10 В (далі - низьковольтні вимірювальні входи).

Вимірювальні входи низьковольтної напруги гальванічно ізольовані один від одного і від решти пристрою.

При використанні (підключенні) низьковольтного вимірювального входу вимірювальні входи вимірювальних входів струму цієї фази використовувати не слід.

Вхідний опір модифікації пристрою "Ресурс-UF2":

- на вимірювання входів напруги з номінальним значенням RMS напруги 220/(220·√3) В — не більше 400 кОм;220·√3
- на вимірювання входів напруги з номінальним значенням RMS напруги

(100/√3)/100 В — не менше 100 кОм.100/√3

Вхідний опір режимів приладу «Ресурс - UF2C», «Ресурс - UF2M» і «Ресурс - UF2MB» на вимірювання входів напруги не менше 400 кОм.

Вхідний опір вимірювальним входам струму з номінальним значенням RMS струму 5 А становить не більше 0,05 Ом.

Вхідний опір на вимірювальні входи струму з номінальним значенням RMS струму 1 А становить не більше 0,25 Ом.

Вхідний опір пристрою модифікації «Ресурс - UF2MB» на вимірювальних входах низьковольтної напруги не менше 30 кОм.

1.4 Висновки до розділу 1

В даному розділі дано коротку характеристику споживачів електричної енергії підприємства, здійснено їх розподіл згідно за категорійністю електропостачання.

Підприємство є споживачем електроенергії середнього розміру встановленою потужністю близько 21 МВт.

Проведено короткий аналіз цехів і технології виробництва даного підприємства.

Для проведення аналізу показників якості електричної енергії на підприємстві запропоновано використання приладу «Ресурс - UF2MB», подано його основні технічні характеристики, та принцип роботи.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розрахунок електричних навантажень ремонтного цеху

Проектні навантаження для інструментального цеху розраховуються методом впорядкованих схем. Початкові дані наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Відомість електроприймачів ремонтного цеху

№ на плані	Найменування електроприймача	Тип	Рном кВт	К-сть	Позначення на плані
1	2	3	4	5	6
1	Плоскошліфувальний верстат	ОШ 24Ф11Н	4	3	77, 78, 79
2	Плоскошліфувальний верстат підвищеній точності	ОШ 83	3,6	8	7, 8, 9, 71, 72, 73, 74, 80
3	Плоскошліфувальний верстат	3Г 71	2,9	5	23, 24, 25, 93, 94
4	Плоскошліфувальний верстат	3Д 711АФ11	1,8	7	1, 2, 3, 14, 15, 95, 96
5	Плоскошліфувальний верстат	3Д 711АФ10-1	4,7	2	97, 98
6	Токарно-гвинторізний верстат	16К20П	9,8	10	110, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 119, 171
7	Токарно-гвинторізний верстат	МК6056	12	1	172
8	Токарно-гвинторізний верстат	1Е61МТ	4,6	13	58, 59, 60, 61, 62, 63, 66, 67, 68, 75, 76, 81, 82
9	Токарно-гвинторізний верстат	1М63	15,1	4	83, 84, 85, 86
10	Токарно-гвинторізний верстат	1Е61МТ	4,6	5	87, 88, 89, 91, 92
11	Універсально-фрезерний верстат	67К25ПР	5,1	2	104, 173
12	Універсально-фрезерний верстат	FVW315	3,4	5	34, 35, 36, 37, 38
13	Універсально-фрезерний верстат	676	1,8	3	21, 22, 29
14	Універсально-фрезерний верстат	6Н13П	12	1	120
15	Вертикально-фрезерний верстат	6Н13П	13,9	2	133, 134
16	Вертикально-фрезерний верстат	6Н11П	4,8	5	49, 50, 51, 53, 54
17	Вертикально-фрезерний верстат	6Н08П	3	4	105 – 108
18	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК	FKrSPS-500	17	1	47
19	Горизонтально-фрезерний верстат	6Н62	1,8	2	30, 123
20	Горизонтально-фрезерний верстат	6Н62Г	9,8	3	20, 31, 32
21	Оптико-шліфувальний верстат	ПС-165	8,4	3	64, 65, 69
22	Профилешлифовальный верстат з пантографом	ПСМ-180	17	1	28
23	Кругло шліфувальний верстат	105 1ЕВ-61	5	1	70
24	Кругло шліфувальний верстат	3А10П	1,37	1	48
25	Координатно-шліфувальний	S50314	6,1	1	55
26	Обдирно-шліфувальний верстат	3М634	1,7	1	17
27	Обдирно-шліфувальний верстат	3Б634	5,4	1	100
28	Внутрішньошліфувальний	НДУ	8,25	1	102

продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
29	Внутрішньошліфувальний верстат	3А227	5	1	99
30	Спеціальний заточно-шліфувальний верстат	НО	1	1	5
31	Координатно-розточувальний верстат	2450	7,2	3	12, 26, 27
32	Вертикально-свердлильний верстат	2А125	2,9	3	4, 13, 121
33	Вертикально-свердлильний верстат	2Н125	4,5	4	33, 101, 109, 114
34	Токарні верстати з ЧПК	OF 2/3	5,5	3	10, 52, 56
35	Універсально-заточувальний верстат	3А64М	1,75	6	18,1 9, 43, 44, 45, 46
36	Довбальний верстат	7А420	3,5	1	6
37	Копіювально-фрезерний верстат	6А463	2,9	1	103
38	Заточувальний верстат	3Б667	5,3	4	136, 137, 138, 139
39	Заточувально-полірувальний верстат	36011	2,9	2	124, 125
40	Напівавтомат для заточування дискових сегментів	3Б667М	29	1	57
41	Широкоуніверсальний фрезерний верстат	СВМ1ФН	5,7	1	131
42	Кран підвісний електричний	ГОСТ-7890	5,7	4	90, 128, 132, 135
43	Таль електрична	ТЭ-0,5	2,63	3	39, 122, 140
44	Кран-балка	ГОСТ-7890	30,5	1	11
45	Електроерозійний порошковий верстат	4732Ф3	10	4	16, 40, 126, 127
46	Електроіскровий верстат з порошковим електродом	4531	2,5	2	41, 42
47	Прошивочний верстат	4Е723	30	2	129, 130
48	Плавильна піч	ВЧГ-1	1,7	10	145, 146, 147, 148, 149, 151, 152, 153, 154, 155
49	Електропіч опору	СМЗ-85.14	34	14	141, 142, 150, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 167, 168, 169, 170
50	Електропіч шахтна	СД1-16.1 2/2	37	6	143, 144, 163, 164, 165, 166
51	Вентилятор витяжний	ВАО-14	7,5	3	Майданчик вентиляції
52	Вентилятор витяжний	ВАО-10	5,5	1	Майданчик вентиляції
53	Вентилятор витяжний	ВАО-9,5	4	2	Майданчик вентиляції
54	Вентилятор витяжний	ВАО-2,4	1,3	2	Майданчик вентиляції
55	Вентилятор витяжний	ВАО-2,4	1,5	3	Майданчик вентиляції
56	Вентилятор витяжний	ПАО-10	5,5	3	Майданчик вентиляції
57	Вентилятор витяжний	ПАО-14	7,5	3	Майданчик вентиляції

Здійснимо поділ електроприймачів за вузлами і групами з урахуванням особливостей ЕП і їх територіального розташування. Основним ЕП іремонтного цеху є трифазні машини. ЕП рівномірно розподілені по цеху.

Розрахунок навантаження вузла методом впорядкованих схем можливий в тих випадках, коли відомі номінальні потужності всіх ОС, режим роботи і їх розміщення на генеральному плані цеху.

З метою перевірки навантаження групи №1 розраховується методом впорядкованих діаграм.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики ЕП для групи №1 (ШР–1)

№	Найменування електроприймача	Число приймачів	Встановлена потужність ЕП $P_{ном}$, кВт	$К_в$	cosφ
1	Плоскошліфувальний верстат	3	1,8	0,14	0,6
2	Вертикально-свердлильний верстат	1	2,9		
3	Спеціальний заточувально-шліфувальный верстат	1	1		
4	Довбальний верстат	1	3,5		

Середнє активне навантаження вузла за найбільш завантажену зміну визначається по формулі:

$$P_{см} = P_{ном\sum} \cdot К_в;$$

де $P_{уст\sum}$ – сумарна номінальна (встановлена) активна потужність ЕП що входять у вузол;

$$P_{ном\sum} = 3 \cdot 1{,}8 + 2{,}9 + 1 + 3{,}5 = 12{,}8 \text{ кВт}.$$

$К_в = 0{,}14$ – коефіцієнт використання активної потужності групи ЕП.

$$P_{см} = 12{,}8 \cdot 0{,}14 = 1{,}792 \text{ кВт}.$$

Середня реактивна потужність вузла визначається по формулі:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot tg\varphi;$$

$$tg\varphi_i = \frac{\sqrt{1 - cos\varphi^2}}{cos\varphi} = \frac{\sqrt{1 - 0,6^2}}{0,6} = 1{,}33;$$

де $\cos\varphi = 0{,}6$ – коефіцієнт потужності вузла.

$$Q_{см} = 1{,}792 \cdot 1{,}33 = 2{,}383 \text{ квар}.$$

Середньозважене значення коефіцієнта використання по вузлу:

$$K_u = \frac{P_{см}}{P_{ном\sum}} = \frac{1{,}792}{12{,}8} = 0{,}14.$$

Для визначення ефективного числа електроприймачів, на початковій стадії слід визначити величину m.

$$m = \frac{P_{ном.max}}{P_{ном.min}} = \frac{3{,}5}{1} = 3{,}5;$$

де m – відношення номінальної потужності найпотужнішого електроприймача у вузлі до номінальної потужності самого малопотужного електроприймача.

Згідно з правилами, при $m > 3$, і $K_в < 0{,}2$, n_e визначається таким чином:

$$n_e = n_{e*} \cdot n.$$

Вводиться поняття відносно ефективного числа ЕП n_{e*}

$$n_{e*} = f(n_{1*} \cdot P_{1*});$$

де n_{1*} – відносне число ЕП вузла, потужність кожного з яких не менше половини потужності найбільшого ЕП;

P_{1*} – відносна потужність найбільших ЕП ;

$$n_{1*} = \frac{n_1}{n};\ P_{1*} = \frac{P_{ном1}}{P_{ном}};$$

де n_1 – число ЕП у вузлі, номінальна потужність яких, складає половину і більше від номінальної потужності найбільш потужного ЕП у вузлі;

n – реальне число ЕП;

$P_{ном1}$ – сумарна номінальна потужність цих n_1 ЕП;

P – сумарна номінальна потужність n ЕП;

$$n_{1*} = \frac{5}{6} = 0{,}83;\ P_{1*} = \frac{11{,}8}{12{,}8} = 0{,}92.$$

По отриманих значеннях n_{1*} і P_{1*}, $n_{э*} = 0{,}85$.

$$n_э = 0.85 \cdot 6 \cong 5.$$

За відомою величиною n_e и $К_в$, по таблиці визначається коефіцієнт максимуму активної потужності $К_м = 2{,}87$.

З врахуванням $К_м$: визначається розрахункове активне навантаження (півгодинний максимум)

$$P_{розр} = К_м \cdot P_{см} = 2{,}87 \cdot 1{,}792 = 5{,}143 кВт.$$

Згідно з правилами, при $n_e < 10$, розрахункова реактивна потужність вузла визначається по формулі:

$$Q_{розр} = 1{,}1 \cdot P_{см} \cdot tg\varphi_{ср.в} = 1{,}1 \cdot 1{,}792 \cdot 1{,}33 = 2{,}622 квар.$$

де $tg\varphi_{с.з} = \frac{Q_{см}}{P_{см}} = \frac{2{,}383}{1{,}792} = 1{,}33$ – середньозважене значення.

Повна розрахункова потужність вузла :

$$S_{розр} = \sqrt{(P_{розр})^2 + Q_{розр}^2} = \sqrt{5{,}143^2 + 2{,}622^2} = 5{,}773 кВА.$$

Визначення розрахункового струму у вузлі:

$$I_{розр} = \frac{P_{розр}}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \cos\varphi} = \frac{5{,}143}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}6} = 12{,}372 А.$$

Розрахункове навантаження освітлювальної мережі :

$$P_о = P_{уд.о.} \cdot К_{с.о.} \cdot F;$$

де $P_{уд.о} = 0{,}016 кВт/м^2$ – питоме навантаження освітлювальної мережі;

$К_{с.о} = 0{,}95$ – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

$F = 4160 м^2$ – площа цеху;

$$P_о = 0{,}016 \cdot 0{,}95 \cdot 4160 = 63{,}232 кВт.$$

Розрахункові навантаження інших вузлів розраховуються аналогічно

Визначимо повну розрахункову потужність інструментального цеху :

$$S_{розр} = \sqrt{(P_{розр.ц} + P_о)^2 + Q_{розр}^2} = \sqrt{(1383{,}77 + 63{,}232)^2 + 422^2} = 1447 кВА.$$

2.2 Визначення розрахункових електричних навантажень підприємства

Розрахунок електричних навантажень інших цехів і підприємства в цілому здійснений методом коефіцієнта попиту за допомогою ПК. Початкові дані приведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Початкові дані для розрахунку методом коефіцієнта попиту

№	Назва цеху	Силове навантаження			F	Освітл. навантаження		X	Y	m
		$P_{вст}$ кВт	K_c	cosφ	м²	$P_{оу}$ кВт/м²	$K_{со}$	м	м	кВт/см²
1	Механічна ділянка	1870	0.45	0.85	7330	0.016	0.95	154	348	1,0
2	Заводоуправління	1440	0.6	0.95	2760	0.019	0.9	307	397	
3	Їдальня	740	0.8	0.95	1370	0.02	0.9	394	313	
4	Ділянка обробки валів роторів	1010	0.55	0.85	3230	0.016	0.9	402	234	
5	Складальний цех	1315	0.4	0.9	3070	0.016	0.95	385	342	
6	Обмотувальна ділянка	950	0.45	0.85	10600	0.015	0.85	298	234	
7	Фреонові двигуни	265	0.5	0.85	1170	0.016	0.95	365	138	
8	Ремонтна ділянка механічного цеху	1110	0.45	0.65	4750	0.015	0.9	220	347	
9	Штампувальний цех	1420	0.5	0.8	7110	0.016	0.9	166	234	
10	Ремонтний цех	1700	0.55	0.6	4160	0.016	0.95	49	292	
11	Цех електродвигунів	2290	0.55	0.85	3200	0.016	0.85	265	94	
12	Електоцех	290	0.65	0.65	1600	0.018	0.9	243	152	
13	Заготівельний цех	1515	0.6	0.9	1685	0.015	0.8	490	128	
14	Цех спецобладнання	935	0.5	0.95	1590	0.013	0.95	365	79	
15	Зборка двигунів спец. призначення	820	0.4	0.9	1290	0.016	0.95	410	372	
16	Склади	425	0.3	0.8	2135	0.009	0.6	344	104	
17	Виробничий корпус	2370	0.65	0.9	2230	0.016	0.95	476	386	

Методом коефіцієнта попиту користуються для оцінних розрахунків максимальних навантажень промислових підприємств на вищій напрузі схеми електропостачання. Метод вимагає знання встановленої потужності цеху в цілому, коефіцієнта попиту, і коефіцієнта попиту на освітлення.

Приклад розрахунку електричних навантажень методом коефіцієнта попиту для механічного цеху (№1).

Визначаємо розрахункову активну потужність:

$$P_р = P_{вст} \cdot K_с;$$

де $P_{вст}$ – встановлена потужність ремонтного цеху; $P_{уст} = 1870$ кВт

$K_с = 0{,}45$ –коефіцієнт попиту;

$$P_р = 1870 \cdot 0{,}45 = 841{,}5 \text{ кВт}.$$

Визначимо значення реактивної потужності:

$$Q_р = P_р \cdot tg\varphi;$$

де $tg\varphi$ тангенс кута φ, в залежності від косинусаφ

$$tg\varphi = \frac{\sqrt{1 - cos\varphi^2}}{cos\varphi} = \frac{\sqrt{1 - 0,85^2}}{0{,}85} = 0{,}62;$$

де – $cos\varphi$ коефіцієнт потужності вузла; $cos\varphi = 0{,}85$

$$Q_р = 841{,}5 \cdot 0{,}62 = 521{,}51 \text{ квар}.$$

Визначимо розрахункове активне навантаження мережі освітлення:

$$P_о = P_{пит.о.} \cdot K_{с.о.} \cdot F;$$

де $P_{пит.о.}$– питома потужність світлового навантаження; $P_{пит.о} = 0{,}016$ кВт/м²

$K_{с.о} = 0{,}95$ – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

$F = 7330$ м² – площа цеху;

$$P_о = 0{,}016 \cdot 0{,}95 \cdot 7330 = 111{,}42 \text{ кВт}.$$

Визначаємо загальну проектну потужність ремонтного цеху:

$$S_р = \sqrt{(P_р + P_о)^2 + Q_р^2} = \sqrt{(841{,}5 + 111{,}42)^2 + 521{,}51^2} = 990 \text{ кВА}.$$

Проектні навантаження інших цехів розраховуються аналогічно.

Визначимо розрахункове активне навантаження мережі освітлення незабудованої території:

$$P_{о.т} = K_{п.о.} \cdot P_{пит.о} \cdot F_т;$$

де $P_{пит.о}$– питома потужністьосвітлювального навантаження;

$P_{пит.о} = 0{,}00016$ кВт/м²

$K_{п.о} = 1{,}0$ –коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

$F = 124455$ м² – площа незабудованої території заводу;

$$P_{о.т} = 1{,}0 \cdot 0{,}00016 \cdot 124455 = 19{,}91 \text{ кВт}.$$

Аналогічно ми проводимо розрахунки для інших цехів, результати розрахунків зведено в таблиці 2.4.

2.3 Побудова картограми навантаження

Як приклад наведемо розрахунок для першого цеху.

Щоб побудувати картограму навантажень, визначимо радіус кола:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_P}{\pi \cdot m}};$$

де m – масштаб для визначення площі кола; $m = 1{,}0$ кВт/мм²

$$R_1 = \sqrt{\frac{952{,}92}{\pi \cdot 1{,}0}} = 17{,}42 \text{мм}.$$

Кут сектора освітлювального навантаження:

$$\alpha = \frac{P_0 \cdot 360°}{P_P} = \frac{111{,}42 \cdot 360°}{952{,}92} = 42{,}09°.$$

Аналогічно ми проводимо розрахунки для інших цехів, результати розрахунків зведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати визначення навантажень підприємства

Назва цеху	P кВт	P_o кВт	P_p кВт	Q_p квар	S_p кВА	R мм	α°
1	2	3	4	5	6	7	8
Механічна ділянка	841.50	111.42	952.92	521.51	1086.29	17ё,42	42,09
Заводоуправління	864.00	47.20	911.20	283.98	954.42	17,03	18,65
Їдальня	592.00	24.66	616.66	194.58	646.63	14,01	14,40
Ділянка обробки валів роторів	555.50	46.51	602.01	344.27	693.50	13,84	27,81
Складальний цех	526.00	46.66	572.66	254.75	626.77	13,50	29,33
Обмотувальна ділянка	427.50	135.15	562.65	264.94	621.91	13,38	86,47
Фреонові двигуни	132.50	17.78	150.28	82.12	171.26	6,92	42,60
Ремонтна ділянка механічного цеху	499.50	64.13	563.63	583.98	811.61	13,39	40,96
Штампувальний цех	852.00	102.38	954.38	639.00	1148.55	17,43	38,62
Ремонтний цех	1383.77	63.23	1447.00	422.00	1346.12	21,46	15,73

продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8
Механічна ділянка	841.50	111.42	952.92	521.51	1086.29	17ё,42	42,09
Цех електродвигунів	1259.50	43.52	1303.02	780.57	1518.93	20,37	12,02
Електоцех	188.50	25.92	214.42	220.38	307.48	8,26	43,52
Заготівельний цех	909.00	20.22	929.22	440.25	1028.24	17,20	7,83
Цех спецобладнання	467.50	19.64	487.14	153.66	510.80	12,45	14,51
Зборка двигунів спец. призначення	328.00	19.61	347.61	158.86	382.19	10,52	20,31
Склади	127.50	11.53	139.03	95.63	168.74	6,65	29,85
Виробничий корпус	1540.50	33.90	1574.40	746.10	1742.24	22,39	7,75
Територія		19.91	19.91		19.91		
				$S_{Р.НН}$ = 13765.66			
Втрати:							
– в лінії			412.97				
– в трансформаторах			275.31	1376.57			
Навантаження:							
– НН ГПП			13036.42	7563.14	15071.47		
– ВН ГПП			13337.85	7713.86	14637.45		
– від системи				3734.60			
Координаты ЦЕН:	X_0 = 298.35 м		Y_0 = 266.13 м				

2.4 Визначення навантаження на шинах НН та ВН

Втрати активої потужності в цехових підстанціях займають 2% від розрахункової сумарної потужності, втрата потужності в лініях 3% від загальної конструкції сумарної потужності і втрата реактивної потужності в цехових трансформаторах займають 1% від розрахованої повної потужності. Ми не враховуємо втрату реактивної потужності в лінії, так як вона має значну потужність і генерує реактивну потужність, тобто втрати реактивної потужності в лінії компенсуються.

$$\Delta P_{лин} = 0{,}03 \cdot S_{Р.НН} = 0{,}03 \cdot 13765{,}66 = 412{,}97 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{ТР} = 0{,}02 \cdot S_{Р.НН} = 0{,}02 \cdot 13765{,}66 = 275{,}31 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{ТР} = 0{,}1 \cdot S_{Р.НН} = 0{,}1 \cdot 13765{,}66 = 1376{,}57 \text{ квар}.$$

Розрахункове активне навантаження на шинах низької напруги ГПП (РП) підприємства:

$$P_{Р.НН.ГПП} = P_{РΣ} + ΔP_{тр} + ΔP_{лин} = 12348{,}13 + 275{,}31 + 412{,}97 = 13036{,}42 \text{ кВт}.$$

Розрахункове реактивне навантаження на шинах низької напруги ГПП (РП) підприємства:

$$Q_{Р.НН.ГПП} = Q_{РΣ} + ΔQ_{ТР} = 6186{,}58 + 1376{,}57 = 7563{,}14 \text{ квар}.$$

Повне розрахункове навантаження на шинах низької напруги ГПП (РП):

$$S_{Р.НН.ГПП} = \sqrt{P^2_{Р.НН.ГПП} + Q^2_{Р.НН.ГПП}} = \sqrt{13036{,}42^2 + 7563{,}14^2} = 15071{,}47 \text{ кВА}.$$

Розрахункове активне навантаження на шини високої напруги ГПП (РП) підприємства:

$$P_{Р.ВН.ГПП} = P_{Р.НН.ГПП} + 0{,}02 \cdot S_{Р.НН.ГПП} = 13036{,}42 + 0{,}02 \cdot 15071{,}47 = 13337{,}85 \text{ кВт}.$$

Розрахункове реактивне навантаження на шини високої напруги ГПП (РП) підприємства:

$$Q_{Р.ВН.ГПП} = Q_{Р.НН.ГПП} + 0{,}1 \cdot S_{Р.НН.ГПП} = 7563{,}14 + 0{,}1 \cdot 15071{,}47 = 7713{,}86 \text{ квар}.$$

Повне розрахункове навантаження на шини високої напруги ГПП (РП):

$$S_{Р.ВН.ГПП} = к_{рм}\sqrt{P^2_{Р.ВН.ГПП} + Q^2_{Р.ВН.ГПП}} = 0{,}95\sqrt{13337{,}85^2 + 7713{,}86^2} = 14637{,}45 \text{ кВА}.$$

Реактивне навантаження, що забезпечується енергосистемою:

$$Q_С = P_{Р.ВН.ГПП} \cdot tg_{nor} = 13337{,}85 \cdot 0{,}28 = 3734{,}60 \text{ квар}.$$

2.5 Вибір напруги живлення зовнішнього електропостачання

Вибір напруги мереж живлення і розподілу визначається такими параметрами, як: споживана підприємством електроенергія, віддаленість підприємства від джерела живлення (особливо для малих і середніх підприємств), кількість і потужність електричних приймачів.

При отриманні електроенергії з двох і більше джерел живлення, напруга повинна підбиратися на основі техніко-економічного порівняння варіантів.

При рівних витратах або невеликій перевазі мережі з низькою напругою перевага віддається мережі більш високої напруги, так як втрати в лініях електропередачі значно знижуються.

Приблизно напруга може бути визначена за формулою Стілла:

$$U = 4{,}34\sqrt{L + 16P};$$

де L – відстань від підприємства до джерела живлення; $L = 1$ км

$P = 13{,}33785$ МВт – розрахункова потужність, що передається по одній мережі.

Залежно від конструкції лінії потужність, що передається по одному контуру, може змінюватися в залежності від кількості схем, передбачених конструкцією.

У разі двоколової лінії:

$$U = 4{,}34 \cdot \sqrt{1 + 16 \cdot \frac{13{,}33785}{2}} = 45{,}04 \text{ кВ}.$$

Розглянемо два варіанти електропостачання підприємства:

- I варіант - двоколова повітряна лінія напругою 35 кВ;
- II варіант двоколова повітряна лінія напругою 110 кВ.

Виходячи з техніко-економічного порівняння варіантів, прийнято зовнішню напругу живлення 110 кВ.

2.6 Проектування внутрішньої системи електропостачання підприємства

2.6.1 Вибір цехових трансформаторів

Номінальна потужність цехових трансформатрів підбирається виходячи з раціонального навантаження, а також згідно умови резервування в аварійних режимах. Кількість трансформаторів не повинно перевищувати трьох.

Номінальну потужність трансформторів підбирається за умовою:

$$S_{ном.Т} \geq \frac{P_р}{n \cdot \beta};$$

де $P_р$– розрахункова потіжність навантаження, що живляться від трансформаторної підстанції;

n – кількість трансформаторів трансформаторних підстанцій цеху;

β – коефіцієнт навантаження трансформатора.

Аналіз проектних навантажень всіх цехів дозволяє використовувати трансформатори трьох розмірів 400, 630 і 1000 кВА. При цьому деякі цехи отримують електроенергію від трансформаторних підстанцій сусідніх цехів.

Наприклад, при стандартному коефіцієнті навантаження для навантажень категорії безперервності I, для навантажень категорії безперервності II і для навантажень категорії безперервності III для електропостачання категорій безперервності I і II приймається двотрансформаторна підстанція.$К_з$ = 0,65 ÷ 0,7$К_з$ = 0,7 ÷ 0,8$К_з$ = 0,9 ÷ 0,95

Підбір трансформаторів для цеху №6(ТП7)

Сумарна розрахункова активна потужність:

$$P_р = 562{,}65 \text{ кВт}.$$

Номінальне значення потужності трансформаторів:

$$S_{ном.т} \geq \frac{562{,}65}{2 \cdot 0{,}85} = 330{,}97 \text{ кВА}.$$

Отримане значення потужності заокруглюється до найближчого вищого стандартого значеня, при цьому до монтажу приймаються два трансформатора марки *ТМЗ* – 630 *кВА* .

Фактичним коефіцієнтом навантаження є:

$$К_{зФ} = \frac{P_р}{n \cdot S_{ном.т}} = \frac{562{,}65}{2 \cdot 400} = 70\ \%.$$

Якщо один з трансформаторів вийде з ладу, інші трансформатори будуть мати коефіцієнт навантаження, рівний:

$$К_{ЗАВ} = \frac{546{,}60}{1 \cdot 400} = 1{,}41.$$

У разі виходу з ладу одного трансформатора, той що залишився в експлуатації, не зможе повністю забезпечити живленням електроприймачі. Тому в разі аварії виникає необхідність відключити меншвідповідальні споживачі.

Живлення, що вимикається в разі аварії:

$$S_{ав} = 562{,}65 - 1{,}4 \cdot 400 = 2{,}65 \text{ кВА}.$$

Розрахунки для інших цехових трансформаторних підстанцій проводяться аналогічно, результати розрахунків наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Вибір числа і потужності цехових трансформаторів

№ ТП	Тип и число тр-рів	Групи навантажень	Категорія навантаження	$P_р$ кВт	$К_{з.н}$	$К_{з.ф}$ %	$К_{з.ав}$	Потужність, яка вимик. при аварії, кВт
ТП1	2хТМЗ-1000	1	II	1516,54	0,7÷0,8	76	1,4	116,54
ТП2	2хТМЗ-630	2	II	911,20	0,7÷0,8	72	1,4	29,20
ТП3	2хТМЗ-400	3	II	616,66	0,7÷0,8	77	1,4	56,66
ТП4	2хТМЗ-630	5, 15	II	920,27	0,7÷0,8	73	1,4	38,27
ТП5	2хТМЗ-1000	17	II	1574,40	0,7÷0,8	79	1,4	174,40
ТП6	2хТМЗ-630	9	II	954,38	0,7÷0,8	76	1,4	72,38
ТП7	2хТМЗ-400	6	II	562,65	0,7÷0,8	70	1,4	2,65
ТП8	2хТМЗ-400	4	II	602,01	0,7÷0,8	75	1,4	42,01
ТП9	2хТМЗ-1000	10	II	1447,00	0,7÷0,8	72	1,4	47,00
ТП10	2хТМЗ-1000	11, 12	II	1517,44	0,7÷0,8	76	1,4	117,44
ТП11	2хТМЗ-400	7, 14, 16	II	776,45	0,7÷0,8	78	1,4	216,45
ТП12	2хТМЗ-630	13	II	929,22	0,7÷0,8	74	1,4	47,22

2.6.2 Вибір місця розташування для цехових трансформаторних підстанцій

Трансформаторна підстанція максимально, скільки можливо, відповідно до умов виробництва, повинна бути наближена до центру електричних навантажень, це дасть можливість спроектувати надійну і економічно доцільну СЕП, так як скорочується довжина вторинної мережі напруги, зменшаться втрати електричної енергії, та відхилення напруги, скоротиться межа аварії, та в подальшому спрощується розвиток мережі електропостачання і здешевлюються в міру того, як підстанції будуються в чергах, в міру розширення виробництва.

Підстанції 10 кВ в цілях найближчого розташування до ЕП використовуються внутрішньоцехові, якщщо дозволяють габарити будівель і умови виробничого середовища. У цехах з декількома підстанціями ми розміщуємо їх рівномірно по цеху. Підстанції в цехах розташовані відповідно до

розташування обладнання і з врахуванням місця розташування джерела живлення і з урахуванням особливостей і картограми навантажень.

2.7 Електропостачання інструментального цеху

Електропостачання струмоприймачів інструментального цеху здійснюється з трансформаторної підстанції ТП9. Струмоприймачами цього цеху є металообробні верстати, фрезерні верстати, плавильні печі, кран-балки, які рівномірно розподілені по усьому цеху. Середовище в цеху нормальне, бетонна підлога забруднена металевою стружкою. Всі споживачі розраховані на змінний трифазний струму напругою 380 В промислової частоти.

Електричні приймачі поділені за вузлами і групами з урахуванням особливостей електропостачання і їх територіального розташування. Розрахунок навантаження вузла методом впорядкованих схем можливий в тих випадках, коли відомі номінальні дані всіх струмоприймачів, режим роботи і їх розміщення на генеральному плані цеху.

2.7.1 Вибір контакторів і теплових реле для електричних приймачів ШР8

Відповідно до номінального струму і потужності ЕП, згідно з умовою: $I_{ном.к} \geq I_{ном}$, до монтажу приймається контактор компанії IEK типу КМИ, він підбирається відповідно.

Аналогічно приймається теплове реле компанії IEK типу РТИ.

Таблиця 2.5 – Технічні параметри контакторів і теплових реле

№ ЕП	$P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	$I_{ном.к}$, А	$I_{ном.р}$, А	Тип контактора	Тип теплового реле
37	3.4	11.68	12	12	$КМИ-11260$	$РТИ-1321\ (12-18\ А)$

2.7.2 Видбір автоматичних вимикачів для захисту електричних приймачів ШР8

Вибір автоматичних вимикачів здійснюється за наступними умовами:

$$U_{n.a.} \geq U_{сети};$$

$$I_{n.a.} \geq I_{max};$$

$$I_{nd} \geq I_{max};$$

$$I_{reg.ds} \geq I_{ds};$$

$$I_{reg.dt} \geq I_{dt};$$

де: $U_{n.a.}$ – номінальна напруга вимикача;

$I_{мах}$ – максимальний робочий струм;

$I_{n.a}$ – номінальний струм вимикача;

I_{nd} – номінальний струм роз'єднання;

$I_{reg.ds}$ – встановлення електромагнітного розчіплювача;

$I_{reg.dt}$ – уставка теплового невстановлення.

При захисті електричних двигунів: $I_{мах} = I_{н.д}$

Таблиця 2.6 – Технічні параметри автоматичних вимикачів

№ ЕП	$P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	$I_{пуск}$, А	$I_{ном.відс}$, А	$I_{вст.відс}$, А	$I_{ном.а}$, А	Тип вимикача
37	3.4	11.68	58.42	16	130	16	*NSXm*

2.7.3 Вибір дроту, для живлення ШР8

$$I_{розр(ЕП34\div38)} = \frac{P_{розр}}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \cos\varphi} = \frac{6{,}831}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}6} = 16{,}432А;$$

$$I_{розр(ЕП39)} = \frac{P_{розр}}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \cos\varphi} = \frac{1{,}973}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}45} = 6{,}327А;$$

$$I_{розр(ШР8)} = I_{розр(ЕП34\div38)} + I_{розр(ЕП39)} = 16{,}432 + 6{,}327 = 22{,}759А.$$

За значенням розрахункового струму підбирається дріт марки APV 4×15м$I_{розр(ШР8)}{}^2$ (алюмінієві жили з пластмасововою ізоляцією), для яких $I_{довг.дод} = 27А$.

2.7.4 Вибір розподільчої шафи ШР8

$$I_{ном(ШР8)} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = 11{,}68 \cdot 5 + 14{,}06 = 72{,}46А.$$

Приймаємо до встановлення розподільну шафу ПР8053, з використанням автоматичних вимикачів змінного струму, підлогового варіанту з кількістю вихідних ліній, що дорівнюють 6, і номінальними струмами автоматичних машин $I_{ном} = 16$ А.

2.7.5 Вибір проводів, що постачають електричні приймачі ШР8

За значенням номінального струму електричних приймачів ШР8 приймається дріт АПВ з алюмінієвими жилами, з полівінілхлоридною ізоляцією.

Обрано та перевірено відповідно до умови: $I_{ном} \leq I_{довг.дод}$.

Таблиця 2.7 – Довідкові, та розрахункові дані для дроту

№ ЕП	$I_{ном}$, А	$I_{довг.дод}$, А	Тип дроту	Довжина L, м	Кількість провідників	$S_{жили}$, мм^2
37	11.68	19	ПВ	8.6	4х(3+1)	2.5

2.7.6 Вибір магістральних і розподільних шинопроводів

Магістральний шинопровід підбирається за розрахунковим струмом з умови:

$$I_{розр} \leq I_{ном};$$

де $I_{ном}$ – номінальний струм шинопроводу.

а) Вибір основного шинопроводу ШМАІ, яка живить ШР1-ШР18.

$$I_{розр} = \frac{P_{розр}}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \cos\varphi};$$

де $P_{розр} = 322{,}055$кВт – розрахункова активна потужність шинопроводу;

$$I_{расч} = \frac{332{,}055}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}6} = 799\text{А}.$$

Обрано магістральний шинопровід типу $ШМА4-1250-44-У3$.

Довжина шин: 67 м. Номінальний струм шин: $I_{ном} = 1250$А.

Перевірка шинопроводів на втрату напруги:

Умова: втрата напруги.$\Delta U \leq 5\%$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{розр} \cdot l \cdot 100}{U_{ном}} \cdot (r_o \cdot \cos\varphi + x_o \cdot \sin\varphi);$$

де r_o – розрахунковий активний опір шинопроводу, r_o = 0,034Ом/км;

x_o – розрахунковий індуктивний опір шинопроводу, x_o = 0,016Ом/км.

$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 798,788 \cdot 0,067 \cdot 100}{400} \cdot (0,034 \cdot 0,8 + 0,1 \cdot 0,6) = 0,84\% < 5\%$ - Задовольняє умову.

б) Вибір магістрального шинопроводу *ШМАП* , яка живить ШР19-ШР25.

$$I_{розр} = 1534А < I_{ном} = 1600А.$$

Обрано магістральний шинопровід типу $ШМА4-1600-44-У3$.

Довжина шин: 47 м. Номінальний струм шинопровода: $I_{ном}$ = 1600А.

$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 1536,967 \cdot 0,047 \cdot 100}{400} \cdot (0,03 \cdot 0,8 + 0,014 \cdot 0,6) = 3,37\%$ - Задовольняє умову.

в) Вибір розподільного шинопроводу ШРА.

$$I_{розр} = 157А < I_{ном} = 250А.$$

Обрано розподільний шинопровід типу $ШРА4-250-32-1У3$.

Довжина шин: 47 м. Номінальний струм шинопровода: $I_{ном}$ = 250А.

$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 157,235 \cdot 0,047 \cdot 100}{400} \cdot (0,21 \cdot 0,8 + 0,021 \cdot 0,6) = 0,94\% < 5\%$ - Задовольняє умову.

За значенням конструктивного струму підбирається кабель, який живить ШРА марки $АВВГ-4\times95мм^2$

2.7.7 Вибір кабелів живлення ШР

За величиною розрахункового струму приймається кабель АВВГ з алюмінієвими жилами, з полівінілхлоридною ізоляцією.

Обрано та перевірено відповідно до умови:

$$I_{розр} = I_{довг.дод}.$$

Довідкові та розрахункові дані для кабелів, представлені в таблиці. 2.8.

Розподіл електричних приймачів на ШР представлений в табл. 2.9.

Таблиця 2.8 – Довідникові і розрахункові дані для кабелей

№ ШР	$I_{ррозр}$, А	$I_{довг.дод}$, А	Тип кабеля	Довжина L, м	Поперечний переріз жили S, мм^2
ШР1+ШР2	30.178	34	АВВГ	7.3	4 х 6
ШР2	17.806	19		5.4	4 х 2.5
ШР10	45.773	46		10.5	4 х 10
ШР11	20.843	27		7.4	4 х 4
ШР18+ШР9	133.922	155		13.8	4 х 70
ШР9	23.197	27		8	4 х 4
ШР19+ШР20+ШР21	208.346	219		6.8	4 х 120
ШР19	36.457	46		6.8	4 х 10
ШР21	116.784	126		9.7	4 х 50
ШР22+ШР23+ШР28	218.368	219		8.1	4 х 120
ШР22	63.816	82		6.5	4 х 25
ШР23	106.018	126		9.4	4 х 50

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики ШР

№ ШР	Тип ШР	Номінальний струм вузла $I_{ном}$, А	Число відходящих ліній	Автоматичні вимикачі	
				Ввідний	Відходящої лінії
1	ПР-805	43.98	6	EZC100B-3050	NSXm
2	ПР-805	58.422	4	EZC100F-3060	NSXm
3	ПР-805	197.76	3	NSXm	
4	ПР-805	43.989	4	EZC100B-3050	NSXm
5	ПР-805	58.079	5	EZC100F-3060	NSXm
6	ПР-805	137.808	6	EZCV250H-44150	NSXm
7	ПР-805	95.194	5	EZC100H-3100	NSXm
8	ПР-805	72.482	6	EZC100H-3075	NSXm
9	ПР-805	38.662	3	EZC100B-3050	NSXm
10	ПР-805	87.187	6	–	NSXm
11	ПР-805	68.389	4	EZC100H-3075	NSXm
12	ПР-805	72.856	4	EZC100H-3075	NSXm
13	ПР-805	64.608	6	EZC100H-3075	NSXm
14	ПР-805	107.050	6	EZCV250H-44150	NSXm
15	ПР-805	56.704	5	EZC100F-3060	NSXm
16	ПР-805	150.180	5	EZCV250H-44150	NSXm
17	ПР-805	168.394	5	EZCV250H-44225	NSXm
18	ПР-805	164.585	17	–	NSXm
19	ПР-805	71.451	4	EZC100H-3075	NSXm
20	ПР-805	101.953	5	EZCV250H-44150	NSXm
21	ПР-805	204.707	4	EZCV250H-44225	NSXm
22	ПР-805	126.009	3	EZCV250H-44150	NSXm
23	ПР-805	190.231	7	–	NSXm
24	ПР-805	225.432	8	–	NSXm
25	ПР-805	164.659	7	–	NSXm
26	ПР-805	314.504	6	–	NSXm
27	ПР-805	375.278	7	–	NSXm
28	ПР-805	92.445	3		NSXm

2.7.8 Вибір трансформатора струму на стороні 0,4 кВ

Вибираємо трансформатор струму за умовою:

$$I_{ав.Т} \leq I_{1ном.};$$

де $I_{ав.Т}$ – аварійний струм трансформатора:

$$I_{ав.Т} = \frac{S_{номТ} \cdot 1{,}4}{\sqrt{3} \cdot U_н} = \frac{1000 \cdot 1{,}4}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4} = 2021А;$$

Вибір трансформатора струму типу ТТИ-125;

Номінальний первинний струм $I_{1ном} = 2500А$, номінальний вторинний струм $I_{2ном} = 5А$.

2.7.9 Вибір ввідного автоматичного вимикача

Вибір вхідного вимикача здійснюється відповідно до умов захисту трансформатора від коротких замикань з сторони 0,4 кВ і перевантаження.

Аварійний струм трансформатора:

$$I_{ав.Т} = \frac{S_{номТ} \cdot 1{,}4}{\sqrt{3} \cdot U_н};$$

де $S_{номТ} = 1000кВА$ – номінальна потужність трансформатора;

$$I_{ав.Т} = \frac{1000 \cdot 1{,}4}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4} = 2021А.$$

Прийнятий до установки автоматичний вимикач $MVS25N3MF2L$ (Auto off. EasyPact MVS $2500A$ $3P$ $50kA$ електронний розчіплювач стаціонарний ET2I. з ручним приводом)

$$I_{ав.Т} \leq I_{ном.а} \Rightarrow 2021А < 2500А.$$

Струм спрацювання електромагнітного розчіплювача:

$$I_{вст.р} = 1{,}5 \cdot I_{ав.Т} = 1{,}5 \cdot 2021 = 3031{,}5А.$$

Приймається струм спрацювання електромагнітного розчіплювача:

$$I_{вст} = 1{,}5 \cdot I_{ном.а} = 1{,}5 \cdot 2500 = 3750А.$$

Визначимо струм вставки теплового розчіплювача автоматичного вимикача:

$$I_{вст.т.р.} = 1{,}25 \cdot I_{ном.а} = 1{,}25 \cdot 2500 = 3152А.$$

2.8 Розрахунок струмів короткого замикання

Приклад розрахунку струмів к.з. для однієї точки (К2)

Розрахунок опору всіх елементів проводиться у відносних одиницях при базовій потужності $S_б = 100$ МВА

Опір системи буде визначатися як:

$$x_{сист} = \frac{x \cdot S_б}{S_c};$$

де $S_c = 900$МВА – потужність системи;

$x = 0{,}6$ – опір системи, що віднесена до сторони 110 кВ;

$$x_{сист} = \frac{0{,}6 \cdot 100}{900} = 0{,}067.$$

Реактивний опір лінії буде визначатися як:

$$x_{лин} = \frac{x_{уд} \cdot l \cdot S_б}{U_{ср}^2} = \frac{0{,}425 \cdot 1 \cdot 100}{115^2} = 0{,}0032.$$

Активний опір лінії буде визначатися як:

$$r_{лин} = \frac{r_{уд} \cdot l \cdot S_б}{U_{ср}^2} = \frac{0{,}465 \cdot 1 \cdot 100}{115^2} = 0{,}0035.$$

Отриманий опір всієї схеми визначається виразом:

$$Z = \sqrt{r_{лин}^2 + (x_{лин} + x_{сист})^2} = \sqrt{0{,}0035^2 + (0{,}067 + 0{,}0032)^2} = 0{,}07.$$

Визначимо початкове значення періодичної складової струму короткого замикання при трифазному короткому замиканні,

$$I'' = \frac{E''_{сист} \cdot I_б}{Z};$$

де $E''_{сист} = 1$ – зверхперехідна ЕРС системи;

$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0{,}502$кА – базовий струм;

$$I'' = \frac{1 \cdot 0{,}502}{0{,}07} = 7{,}17\text{кА}.$$

Визначимо значення ударного струму за виразом:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_у \cdot I'';$$

$$k_у = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}};$$

де $k_у$ – ударний коефіцієнт;

T_a – постійний час;

$$T_a = \frac{x_\Sigma}{\omega \cdot r_\Sigma} = \frac{0,0702}{314,159 \cdot 0,0035} = 0,00638 \text{ о. е.};$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 7,17 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,0638}}\right) = 18,81 \text{ кА}.$$

Найбільше діюче значення ударного струму за виразом:

$$I_у = I'' \cdot \sqrt{1 + 2\left(k_у - 1\right)^2} = 7,17 \cdot \sqrt{1 + 2(1,855 - 1)^2} = 11,25 \text{ кА}.$$

Дані про розрахунок струмів короткого замикання для інших точок наведені в табл. 2.10. Схема розрахунку і схема заміщення для розрахунку струмів К.З. показані на рис. 2.1 і та рис 2.2.

Таблиця 2.10 – Розрахункові дані за розрахунком струмів к.з. до найбільш віддаленого електроприймача

№	Схема заміщення	U, кВ	Елемент ділянки	Параметри ділянки
1	2	3	4	5
1		115	ЕЕС	$x = 0,6$ Ом; $S_c = 900$ МВА;
2		115	Двоколова ПЛ АС–70/11	$r_1 = r_0 = 0,465$ Ом/км; $x_1 = x_0 = 0,425$ Ом/км; $L = 1,0$ км;
3		10,5	Трансформатори ГПП $2 \times ТДН - 10000/110/10$	$S_{ном} = 10$ МВА; $U_к = 10,5$ %; $P_к = 58$ кВт;
4		10,5	КЛ ААШв – 3х120 мм^2	$r_{0(1)} = 0,26$ Ом/км; $x_{0(1)} = 0,031$ Ом/км; $L = 0,198$ км;
5		10,5	КЛ ААШв – 3х95 мм^2	$r_{0(1)} = 0,42$ Ом/км; $x_{0(1)} = 0,048$ Ом/км; $L = 0,082$ км;
6		10,5	КЛ ААШв – 3х50 мм^2	$r_{0(1)} = 0,61$ Ом/км; $x_{0(1)} = 0,051$ Ом/км; $L = 0,133$ км;
7		10,5	КЛ ААШв – 3х35 мм^2	$r_{0(1)} = 1,1$ Ом/км; $x_{0(1)} = 0,061$ Ом/км; $L = 0,181$ км;

продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5
8		0,4	ЦТП ТМЗ-2х1000/10	$S_{ном}$ = 1000 кВА; $r_1 = r_0$ = 1,9 мОм; $x_1 = x_0$ = 8,6 мОм;
9		0,4	MVS25N3MF2L 2500А	$r_1 = r_0$ = 0,25 мОм; $x_1 = x_0$ = 0,1 мОм;
10		0,4	ТТ ТТИ-100 2500/5	$r_1 = r_0$ = 0,06 мОм; $x_1 = x_0$ = 0,04 мОм;
11		0,4	ШМА4-1250-44-У3 l = 65 м	$r_1 = r_0$ = 0,034 мОм; $x_1 = x_0$ = 0,016 мОм;
12		0,4	Лінійний автомат EZC100H30125 125A	$r_1 = r_0$ = 2,15 мОм; $x_1 = x_0$ = 1,2 мОм;
13		0,4	Трансформатор струму ТТИ-А 125/5	$r_1 = r_0$ = 2,7 мОм; $x_1 = x_0$ = 1,7 мОм;
14		0,4	Провід 4хПВ1×15мм^2 l = 3,5 м	r_1 = 5,21 мОм/м; x_1 = 0,1 мОм/м; r_0 = 41,68 мОм/м; x_0 = 1,0 мОм/м;
15		0,4	Автомат NSXm 16 A	$r_1 = r_0$ = 7 мОм; $x_1 = x_0$ = 4,5 мОм;
16		0,4	Провідники в трубі 4хПВ1х2,5мм^2 l = 8,6 м	r_1 = 12,5 мОм/м; r_0 = 100 мОм/м; x_1 = 0,116 мОм/м; x_0 = 1,16 мОм/м;
17		0,4	КМИ-11260 РТИ-1321	$r_1 = r_0$ = 0,94 мОм; $x_1 = x_0$ = 0,23 мОм;
18	АД	0,4	АД ЭП №37	$P_{ном}$ = 3,4 кВт; cosφ = 0,6; η = 0,7.

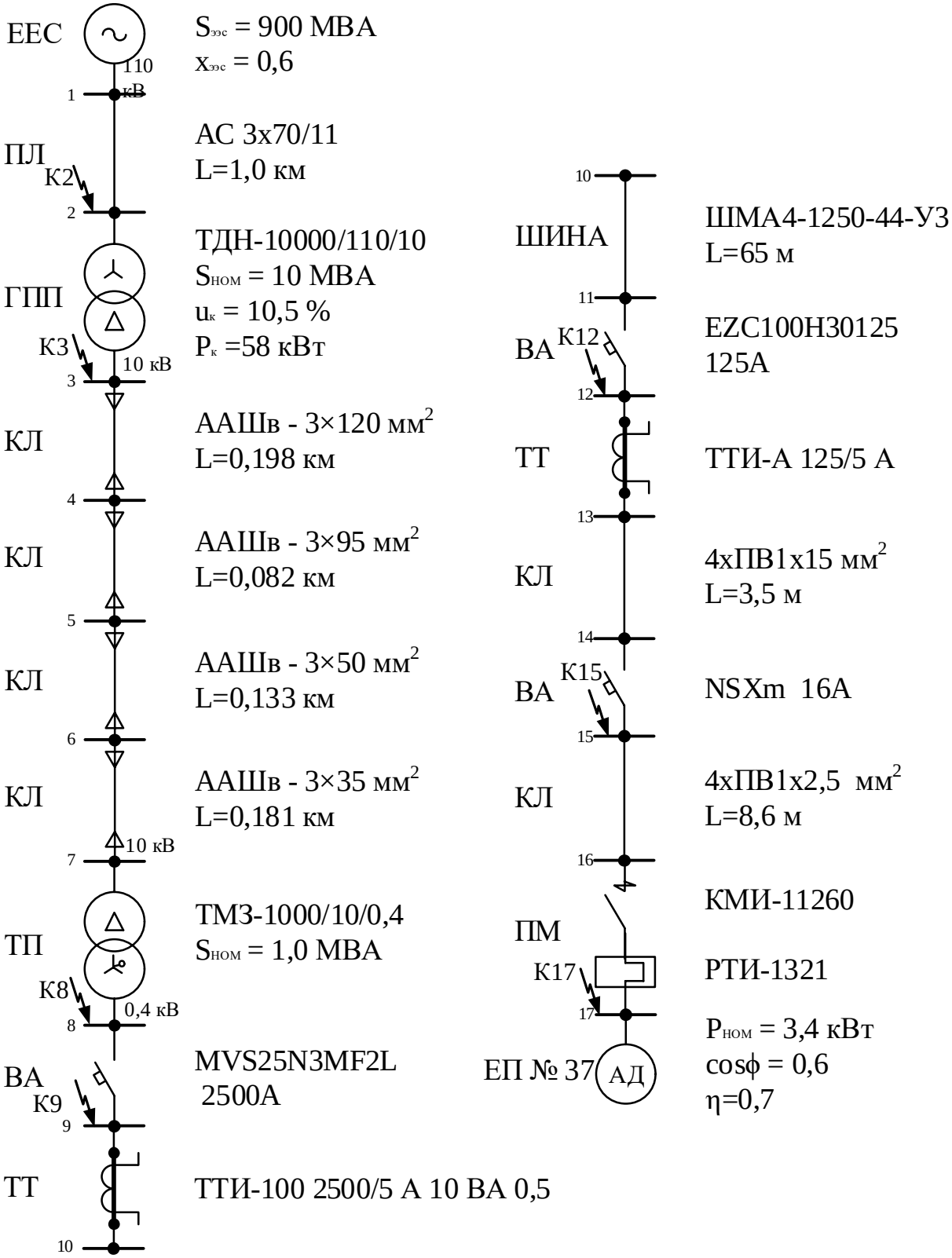

Рисунок 2.1 – Схема для розрахунку струмів к.з.

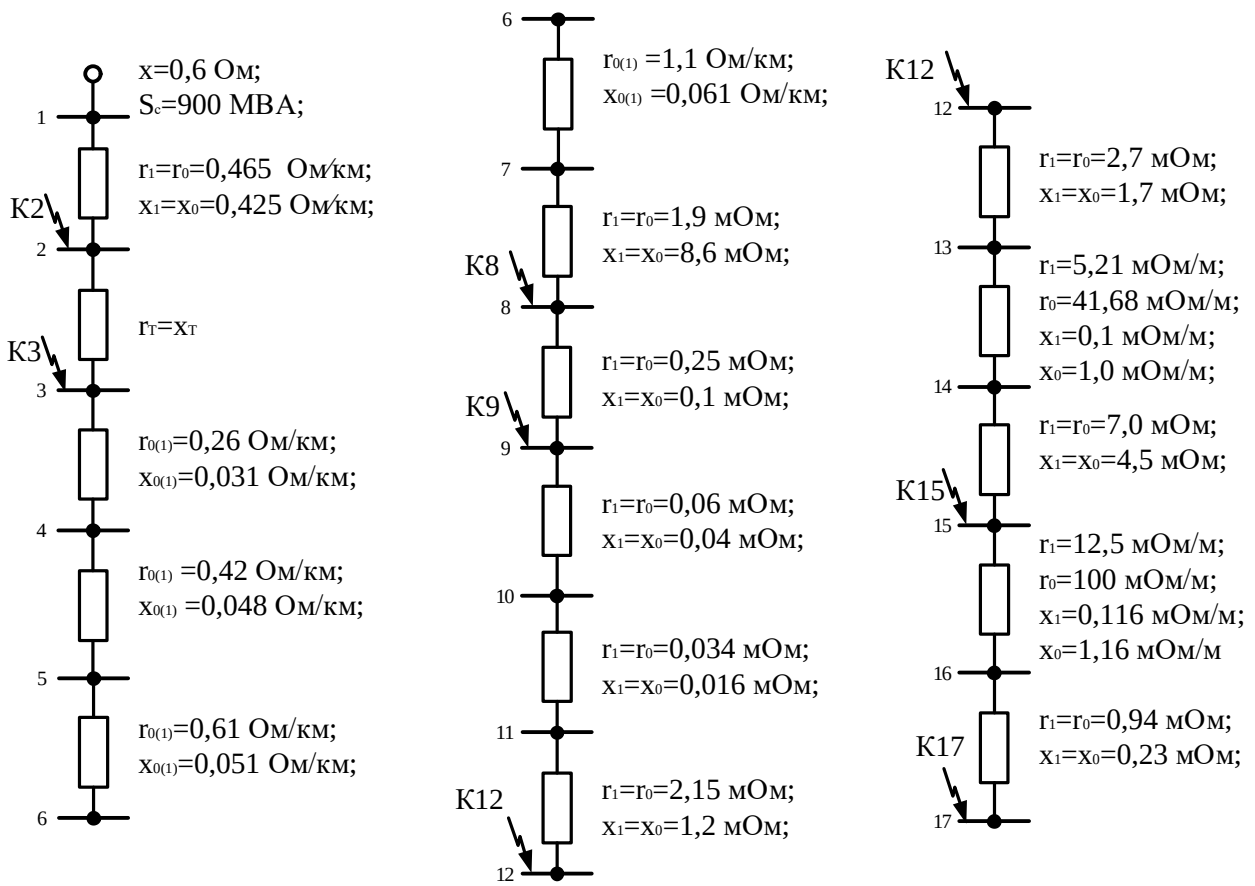

Рисунок 2.2 – Схема заміщення для розрахунку струмів к.з.

2.9 Висновки до розділу 2

Живлення підприємства здійснюється по двоколовій лінії 110 кВ. Вибрана ГПП 110/10 з двома трансформатора ТДН- 10000/110/10 з схемою підстанції два блоки з вимикачами і неавтоматичною перемичкою з боку лінії. Ремонтна перемичка дозволяє виконувати ревізію будь-якого вимикача з боку лінії. На стороні 110 кВ встановлені елегазові вимикачі серії GL - 312.

Розподільний пристрій 10 кВ виконано комірками КРП2-10 з вакуумними вимикачами ВВ/TEL-10. Внутрішньозаводські мережі 10 кВ виконані кабелем ААШв. У цехах встановлюються комплектні трансформаторні підстанції.

Внутрішньоцехові мережі виконуються шинопроводами і кабелями. Живлення електроприймачів від розподільних пунктів здійснюється по дротах АПВ прокладеним в трубах в підлозі. Захист електроприймачів, здійснюється автоматичними вимикачами.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вибір комутаційно-захисної апаратури

Прилади і провідники розподільних пристроїв усіх видів напруги на підстанції підбираються відповідно до умов тривалого режиму роботи і перевіряються на стійкість на дію струмів короткого замикання.

Розрахункові струми довготривалого режиму бувають:

- $I_{норм}$ – найвищий струм нормального режиму;
- $I_{макс}$ – найвищий струм ремонтного або післяаварійного режиму.

3.1.1 Вибір вимикачів 10 кВ в колі кабельних ліній живлення

Високовольтні вимикачі використовуються для комутації електричних кіл у всіх режимах роботи:

- вмикання та вимикання струмів навантаження;
- струмів намагнічування трансформаторів і зарядних струмів ліній і шин, відключення струмів .к.з.

Вибір вимикачів здійснюється за наступними параметрами:

- за напругою $U_{вст} \leq U_{ном}$;
- за тривалим струмом; $I_{макс} \leq I_{ном}$
- за комутаційною здатністю $\sqrt{2} \cdot I_{п.\tau} + I_{а.\tau} \leq \sqrt{2} \cdot I_{відкл.ном} \cdot \left(1 + \frac{\beta_н}{100}\right)$;

де $\beta_н$– нормалізоване значення вмісту аперіодичного компонента, %.

Перевірка перемикачів на:

- електродинамічну стійкість:

$$I_{п.о} \leq I_{дин};\ i_у \leq i_{дин};$$

де $i_{дин}$– найвищий струм (струм електродинамічної стійкості) за каталогом;

$I_{дин}$ – діюче значення періодичної складової струму к.з.

- термічна стійкість:

$$B_к = I_{п.0}^2(t_{відкл} + T_а) \leq I_{терм}^2 \cdot t_{терм};$$

де $B_к$ – тепловий імпульс струму к.з. згідно з розрахунком;

$I_{тер}$ – середньоквадратичне значення струму за час його протікання;

$t_{тер}$ – тривалість протікання струму термічної стійкості за каталогом.

Вибір вимикачів

Визначимо розрахунковий струм для вибору обладнання на стороні 10 кВ для радіальної кабельної лінії, яка живить ГПП–ТП9.

У аварійному режимі (вихід з ладу однієї з ліній) максимальний струм буде визначатися як:

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_Н} = \frac{1447}{\sqrt{3} \cdot 10} = 77{,}77\ А;$$

Раніше визначені струми к.з. для вимикача (точка К3) дорівнюють:

$$I_{п,о} = I'' = 4{,}910кА;\ i_у = 12{,}784кА;\ I_у = 7{,}630кА;\ I^{(2)} = 4{,}252кА.$$

Визначимо аперіодичну складову струму к.з. за умови максимального значення

$$i_{а,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п,0} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_а}};$$

де $T_а = 0{,}01с$, є сталою часу затухання аперіодичної складової струму к.з.

$\tau = t_{с,в} + 0{,}01$ – розрахунковий час, за який потрібно визначити струм к.з.

$t_{с,в} = 0{,}015с$– власний час відключення вимикача.

$$\tau = 0{,}015 + 0{,}01 = 0{,}025с;$$

$$i_{а,\tau} = \sqrt{2} \cdot 4{,}910 \cdot e^{-0{,}025/0{,}01} = 0{,}57кА.$$

Визначимо тепловий імпульс:

$$B_k = I_{п,0}{}^2(t_{відкл} + T_а);$$

де $t_{відкл} = t_{с,в} + t_{рз} = 0{,}015 + 0{,}1 = 0{,}115с$: – повний час відключення вимикача;

$t_{рз} = 0{,}1с$ – час спрацювання релейного захисту;

$$B_k = 4{,}910^2 \cdot (0{,}115 + 0{,}01) = 3{,}85\ кА^2 \cdot с.$$

Приймаємо до установки вимикач $BB/TEL-10-12{,}5/630\ У2$.

Розрахункові та каталожні дані вимикача представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики вимикача $BB/TEL-10-12,5/630\ У2$.

Розрахункові дані	Каталожні дані	Умова вибору
$U_{уст} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{dст} \leq U_{ном}$
$I_{max} = 77,77$ А	$I_{ном} = 630$ А	$I_{max} \leq I_{ном}$
$i_{а,\tau} = 0,57$ кА	$\sqrt{2} \cdot 12,5 \cdot \left(1 + \frac{40}{100}\right) = 24,74$ кА	$i_{а,\tau} \leq \sqrt{2} \cdot I_{відкл.ном} \cdot \left(1 + \frac{\beta_н}{100}\right)$
$I_{п.0} = 4,910$ кА	$I_{дин} = 12,5$ кА	$I_{п.0} \leq I_{дин}$
$i_у = 12,784$ кА	$i_{дин} = 32$ кА	$i_у \leq i_{дин}$
$B_k = 3,85$ кА$^2 \cdot$ с	$12,5^2 \cdot 3 = 468,75$ кА$^2 \cdot$ с	$B_k \leq I^2_{терм} \cdot t_{терм}$

3.1.2 Перевірка кабелю на ділянці ГПП–ТП9

Споживачі 10 кВ зазвичай отримують електроенергію по кабельних лініях.

Перевіряємо термічну стійкість кабельних ліній методом мінімального перетину провідника. Мінімальний перетин провідника, що відповідає вимогам його теплового опору при короткому замиканні, можна визначити за формулою:

$$F_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C};$$

де $C = 100А \cdot с^{\frac{1}{2}}/мм^2$ – функція.

На ділянці ГПП-ТП9 був обраний кабель $ААШвУ-3x240\ мм^2$

$$B_k = 4,910^2 \cdot (0,115 + 0,01) = 3,85\ кА^2 \cdot с;$$

$$F_{min} = \frac{\sqrt{3,85 \cdot 10^6}}{100} = 19,62мм^2 < 240мм^2.$$

3.1.3 Вибір трансформатора струму 10кВ

Трансформатор струму вибирається:

- напруга установки; $U_{уст} \leq U_{ном}$
- струм ; $I_{max} \leq I_{1ном}$
- електродинамічна стійкість: $i_у \leq k_{ед} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1ном}$; $i_у \leq i_{дин}$;

де $k_{ед}$– кратність електродинамічної стійкості;

$I_{1ном}$ – номінальний первинний струм трансформатора струму;

$i_{дин}$ – струм електродинамічної стійкості.

• Термічна стійкість: $B_к \leq (к_Т \cdot I_{ном})^2 t_{тер}$; $B_к \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$;

де $к_Т$– кратність термічної стійкості;

• Вторинне навантаження: $Z_2 \leq Z_{2ном}$;

де Z_2– вторинне навантаження ТС;

$Z_{2ном}$ – номінальне допустиме навантаження ТС в обраному класі точності.

Розрахункові дані:

• максимальний струм в лінії $I_{max} = 77{,}77А$;

• ударний струм $i_у = 12{,}784кА$.

Виберіть трансформатор струму: *ТПЛ* 10 – 1 – 100 / 5 – 0,5 / 10*P*;

$i_{дин} = 52кА$; $I_{тер} = 10кА$; $t_{тер} = 3с$; номінальне навантаження в класі точності 0,5; $I_{2ном} = 5А$.

Для перевірки ТС на вторинному навантаженні, використовуючи комутаційну схему і каталог даних пристроїв, визначається фазове навантаження для найбільш завантаженого трансформатора, отримані дані вводяться в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Вторинне навантаження трансформатор струму

Прилад	Тип	Нагрузка фазы, ВА		
		А	В	С
Амперметр	Э – 350	–	0.5	–
Ватметр	Д – 335	0.5	–	0.5
Варметр	Д – 335	0.5	–	0.5
Лічильник активної енергії	*ZMG*405*CR*	2.5	–	2.5
Лічильник реактивної енергії	*ZMG*405*CR*	2.5	–	2.5
Разом		6	0.5	6

Загальний опір приладів визначається:

$$r_{прил} = \frac{S_{прил}}{I_{2ном}^2} = \frac{6}{5^2} = 0{,}24Ом.$$

Опір з'єднувальних проводів залежить від їх довжини і поперечного перерізу:

$$r_{пр} = Z_{2ном} - r_{прил} - r_к \leq Z_{2ном};$$

$$Z_{2ном} = \frac{S_{2ном}}{I_{2ном}^2} = \frac{10}{25} = 0{,}4\ Ом;$$

$$r_{пр} = Z_{2ном} - r_{приб} - r_к = 0{,}4 - 0{,}24 - 0{,}1 = 0{,}06\ Ом;$$

де $r_к = 0{,}1$ Ом – опір контактів.

Знаючи $r_{пр}$, можна визначити поперечний переріз з'єднувальних проводів.

$$q = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{r_{пр}};$$

де $\rho = 0{,}0283\ Ом \cdot мм^2/м$ - питомий опір дроту з мідними провідниками.

$l_{розр}$ – розрахункова довжина, в залежності від схеми з'єднання ТС.

Довжина з'єднувальних проводів від ТС до пристроїв (в один бік) береться приблизно рівною 6 м для ліній 10кВ. Для з'єднання вторинних обмоток ТС за схемою «неповна зірка» береться:

$$l_{розр} = \sqrt{3} \cdot l = \sqrt{3} \cdot 6 = 10{,}4\ м;$$

$$q = \frac{0{,}0283 \cdot 10{,}4}{0{,}06} = 4{,}9 мм^2.$$

Виберіть контрольний кабель *АКРВГ* з перетином алюмінієвих жил $6 мм^2$.

Опір проводів визначається:

$$r_{пр} = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{q} = \frac{0{,}0283 \cdot 10{,}4}{6} = 0{,}05\ Ом.$$

Загальний опір вторинного навантаження визначається за формулою:

$$Z_2 = r_2 = r_{прил} + r_{пр} + r_к = 0{,}24 + 0{,}05 + 0{,}1 = 0{,}39\ Ом.$$

Умова перевірки: $Z_2 = 0{,}39\ Ом \leq Z_{2ном} = 0{,}4\ Ом$.

Розрахункові та каталожні дані ТС представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3– Характеристики трансформатора струму *ТПЛ* –10 –1 – *У*3.

Розрахункові дані	Каталожні дані	Умова вибору
$U_{уст} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$
$I_{max} = 77{,}88$ А	$I_{1ном} = 100$ А	$I_{max} \leq I_{1ном}$
$B_к = 3{,}96\ кА^2 \cdot с$	$10^2 \cdot 3 = 300\ кА^2 \cdot с$	$B_к \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$
$i_у = 12{,}784$ кА	$i_{дин} = 52$ кА	$i_у \leq i_{дин}$
$Z_2 = 0{,}39$ Ом	$Z_{2ном} = 0{,}4$ Ом	$Z_2 \leq Z_{2ном}$

3.1.4 Вибір трансформатора напруги 10кВ

Трансформатори напруги підбираються:

- за напругою установки $U_{уст} \leq U_{ном}$;
- за конструкцією і схемою з'єднання обмоток;
- клас точності;
- вторинне навантаження $S_{2\Sigma} \leq S_{2ном}$;

де $S_{2\Sigma}$ – сумарне навантаження приладів, які підключені до ТН;

$S_{2ном}$ – значення номінальної потужність для вибраного класу точності.

З сторони 10 кВ обрано трансформатор напруги $НАМИ-10-95-УХЛ3$;

$U_{ном} = 10$ кВ; $S_{2ном} = 200$ В · А для класу точності 0.5.

Для вимірювань вибирається лічильник $ZMR\ 110\ CR\ E230$.

Згідно з його технічними даними, енергоспоживання $S_{2\Sigma} = 10$ВА.

ТН працюватиме у вибраному класі точності 0.5, оскільки умова виконується:

$$S_{2\Sigma} = 10В \cdot А \leq S_{2ном} = 200В \cdot А.$$

Вибір ТН для другої секції проводемо аналогічно.

Для підключення трансформатора напруги з пристроями приймаємо контрольий кабель АРВГ з перерізом жили, відповідно до стану механічної міцності.$2{,}5мм^2$

Для захисту трансформаторів напруги від струмів перевантаження і струмів короткого замикання вибираємо запобіжники типу $ПКН\ 001\ -\ 10У3$.

3.1.5 Вибір вимикачів і роз'єднувачів 110 кВ

Визначимо розрахунковий струм для вибору обладнання з сторони 110кВ:

$$I_{max} = \frac{1{,}4 \cdot S_{номТ}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1{,}4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 115{,}6\ А.$$

Раніше визначені струми к.з. для вимикача (точка К2) дорівнюють:

$$I_{п,о} = I'' = 7{,}175кА;\ i_у = 18{,}811кА;\ I_у = 11{,}249кА;\ I^{(2)} = 6{,}214кА.$$

Вибираємо вимикач $GL-312$ та роз'єднувач $РНДЗ-110/1000У1$

Визначимо аперіодичну складову струму к.з. за умови максимального значення:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п,0} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}};$$

$$\tau = t_{с,в} + 0{,}01 = 0{,}03 + 0{,}01 = 0{,}04с;$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 7{,}175 \cdot e^{-0{,}04/0{,}01} = 0{,}18 \text{ кА}.$$

Визначимо тепловий імпульс:

$$B_k = I_{п,0}{}^2(t_{відкл} + T_a);$$

де $t_{відкл} = t_{с,в} + t_{рз} = 0{,}04 + 0{,}1 = 0{,}14$ с – повнийчас відключення вимикача;

$$B_k = 7{,}175^2 \cdot (0{,}14 + 0{,}02) = 8{,}24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Дані розрахунку та каталожні електричних апаратів 110 кВ представлені в табл. 3.4

Таблиця 3.4 – Характеристики електричних апаратів 110 кВ.

Розрахункові дані	Каталожні дані		Умова вибору
	GL-312	РНДЗ-110/1000У1	
$U_{уст} = 110$ кВ	$U_{ном} = 126$ кВ	$U_{ном} = 110$ кВ	$U_{уст} \le U_{ном}$
$I_{max} = 115{,}4$ А	$I_{ном} = 2000$ А	$I_{ном} = 1000$ А	$I_{max} \le I_{ном}$
$i_{a,\tau} = 0{,}18$ кА	$\sqrt{2} \cdot 31{,}5 \cdot \left(1 + \frac{40}{100}\right) = 17{,}82$ кА	–	$i_{a,\tau} \le \sqrt{2} I_{откл.ном} \left(1 + \frac{\beta_н}{100}\right)$
$I_{п.0} = 7{,}175$ кА	$I_{дин} = 31{,}5$ кА	$I_{дин} = 25$ кА	$I_{п.0} \le I_{дин}$
$i_у = 18{,}811$кА	$i_{дин} = 80$ кА	$i_{дин} = 80$ кА	$i_у \le i_{дин}$
$B_k = 8{,}24$ кА^{2}с	$31{,}5^2 \cdot 3 = 2976$ кА^{2}с	$25^2 \cdot 4 = 3969$ кА^{2}с	$B_k \le I^2_{терм} \cdot t_{терм}$

3.1.6 Вибір трансформатора струму на стороні 110кВ

Дані розрахунку та каталожні дані для трансформатора струму наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахункові і каталожні дані для трансформатора струму

Расчётные данные	Каталожные данные	Условие выбора
$U_{уст} = 110$ кВ	$U_{ном} \le 750$ кВ	$U_{уст} \le U_{ном}$
$I_{max} = 115{,}4$ А	$20А \le I_{1ном} \le 20\,000$ А	$I_{max} \le I_{1ном}$
$i_у = 18{,}811$ кА	$i_{дин} = 30$ кА	$i_у \le i_{дин}$

3.2 Компенсація реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності є невід'ємною частиною завдання електропостачання промислових підприємств.

Передача реактивної потужності від енергосистеми споживачам не є раціональною з тієї причини, що є додаткові втрати активної потужності і енергії у всіх елементах системи електропостачання, що призводить до збільшення перетину проводів і кабелів, збільшення потужності трансформаторів за рахунок їх навантаження реактивною потужністю.

Компенсація реактивної потужності є одним з основних напрямків зниження втрат електроенергії. В якості засобів КРП в мережах загального призначення використовуються високовольтні і низьковольтні конденсаторні батареї і синхронні двигуни.

Пропускна здатність цехового трансформатора по реактивній потужності визначається за формулою:

$$Q_{Тр} = \sqrt{(n \cdot k_з \cdot S_{номТ})^2 - P_{розр}^2};$$

де n – кількість трансформаторів;

$k_з$ – коефіцієнт завантаження;

$P_{расч}$– розраховане активне навантаження.

$S_{ном.Т}$– номінальна потужність трансформатора.

Розрахуємо для ТП–9 $2xТМЗ-1000$, стандартний коефіцієнт навантаження якого становить 0,72. Сумарне розрахункове активне/реактивне навантаження цеху:

$$P_{розр} \ / \ Q_{розр} = 1447{,}00 \text{ кВт} \ / \ 422{,}00 \text{ квар};$$

$$Q_Т = \sqrt{(0{,}72 \cdot 2 \cdot 1000)^2 - 1447{,}00^2} = \sqrt{-142{,}16} = 0 \text{ квар};$$

Отже, реактивної потужності, виробленої системою для цієї групи цехів, буде недостатньо, оскільки $Q_{розр} > Q_{Тр} \Rightarrow 422{,}00 > 0$.

Таким чином, необхідна реактивна потужність становить:

$$Q_{необх} = Q_р - Q_Т = 422{,}00 - 0 = 422{,}00 \text{ квар}.$$

Приймаємо до встановлення конденсаторну установку: $УКМ58-0,4-500-50\ УЗ$.

Вибір кількості і потужності низьковольтних конденсаторних батарей для інших підстанцій наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Вибір числа і потужності низьковольтних конденсаторних батарей

ТП	$P_р$ кВт	$Q_р$ кВт	$K_з$	$N x S_Т$ кВА	$Q_Т$ кВАр	$Q_{необ}$ кВАр	Прийняті КУ	$N x Q_{ст}$	$I_{ном}$ А	$I_{каб}$ А
ТП1	1516.54	1105.50	0.76	2*1000	102.49	1003.01	УКМ58–0.4–1200–100УЗ	12*100	1735	2254
ТП2	911.20	283.98	0.72	2*630	0.00	283.98	УКМ58–0.4–300–33.3УЗ	9*33.3	434	564
ТП3	616.66	194.58	0.77	2*400	0.00	194.58	УКМ58–0.4–250–50УЗ	5*50	361	470
ТП4	920.27	413.61	0.73	2*630	0.00	413.61	УКМ58–0.4–500–50УЗ	10*50	723	939
ТП5	1574.40	746.10	0.79	2*1000	132.96	613.14	УКМ58–0.4–650–50УЗ	13*50	940	1221
ТП6	954.38	639.00	0.76	2*630	78.42	560.58	УКМ58–0.4–600–50УЗ	12*50	867	1127
ТП7	562.65	264.94	0.70	2*400	0.00	264.94	УКМ58–0.4–300–33.3УЗ	9*33.3	434	564
ТП8	602.01	344.27	0.75	2*400	0.00	344.27	УКМ58–0.4–400–50УЗ	8*50	578	751
ТП9	1447.00	422.00	0.72	2*1000	0.00	422.00	УКМ58–0.4–500–50УЗ	10*50	723	939
ТП10	1517.44	1000.95	0.76	2*1000	88.18	912.77	УКМ58–0.4–950–50УЗ	19*50	1373	1785
ТП11	776.45	331.40	0.78	2*400	0.00	331.40	УКМ58–0.4–335–67УЗ	5*67	484	629
ТП12	929.22	440.25	0.74	2*630	76.94	363.31	УКМ58–0.4–380–20УЗ	19*20	249	714
всього	12328.22	6186.58				5707.60	6365			

Розрахункова частина балансу

Загальне споживання реактивної потужності (РП) на стороні 0,4 кВ становить:

$$Q_{0,4кВ} = 6186,58 \text{ квар}.$$

Ми приймаємо втрати в трансформаторах ГПП, які дорівнюють 10% номінальної потужності трансформаторів, а це:

$$Q_{тр} = 0,1 \cdot 2 \cdot 10000 = 2000 \text{ квар}.$$

Втрати в цехових трансформаторах беруться в рівні 10% від номінальної потужності трансформаторів, а це:

$$\Delta Q_Т = 0,1 \cdot 8 \cdot (400 + 630 + 1000) = 1024 \text{ квар}.$$

Загальне споживання становить:

$$Q_\Sigma = Q_{0,4кВ} + \Delta Q_Т + Q_{тр} = 6186,58 + 1024 + 2000 = 9210,58 \text{ квар}.$$

Резерв для після аварійних режимів становить 10% від загальної споживаної потужності і дорівнює:

$$Q_{рез} = 0{,}1 \cdot Q_{\Sigma} = 0{,}1 \cdot 9210{,}58 = 921{,}058 \text{ квар.}$$

Необхідна реактивна потужність:

$$Q_{потр} = Q_{\Sigma} + Q_{рез} = 9210{,}58 + 921{,}058 = 10131{,}698 \text{ квар.}$$

Прихідна частина балансу

Реактивна потужність, отримана від системи:

$$Q_{ЭН} = 3734{,}60 \text{ квар.}$$

Оскільки система не може забезпечити реактивну потужність, ми встановлюємо конденсаторні батареї.

Дані балансу зводимо в таблиці 3.7.

Таблиця 3.6 – Баланс реактивної потужності

№	**Баланс**		Реактивна потужність, кВАр	
1	**Вихідна частина балансу**			
1.1	Навантаження споживачів 0.4 кВ		6186.58	
1.2	Втрати в силових трансформаторах	ГПП	2000	3024
		ЦТП	1024	
1.3	Резерв для післяаварійних режимів		921.058	
1.4	Необхідна потужність джерел РП		10131.698	
2	**Прихідна частина балансу**			
2.1	Система		3734.60	
2.2	Конденсаторні установки 0.4 кВ		6365	
2.3	Всього покриття		10099.6	
3	**Баланс**		-32.1	

Для установки на ТП–9 ми приймаємо такий конденсаторний пристрій: $УКМ58-0,4-500-50\ УЗ$; реактивна потужність, якого: $Q_{ку} = 500$ квар; 10 ступенів регулювання по 50 кВАр; .$I_{бк} = 723$ А

В якості захисного пристрою ми приймаємо автоматичний вимикач: $EZC100H30750$.

Для установки приймаємо трансформатор струму: $ТТИ - А\ 800/5$.

В якості комутаційного пристрою ми приймаємо контактор виробника SCHNEIDER-ELECTRIC:

*TeSys LC*1 – *BL* – 3*P* – *AC* – 3 440 *В* 750 *А* – *кат.*380 *В пер.т.*

Схема автоматичного регулювання РП.

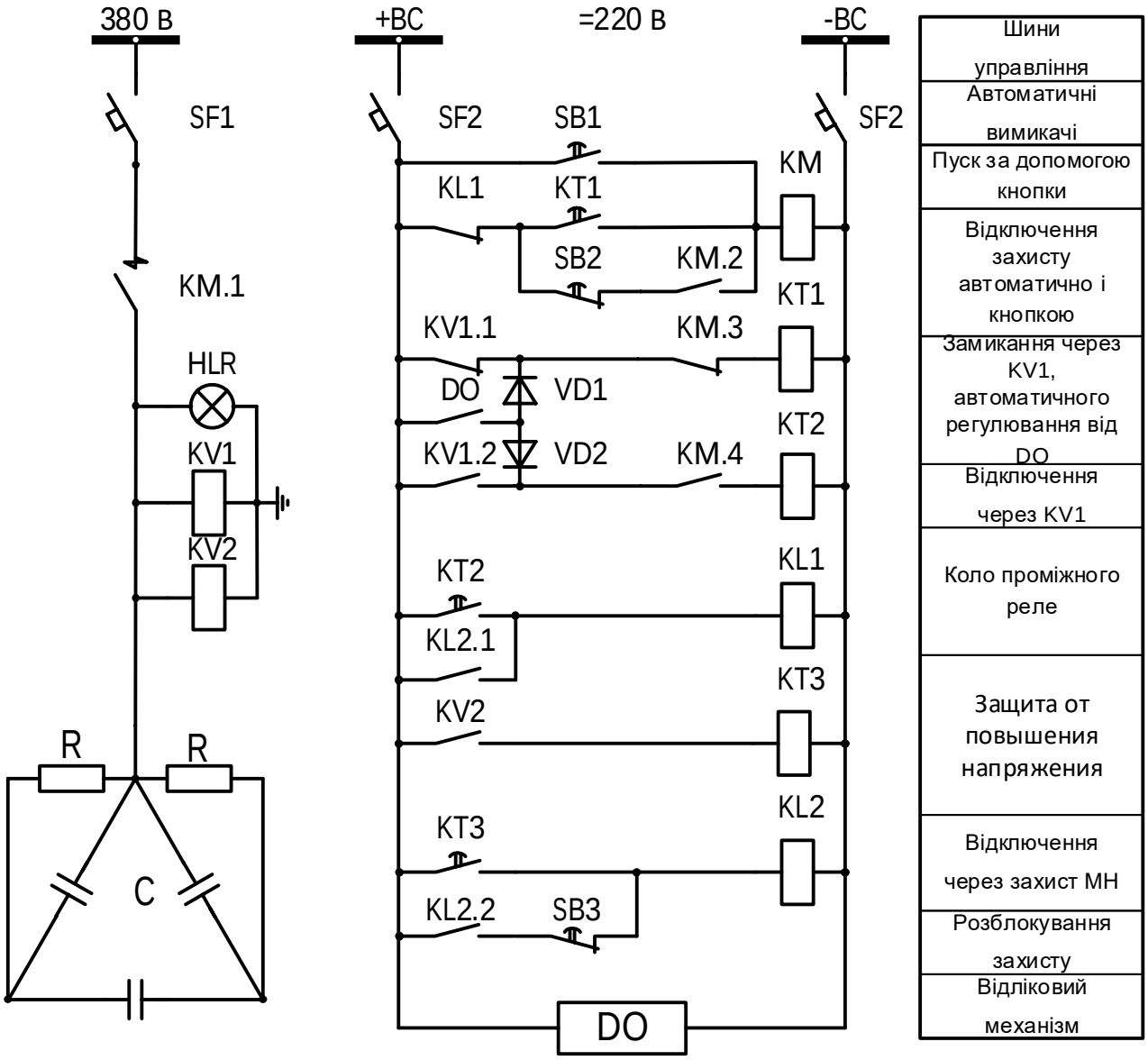

Рисунок 3.1 – Схема захисту та автоматичного управління РП КУ.

Схема автоматичного регулювання реактивної потужності конденсаторного пристрою складається на основі аналогових схем. Схема працює наступним чином. Годинниковий механізм закриває свої контакти, щоб сигналізувати про підключення конденсатора до мережі за 7-12-17-20 годин і

відключення від мережі за 11-14-16-23 години Сигнал про вмикання або вимикання контактів реле КМ дається з часовою експозицією, що здійснюється з використанням часового реле КТ1 або КТ2. Схема працює наступним чином. Годинниковий механізм закриває свої контакти, щоб сигналізувати про підключення конденсатора до мережі за 7-12-17-20 годин і відключення від мережі за 11-14-16-23 години Сигнал про вмикання або вимикання контактів реле КМ дається з часовою експозицією, що здійснюється з використанням часового реле КТ1 або КТ2.

Схема працює наступним чином. Годинниковий механізм закриває свої контакти, щоб сигналізувати про підключення конденсатора до мережі за 7-12-17-20 годин і відключення від мережі за 11-14-16-23 години Сигнал про вмикання або вимикання контактів реле КМ дається з часовою експозицією, що здійснюється з використанням часового реле КТ1 або КТ2.

Якщо в момент включення МС в мережу напруга в якій вище, спрацьовує реле максимальної напруги KV1 і запускається ланцюг КВ1.2 - контактний блок КМ.4 КТ2 часового реле, яке при закритті його контактів буде підключати реле KL1. Реле KL1, спрацьовує, розблоковує обмоток контактів КМ і установка конденсатора $1{,}1U_{ном}$ відключиться від електромережі.

Кнопки SB1, SB2 призначені для ручного управління КУ.

Діоди VD1, VD2 виключити можливість включення КТ в мережу при спрацьовуванні КВ1, тобто при перенапрузі вище або нижче допустимої напруги.

Захист від підвищення напруги здійснюється за допомогою реле KV2 і реле часу КТ3, контакти реле КТ3 закриваються і приводяться в спрацьовування реле KL2, яке автоматично перемикається в режим KL2.2 через кнопку SB3 і її контакти KL2.2. KL2 ретранслює через свої контакти KL2. забезпечує живлення обмоткою реле KL1, яке відкриває свої нормально закриті контакти, і відкриває контакт КМ. Якщо спрацює захист, конденсаторний блок можна підключити до мережі лише тоді, коли захист розблоковано натисканням кнопки SB3.

3.3 Розрахунок релейного захисту

3.3.1 Розрахунок селективності релейного захисту

Захист ЕП №37 ремонтного цеху здійснюється автоматичним вимикачем $NSXm$. А час спрацювання по захисних кривих: $I_{кз}^{(1)} = 521$ А

$$t_{d(QF1)} \approx 0{,}005 с.$$

Селективність по часу між послідовно розташованими автоматичними виконується за умови, що:

$$t_{d1} \geq 1{,}5 \cdot t_{d2};$$

$$t_{d(QF2)} \geq 1{,}5 \cdot 0{,}005 \approx 0{,}007 с.$$

Визначтимо час спрацювання автоматичного вимикача *EasyPact* $EZC100H$ 3P 30 кА 125А, 400/415 V ($EZC100H30125$) з мікропроцесорним рочіплювачем за формулою:

$$T = \left(\frac{6 \cdot K}{p}\right)^2 \cdot t_r;$$

$$p = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_{Н.Р}} = \frac{1306}{125} = 10{,}5;$$

де $K = 0{,}4$ – коефіцієнт роботи захисту від перевантаження;

p – коефіцієнт кратності розрахункового фактичного струму к.з. в точці К12, відповідно до розрахункових даних, по відношенню до номінальної напруги вимикача;

$t_r = 3$ с – час затримки роботи захисту, встановлений DIP – перемикачем на передній панелі вимикача;

$$T = \left(\frac{6 \cdot 0{,}4}{10{,}5}\right)^2 \cdot 3 = 0{,}156 с.$$

Час роботи секційного автоматичного вимикача *EasyPact MVS*, 50 кА, 2000 А (MVS20H3MF2L) з сторони НН 0,4 кВ цеху підстанції:

$$t_{d(QF3)} \geq 1{,}5 \cdot 0{,}156 = 0{,}23 с.$$

Час вимкнення автоматичного вимикача $MVS20H3MF2L$ приймається:

$$t_{d(QF3)} = 0{,}25 с.$$

Час спрацювання автоматичного вимикача EasyPact MVS, 50 кА, 2 500 А (MVS25N3MF2L) на НН стороні підстанції цеху 0,4 кВ:

$$t_{d(QF4)} \geq 1{,}5 \div 0{,}25 = 0{,}37 \text{ с}.$$

Час спрацювання автоматичного вимикача MVS25N3MF2L відповідно приймається:

$$t_{d(QF4)} = 0{,}4 \text{ с}.$$

Селективність роботи запобіжника з сторони 10 кВ і автоматичних вимикачів на стороні цехового трансформатора 0,4 кВ:

$$t_{f10} = 1{,}6 \cdot t_{d(QF4)}.$$

Визначимо час вигорання плавкої вставки запобіжника (*ПКТ* – 10 – 80 $I_{н.пв}$ = 80А) при струмі к.з. в точці К5 ($I_{кз}^{(3)}$ = 14595А) доведена до високої сторони трансформатора:

$$I_{кз(10)}^{(3)} = I_{кз(0,4)}^{(3)} \frac{U_{срнНН}}{U_{срнВН}};$$

$$I_{кз(10)}^{(3)} = 14595 \cdot \frac{0{,}4}{10} = 584\text{А};$$

$$t_{f10} = f(I_{н.пв}; I_{кз}^{(3)}) = 0{,}8\text{с} > 1{,}6 \cdot 0{,}4 = 0{,}64 \text{ с}.$$

Селективність по часу між МСЗ лінії 10 кВ і запобіжником на стороні 10 кВ цехового трансформатора:

$$t_{ppQ4}^{III} = t_{f10} + \Delta t;$$

де $\Delta t = 0{,}3$ с – рівень селективності;

$$t_{ppQ4}^{III} = 0{,}8 + 0{,}3 = 1{,}1 \text{ с}.$$

Селективність по часу між МСЗ секційного вимикача і МСЗ лінії:

$$t_{ppQ3}^{III} = 1{,}1 + 0{,}3 = 1{,}4 \text{ с}.$$

Селективність по часу між МСЗ 10 кВ трансформатора і секційним вимикачем:

$$t_{ppQ2}^{III} = 1{,}4 + 0{,}3 = 1{,}7 \text{ с}.$$

Селективність по часу між МСЗ 110 кВ і 10 кВ силового трансформатора:

$$t_{ppQ1}^{III} = 1{,}7 + 0{,}3 = 2{,}0 \text{ с}.$$

3.3.2 Розрахунок релейного захисту кабельної лінії 10 кВ

Кабельні лінії промислових підприємств захищені від таких типів пошкодження і ненормалних режимів:

1) міжфазних КЗ;

2) від замикань на землю;

3) у разі обриву фаз;

4) у разі перевантаження.

Для захисту від міжфазних к.з.ь передбачений двоступеневий струмовий захист:

I ступень – струмова відсічка;

III стадія – максимальний струмовий захист струму з витримкою часу.

Захист виконується з установкою двох трансформаторів струму і, в залежності від вимог чутливості, захист може виконуватися одно-, два - і трирелейним. Трансформатори струму з'єднуються в одні і ті ж фази по всій мережі, тим самим забезпечуючи відключення двофазного короткого замикання на землю тільки пошкодженої ділянки.

I ступінь

Струмова відсічка. Захист налаштовується:

1) Від максимального зовнішнього трифазного струму короткого замикання:

$$I^{I}_{СЗ} \geq k^{I}_{Н} \cdot I^{(3)}_{кз.max.вн};$$

де $k^{I}_{Н} = 1{,}3$– коефіцієнт надійності реле. AL – 1

$I^{(3)}_{кз.max.вн}$ – струм, що проходить через трансформатори струму на трифазних к.з. на стороні 0,4 кВ цехових трансформаторів:

$$I^{(3)}_{кз.max.вн} = I^{(3)}_{кз.max.вн\ 0{,}4\ кВ} \cdot \frac{U_{ТНН}}{U_{ТВН}};$$

де $I^{(3)}_{кз.max.вн\ 0{,}4\ кВ} = 14{,}95$ кА – струм трифазного к.з. на стороні 0,4 кВ ТП9;

$U_{ТНН} = 0{,}4$ кВ – низька напруга;

$U_{ТВН} = 10$ кВ – висока напруга.

$$I^{(3)}_{кз.max.вн} = 14950 \cdot \frac{0,4}{10} = 0,598 \text{ кА};$$

$$I^{I}_{сз} \geq 1,3 \cdot 598 = 777\text{А}.$$

2) Від сумарного кидка струму намагніченості трансформаторів:

$$I^{I}_{сз} \geq k^{I}_{Н} \cdot I_{бр.max} = 1,3 \cdot 520 = 676 \text{ А};$$

$$I_{бр.max} = 4 \cdot \sum I_{ном.m} = \frac{\sum_{i=1}^{3} S_{ном.Т,i}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 4 \cdot \frac{400 + 630 + 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 520 \text{ А}.$$

Струм спрацювання реле:

$$I^{I}_{ср} = \frac{k^{(3)}_{сх}}{k_{I}} \cdot I^{I}_{сз};$$

де $k^{(3)}_{сх} = 1$ – коефіцієнт схеми при трифазному к.з.;

k_{I} – коефіцієнт трансформації трансформатора струму ТПЛ-10-200/5, Максимальний робочий струм кабелю: $k_{I} = 200/5 = 40$ $I_{рмах} = 154$ А.

$$I^{I}_{ср} = \frac{1}{20} \cdot 777 = 38,85 \text{ А}.$$

Чутливість захисту при двофазному к.з. в кінці лінії:

$$k_{ч} = \frac{I^{(2)}_{кз,min}}{I_{сз}} = \frac{4077}{777} = 5,24;$$

де $I^{(2)}_{кз,min} = 4077$А струм двофазного к.з. в кінці лінії.

Виберемо реле типу *АЛ* $-1/100$, .$I_{уст} = 40$ А

III ступень

Максимальний струмовий захист з витримкою часу. Цей захист є резервним захистом I ступеня і основним захистом від перевантажень.

1) Захист налаштовується від максимального робочого струму кабелю:

$$I^{III}_{сз} \geq \frac{k^{III}_{н} \cdot k_{сзп}}{k_{в}} \cdot I_{р\,max};$$

де $k^{III}_{Н} = 1,2$ – коефіцієнт надійності реле АЛ-1;

$k_{сзп} = 2 \div 3,5$ – коефіцієнт самозапуску, який враховує можливість збільшення струму в захищеній лінії за рахунок самозапуску електродвигуна при відновленні напруги після відключення;

$k_{в} = 0,95$ – коефіцієнт повернення струмового реле;

$$I_{сз}^{III} \geq \frac{1{,}2 \cdot 2}{0{,}95} \cdot 154 = 389 \text{ А}.$$

2) Налаштування від максимальних струмів внаслідок роботи пристрою АПВ

$$I_{с.з}^{III} \geq k_{Н}^{III} \cdot k_{сзп} \cdot I_{р.max};$$

$$I_{с.з}^{III} \geq 1{,}2 \cdot 2 \cdot 154 = 369{,}6 \text{ А}.$$

3) Налаштування від максимальних струмів, викликаних відключенням паралельної лінії і дією пристроїв АВР

$$I_{с.з.}^{III} \geq К_{Н}^{III} \cdot (I_{р.max} \cdot К' + К_{сзп} \cdot I_{р.max});$$

де $К' = 1{,}1 \div 1{,}5$– коефіцієнт повернення.

$$I_{сз}^{III} \geq 1{,}2 \cdot (1{,}3 \cdot 154 + 2 \cdot 154) = 609{,}8 \text{ А}.$$

З трьох умов ми вибираємо найбільшу: $I_{сз}^{III} = 609{,}8$ А.

Перевіряємо коефіцієнт чутливості:

$$k_{ч} = \frac{I_{кз,min}^{(2)}}{I_{сз}} = \frac{4077}{609{,}8} = 6{,}68 > 1{,}5.$$

де $I_{кз,min}^{(2)} = 4077$А – двофазний струм короткого замикання в кінці лінії;

$$I_{ср}^{III} = \frac{k_{сх}^{(3)}}{k_{I}} \cdot I_{сз}^{III} = \frac{1}{20} \cdot 609{,}8 = 30{,}5 \text{ А}.$$

Вибираємо реле струму АЛ-1 $I_{уст} = 31{,}25$ А, витримка часу забезпечується реле РСВ 18–11.

Умова виконується: .$I_{уст}^{I} = 100 > I_{уст}^{III} = 31{,}25$

Витримка МСЗ визначається:

$$t_{сз}^{III} = t_{ел\,max}^{III} + \Delta t;$$

де $t_{елmax} = t_{f10} = 0{,}8$ с – максимальна витримка час нижчих захистів;

$\Delta t = 0{,}5 \div 0{,}7$ с – рівень селективності.

$$t_{рр}^{III} = 0{,}8 + 0{,}5 = 1{,}3 \text{ с}.$$

Виберемо реле часу типу РСВ 18–11 з часом спрацювання в межах 0,5÷9 с.

Захист лінії від замикань на землю

Використовуємо ССЗ нульової послідовності. Захист складається з фільтра струму нульової послідовності, до якого підключається поточне реле і діє на відключення з витримкою часу.

$$I_{0сз} \geq k_{отс} \cdot 3I_{0л}^{(1)};$$

де $k_{отс} = 2{,}0 \div 2{,}5$ – у випадку дії захисту з витримкою часу,

$3I_{0л}^{(1)}$ – струм, обумовлений ємністю лінії, для кабельних ліній.

$$3I_{0л}^{(1)} = \frac{U \cdot l}{10};$$

де $l = 0{,}47 + 0{,}1 + 0{,}08 = 0{,}65$ км – довжина лінії, яка захищається.

$$3I_{0л}^{(1)} = \frac{10 \cdot 0{,}65}{10} = 0{,}65 \text{ А};$$

$$I_{0сз} = 2{,}0 \cdot 0{,}65 = 1{,}3 \text{ А}.$$

Чутливість захисту характеризується коефіцієнтом:

$$k_ч = \frac{3I_{0зк}^{(1)}}{I_{0сз}} \geq 1{,}5;$$

де $3I_{0зк}^{(1)}$ це струм, який визначає ємність всіх неушкоджених ліній:

$$3I_{0зк}^{(1)} = \frac{U \cdot l_{\Sigma}}{10};$$

$$l = 0{,}38 + 0{,}25 + 0{,}06 + 0{,}06 + 0{,}155 + 0{,}665 + 0{,}1 + 0{,}1 + 0{,}165 + 0{,}6 = 2{,}53 \text{км}.$$

де l – загальна довжина неушкоджених ліній;

$$3I_{0зк}^{(1)} = \frac{10 \cdot 2{,}53}{10} = 2{,}53 \text{ А};$$

$$k_ч = \frac{2{,}53}{1{,}3} = 1{,}94 > 1{,}5.$$

Виберемо реле струму нульової послідовності типу *РТЗм* – 51 $I_{уст} = 0{,}3 \div 0{,}6$ А з витримкою часу захисту $t_{0сз} = 0{,}7$ с. Виберемо реле часу типу *РСВ* 18 – 11 з витримкою часу $0{,}5 \div 9$ с

3.3.3 Захист силового трансформатора ТП-9 ТМЗ-1000/10

Релейні пристрої захисту силових трансформаторів передбачають наступні види пошкоджень і ненормальні режими роботи:

• багатофазні короткі замикання в обмотках і виводах;

• однофазні короткі замикання на землю в обмотці і на виводахх, з'єднаних з мережею глухозаземленою нейтраллю;

• міжвиткові замикання;

• перевантаження;

• зниження рівня оливи в трансформаторі та інших внутрішніх пошкоджень.

І етап МСЗ – струм відсічки.

Для захисту від багатофазних замикань використовується максимальний струмовий захист. В якості 1-го етапу використовується струмова відсічка з реле типу РТ-40. Схема з'єднання релейних обмоток і трансформаторів струму – неповна зірка. Струми захисту і релейної роботи визначаються за формулою:

$$I_{сз}^{I} = k_{н}^{I} \cdot I_{кз.max.вн}^{(3)};$$

де $k_{н}^{I} = 1{,}3 \div 1{,}4$ –коефіцієнт надійності реле РТ-40;

$I_{кз.max.вн}^{(3)}$ – струм, що проходить через захист на трифазному к.з. на стороні НН, приведений до сторони ВН:

$$I_{кз.max.вн}^{(3)} = 10385 \cdot \frac{0{,}4}{10} = 415{,}4 \text{ А};$$

$$I_{сз}^{I} = 1{,}4 \cdot 415{,}4 = 581{,}6 \text{ А}.$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{ср}^{I} = \frac{k_{сх}^{(3)}}{k_{I}} \cdot I_{сз}^{I};$$

де $k_{сх}^{(3)} = 1$ – коефіцієнт схеми;

k_{I} – коефіцієнт трансформації трансформатора струму, .$k_{I} = 150/5 = 30$

$I_{ср}^{I} = \frac{1}{30} \cdot 581{,}6 = 19{,}4$ А.

Вибираємо реле РТ 40/50 $I_{уст} = 20$ А , з послідовним з'єднанням котушок.

Коефіцієнтчутливості:

$$k_{ч} = \frac{I_{кз}^{(3)}}{I_{сз}^{I}} = \frac{2931}{581{,}6} = 5 > 1{,}5.$$

ІІІ стадія – МСЗ з витримкою часу

Схема з'єднання ТС і реле – неповна зірка. Струм спрацювання захисту та реле:

Струм захисту:

$$I_{сз}^{III} = \frac{k_н^{III} \cdot k_{сзп}}{k_в} \cdot I_{ВН\,ном};$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{ср}^{III} = \frac{k_{сх}^{(3)}}{k_I} \cdot I_{сз}^{III};$$

де $k_н^{III} = 1{,}2$ – коефіцієнт надійності реле РТ-40;

$k_в = 0{,}8$ – коефіцієнт повернення реле РТ-40;

$k_{сзп} = 2{,}5 \div 3{,}5$ – коефіцієнт самозапуску;

$I_{ВН\ ном}$ – номінальний струм трансформатора з боку ВН.

$I_{ВНном} = \frac{S_{Н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_н} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36{,}4$ А;

$$I_{сз}^{III} = \frac{1{,}2 \cdot 3}{0{,}8} \cdot 36{,}4 = 163{,}8 \text{ А};$$

$I_{ср}^{III} = \frac{1}{20} \cdot 154{,}2 = 8{,}2$ А.

Вибирайте реле КТ 40/10 з $I_{ротом} = 4$ А, з паралельним з'єднанням обмоток.

Визначте фактор чутливості:

$$k_ч = \frac{I_{кз}^{(3)}}{I_{сз}^{III}} = \frac{2931}{154{,}2} = 19 > 1{,}5;$$

Витримка часу МСЗ

$$t_{сз}^{III} = t_{елmax}^{III} + \Delta t;$$

де $t_{елmax}^{III}$ – максимальний час експозиції;

$\Delta t = 0{,}5 \div 0{,}7$ с – вибірковість.

$t_{рр}^{III} = 0{,}25 + 0{,}7 = 0{,}95$ с.

Вибираємо реле часу *ЭВ* – 245 з вставкою 0,5 - 9 с.

Захист трансформатора від перевантаження

Для захисту трансформатора від перевантаження ми приймаємо МСЗ, встановлений з сторони ВН трансформатора, виконаний за допомогою одного реле, включеного на фазовий струм і діючого на сигнал з витримкою часу.

$$I_{сз}^{III} = \frac{k_н^{III}}{k_в} \cdot I_{ном,т};$$

$$I_{ср}^{III} = \frac{k_{сх}^{(з)}}{k_I} \cdot I_{сз}^{III};$$

де $k_н^{III} = 1{,}15$- коефіцієнт надійності;

$k_в = 0{,}8$ – коефіцієнт повернення;

$I_{ном.т.}$ – номінальний струм трансформатора.

$$I_{сз}^{III} = \frac{1{,}15}{0{,}8} \cdot 36{,}4 = 50 \text{ А};$$

$$I_{ср}^{III} = \frac{1}{30} \cdot 50 = 1{,}67 \text{ А}.$$

Виберіть реле $РТ-81/2$, $.I_у = 1{,}8$ А

Витримка часу МСЗ в цьому випадку вибирається на ступінь селективності вище найвищого часу захисту трансформатора від к.з.

$$t_{МТЗ}^{III} = t_{кзвн}^{III} + \Delta t = 0{,}95 + 0{,}7 = 1{,}65 \text{ с}.$$

Розрахунок захисту від однофазних коротких замикань на землю в обмотці і на виводах, з'єднаних з мережею глухозаземленю нейтраллю

У трансформаторах з підключенням обмоток за схемою Δ/Y_o (трикутник - зірка з заземленою нейтраллю) опір нульової послідовності практично дорівнює опору прямої послідовності, тому струми однофазного і трифазного короткого замикання при пошкодженні у виводів нижчої напруги трансформаторів мають приблизно однакові значення. В обох випадках пошкодження повинні відключитися третім етапом струмового захисту трансформатора.

Захист від замикань між витками і від зниження рівня масла

Захист від замикань між витками однієї фази і від зниження рівня масла для трансформатора з азотним заповненням типу ТМЗ виконується за допомогою електроконтактного манометра ЕКМ-1, що реагує на підвищення тиску.

3.3.4 Перевірка трансформаторів струму на 10% похибку

Проаналізуємо трансформатор струму $ТПЛ-10-200/5-0{,}5$, що використовується для захисту кабельної лінії.

Визначимо кратність первинного струму:

$$K_{10} = \frac{I_{1calc}}{K_1 \cdot I_{1n}} = \frac{K_2 \cdot I_{1max}}{K_1 \cdot I_{1n}};$$

де $K_1 = 0{,}8$ – коефіцієнт з урахуванням можливості погіршення характеристик намагнічування, установки нового трансформатора струму;

$K_2 = 1{,}2 \div 1{,}3$ – коефіцієнт, який враховує вплив аперіодичної складової струму;

$I_{1n} = 200$ А– номінальний первинний струм трансформатора;

I_{1max} – максимальне значення первинного струму, при якому повинна забезпечуватися робота трансформатора струму з похибкою не більше 10%;

$$I_{1max} = 1{,}1 \cdot I_{pp};$$

$$I_{pp} = 777 \text{ А};$$

$$I_{1max} = 1{,}1 \cdot 777 = 854\text{А};$$

$$K_{10} = \frac{1{,}2 \cdot 777}{0{,}8 \cdot 200} = 5{,}82.$$

За кривою 10% похибки для ТС *ТПЛ* $-10-200/5-0{,}5$ при $K_{10} = 5{,}82$ по кривим знаходимо допустимий опір навантаження $Z_{2\,доп} = 0{,}9$ Ом.

Опір навантаження приєднаного до трансформатора струму, визначається в залежності від схеми з'єднання ТС. Для цього випадку (ТС з'єднуються за схемою повної зірки) в режимі трифазного короткого замикання опір визначається за формулою:

$$Z_2 = 0{,}5 \cdot Z_{2calc};$$

$$Z_{2calc}^{(3)} = R_{cond} + Z_{rf} + R_{cont};$$

де Z_{rf} – опір реле, увімкненого у фазу, Ом;

$$Z_{rf} = \frac{S_{rf}}{I_{regminf}^2};$$

$S_{rf} = 1$ ВА– споживана потужність реле АЛ-1;

$I_{regminf} = 5$А– мінімальний струм вставки спрацювання реле АЛ-1;

$$Z_{rf} = \frac{1}{5^2} = 0{,}04 \text{ Ом};$$

R_{cond}– опір з'єднувальних проводів;

$$R_{cond} = \rho \frac{l}{S};$$

де $\rho = 0{,}0178$ Ом · мм²/м – питома провідність міді;

$S = 6$ мм² – перетин з'єднувального дроту;

$l = 16$ м– довжина дроту від трансформатора струму до реле АЛ-1;

$$R_{cond} = 0{,}0178 \cdot \frac{16}{4} = 0{,}07 \text{ Ом};$$

$R_{cont} = 0{,}12$ Ом– опір контактів;

$$Z_{2calc}^{(3)} = 0{,}07 + 0{,}04 + 0{,}12 = 0{,}23 \text{ Ом}.$$

$$Z_{2\,доп} > Z_{2calc};$$

$$Z_{2\,доп} = 0{,}9 \text{ Ом} > Z_2 = 0{,}5 \cdot 0{,}23 = 0{,}11 \text{ Ом}.$$

Отже, трансформатор струму працює з похибкою менше 10%.

3.4 Схема обліку та вимірювань по ТП–9 при напрузі 0,4 кВ

Лічильник прямого увімкнення E230 в конфігурації *ZMR*110*CRefRS* призначений для вимірювання і обліку споживання активної і реактивної електроенергії в трифазних чотирипровідних мережах. Лічильник може використовуватися для вимірювань в однофазних мережах (тільки фазових і нейтральних), двофазних мережах (тільки дві фази і нейтраль), трифазних мережах з нейтральними або без нейтральних, трифазних трипровідних мережах з дельта-конфігурацією (Aron F-circuit).

Лічильники E230 в конфігурації *ZMR*110*CRefRS* має наступні функції:

- напруга 3x230/400 В;
- струм 5 (100) А (лічильники з струмом 5 (120) А або 5 (60) А можуть бути поставлені за запитом);
- Клас 1.0 для активної енергії, клас 2.0 для реактивної енергії;
- багатотарифний облік електроенергії (до 6 тарифів);

Щоб виключити маніпуляції і махінації, використовуються наступні функції:

• вимірювання активної енергії як суми абсолютних значень по модулю всіх фаз;

• вимірювання в класі точності при вимкненій нейтралі;

• реєстрація несанкціонованих втручань в журнал подій і спеціальні регістри-лічильники (вплив сильного магнітного поля, відкриття клемної кришки і корпусу);

• індикація маніпуляційних подій (махінації) двома індикаторами;

• профіль запису показань за результатом нарахування з інтервалом: 30 хвилин (за замовчуванням), 1 година, 1 день.

• журнал подій з програмованими вставками контрольованих параметрів;

• пломбувальна (червона) кнопка для механічного захисту від несанкціонованого програмування;

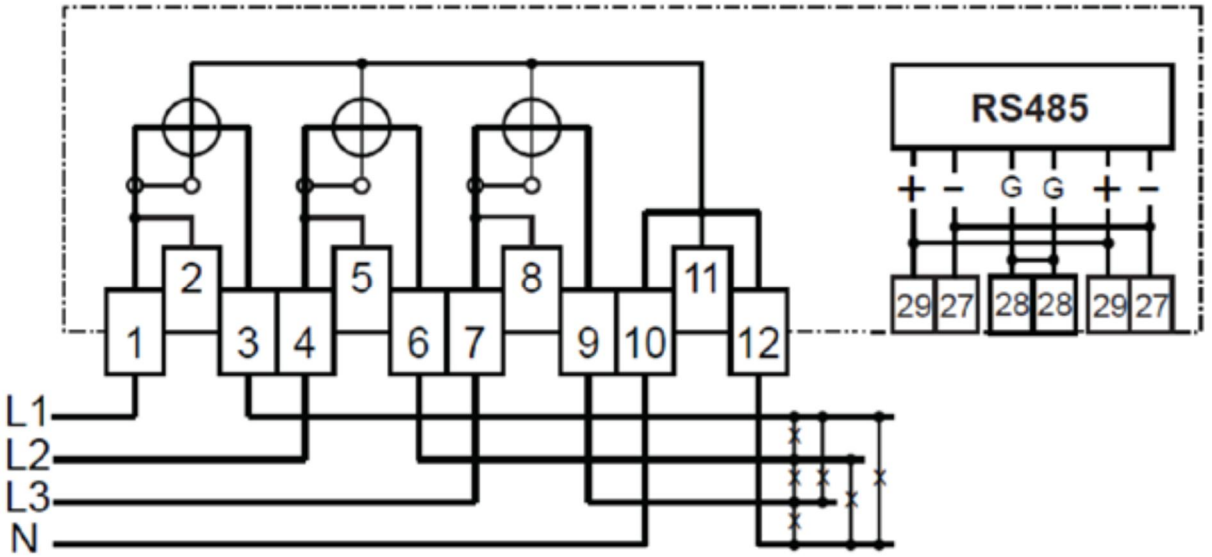

Рисунок 3.2 – Схема включення лічильника *ZMR*110*CRefRS*

3.5 Висновки до розділу 3

В даному розділі проведено розрахунки, відповідно до який здійснено вибір комутаційно-захисної апаратури.

Захист електроприймачів, здійснюється автоматичними вимикачами. Для захисту від перевантаження двигуна застосовується теплове реле. Для пуску зупинки і для захисту від втрати живлення і пониження напруги застосовуються контактори.

В ході проектування вирішується питання компенсації реактивної потужності. Компенсація реактивної потужності здійснюється в місці її споживання на стороні 0,4 кВ за допомогою конденсаторних батарей.

Розроблені системи релейного захисту кабельної лінії, приведена схема автоматичного включення резерву (АВР) на напругу 0,4 кВ, представлена схема обліку електричної енергії.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Електробезпека

Питання безпечних умов праці в електротехнічних приміщеннях і при обслуговуванні і ремонті електрообладнання вирішені відповідно до «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів і правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів» і ПУЕ.

Компонування електрооблданання, його конструктивне виконання, монтаж струмоведучих частин, ошиновки і встановлення ізоляторів, несучі конструкційї, ізоляційні та інші мінімальні відстані вибрані так, щоб забезпечувалося безпечне обслуговування обладнання в нормальному режимі роботи електроустановок, зручне спостереження за покажчиками положення вимикачів і роз'єднувачів, рівнем масла в трансформаторах, апаратах.

Вентиляційна система приміщень розподільчих пристроїв, ТП і камер трансформаторів забезпечує відведення тепла, що виділяється апаратами або трансформаторами не пов'язана з іншими вентиляційними системами.

Усі електротехнічні приміщення забезпечені підйомно-транспортними засобами, мають вентиляцію, опалювання і освітлення відповідно до норм.

Для захисту від попадання обслуговуючого персоналу під небезпечну для життя напругу передбачається заземлення усіх металевих неструмоведучих частин електрообладнання. Для заземлення використовуються металеві будівельні конструкції будівель, трубопроводи. У місцях розташування підстанцій виконується штучний контур заземлення.

Металеві частини обладнання приєднуються до внутрішнього контура заземлення, що становить з металевими елементами будівлі і зовнішнім контуром єдину систему заземлення.

У мережах 0,4 кВ передбачено відключення від витоків струму на землю.

Норми освітленості прийняті відповідно до ДБН В.2.5-28-2006.

Показники засліпленості і коефіцієнти пульсацій не перевищують норм.

Передбачені системи робочого і аварійного освітлення. Передбачені покажчики виходу відповідно до схеми евакуації.

Світильники, встановлені на металевих формах на висоті більше 5 м, обслуговуються з моста крану (у приміщеннях з мостовими кранами), з містків (у приміщеннях головного корпусу зі стаціонарними світлотехнічними містками), за допомогою знімної люльки до підвісного крану.

Світильники, встановлені на висоті до 5 м, обслуговуються зі сходів-драбини.

Усі металеві частини електрообладнання, що не знаходяться під напругою в нормальному режимі роботи, зануляются.

Ртутовмісні джерела світла слід зберігати в спеціальному приміщенні, не допускаючи їх механічних ушкоджень.

Для утилізації ртутних ламп (люмінесцентних, ДРЛ, ДНаТ), що відпрацювали свій термін, службі експлуатації необхідно укласти договір з підприємством, що має установку демеркуризації.

При проектуванні робочих місць враховані наступні умови безпеки : щити контролю і керування розташовані у безпечних для роботи місцях; апаратура керування розташована на максимально зручній висоті; засоби зв'язку і сигналізації передбачаються у безпосередній близькості від робочих місць, в зоні максимальної видимості і чутності.

4.2 Блискавкозахист ГПП

Підстанція захищена чотирма блискавковідводами, встановленими на порталах. Відкритий розподільчий пристрій підстанції має такі габаритні розміри: висота h_x найвищого об'єкта (елегазовий вимикач) 5,6 м, ширина b = 30 м, довжина = 38 м. Відстань між ближніми блискавковідводами l_1 = 22 м, між віддаленими l_2 = 34,5 м

Діаметр кола, накресленого через вершини прямокутника, визначається за формулою:

$$D = \sqrt{l_1^2 + l_2^2};$$

$$D = \sqrt{22^2 + 34,5^2} = 41 \text{ м}.$$

Для блискавковідводів висотою $h \leq 30h_x$ м умовою захисту обладнання висотою, розміщеною в цьому прямокутнику, є форма:

$$D \leq 8(h - h_x) \leq 8h_a.$$

З цього співвідношення перевищення висоти блискавковідводів h_a над висотою об'єкта h_x, що захищається, має бути:

$$h_a \geq \frac{D}{8};$$

$$h_a \geq \frac{41}{8} = 5,1 \text{ м}.$$

Повна висота типового блискавкозахисту

$$h = h_x + h_a = 5,6 + 6 = 11,6 \text{ м}.$$

Для установки приймаємо висоту блискавкозахисту: $h = 12$ м.

Визначимо межі зовнішньої зони захисту.

Висота верхньої частини конусу стрижня блискавковідводу h_0 і радіуси захисту на рівні землі r_0, і на висоті захищуваного об'єкта r_x, визначаються як для одного блискавковідводу.

$$h_0 = r_0 = 0,8 \cdot h = 0,8 \cdot 12 = 9,6 \text{ м};$$

$$r_x = 1,5 \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,92}\right) = 1,5 \cdot \left(9,6 - \frac{5,6}{0,92}\right) = 5,27 \text{ м}.$$

Висота середньої частини попарно взятих блискавковідводів:

$$h_{min1} = h_{c1} = h_0 - 0,14 \cdot (l_1 - h) = 9,6 - 0,14 \cdot (22 - 12) = 8,2 \text{ м};$$

$$h_{min2} = h_{c2} = h_0 - 0,14 \cdot (l_2 - h) = 9,6 - 0,14 \cdot (34,5 - 12) = 6,45 \text{ м};$$

Ширина середньої частини зони попарних блискавковідводів:

$$r_{cx2} = r_0 \cdot \frac{h_{c2} - h_x}{h_{c2}} = 9,6 \cdot \frac{6,45 - 5,6}{6,45} = 1,26 \text{ м};$$

$$L_c = 2,25 \cdot h = 2,25 \cdot 12 = 27 \text{ м}.$$

Оскільки відстань між блискавковідводами складає $l_1 = 22$ м $\leq L_c = 27$ м, то межа зони захисту r_{cx1} між блискавковідводами не має значення.

4.3 Основні способи захисту в надзвичайних ситуаціях

Захист від вражаючих чинників надзвичайних ситуацій мирного і військового часу досягається максимальним здійсненням усіх захисних заходів відповідно до положення „Про єдину державну систему запобігання та реагування на НС техногенного та природного характеру”, найкращим використанням усіх способів і засобів. Основними способами захисту населення в надзвичайних ситуаціях є:

- евакуація населення;
- інженерний захист населення і територій;
- радіаційний і хімічний захист;
- медичний захист.

Укриття населення в захисних спорудах.

Захисні споруди поділяються на сховища, протирадіаційні укриття (ПРУ) і споруди подвійного призначення.

Споруди подвійного призначення забезпечувати захист від розрахункової дії вражаючих чинників ядерної зброї і звичайних засобів ураження (без урахування прямого попадання), бактерійних (біологічних) засобів, отруйних речовин, а також, при необхідності, від катастрофічного затоплення, аварійно хімічно небезпечних речовин, радіоактивних продуктів при руйнуванні ядерних енергоустановок, високих температур і продуктів горіння при пожежах.

Протирадіаційні укриття призначені для забезпечення захисту від дії іонізуючих випромінювань при радіоактивному зараженні (забрудненні) місцевості і допускають безперервне перебування в них розрахункової кількості впродовж двох діб.

Сховища – це споруди, які забезпечують частковий захист від повітряної ударної хвилі, світлового випромінювання і уламків зруйнованих будівель, а також знижують дію проникаючої радіації і радіоактивних випромінювань, крім того захищають від негоди і інших несприятливих умов.

До сховищ відносяться:

- траншеї;
- підвали і підпілля (з лісоматеріалів і інших місцевих матеріалів);
- землянки, навіси;
- цокольні і перші поверхи знань і інші заглиблені приміщення.

Евакуація населення

Евакуація населення – комплекс заходів по організованому вивезенню (виводу) населення із зон надзвичайної ситуації або вірогідної надзвичайної ситуації (НС) природного і техногенного характеру і його короткочасному розміщенню в завчасно підготовлених за умовами першочергового життєзабезпечення безпечних (поза зонами дії вражаючих чинників джерела НС) районах. Евакуація вважається закінченою, коли увесь суб’єкт евакуації населення буде вивезено (виведено) за межі зони дії вражаючих чинників джерела НС у безпечні райони.

Евакуація планується і здійснюється автомобільним і залізничним транспортом, незалежно від форм власності і не зайнятого військовими і іншими особливо важливими перевезеннями по мобілізаційних планах.

Евакуйоване населення розміщується в громадських і адміністративних будівлях (санаторіях, пансіонатах, будинках відпочинку, дитячих оздоровчих таборах і т. д.), житлових будинках незалежно від форм власності і відомчій підлеглості, в опалюваних будинках дачних кооперативів і садівничих товариств на підставі ордерів (приписів), що видаються органами місцевого самоврядування.

Застосування засобів індивідуального захисту

По призначенню засобу індивідуального захисту підрозділяються на засоби індивідуального захисту органів дихання і засобу захисту шкіри.

До засобів індивідуального захисту органів дихання фільтруючого типу, відносяться протигази, респіратори і прості засоби захисту типу протипилових тканинних масок і ватно-марлевих пов'язок.

До засобів захисту шкіри відноситься спеціальний захисний одяг, що виготовляється з прогумованих і інших тканин ізолюючого типу, а також побутовий одяг з поліетиленових і інших волого - і пиленепроникних матеріалів.

Заходи медичного захисту плануються заздалегідь і включають:

- прогноз медико-санітарних наслідків можливих НС;

- створення сил і засобів медичної служби і підтримка їх в готовності до дій з призначення;

- створення гарантованих запасів медико-санітарного майна з урахуванням характеру і масштабу можливих НС, у тому числі і медичних засобів індивідуального захисту.

Конкретні заходи по захисту працівників організації і усього населення у разі виникнення ЧС передбачаються планами дій з попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру організацій і органів влади.

Дії працівників організації у разі загрози НС носять попереджувальний характер: зміцнення будівельних конструкцій, закриття, при необхідності вікон щитами, створення запасу продуктів і води на 2 ÷ 3 діб на випадок евакуації у безпечний район, підготовка автономних джерел освітлення і тому подібне

При виникненні надзвичайної ситуації – відключається електро- і газопостачання, гаситься вогонь в печах. Подальші дії залежать від виду природної НС, наприклад укриття в найбільш безпечних, внутрішніх приміщеннях будівель, що не мають віконних отворів.

Багато в чому конкретний порядок дій працівників організацій у випадках загрози і виникнення НС визначається Планом дій з попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру організації

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній роботі здійснено розробку та впровадження технічних заходів підвищення надійності системи електропостачання електромеханічного заводу.

Підприємство є споживачем середньої потужності і належить до другої категорії електропостачання, зі встановленою потужністю 21 МВт.

Отримані наступні результати:

– Живлення підприємства здійснюється по двоколовій лінії напругою 110 кВ. Вибрана ГПП 110/10 з двома трансформатора ТДН-10000/110/10 з схемою підстанції два блоки з вимикачами і неавтоматичною перемичкою з боку лінії. Ремонтна перемичка дозволяє виконувати ревізію будь-якого вимикача з боку лінії. На стороні 110 кВ встановлені елегазові вимикачі серії GL-12.

– Розподільний пристрій 10 кВ виконано комірками КРП2- 10 з вакуумними вимикачами ВВ/TEL-10.

– Внутрішньозаводські мережі 10 кВ виконані кабелем ААШв. У цехах встановлюються комплектні трансформаторні підстанції. Внутрішньоцехові мережі виконуються шинопроводами і кабелями. Живлення електроприймачів від розподільних пунктів здійснюється по дротах АПВ прокладеним в трубах в підлозі.

– Захист електроприймачів, здійснюється автоматичними вимикачами. Для захисту від перевантаження двигуна застосовується теплове реле. Для пуску зупинки і для захисту від втрати живлення і пониження напруги застосовуються контактори.

– В ході роботи вирішується питання компенсації реактивної потужності. Компенсація реактивної потужності здійснюється в місці її споживання на стороні 0,4 кВ за допомогою конденсаторних батарей.

– Розроблені системи релейного захисту кабельної лінії, приведена схема автоматичного включення резерву (АВР) на напругу 0,4 кВ, представлена схема обліку електричної енергії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Буцьо З. Ю., Мартинюк В. І. Аналіз втрат електричної енергії в електромережах усіх рівнів напруги в енергосистемах провідних зарубіжних країн та України. Енергетика та електрофікація, № 2, 2020 р.
2. Зеркалов Д.В. Енергозбереження в Україні [Електронний ресурс] : У п’яти книгах. Книга друга: Організація використання енергоресурсів. Довідник / Д. В. Зеркалов. – Електрон. дані. – К. : Основа, 2009.
3. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с.
4. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : [затв. ... Наказ М-ва палива та енергетики України 25.07.2006 № 258] / М-во палива та енергетики України. - Х. : Індустрія : Енергетичні рішення, 2012. - 318 с.
5. ДНАОП 0.00-2.32-2001 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
6. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. «Основи електропостачання», Національний університет «Львівська політехніка»,2005.
7. М.С. Сегеда «Електричні мережі та системи». Підручник - Львів. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка»,2007.
8. Вказівки з розрахунку електричних навантажень Розрахунок електричних навантажень РТМ 36.18 32.4 92.
9. Сірий О. М. Розрахунки при проектуванні та реконструкції системи електропостачання промислових підприємств: Навч. Посібник / О. М. Сірий , В. Є. Шестеренко – Київ, 1993 – 592 с.
10. Релейний захист і автоматика в системах електропостачання [Текст] : навч. посібник для студ. електротехнічних спец. вищ. навч. закладів України / П. П. Говоров [та ін.] ; Харківська держ. академія міського господарства. — К. : [б.в.], 1996. — 228 с.

11. Буряк В. М. Експлуатація електрообладнання систем електропостачання [Текст] : навч. посіб. [для студ. електротехн. спец. вищ. навч. закл.] / В. М. Буряк. — 2-ге вид., переробл. та випр. — Х. : Тимченко, 2008.

12. Зорін В.В., Штогрін Є.А., Буйний Р.О. Електричні мережі та системи: навчальний посібник для студентів вищ. техн. навч. закл.– Ніжин ТОВ “Видавництво”Аспект-поліграф”, 2011. – 248 с.

13. Бурбело М. Й. – Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків [Текст] : [Навч. посіб. для вищ. навч. закл.] / М.Й.Бурбело ; Вінниц. нац. техн. ун-т. — [2-е вид., перероб. і допов.]. — Вінниця : Універсум, 2005. — 147 с.

14. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.

15. В.В. Принц, В.М. Цимбалістий Електричні мережі. Монтаж, обслуговування та ремонт Львів :Оріяна – Нова, 2003р

16. Бабюк, С. М., & В Пліс, Я. (2020). Шляхи підвищення енергоефективності систем електропостачання. Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “, 2, 82-83.

17. Бабюк, С. М., Красножоний, О. В., Барило, В. П., & Брич, Б. В. (2020). Фактори, що впливають на надійність електропостачання. Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “, 2, 84-85.

18. Бабюк, С. М., Приймак, М. Д., & Паськів, Р. В. (2017). Підвищення енергоефективності підприємств за рахунок контролю характеристик режимів електропостачання. Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “, 3, 90-91.

19. Orobchuk, B., Sysak, I., Babiuk, S., Rajba, T., Karpinski, M., Klos-Witkowska, A., ... & Gancarczyk, J. (2017, September). Development of simulator

automated dispatch control system for implementation in learning process. In 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) (Vol. 1, pp. 210-214). IEEE.

20. Євтух, П. С., Буняк, О. А., Бабюк, С. М., & Сисак, І. М. (2017). Застосування розрахункових поправок у процедурі автоматичної компенсації систематичних похибок. Матеріали XX наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 160-161.

21. Бабюк С. , Клебан К. , Танасійчук В. Шляхи підвищення надійності електропостачання // Зб. наук. праць / Терн. нац. тех. універ. ім. І.Пулюя. Тернопіль, 2021. С. 61.

22. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.