

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

Інститут (факультет) \_\_\_\_\_ ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ Електропостачання і енергоменеджменту \_\_\_\_\_

**«До захисту в ЕК»**  
Директор інституту (декан факультету)  
\_\_\_\_\_ Блаженко С.І. \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Балюта С.М. \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми « Електротехніка та електротехнології»  
на тему: «Розробка системи електропостачання арматурного цеху заводу залізобетонних виробів з аналізом впливу сонячних електростанцій на якість електроенергії»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕЛ-4-4

Шевченко Андрій Вікторович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Мартинюк Олександр Васильович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти Сірик А.О. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент Шевченко В.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній роботі немає запозичень із праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 р.

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім акад І.С. Гуло  
Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту  
Освітній ступінь бакалавр  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Освітньо-професійна програма «Електротехніка та електротехнології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ЕПЕМ**

/Балюта С.М./

« 08 » квітня 2020 р.

## **ЗАВДАННЯ**

### **НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) ЗДОБУВАЧА**

Шевченко Андрія Вікторовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Розробка системи електропостачання арматурного цеху заводу залізобетонних виробів з аналізом впливу сонячних електростанцій на якість електроенергії»

керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 08 » 04. 2020 р. № 260- кс

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 03 червня 2020 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) \_\_\_\_\_

Характеристики споживачів цеху; генплан споживачів в цеху; характеристика високовольтних двигунів; струм КЗ на РПВН; графік реактивної потужності

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

Розрахунок навантаження арматурного цеху; компенсація реактивної потужності; вибір схеми внутрішнього електропостачання цеху; розрахунок струмів короткого замикання та вибір електричних апаратів; якість електричної енергії; електричне освітлення; охорона праці;

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

План розташування електричного обладнання арматурного цеху; однолінійна схема електропостачання арматурного цеху; конструкція цехової трансформаторної підстанції.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 8 квітня 2020 року \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ п/п	Назва етапів виконання кваліфікаційного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Отримання завдання на дипломне проектування	08.04.2020 р	
2	Розрахунок навантаження арматурного цеху	20.04.2020р	
3	Компенсація реактивної потужності	25.04.2020р	
4	Вибір схеми внутрішнього електропостачання цеху	30.04.2020р	
5	Розрахунок струмів короткого замикання та Вибір електричних апаратів	05.05.2020р	
6	Якість електричної енергії	10.05.2020р	
7	Електричне освітлення	15.05.2020р	
8	Спецпитання	20.05.2020р	
9	Охорона праці	22.05.2020р	
10	Оформлення пояснювальної записки	24.05.2020р	
11	Оформлення графічної частини проекту	30.05.2020р	
12	Подання готової роботи для перевірки на плагіат	3.06.2020	

Здобувач

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## **Анотація**

Шевченко А.В. Розробка системи електропостачання арматурного цеху заводу залізобетонних виробів з аналізом впливу сонячних електростанцій на якість електроенергії

Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. Національний університет харчових технологій, Київ, 2020. Пояснювальна записка складається зі вступу, восьми розділів, висновку та списку використаної літератури. Загальний обсяг пояснювальної записки становить 109 стор.

Метою роботи є проектування загальної схеми електропостачання, розрахунок електричних навантажень цехових електроприймачів, вибір елементів та розрахунок цехової мережі, розрахунок освітлювальної мережі цеху заводу залізобетонних виробів, аналіз впливу сонячних електростанцій на якість електроенергії.

У дипломному проекті розроблено: загальна схема арматурного цеху заводу залізобетонних виробів, схема електропостачання арматурного цеху заводу залізобетонних виробів, схема освітлювальної мережі арматурного цеху заводу залізобетонних виробів. Проаналізовано вплив сонячних електростанцій на якість електроенергії.

**ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ; ВИРОБНИЧИЙ ЦЕХ; ТРАНСФОРМАТОР;  
НАПРУГА; СТРУМ**

## Аннотация

Шевченко А.В. Разработка системы электроснабжения арматурного цеха завода железобетонных изделий с анализом влияния солнечных электростанций на качество электроэнергии

Дипломный проект на соискание степени бакалавра по специальности 141 "Электроэнергетика, электротехника и электромеханика". Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2020. Пояснительная записка состоит из введения, восьми глав, заключения и списка использованной литературы. Общий объем пояснительной записки составляет 109 стр.

Целью работы является проектирование общей схемы электроснабжения, расчет электрических нагрузок цеховых электроприемников, выбор элементов и расчет цеховой сети, расчет осветительной сети цеха завода железобетонных изделий, анализ влияния солнечных электростанций на качество электроэнергии.

В дипломном проекте разработаны: общая схема арматурного цеха завода железобетонных изделий, схема электроснабжения арматурного цеха завода железобетонных изделий, схема осветительной сети арматурного цеха завода железобетонных изделий. Проанализировано влияние солнечных электростанций на качество электроэнергии.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ; ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕХ;  
ТРАНСФОРМАТОР; НАПРЯЖЕНИЕ; ТОК

## Annotation

Shevchenko AV Development of the power supply system of the reinforcing shop of the plant of reinforced concrete products with the analysis of the impact of solar power plants on the quality of electricity

Diploma project for a bachelor's degree in 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". National University of Food Technologies, Kyiv, 2020. The explanatory note consists of an introduction, eight chapters, a conclusion and a list of references. The total volume of the explanatory note is 109 pages.

The purpose of the work is to design the general scheme of power supply, calculation of electrical loads of shop electrical receivers, selection of elements and calculation of shop network, calculation of lighting network of reinforced concrete plant, analysis of solar power plants on electricity quality.

In the diploma project the following is developed: the general scheme of the reinforcing shop of the plant of reinforced concrete products, the scheme of power supply of the reinforcing shop of the plant of reinforced concrete products, the scheme of the lighting network of the reinforcing shop of the plant of reinforced concrete products. The influence of solar power plants on the quality of electricity is analyzed.

ELECTRICITY; PRODUCTION PLANT; TRANSFORMER; VOLTAGE;  
CURRENT

## Зміст

Вступ.....	8
Завдання.....	10
1.Розрахунок навантаження арматурного цеху.....	13
2.Компенсація реактивної потужності.....	17
3.Вибір схеми внутрішнього електропостачання цеху.....	23
3.1.Вибір типу та розміщення цехової підстанції.....	23
3.2.Вибір кількості й потужності трансформаторів.....	24
3.3.Вибір кількості, типу та розташування розподільчих пристроїв.....	27
3.4.Вибір трас та способів прокладання шинопроводів.....	29
3.5.Вибір марки і перерізу проводів низьковольтних кабельних ліній.....	35
4.Розрахунок струмів короткого замикання та вибір електричних апаратів.....	46
4.1.Розрахунок струмів КЗ у низьковольтній розподільчій мережі.....	47
4.2.Вибір автоматичних вимикачів на напругу 0,38 кВ.....	52
4.3.Вибір електричних апаратів РП – 10 кВ.....	55
4.4.Вибір трансформаторів струму для приладів контролю і обліку.....	63
5.Якість електричної енергії.....	71
6.Електричне освітлення.....	74
7.Спеціальна частина.....	82
8.Охорона праці.....	95
Висновки.....	108
Література.....	109

## 1. В с т у п

Енергетична політика України передбачає подальший розвиток енергозберігаючої програми. Економія енергетичних ресурсів повинна здійснюватися шляхом переходу на енергозберігаючі технології виробництва; удосконалювання енергетичного встаткування, реконструкції застарілого обладнання; скорочення всіх видів енергетичних втрат і підвищення рівня використання вторинних енергетичних ресурсів.

Передбачається також заміщення органічного палива іншими енергоносіями, у першу чергу відновлювальних джерел електроенергії. Схвалена Урядом Енергетична стратегія України до 2035 року передбачає посилення розвитку відновлюваної енергетики як однієї із складових досягнення енергетичної незалежності. Ще до прийняття стратегії Україна поставила за мету отримати у 2020 році 11% «зеленої» енергії в кінцевому енергоспоживанні країни.

Крім прямого енерго- і ресурсозбереження існує цілий ряд актуальних завдань, рішення яких в остаточному підсумку приводить до того ж ефекту в самих виробничих установках, у виробництві в цілому. Сюди, у першу чергу, ставиться підвищення надійності електропостачання, тому що раптове, іноді навіть досить короткочасне припинення подачі електроживлення може привести до більших збитків у виробництві. Але підвищення надійності пов'язане зі збільшенням вартості системи електропостачання, тому важливим завданням повинне вважатися визначення оптимальних показників надійності, вибір оптимальної по надійності структури системи електропостачання.

Також важливим завданням є забезпечення необхідної якості електроенергії. Низька якість електроенергії приводить, крім інших небажаних явищ, до збільшення втрат електроенергії як в електроприймачах, так і в мережі. Важливе значення придбало вимір показників якості електроенергії. За останні десятиліття досягнуті значні успіхи не тільки в мікроелектроніці, але й в електроапаратобудуванні, у розробці нових електричних і конструкційних матеріалів, у кабельній техніці. Ці досягнення відкривають нові можливості в

способах каналізації електроенергії й у конструкції розподільних пристроїв (РУ). Зокрема, застосування нових комплектних легко замінних вузлів електричних мереж і мережних пристроїв може знадобитися у виробничих умовах, що швидко змінюються, сучасних підприємств.

**Завдання**

Метою даного дипломного проєкту розрахунок силової і освітлювальної мережі арматурного цеху , підбір провідників , апаратів захисту й комутації , розрахунок струму короткого замикання в мережі цеху , перевірка підібраних провідників і апаратів захисту на можливість витримати без пошкодження термічний і динамічний вплив струму короткого замикання , компенсація реактивної потужності на стороні НН ЦТП , виконати відповідні креслення.

Номер на генплані	Назва електроприймача	Кількість п , шт	Встановлена потужність , кВт	Коефіцієнт використання , $K_B$	$\cos\varphi/tg\varphi$	Примітки
1-9,11-19	Станок для згинання петель	18	40	0.2	0.65/1.17	
10,67	Універсально – фрезерний верста	2	7	0.16	0.5/1.73	
20-25	Токарно – гвинторізний верста	6	20	0.2	0.65/1.17	
26,27	Станок для висадки головок	2	6	0.2	0.65/1.17	
28-30	Намоточний станок	3	40	0.16	0.5/1.73	
31	Станок для згинання сіток	1	4	0.2	0.65/1.17	
32	Станок МТМК	1	250	0.2	0.65/1.17	
33-41	Настільно – свердлувальний верстат	9	7	0.16	0.5/1.73	
42,80	Станок МТМС	2	130	0.2	0.65/1.17	
43,44, 47,48	Перетворювач зварювальний	4	44	0.35	0.5/1.73	
45,46, 49,50	Зварювальний трансформатор	4	18	0.35	0.5/1.73	ПВ = 40%
51,52, 56,57	Станок обрізний з дисковою плитою	4	5	0.16	0.5/1.73	
53-55	Прес гідравлічний	3	34	0.17	0.65/1.17	
58-66,68-73	Вертикально – свердлувальний верстат	15	9	0.16	0.5/1.73	
74-79	Довбальний верстат	6	12	0.16	0.5/1.73	
81,82	Вентилятор	2	10	0.65	0.8/0.75	

Табл.1



Рис. 1.29. Генплан арматурного цеху

Рис.1 Генплан арматурного цеху

t , год	$\frac{U_t}{U_n} * 100 , \%$
0 - 3	50
3 - 6	60
6 - 9	65
9 - 12	70
12 - 15	75
15 - 18	80
18 - 21	85
21 - 24	90
$\cos\varphi_n$	0,97

Табл.2 Графік реактивної потужності за добу

Матеріал проводу живлення електроприймачів 380 В	Al
--	----

Категорійність електроспоживачів	1
-------------------------------------	---

Табл.3 Технічні вимоги до електроприймачів цеху

Номінальна потужність	1250
Тип електродвигуна	АД
Кількість електродвигунів	4
Номінальна напруга	10
Коефіцієнт завантаження	0.5
Віддаль до РП ВН ,м	200

Табл.4 Технічні параметри високовольтних електроприймачів підприємства  
 $T_{нб} = 4000$  год ;  
струм трифазного короткого замикання з боку ВН цехової ТП  $I_{кз} = 10.2$  кА ;  
площа цеху :  $A \times B \times h = 54 \times 28 \times 5$  .

## 1. Розрахунок навантаження арматурного цеху

Розрахунок повного навантаження арматурного цеху складається з розрахунку силової його частини навантаження ( живлення електроприймачів ) і розрахунку освітлювального навантаження .

В арматурному цеху левову частку електропримачів займають верстати , станки , які за своїм режимом роботи є електроприймачами зі змінним графік навантаження . Наявні два потужні електроприймача – станки типу МТМК і МТМС .Наявні також зварювальні апарати , вентилятори , тому прийmemo , що всі електропримачі цеху працюють за змінним графіком навантаження .

### 1.1. Розрахунок силового навантаження

Розрахунок проводимо за стандартною , нормативною методикою – метод впорядкованих діаграм . Ця методика передбачає розподіл споживачів на змінних і постійних , окремо розраховувати їх повні потужності , і лише наприкінці алгоритму їх потужності сумуються і знаходить повна потужність цеху і відповідно струм .

В цеху встановлено 82 ЕП ( електропримача ) .

Алгоритм розрахунку розпочинається з розрахунку номінальної потужності групи однотипних ЕП . Розраховувати для всіх ЕП не доцільна витрата часу , тому розрахунок продемонструємо лише на першому ЕП , інші розрахункові дані ЕП ми занесемо в таблицю.

Номінальна потужність станка для згинання петель :

$$P_{\text{ном}} = n * P_{\text{вст}}$$

$$P_{\text{ном.1-9,11-19}} = n_{1-9,11-19} * P_{\text{вст.1-9,11-19}} = 18 * 40 = 720 \text{ кВт.}$$

Сумарна номінальна потужність арматурного цеху :

$$P_{\text{ном}} = \sum P_{\text{ном.i}} = 2124 \text{ кВт.}$$

Середнє значення середньої потужності за найбільш завантажені зміну для станка згинання петель  $P_{\text{см}}$  :

$$P_{\text{см.i}} = K_{\text{в.}} * P_{\text{ном.}}$$

$$P_{\text{см.1-9,11-19}} = K_{\text{в.1-9,11-19}} * P_{\text{ном.1-9,11-19}} = 0.2 * 720 = 144 \text{ кВт.}$$

Сумарна середня активна потужність арматурного цеху  $\sum P_{\text{см.i}}$ :

$$P_{\text{см}} = \sum P_{\text{см.i}} = 450 \text{ кВт.}$$

Середня реактивна потужність для станка згинання петель :

$$Q_{\text{см.i}} = P_{\text{см.i}} * \text{tg}\varphi$$

$$Q_{\text{см.}} = P_{\text{см.1-9,11-19}} * \text{tg}\varphi_{1-9,11-19} = 144 * 1.17 = 168.5 \text{ квар.}$$

Сумарна середня реактивна потужність арматурного цеху  $\sum Q_{\text{см.i}}$ :

$$Q_{\text{см}} = \sum Q_{\text{см.i}} = 603.3 \text{ квар.}$$

Розрахувавши відповідні  $Q_{\text{см}}$  і  $P_{\text{см}}$ , визначаємо значення групового коефіцієнта використання :

$$K_{\text{в}} = \frac{P_{\text{см}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{603.3}{2124} = 0.284.$$

Знаходимо ефективну кількість електроприймачів :

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}\sim})^2}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}\sim}^2 * n} = \frac{2124^2}{147490} = 30.59$$

Знаходимо :

$$K_{\text{м}} = f(n_e, K_{\text{в}})$$

$n_e/K_{\text{в}}$	0.2	0.3
30	1.34	1.24
35	1.30	1.21

Табл.5

Згідно з отриманими значеннями  $K_{\text{в}}$  і  $n_e$ , проведемо інтерполяцію для знаходження  $K_{\text{м}}$  :

$$K_{\text{м}} = 1.252.$$

Розрахункова активна потужність для арматурного цеху  $P_{\text{р}}$  :

$$P_{\text{р.}} = K_{\text{м}} * P_{\text{см}} = 1.252 * 450 = 563.4 \text{ кВт.}$$

Розрахункова реактивна потужність арматурного цеху  $Q_{\text{р.}}$  :

$$n_e > 10, \text{ то } Q_{\text{р}} = Q_{\text{см}};$$

$$Q_{\text{р.}} = Q_{\text{см}} = 603.3 \text{ квар.}$$

Відповідно , повна потужність арматурного цеху силового навантаження  $S_p$ :

$$S_{p.сил.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.}^2} = \sqrt{563.4^2 + 603.3^2} = 825.5 \text{ кВ} \cdot \text{А} .$$

Значення струму силового навантаження арматурного цеху  $I_p$ :

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} * U_{ном}} = \frac{825.5}{\sqrt{3} * 0.4} = 1191.51 \text{ А} .$$

## 1.2 Піковий струм і пікова потужність

Розрахунок пікового струму проводять з метою в подальшому перевірити обраний апарат захисту на струм спрацювання .

Знаходження пікового струму й пікової потужності відбувається за наступним правилом : всі електроприймачів крім найпотужнішого працюють в нормльному режимі , а найпотужніший тіки запускається ( момент пуску , коли значення пускового струму досягає п'ятикратного номінального значення струму).

Піковий струм :

$$I_{пик} = i_{пуск}^{max} + (I_{роз} - K_B * I_{ном.i}^{max}),$$

де  $i_{пуск}^{max}$  – значення пускового струм найпотужнішого двигуна арматурного цеху;

$I_p$  – розрахунковий струм силового навантаження арматурного цеху ;

$K_{B.i}$  – коефіцієнт використання найпотужнішого двигуна ;

$I_{ном.i}^{max}$  – номінальний струм того ж двигуна.

Знайдемо обидва значення  $i_{пуск}^{max}$  ,  $I_{ном.i}^{max}$  .

МТМК і МТМС – це спеціальні зварювальні апарати , тому вони не можуть бути обрані в якості найпотужніших електропримачів .

Обираємо намоточний станок як найпотужніший.

Знайдемо для початку  $I_{ном.i}^{max}$  :

$$I_{ном.i}^{max} = \frac{P_{ном}^{max}}{\sqrt{3} * U_{ном.мер.} * \cos\varphi * \eta_{ном.дв.}} = \frac{40}{\sqrt{3} * 0.4 * 0.5 * 0.8} = 144.34 ,$$

$\cos\varphi = 0.5$  – для даного двигуна задане ;

$\eta_{ном.дв.} = 0.8$  – ККД цього ж двигуна.

Виконаємо розрахунок  $i_{\text{пуск}}^{max}$

$$i_{\text{пуск}}^{max} = K_{\text{пуск}} * I_{\text{ном.і.}}^{max} = 5 * 144.34 = 721.7 \text{ А,}$$

де  $K_{\text{пуск}}$  – кратність пускового струму для АД ( з короткозамкнутим ротором ).

Розрахуємо для арматурного цеху  $I_{\text{пік}}$  :

$$I_{\text{пік}} = i_{\text{пуск}}^{max} + (I_{\text{роз}} - K_B * I_{\text{ном.і.}}^{max}) = 721.7 + (1191.51 - 0.16 * 144.34) \\ = 1890.12 \text{ А.}$$

Величина пікової потужності :

$$S_{\text{пік}} = \sqrt{3} * U_{\text{ном.мер.}} * I_{\text{пік}} = \sqrt{3} * 0.4 * 1890.12 = 1309.5 \text{ кВ * А.}$$

### 1.3. Розрахунок освітлювального навантаження цеху

Значення повної потужності освітлювального навантаження становить лише малий відсоток від повної потужності арматурного цеху , однак це значення теж слід враховувати щоб розуміти перспективу встановлення світильників в цеху ( очікуване споживання ними , номінальний струм ,) і згідно з цим орієнтуватися вже на захисну апаратуру і кабельно - провідниковий матеріал .

Розрахуємо площу цеху :

$$F = A * B = 54 * 28 = 1512 \text{ м}^2.$$

За методом питомої потужності , визначемо потужність , яка буде споживатись освітлювальними установками при встановленні в цеху газорозрядних ламп :

$$P_{\text{р.осв.}} = P_{\text{осв}}^{\text{пит}} * F = 12 * 1512 = 18\ 144 \text{ Вт} = 18.144 \text{ кВт,}$$

де  $P_{\text{осв}}^{\text{пит}} = 13 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  – питома густина освітлювального навантаження, яка залежить від типу приміщення .

Відповідно реактивна потужність освітлення :

$$Q_{\text{р.осв.}} = P_{\text{р.осв.}} * \text{tg}\varphi = 18.144 * 0.484 = 8.78 \text{ квар ,}$$

$$\cos\varphi = 0.92 \text{ – для люмінесцентних ламп, } \text{tg}\varphi = \arccos(0.92) = 0.484.$$

Повне значення потужності джерел світла :

$$S_{\text{р.осв.}} = \sqrt{P_{\text{р.осв.}}^2 + Q_{\text{р.осв.}}^2} = \sqrt{18.144^2 + 8.78^2} = 20.16 \text{ кВ * А.}$$

Відповідно струм :

$$I_{p.осв.} = \frac{S_{p.осв.}}{\sqrt{3} * U_{ном}} = \frac{20.16}{\sqrt{3} * 0.4} = 29.1 \text{ А.}$$

#### 1.4. Розрахунок повного навантаження цеху

Після розрахунку силового навантаження арматурного цеху і освітлювального того ж цеху, рахуємо повне навантаження цеху  $S_{p.ц.}$ :

$$S_{p.ц.} = S_p + S_{p.осв.} = 825.5 + 20.16 = 845.66 \text{ кВ * А.}$$

Відповідна значення повного струму арматурного цеху:

$$I_{p.ц.} = I_p + I_{p.осв.} = 1191.51 + 29.1 = 1220.6 \text{ А.}$$

Отримані значення занесемо в табл.6.

Тип навантаження	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВ*А}$	$I_p, \text{А}$
Силове	563.4	603.3	825.5	1191.51
Освітлювальне	18.144	8.78	20.16	29.1
Цехове	581.5	612.08	845.66	1220.6

#### 2. Компенсація реактивної потужності

Споживання реактивної електроенергії негативно впливає на якість електричної енергії та погіршує стабільність напруги в електромережі.

Протікання струму реактивної потужності електрообладнання (реактивної складової електричного струму) викликає втрати активної електроенергії, які є додатковими і їх можливо і необхідно скорочувати за рахунок компенсації реактивної потужності.

Є багато заходів, які дозволяють скоротити споживання реактивної електроенергії. При збільшенні коефіцієнта завантаження електродвигунів відношення споживання реактивної енергії до споживання активної енергії зменшується – необхідно не допускати систематичного, без виробничої потреби, не зумовленого вимогами технічної безпеки недовантаження або використання електродвигунів на холостому ходу. Досягти оптимального завантаження електродвигунів можливо за рахунок впровадження перетворювачів частоти для живлення електроприводів насосів, вентиляторів, компресорів та робочих машин.

Робота трансформаторів без навантаження збільшує втрати енергії в трансформаторах через додаткові втрати холостого ходу внаслідок споживання реактивної енергії – необхідно відключати трансформатори у неробочу добу і зміну. По можливості необхідно обмежувати паралельну роботу силових трансформаторів при завантаженні їх менше 30 %.

Встановлення сучасних засобів компенсації з автоматичним регулюванням потужності повністю вирішує проблему, але потребує значних капітальних витрат.

Розрахуємо потужність і кількість компенсуючих пристроїв.

Формула для визначення потужності всіх компенсуючих пристроїв в цеху  $Q_{ку}$  :

$$Q_{ку} = Q_{р.ц.} - Q_{e1},$$

$Q_{р.ц.}$  – розрахункова реактивна потужність цеху ;

$Q_{e1}$  – реактивна потужність , яку в режимі максимуму навантаження має змогу передати енергосистема в мережу споживача.

$Q_{e1} = 0$  , приймається рівним 0 , тому що цех знаходиться на стадії проектування.

Формула приймає наступного вигляду :

$$Q_{ку} = Q_{р.ц.} - 0 = 612.08 - 0 = 612.08 \text{ квар.}$$

Для компенсації реактивної потужності в арматурному цеху я обираю конденсаторну установку типу УКРМ58 – 0,4 – 650 – 50 УЗ.

Перевіримо обрану конденсаторну установку за умовою повної компенсації реактивної потужності :

$$Q_{ку} \geq Q_{р.ц.}$$

$$Q_{ку} = 650 \text{ квар} > Q_{р.ц.} = 612.08 \text{ квар}$$

конденсаторна установка повністю компенсує реактивну потужність арматурного цеху .

Оберемо й перевіримо автоматичний вимикач для захисту УКРМ58-0.4-650-50 УЗ:

$$I_{\text{ном.ку}} = 988 \text{ А},$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 1000 \text{ А} > I_{\text{ном.ку}} = 988 \text{ А},$$

Обираю АВ типу ВА56 41 -36 .

УКРМ58 – 0.4 – 650 – 50 УЗ :

УКР – установка компенсації реактивної потужності ;

58 – конструктивне виконання ;

0,4 – номінальна напруга установки ,кВ ;

650 – номінальна потужність , квар ;

50 – потужність ступеня регулювання , квар ;

У – для помірного клімату ;

З – монтаж у закритому приміщенні .

Автоматичні конденсаторні установки (конденсаторні установки для компенсації реактивної потужності) призначені для автоматичної компенсації реактивної потужності навантаження споживача в електричних мережах трифазного змінного струму напругою 0.4 (0.38) кВ і частотою 50 Гц без спотворень або з невеликими спотвореннями синусоїдальності струму і напруги.

Автоматичні низьковольтні конденсаторні установки, в залежності від потужності, випускаються в навісному або підлогового виконання і призначені для установки в електрощитових.

Конденсаторні установки компенсації реактивної потужності низької напруги допускають тривалу роботу при підвищенні значення напруги до 1,1 від номінального і підвищення діючого значення струму до 1,3 від струму, одержуваного при номінальній напрузі і частоті, як за рахунок підвищення напруги, так і за рахунок вищих гармонік або того й іншого разом. Компенсатори реактивної потужності можуть працювати в режимі ручного або автоматичного регулювання. Регулятор забезпечує автоматичне включення (відключення) конденсаторів із заданою витримкою часу при зміні значення реактивної

потужності. Регулятор працює за поточним значенням  $\cos(\varphi)$  і може мати 6 і 14 ступенів.

УКРМ обладнується регулятором реактивної потужності ETI PFC .

Регулятори реактивної потужності PFC RS призначені для управління батареями косинусних конденсаторів, підвищення коефіцієнта потужності, а також дозволяють контролювати напругу, струм, активну, реактивну і повну потужність, коефіцієнти спотворення по напрузі і струму (до 19-ї гармоніки). Регулятори виробляються на 6, 8 і 12 ступенів. Дані мікропроцесорні пристрої відстежують активну і реактивну складову потужності шляхом вимірювання миттєвих значень напруги і струму в електричній мережі.

На основі цих вимірювань обчислюється фазовий зсув між струмом і напругою, і це значення порівнюється з попередньо заданою величиною  $\cos \varphi$ . Залежно від фактичного відхилення коефіцієнта потужності регулятор PFC подає команду на управління ступенями конденсаторних батарей з мінімальним часом реакції від 4 секунд. Перевагами регуляторів реактивної потужності серії PFC є простий монтаж і експлуатація; малі втрати (до 0,5 Вт на 1 кВАр потужності); можливість підключення в будь-якій точці електромережі; низькі експлуатаційні витрати; контроль температури конденсаторних батарей. Для моделі PFC-12 RS передбачений тарифний вхід COS 1 / COS 2.

Технічні характеристики конденсатора УКРМ58 – 0.4 – 650 – 50 УЗ.

Конденсаторні установки, які призначені для компенсації реактивної потужності, мають такі технічні характеристики:

Номинальна напруга  $U_n$  400, 440 V

Номинальна частота 50Hz Відхилення ємності - 5% до + 15%

Втрати: - Діелектричні <0,2 W / kvar - Сумарні <0,5 W / kvar

Ступінь захисту IP 20

Відповідність стандартам IEC 60831 - 1/2

Безпека самовідновлення, роз'єднувач надлишкового тиску Діелектрик поліпропіленова плівка;

Рослинна олія, без ПХБ

Робоча температура від -25 0С до + 55 0С

Температура зберігання від -40 0С до + 70 0С

Допустиме перевантаження  $1,1 \times U_n$  (8 годин / день)  $1,3 \times I_n$  (номінальний струм)

Пусковий струм  $100 \times I_n$  макс.

Пусковий струм, тільки для KNK 9053  $130 \times I_n$  макс.

Проведені випробування - між шарами  $2,15 \times U_n$ , АС, 2 с.- шари - корпус 3,6 kV, АС, 2 с.

Графік реактивного навантаження за добу

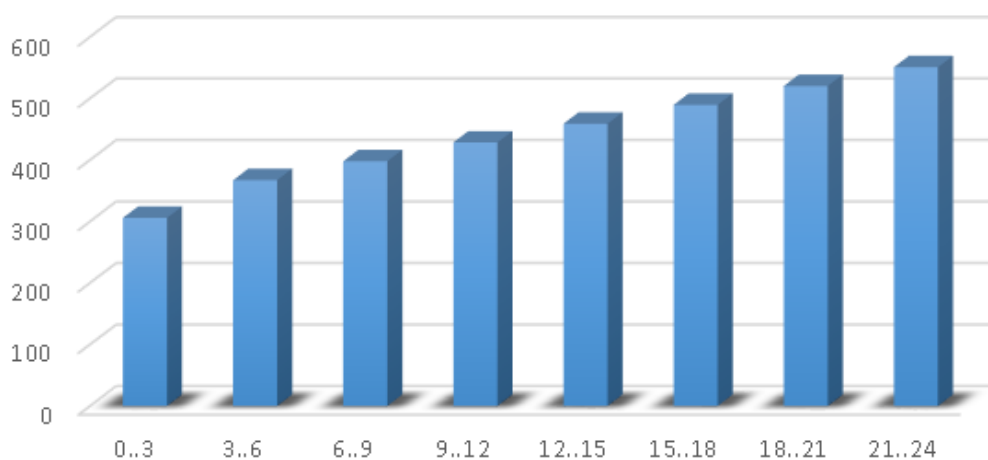


Рис.2.1 Графік реактивної потужності за одну добу

Згідно з добовим графіком реактивного навантаження розпишемо кількість ступенів регулювання в окремо кожний період часу використовуючи дані за табл.2.

t , год	$\frac{U_t}{U_n} * 100 , \%$	$U_t, B$
0 - 3	50	306.04
3 - 6	60	367,25

6 – 9	65	397,85
9 – 12	70	428,46
12 – 15	75	459,06
15 - 18	80	489,66
18 – 21	85	520,27
21 - 24	90	550,87

Табл.8

Розрахунок фактичного значення коефіцієнта потужності ( після встановлення УКРМ ).

До встановлення КУ :

$$P_{p.c.} = 581.5 \text{ кВт} ;$$

$$Q_{p.c.} = 612.08 \text{ квар.}$$

Розрахуємо значення  $tg\varphi$  до встановлення УКРМ :

$$tg\varphi = \frac{Q_{p.c.}}{P_{p.c.}} = \frac{612.08}{581.5} = 1.052 .$$

Розраховуємо  $\cos\varphi$  ;

$$\cos\varphi = \cos(\arctg(1.052)) = 0.725.$$

Після встановлення УКРМ :

$$Q_{p.c.} = 0 \text{ квар} , \text{ так як } Q_{ку} = 650 \text{ квар} , \text{ тобто } Q_{p.c.} - Q_{ку} = 650 - 612.08 < 0 .$$

Розрахуємо значення  $tg\varphi$  після встановлення УКРМ :

$$tg\varphi = \frac{Q_{p.c.}}{P_{p.c.}} = \frac{0}{581.5} = 0$$

$\cos\varphi = \cos(\arctg(0)) = 1$  , тобто , ми повністю компенсували значення реактивного навантаження арматурного цеху.

### **3. Вибір схеми внутрішнього електропостачання цеху**

При виборі схеми внутрішнього електропостачання арматурного цеху , потрібно враховувати категорійність електроприймачів ( в нашому випадку це 1 категорія надійності електропримачів ) , їх територіальне розміщення ( група електропримачів чи поодинокі ) , навантаження , і інші характерні особливості об'єкта , що проєктується .

Виходячи з розміщення електроприймачів в арматурному цеху , можна зробити висновок , що найкраще буде виконати магістральну систему електропостачання шинопроводами типу ШМА і ШРА . Однак , враховуючу категорійність електроприймачів , можливе використання радіальної схеми електропостачання , що підвищить надійність і безперебійність живлення , проте збільшиться кількість кабельно – провідникового матеріалу , захисної апаратури , що суттєво може вплинути на кошторис даного проєкту .

#### **3.1. Вибір типу та розміщення цехової підстанції (ТП, КТП)**

Згідно з генпланом , на мою думку найкращим рішенням буде встановити , для живлення електроприймачів цеху , прибудовану трансформаторну підстанцію , яка буде встановлена за межами цеху .

Враховуючи категорійність електроприймачів , в трансформаторній підстанції буде встановлено 2 трансформатори однакової потужності , але працюватимуть роздільно один від одного , тобто трансформатор №1 буде живити одну частину електроприймачів , трансформатор №2 іншу , другу . Але в разі виходу одного трансформатора з ладу , інший обов'язкового повинен живити всіх електроприймачів цеху в безперебійному режимі .

Для категорії електроприймачів 1 , в секційних панелях ( шафах ) буде встановлено пристрій АВР для миттєво з'єднання однієї секції збірних шин з іншою в разі аварійної ситуації .

### 3.2. Вибір кількості й потужності трансформаторів

Для споживачів 1 – ої категорії надійності електропостачання бажана потужність трансформатора розраховується за наступною формулою :

$$S_{\text{тр баж}} = \frac{S_p}{\beta_T}$$

$\beta_T = 0.75$  – коефіцієнт завантаження для 1- ої категорії надійності електроприймачів.

Враховуючи повну компенсацію реактивної потужності :

$$S_{p.c.} \approx P_{p.c.} = 581.5 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Тоді :

$$S_{\text{тр баж}} = \frac{P_{p.c.}}{\beta_T} = \frac{581.5}{0.75} = 775,33 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Обираємо трансформатор з номінальною потужністю 630 кВ\*А .

$$S_{\text{тр ном}} = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{\text{ном тр}} \geq S_{\text{тр баж}}$$

$$S_{\text{тр ном}} = 2 * 630 \text{ кВ} \cdot \text{А} > S_{\text{тр баж}} = 775.33 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Для встановлення в вбудованій ТП я обираю два трансформатора типу ТМ – 6300/10 .

Сумарна потужність встановлених трансформаторів :

$$S_{\Sigma \text{тр ном}} = n * S_{\text{тр ном}} = 2 * 630 = 1260 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Розрахуємо коефіцієнт завантаження трансформаторів в нормальному й аварійному режимі роботи :

$$\beta_{\text{т.норм}} = \frac{S_p}{n * S_{\text{тр ном}}} = \frac{581.5}{2 * 630} = 0,462$$

$$\beta_{\text{т.ав}} = \frac{S_p}{n * S_{\text{тр ном}}} = \frac{581.5}{1 * 630} = 0,923 .$$

Технічні характеристики ТМ – 630/10.

Тип	$S_{\text{ном.тр.}}$ , кВ*А	$U_{\text{ном.тр.}}$ , кВ		Втрати , кВт		$U_{\text{к.}}$ %	$I_{\text{х.}}$ %
		ВН	НН	$P_{\text{х}}$	$P_{\text{к}}$		
ТМ – 630/10	630	10	0.4	2.1	11	5.5	1.4

Табл.9

Обґрунтування економічно доцільного режиму роботи трансформаторів.

Розрахуємо втрати реактивної потужності в трансформаторі ТМ – 630/10:

$$\Delta Q_{\text{х}} = S_{\text{ном.тр.}} * \frac{I_{\text{х}}}{100} = 630 * \frac{1.4}{100} = 8.9 \text{ квар};$$

$$\Delta Q_{\text{к}} = S_{\text{ном.тр.}} * \frac{U_{\text{к}}}{100} = 630 * \frac{5.5}{100} = 35 \text{ квар.}$$

Розрахунок втрат активної потужності трансформатора :

$$\Delta P_{\text{х.}}^{\cdot} = \Delta P_{\text{х}} + k_e * \Delta Q_{\text{х}} = 2.1 + 0.05 * 8.9 = 2.5 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\text{к.}}^{\cdot} = \Delta P_{\text{к}} + k_e * \Delta Q_{\text{к}} = 11 + 0.05 * 35 = 12.75 \text{ кВт},$$

де  $k_e$  – економічний еквівалент реактивної потужності.

Розрахунок зведених втрат потужності в одному і двох трансформаторах :

$$\Delta P_{630}^{\cdot} = \Delta P_{\text{х.}}^{\cdot} + \beta * \Delta P_{\text{к.}}^{\cdot} = 2.5 + 0.462 * 12.75 = 6.8 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{2*630}^{\cdot} = 2 * \Delta P_{\text{х.}}^{\cdot} + 2 * \beta * \Delta P_{\text{к.}}^{\cdot} = 2 * 2.5 + 2 * 0.462 * 12.75 = 16.8 \text{ кВт};$$

Техніко – економічний розрахунок встановлених трансформаторів

Втрати електроенергії трансформаторах типу ТМН – 630/10 :

$$\begin{aligned} \Delta W &= n * (P_{\text{х}} + P_{\text{к}} * K_{\text{нав}}) * 8760 = 2 * (2.1 + 11 * 0.65) * 8760 \\ &= 162100 \text{ кВт/год}, \end{aligned}$$

де  $K_{\text{нав}}$  – коефіцієнт навантаження , для споживачів I-ої категорії надійності електропостачання  $K_{\text{нав}} = 0.65$ .

Значення вартості втрат в трансформаторах :

$$B_e = C_e * \Delta W * 10^{-2};$$

де  $C_e = 220 \frac{\text{коп}}{\text{кВт*год}}$  – вартість електроенергії ;

$$B_e = C_e \cdot \Delta W \cdot 10^{-2} = 220 * 162100 * 10^{-2} = 356600 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Приведені затрати для встановлених трансформаторів :

$$Z = p \cdot k + (E_{np} + E_a) \cdot k + B_e = 0.1 * 271000 + (0.03 + 0.063) * 271000 + 356600 \\ = 408900 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

де  $k$  – одноразові капітальні вкладення ,грн ;

;  $E_{np}$  – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та обслуговування;

$E_a$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію ;

$B_e$  – вартість втрат електроенергії в трансформаторі, грн./рік.

№	Тип трансформаторів ЦТП та їх кількість	2 x ТМ – 630/10
	Складові річних витрат	Сумарно
1	Капіталовкладення з урахуванням нормативного коефіцієнта ефективності рК	27 100 грн
2	Відрахування на поточний ремонт та обслуговування $E_{np}K$	8 130 грн
3	Відрахування на амортизацію $E_aK$	17 073 грн
4	Втрати електроенергії $\Delta W$ , кВт*год	162100 кВт/год
5	Вартість втрат електроенергії $B_e$	356600 $\frac{\text{грн}}{\text{рік}}$
6	Приведені затрати	408900 $\frac{\text{грн}}{\text{рік}}$

Табл.10

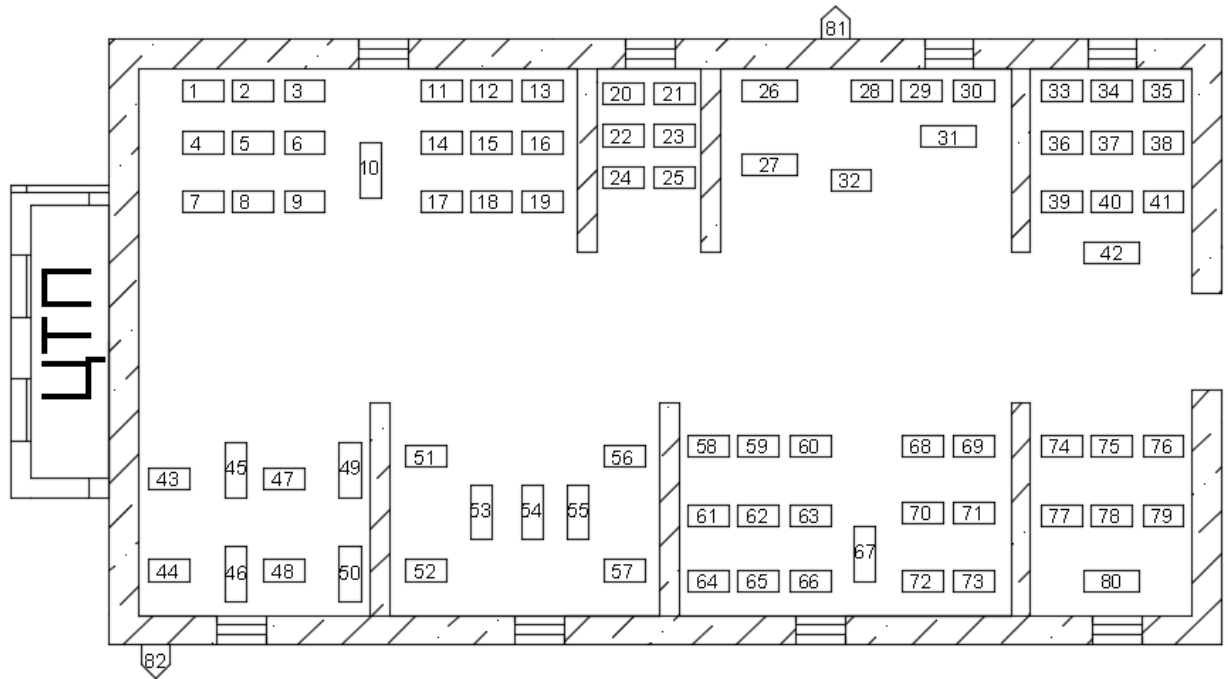


Рис.3.2.1 Розміщення 2КТПП – 630/10/0.4 У1.

### 3.3. Вибір кількості, типу та розташування розподільчих пристроїв

На схемі представлено розміщення РП, шинопроводів типу ШМА і ШРА, їх схематичне розташування, кількість і тип.

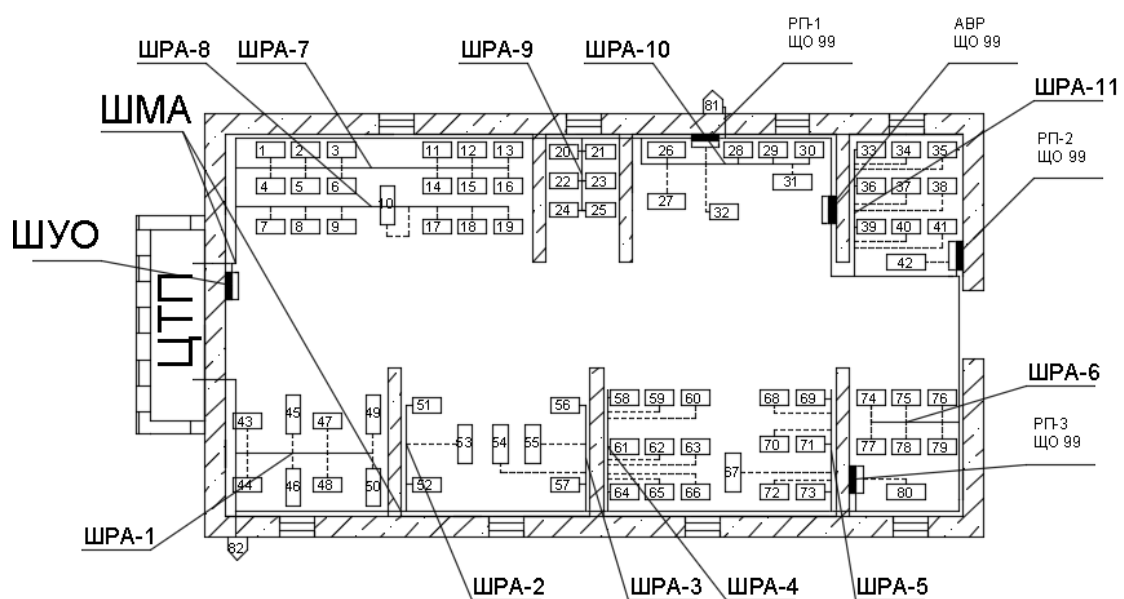


Рис.3.2.2.

В арматурному цеху встановлено наступне силове обладнання :

РП типу ЩО 99 в якості 3-шаф для живлення відхідних ліній і одна шафа з АВР без відхідних ліній ;

ШУО ( шафа управління освітленням ) в якості 1 штуки .

У всіх шафах , щитах , на шинопроводах типу ШРА встановлюються як апарати захисту автоматичні вимикачі.

**Вибір шафи управління освітленням ( ШУО) , його тип та необхідна кількість.**

Розрахуємо потужність , що споживається освітленням після повної компенсації реактивної потужності .

$$P_{p.осв.} = 18.144 \text{ кВ} * A ;$$

$$U_{ном} = 0.38 \text{ кВ.}$$

$$S_{p.осв.} = P_{p.осв.} = 18.144 \text{ кВ} * A$$

Значення струму споживаного освітленням :

$$I_{p.осв.} = \frac{S_{p.осв.}}{\sqrt{3} * U_{ном}} = \frac{18.144}{\sqrt{3} * 0.38} = 26.19 \text{ А.}$$

Для управління освітленням обираю шкаф типу ШУО – 63 - 21 – 31 УЗ.

Дані шкафа наведені в таблиці 29 нижче.

Тип шкафа	Номинальний струм шкафа , А	Кількість відхідних ліній	Тип комутаційних апаратів	Габарити , мм			Вага , кг
				Висота	Довжина	Ширина	
ШУО – 63 – 21 – 31	63	6 х ППН - 33	ПМА 4100	1400	600	300	100

УЗ							
----	--	--	--	--	--	--	--

Табл.11

### 3.4. Вибір трас та способів прокладання

#### низьковольтних кабельних ліній

В арматурному цеху використовується прокладання трас від ТП до РП і споживачів за допомогою шинопроводів типу ШМА і ШРА , прокладка в залізних трубах безпосередньо до споживачів (якщо відстань від ШРА до споживачів значна ) , по лотку з проходом через стіну в залізній трубі .

Мережа кільцевого виконання . Це зроблено з метою , щоб в разі виникнення пошкоджень шинопроводу які призведуть до перерви в електропостачанні споживачів , ці споживачі не залишися без живлення , і могли далі працювати в нормальному режимі .

До споживачів живлення приходить безпосередньо від радіального шинопроводу ШРА , з підключенням споживачів до цього шинопроводу безпосередньо через комутаційну апаратуру ( автоматичні вимикачі ) що знаходиться у відгалужувальних коробках . Як вийнято , споживачі 32, 42 і 80 отримують живлення від окремих РП . Це виконується з причин великих значень номінальних струмів , на які апарати захисту ШРА не розраховані ( тобто немає автоматичного вимикача такого номіналу ) .

Висота шинопроводу – 4.5 від підлоги , впродовж шляху залишається незмінною .

В таблицю занесемо інформацію про приєднання споживачів , їх віддаль від приєднання і номінальний струм вимикача/номінальний струм розчіплювача , кількість активних приєднань і кількість резервних ( для РП ) .

Лінія	Спосіб прокладки	Довжина траси	Номинальний струм АВ/ном.струм.розчіплювача	Кількість приєднань/резерв	Примітки
ШМА1-ШРА-1	шинопровід	10	630/400	1/0	

ШМА1-Еп82	Кабель по лотку від ШМА	1.8 2	100/25	1/0	Від ШМА до 82 через стіну в залізній трубі
ШМА1-ШРА-2	шинопровід	7.8 2	100/50	1/0	
ШМА1-ШРА-3	шинопровід	7.8 2	100/80	1/0	
ШМА1-ШРА-4	шинопровід	8.3 8	100/63	1/0	
ШМА1-ШРА-5	шинопровід	8.3 8	100/50	1/0	
ШМА1-ШРА-6	шинопровід	6.5	100/63	1/0	
ШМА1-РП-3	шинопровід	4.8	630/400	1/0	Відгалужена секція
ШМА1-РП-2	шинопровід	4	630/400	1/0	Відгалужена секція
ШМА1-ШРА-11	шинопровід	9.3	100/50	1/0	
ШМА1-АВР	шинопровід	2.5	1600/1600	1/0	В норм.режимі відключена
ШМА2-ШУО	шинопровід	4	100/32	1/0	
ШМА2-ШРА-7	шинопровід	20	630/320	1/0	
ШМА2-ШРА-8	шинопровід	20	250/200	1/0	
ШМА2-ШРА-9	шинопровід	5.3	250/100	1/0	
ШМА2-	шинопр	14.	250/125	1/0	

ШРА-10	овід	3			
ШМА2-РП-1	шинопр овід	2.5	-	1/0	
ШМА2-Еп81	Кабель по лотку від ШМА	1.8 2	100/25	1/0	Від ШМА до 81 через стіну в залізній трубі
ШМА2-АВР	шинопр овід	2.5	1600/1600	1/0	В норм.режимі не підключено
ШРА1-Еп43	кабель	8	250/160	1/0	
ШРА1-Еп44	кабель	8	250/160	1/0	
ШРА1-Еп45	кабель	8	250/80	1/0	
ШРА1-Еп46	кабель	8	250/80	1/0	
ШРА1-Еп47	кабель	8	250/160	1/0	
ШРА1-Еп48	кабель	8	250/160	1/0	
ШРА1-Еп49	кабель	8	250/80	1/0	
ШРА1-Еп50	кабель	8	250/80	1/0	
ШРА2-Еп51	кабель	6.5	100/25	1/0	
ШРА2-Еп52	кабель	6.5	100/25	1/0	
ШРА2 – Еп53	кабель	9.7 5	100/100	1/0	
ШРА3 – Еп54	кабель	12. 25	100/100	1/0	
ШРА3 – Еп55	кабель	6.5	100/100	1/0	
ШРА3 - Еп56	кабель	6.5	100/25	1/0	
ШРА3 –	кабель	6.5	100/25	1/0	

Еп57					
ШРА4 – Еп58	кабель	6.5	100/40	1/0	
ШРА4 – Еп59	кабель	10. 3	100/40	1/0	
ШРА4 – Еп60	кабель	13	100/40	1/0	
ШРА4 – Еп61	кабель	6.5	100/40	1/0	
ШРА4 – Еп62	кабель	10. 3	100/40	1/0	
ШРА4 – Еп63	кабель	13	100/40	1/0	
ШРА4 – Еп64	кабель	6.5	100/40	1/0	
ШРА4 – Еп65	кабель	10. 3	100/40	1/0	
ШРА4 – Еп66	кабель	13	100/40	1/0	
ШРА5 – Еп67	кабель	13	100/32	1/0	
ШРА5 – Еп68	кабель	10. 5	100/40	1/0	
ШРА5 – Еп69	кабель	6.5	100/40	1/0	
ШРА5 – Еп70	кабель	10. 5	100/40	1/0	
ШРА5 – Еп71	кабель	6.5	100/40	1/0	
ШРА5 – Еп72	кабель	10. 5	100/40	1/0	
ШРА5 – Еп73	кабель	6.5	100/40	1/0	
ШРА6 – Еп74	кабель	8	100/50	1/0	
ШРА6 – Еп75	кабель	8	100/50	1/0	
ШРА6 – Еп76	кабель	8	100/50	1/0	
ШРА6 – Еп77	кабель	8	100/50	1/0	

ШРА6 – Еп78	кабель	8	100/50	1/0	
ШРА6 – Еп79	кабель	8	100/50	1/0	
РП-3 – Еп80	кабель	5	1000/400	1/1	
РП -2 - Еп42	кабель	3	1000/400	1/1	
ШРА11 – Еп33	кабель	6.5	100/32	1/0	
ШРА11 – Еп34	кабель	9	100/32	1/0	
ШРА11 – Еп35	кабель	12	100/32	1/0	
ШРА11 – Еп36	кабель	6.5	100/32	1/0	
ШРА11 – Еп37	кабель	9	100/32	1/0	
ШРА11 – Еп38	кабель	12	100/32	1/0	
ШРА11 – Еп39	кабель	6.5	100/32	1/0	
ШРА11 – Еп40	кабель	9	100/32	1/0	
ШРА11 – Еп41	кабель	12	100/32	1/0	
ШРА7 – Еп1	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА7 – Еп2	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА7 – Еп3	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА7 – Еп4	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА7 – Еп5	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА7 – Еп6	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА7 – Еп11	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА7 –	кабель	6.5	250/125	1/0	

Еп12					
ШРА7 – Еп13	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА7 – Еп14	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА7 – Еп15	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА7 – Еп16	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА8 – Еп7	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА8 – Еп8	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА8 – Еп9	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА8 – Еп17	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА8 – Еп18	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА8 – Еп19	кабель	6.5	250/125	1/0	
ШРА9 – Еп20	кабель	6.5	100/63	1/0	
ШРА9 – Еп21	кабель	6.5	100/63	1/0	
ШРА9 – Еп22	кабель	6.5	100/63	1/0	
ШРА9 – Еп23	кабель	6.5	100/63	1/0	
ШРА9 – Еп24	кабель	6.5	100/63	1/0	
ШРА9 – Еп25	кабель	6.5	100/63	1/0	
ШРА10 – Еп26	кабель	6.5	100/25	1/0	
ШРА10 – Еп27	кабель	8.5	100/25	1/0	
ШРА10 – Еп28	кабель	6.5	250/160	1/0	
ШРА10 – Еп29	кабель	6.5	250/160	1/0	

ШРА10 – Еп30	кабель	6.5	250/160	1/0	
ШРА10 – Еп31	кабель	6.5	100/16	1/0	
РП – 1 – Еп32	кабель	7.5	1000/800	1/1	

Табл.12

### **3.5. Вибір марки і перерізу проводів низьковольтних кабельних ліній (шинопроводів)**

Згідно з завданням , провідниковий матеріал – алюміній . Магістральні шинопроводи будемо обирати виходячи зі номінального струму секційного вимикача на ТП ( струм розчіплювача секційного вимикача в ТП = 1600 А ) тому що , в разі виникнення аварійно ситуації , по шинопроводу проходитиме весь розрахунковий струм арматурного цеху (  $I_p = 1220.6 \text{ А}$  ).

Для розподільчого шинопроводу , номінальний його переріз вибиратиметься згідно з номінальним струмом розчіплювача АВ , який встановлений у відгалужувальній секції магістрального шинопроводу .

Для кабельних ліній номінальний переріз ліній обиратиметься згідно з номінальним струмом розчіплювача АВ який знаходиться у відгалужувальній коробці розподільчого шинопроводу.

## Знайдемо переріз алюмінієвих шин на ТП

Назва групи	$S_p, \text{кВ}^* \text{А}$	$I_p, \text{А}$	Тип шини	Площа поперечного перерізу	$I_{\text{доп. шини}}$	К-сть смуг на фазу	Кількість шин
ТП	84 5.66	1220.6	Алюмінієва, прямокутна	100 x 6	1425	1	4

Табл.13

Поперечний переріз провідників ( кабелів , шинопроводів ) , визначають за наступними умовами :

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{прок}}};$$

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{k_3 * I_3}{K_{\text{прок}}},$$

де  $K_{\text{прок}}$  – коефіцієнт прокладки ;

$k_3$  - кратність струму для провідника відносно струму АЗ ;

$I_3$  – номінальний струм розчеплювача автоматичного вимикача , або номінальний струм плавкої вставки для плавкого запобіжника .

Для прикладу , оберемо й перевіримо переріз провідника для шинопроводу ШМА .

Перевірка вибраного шинопроводу :

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{прок}}} = \frac{1220.6}{1} = 1220.6 \text{ А}$$

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{k_3 * I_3}{K_{\text{прок}}} = \frac{1.0 * 1220.6}{1} = 1220.6 \text{ A},$$

Обираю шинопровід типу ШМА – 76 УЗ.

$$I_{\text{пр}} = 1600 \text{ A} > \frac{I_p}{K_{\text{прок}}} = 1220.6 \text{ A}$$

$$I_{\text{пр}} = 1600 \text{ A} > \frac{k_3 * I_3}{K_{\text{прок}}} = 1220.6 \text{ A},$$

Для кабельних ліній , що будуть прокладатися в бетонній підлозі чи при переході кабельної лінії через стіну ( споживачі 81 і 82 ) , будемо розраховувати діаметр труби за наступною формулою :

Розрахунок будемо виконувати прийнявши групу складності – В.

$$D \geq 1.35 * (d * n_{\text{пр}}),$$

D – внутрішній діаметр труби , мм ;

d – зовнішній діаметр кабеля ;

$n_{\text{пр}}$  – кількість кабелів у трубі .

Всі вищевизначенні величини заносимо в таблицю.

Ліній	$I_p$ , А	$I_3$ , А	$I_{\text{до}}$ , А	Тип, марка	Переріз, мм <sup>2</sup>	Кількість прокладених в трубі	Умовний діаметр труби, $d_{\text{ум}}$
ШМА1-ШРА1	320.2	400	400	ШРА-73	50х5	-	-
ШМА1-Еп82	22.55	25	27	АПВ	3	5	32
ШМА1-	44.92	50	250	ШРА-73	35х5	-	-

ШПА-2							
Ш МА1- ШПА3	6 6.41	8 0	2 50	ШП А-73	35x5	-	-
Ш МА1- ШПА4	5 3.71	6 3	2 50	ШП А-73	35x5	-	-
Ш МА1- ШПА5	4 2.93	5 0	2 50	ШП А-73	35x5	-	-
Ш МА1- ШПА6	5 3.64	6 3	2 50	ШП А-73	35x5	-	-
Ш МА1 -П1-3	3 68.8 4	4 00	4 00	ШП А-73	50 x 5	-	-
Ш МА1- П1-2	3 68.8 4	4 00	4 00	ШП А-73	50 x 5	-	-
Ш МА1- ШПА1 1	4 1.1	5 0	2 50	ШП А-73	35x5	-	-
Ш МА1- АВР	1 220. 6	1 600	1 600	Ш МА- 63У3	90x8	-	-
Ш МА2- ШУО	2 6.19	3 2	2 50	ШП А-73	35x5	-	-
Ш МА2- ШПА7	2 91.7 1	3 20	4 00	ШП А-73	50x5	-	-
Ш МА2- ШПА8	1 77.8	2 00	2 50	ШП А-73	35x5	-	-
Ш МА2-	8 9.5	1 00	2 50	ШП А-73	35x5	-	-

ШРА9							
Ш МА2- ШРА1 0	1 15.1	1 25	2 50	ШП А-73	35x5	-	-
Ш МА2- РП1	6 93.9 3	-	1 600	Ш МА- 63У3	90x8	-	-
Ш МА2- ЕП81	2 2.55	2 5	2 7	АП В	3	5	32
Ш МА2- АВР	1 220. 6	1 600	1 600	Ш МА- 63У3	90x8	-	-
ШП А1- ЕП43	1 58.7 7	1 60	1 65	АП В	50	5	100
ШП А1- ЕП44	1 58.7 7	1 60	1 65	АП В	50	5	100
ШП А1- ЕП45	6 4.95	8 0	1 05	АП В	25	5	70
ШП А1- ЕП46	6 4.95	8 0	1 05	АП В	25	5	70
ШП А1- ЕП47	1 58.7 7	1 60	1 65	АП В	50	5	100
ШП А1- ЕП48	1 58.7 7	1 60	1 65	АП В	50	5	100
ШП А1- ЕП49	6 4.95	8 0	1 05	АП В	25	5	70
ШП А1- ЕП50	6 4.95	8 0	1 05	АП В	25	5	70

III A2- EP51	1 8.04	2 5	2 7	АП B	3	5	32
III A2- EP52	1 8.04	2 5	2 7	АП B	3	5	32
III A2- EP53	9 4.4	1 00	1 05	АП B	25	5	70
III A3- EP54	9 4.4	1 00	1 05	АП B	25	5	70
III A3- EP55	9 4.4	1 00	1 05	АП B	25	5	70
III A3- EP56	1 8.04	2 5	2 7	АП B	3	5	32
III A3- EP57	1 8.04	2 5	2 7	АП B	3	5	32
III A4- EP58	3 2.48	4 0	4 6	АП B	8	5	40
III A4- EP59	3 2.48	4 0	4 6	АП B	8	5	40
III A4- EP60	3 2.48	4 0	4 6	АП B	8	5	40
III A4- EP61	3 2.48	4 0	4 6	АП B	8	5	40
III A4- EP62	3 2.48	4 0	4 6	АП B	8	5	40
III A4-	3 2.48	4 0	4 6	АП B	8	5	40

ЕП63							
ШР А4- ЕП64	3 2.48	4 0	4 6	АП В	8	5	40
ШР А4- ЕП65	3 2.48	4 0	4 6	АП В	8	5	40
ШР А4- ЕП66	3 2.48	4 0	4 6	АП В	8	5	40
ШР А5- ЕП67	2 5.26	3 2	3 2	АП В	4	5	32
ШР А5- ЕП68	3 2.48	4 0	4 6	АП В	8	5	40
ШР А5- ЕП69	3 2.48	4 0	4 6	АП В	8	5	40
ШР А5- ЕП70	3 2.48	4 0	4 6	АП В	8	5	40
ШР А5- ЕП71	3 2.48	4 0	4 6	АП В	8	5	40
ШР А5- ЕП72	3 2.48	4 0	4 6	АП В	8	5	40
ШР А5- ЕП73	3 2.48	4 0	4 6	АП В	8	5	40
ШР А6- ЕП74	4 3.3	5 0	6 0	АП В	10	5	50
ШР А6- ЕП75	4 3.3	5 0	6 0	АП В	10	5	50
ШР	4	5	6	АП	10	5	50

A6- ЕП76	3.3	0	0	В			
ШР A6- ЕП77	4 3.3	5 0	6 0	АП В	10	5	50
ШР A6- ЕП78	4 3.3	5 0	6 0	АП В	10	5	50
ШР A6- ЕП79	4 3.3	5 0	6 0	АП В	10	5	50
РП -3- ЕП80	3 60.8 4	4 00	4 65	АП В	240	5	150
РП -2- ЕП42	3 60.8 4	4 00	4 65	АП В	240	5	150
ШР A11- ЕП33	1 8.04	2 5	2 7	АП В	3	5	32
ШР A11- ЕП34	1 8.04	2 5	2 7	АП В	3	5	32
ШР A11- ЕП35	1 8.04	2 5	2 7	АП В	3	5	32
ШР A11- ЕП36	1 8.04	2 5	2 7	АП В	3	5	32
ШР A11- ЕП37	1 8.04	2 5	2 7	АП В	3	5	32
ШР A11- ЕП38	1 8.04	2 5	2 7	АП В	3	5	32
ШР A11- ЕП39	1 8.04	2 5	2 7	АП В	3	5	32

ШР А11- ЕП40	1 8.04	2 5	2 7	АП В	3	5	32
ШР А11- ЕП41	1 8.04	2 5	2 7	АП В	3	5	32
ШР А7- ЕП1	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А7- ЕП2	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А7- ЕП3	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А7- ЕП4	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А7- ЕП5	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А7- ЕП6	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А7- ЕП11	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А7- ЕП12	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А7- ЕП13	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А7- ЕП14	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А7-	1 11.0	1 25	1 30	АП В	35	5	80

ЕП15	3						
ШР А7- ЕП16	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А8- ЕП7	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А8- ЕП8	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А8- ЕП9	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А8- ЕП17	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А8- ЕП18	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А8- ЕП19	1 11.0 3	1 25	1 30	АП В	35	5	80
ШР А9- ЕП20	5 5.5	6 3	7 5	АП В	16	5	50
ШР А9- ЕП21	5 5.5	6 3	7 5	АП В	16	5	50
ШР А9- ЕП22	5 5.5	6 3	7 5	АП В	16	5	50
ШР А9- ЕП23	5 5.5	6 3	7 5	АП В	16	5	50
ШР А9- ЕП24	5 5.5	6 3	7 5	АП В	16	5	50
ШР	5	6	7	АП	16	5	50

А9- ЕП25	5.5	3	5	В			
ШР А10- ЕП26	1 6.65	2 5	2 7	АП В	3	5	32
ШР А10- ЕП27	1 6.65	2 5	2 7	АП В	3	5	32
ШР А10- ЕП28	1 44.3 4	1 60	1 65	АП В	50	5	100
ШР А10- ЕП29	1 44.3 4	1 60	1 65	АП В	50	5	100
ШР А10- ЕП30	1 44.3 4	1 60	1 65	АП В	50	5	100
ШР А10- ЕП31	1 1.1	1 6	2 4	АП В	2.5	5	32
РП -1- ЕП32	6 93.9 3	8 00	9 40	АС Шв	400	5	5 x 80

Табл.14

Пояснення до таблиці.

Шинопровід ШМА – 73 УЗ ,виконаний кільцевою мережею, по всій довжині залишається з незмінними перерізом.

До електропримачів від РП прокладаються 5 одножильних кабелів в одній трубі ( 3 фази , нейтральний провідник і захисне заземлення ) .

Від РП-1 до Еп32 прокладений кабель типу 5 х АСШв – 1 х 400 . Так як в максимально можливу за діаметром ( 150 мм) водогазопровідну трубу всі 5 жил не пройдуть , тому обираю варіант для кожної жили окремо прокладати трубу діаметром 80 мм .

## **4 .Розрахунок струмів короткого замикання та вибір електричних апаратів**

Короткі замикання (КЗ) в електричних системах виникають при порушенні ізоляції струмоведучих елементів електричних установок в результаті їх природного старіння (зносу), своєчасно не виявленого шляхом профілактичних робіт, або яких-небудь пошкоджень при експлуатації.

Механічне пошкодження ізоляції можливі, наприклад, при пошкодженні силових кабелів під час розкопок траншеї, при падінні кріплень або обриві проводів повітряних ліній електропередач.

Можливі пошкодження ліній електропередач при перенапругах, наприклад, при прямих ударах блискавки в проводи повітряних ліній або відкритих розподільчих пристроїв.

До КЗ часто призводять помилкові дії обслуговуючого персоналу в результаті не виконаних правил технічної експлуатації, експлуатаційних інструкцій, правил технічної безпеки.

КЗ виникають також при перекритті голих струмоведучих частин тваринами і птахами.

КЗ супроводжується протіканням в електродній струму КЗ, значно більший між струм нормального режиму роботи пошкодженого елемента системи (генератора,

трансформатора, лінії передачі), а також зниженням напруги в електролінії і тим більшим, чим ближче КЗ до збірних шин електроустановки.

#### 4.1. Розрахунок струмів короткого замикання у низьковольтній розподільчій мережі

Розраховувати значення струмів короткого замикання будемо в наступних елементах системи електропостачання цеху :

точка КЗ – 1 – шини ТП ;

точка КЗ – 2 – на початку шинопроводу ШМА – 73 УЗ ( так я на початку лінія має менший опір і більше значення струму КЗ ) ;

точка КЗ – 3 – на найбільш завантаженому шинопроводі типу ШРА – 73 ;

точка КЗ – 4 – найбільш завантажене РП ;

точка КЗ – 5 – найбільш завантажений ЕП що живиться від ШРА – 73 ;

точка КЗ – 6 – найбільш завантажений ЕП що живиться від РП.

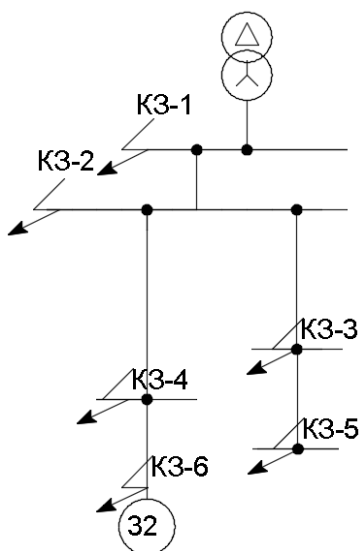


Рис.4.1.1

Схема заміщення опорів для розрахунку струмів КЗ.

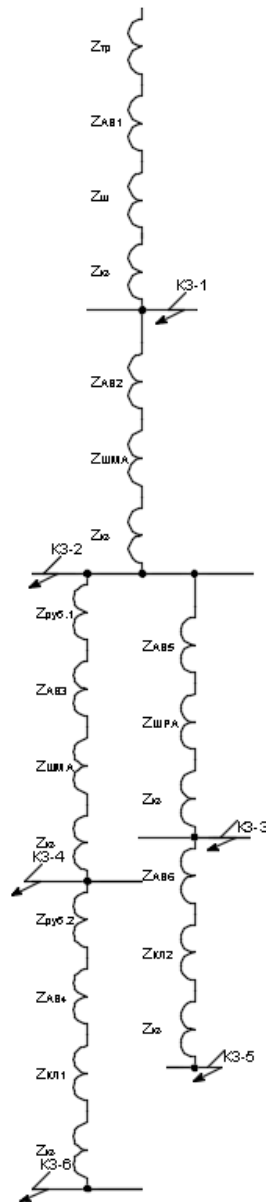


Рис.4.1.2 Схема заміщення для розрахунку струмів КЗ

$Z_{ТР}$  - опір трансформатора ;

$Z_{АВ}$  – опір контактів автоматичного вимикача ;

$Z_{ш}$  – опір шин на підстанції ;

$Z_{кз}$  – опір контактних з'єднань ;

$Z_{руб}$  – опір контактів рубильника ;

$Z_{\text{кл}}$  – опір кабельної лінії ;

$Z_{\text{ШМА}}$  – опір шинопроводу ШМА ;

$Z_{\text{ШРА}}$  – опір шинопроводу ШРА ;

Виконаємо розрахунок для точки КЗ – 1 .

Прийmemo що опір системи  $x_c = 0$ .

Точка КЗ - 1.

На шляху до точки К1 розташована сума опорів :

$$Z_{\text{ТР}} + Z_{\text{АВ}} + Z_{\text{КЗ}} + Z_{\text{Ш}} .$$

Розрахуємо опори цехового трансформатора за наступними формулами :

$$r_{\text{Т}} = \Delta P_{\text{к}} * \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.ТР}}^2} = 11 * \frac{0.38^2}{630^2} = 4 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{Т}} = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{к\%}}}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{\text{к}}}{S_{\text{НОМ.ТР}}}\right)^2} * \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.ТР}}} * 10^6 = \sqrt{\left(\frac{5.5}{100}\right)^2 - \left(\frac{11}{630}\right)^2} * \frac{0.38^2}{630} * 10^6 \\ = 11.9 \text{ мОм} .$$

Опір автоматичного вимикача :

$$r_{\text{а}} = r_{\text{розщ}} + r_{\text{п.к.}} = 0.045 + 0.05 = 0.095 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{а}} = x_{\text{розщ}} = 0.45 \text{ мОм}.$$

Так як шини трансформатора КТПП виконанні з алюмінію прямокутного перерізу розміром 100 х 6 то значення опорів при цьому дорівнюватимуть :

$$r_0 = 0.036 \text{ мОм},$$

$$x_0 = 0.09 \text{ мОм}.$$

$$r_{\text{ш}} = r_0 * l = 0.036 * 2.5 = 0.09 \text{ мОм}.$$

$$x_{\text{ш}} = x_0 * l = 0.09 * 2.5 = 0.23 \text{ мОм}.$$

Опір контактного з'єднання для алюмінієвих провідників приймаємо  $r_{кз} = 22 \text{ мОм}$ , а  $x_{кз} \approx 0 \text{ мОм}$ .

Розрахуємо сумарні опори до точки КЗ - 1 :

$$r_{\Sigma \text{кз1}} = r_{\text{Т}} + r_{\text{а}} + r_{\text{ш}} + r_{\text{кз}} = 4 + 0.095 + 0.09 + 22 = 26.2 \text{ мОм};$$

$$x_{\Sigma \text{кз1}} = x_{\text{Т}} + x_{\text{а}} + x_{\text{ш}} + x_{\text{кз}} = 11.9 + 0.05 + 0.23 + 0 = 12.2 \text{ мОм}.$$

Повний опір :

$$Z_{\text{к}} = \sqrt{r_{\Sigma \text{кз1}}^2 + x_{\Sigma \text{кз1}}^2} = \sqrt{26.2^2 + 12.2^2} = 28.9 \text{ мОм}.$$

Розрахуємо значення трифазного струму в точці К1 :

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} * Z_{\text{к}}} = \frac{380}{\sqrt{3} * 28.9} = 7.6 \text{ кА}.$$

Розрахуємо значення ударного струму :

$$T_{\text{а}} = \frac{x_{\text{к}}}{\omega * r_{\text{к}}} = \frac{8.06}{3.14 * 25.11} = 0.001 \text{ с},$$

$$K_{\text{уд}} = 1 + e^{-\frac{0.01}{0.001}} = 1,$$

$$i_{\text{уд}} = K_{\text{уд}} * \sqrt{2} * I_{\text{к}}^{(3)} = 1 * \sqrt{2} * 8.74 = 12.36 \text{ кА}.$$

$\tau_{\text{пв}}$ - розрахунковий час початку розмикання струму КЗ АВ :

$$\tau_{\text{р}} = \tau_{\text{р.з. min}} + \tau_{\text{о.р.}} = 0.01 + 0.02 = 0.03 \text{ с},$$

$\tau_{\text{о.р.}}$  – час спрацювання автоматичного вимикача .

Визначення теплового імпульсу :

$$W_{\text{к}} = (I_{\text{к}}^{(3)})^2 * (\tau_{\text{к}} + T_{\text{а}}) = 7.6^2 * (0.39 + 0.001) = 22.6 \text{ кА}^2 * \text{с}.$$

Струм однофазного КЗ визначають за наступною формулою :

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} * (Z_{\text{п}} + \frac{Z_{\text{Т}}^{(1)}}{3})};$$

де  $Z_{\text{п}} = \sqrt{r_{\text{п}}^2 + x_{\text{п}}^2}$  – опір петлі фаза – нуль .

Активний опір петлі фаза – нуль :

$$r_{\text{п}} = r_{\text{Т}} + r_{\text{а}} + r_{\text{ш}} + r_{\text{кз}} + r_{\text{ш0}} = 4 + 0.095 + 0.09 + 22 + 0.09 = 27.1 \text{ мОм},$$

$r_{\text{ш0}}$  – опір нульової шини.

Індуктивний опір петлі фаза – нуль :

$$x_{\text{п}} = 2 * x_{\text{а}} + 2 * x_{\text{ш}} = 2 * 0.05 + 2 * 0.23 = 0.56 \text{ мОм}.$$

$Z_{\text{Т}}^{(1)}$  – табличне значення таблиці ,  $Z_{\text{Т1}} = 27 \text{ мОм}$ .

Повний опір петлі фаза – нуль :

$$Z_{\text{п}} = \sqrt{r_{\text{п}}^2 + x_{\text{п}}^2} = \sqrt{27.1^2 + 0.56^2} = 27.1 \text{ мОм}.$$

Струм однофазного КЗ в точці К1 :

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} * (Z_{\text{п}} + \frac{Z_{\text{Т}}^{(1)}}{3})} = \frac{380}{\sqrt{3} * (27.1 + \frac{27}{3})} = 6.1 \text{ кА}.$$

Занесемо отримані значення в таблицю.

Розрахункова точка КЗ	$Z^{(3)}$ , мОм	$Z^{(1)}$ , мОм	$I_{\text{кз}}^{(3)}$ , кА	$I^{(1)}$ , кА	Т а, с	$i_{\text{уд}}$ , кА	$K_{\text{уд}}$	$B_{\text{к}}$ , кА * с
К1	28.	27.	7.6	6.	0.001	1	1	2
	9	1		1		2.36		2.6
К2	47.	68.	4.62	2.	0.001	6	1	8
	48	33		84		.53		.35
К3	71.	11	3.06	1.	0.001	4	1	3
	6	6.6		75		.33		.67
К4	69.	11	3.15	1.	0.001	4	1	1
	76	2.98		8		.45		.58

К5	99. 56	17 2.55	2.2	1. 21	0. 001	3 .11	1	1 .9
К6	92. 71	15 9.38	2.37	1. 3	0. 001	3 .35	1	1 .49

Табл.13

#### 4.2. Вибір автоматичних вимикачів і рубильників в РП - 0,38 кВ і розподільчих щитах

Так як в РП і відгалужувальних секція ШМА і ШРА встановлені захисні комутаційні апарати , то перевіримо їх за номінальним струмом , за струмом короткого замикання ( термічною і динамічною стійкістю ударного струму ).

Перевірку будемо виконувати за наступними умовами :

$$1) U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.м}};$$

$$2) I_{\text{ном.розч.}} \geq I_{\text{ном}};$$

$$3) I_{\text{ном.ав.}} \geq U_{\text{ном.розч.}};$$

$$4) I_{\text{спрац.}} \geq 1.25 * I_{\text{пик}};$$

$$5) I_{\text{к}}^{(1)} \geq 3 * I_{\text{спрац.}};$$

$$6) I_{\text{к}}^{(3)} \geq I_{\text{мах.вимик.}}$$

$$7) i_{\text{ел.дин.}} \geq i_{\text{уд.}}$$

Перевіримо АВ з номінальним струмом 630 А для ШМА в відгалужувальній секції .

ВА5739-36		
$U_{\text{ном.ав}} = 660 \text{ В}$	=	$U_{\text{ном.м}} = 380 \text{ В}$
$I_{\text{ном.розч.}} = 400 \text{ А}$	>	$I_{\text{ном}} = 320.2 \text{ А.}$
$I_{\text{ном.ав.}} = 630 \text{ А}$	>	$I_{\text{ном.розч.}} = 400 \text{ А}$
$I_{\text{спрац.}} = 2000 \text{ А}$	>	$1.25 * 1323.1 = 1654 \text{ А}$
$I_{\text{к}}^{(1)} = 2.84 \text{ кА}$	>	$3 * 2000 = 6 \text{ кА}$
$I_{\text{к}}^{(3)} = 4.62 \text{ кА}$	>	$I_{\text{мах.вимик.}} = 18 \text{ кА}$

$i_{\text{ел.дин.}} = 7 \text{ кА.}$	>	$i_{\text{уд.}} = 6.53 \text{ кА}$
--------------------------------------	---	------------------------------------

Місце встановлення	Номинальний струм АВ	Номинальний струм розчіплювача	Розрахунковий струм	Тип та марка
ШМА-73У3	630	400	693.93	ВА5739-36
	100	25	22.55	ВА5731-36
	100	50	44.95	ВА5731-36
	100	80	66.41	ВА5731-36
	100	63	53.64	ВА5731-36
	100	32	26.19	ВА5731-36
	630	320	291.71	ВА5739-36
	250	100	89.5	ВА5735-36
	250	125	115.1	ВА5735-36
	250	200	177.8	ВА5735-36
ШРА - 73	250	160	158.77	ВА5735-36
	250	80	64.95	ВА5735-36
	250	125	111.03	ВА5735-36
	100	100	94.37	ВА5731-36
	100	50	43.3	ВА5731-36
	100	63	55.5	ВА5731-36
	100	32	25.26	ВА5731-36
	100	25	18.04	ВА5731-36
	100	16	11.1	ВА5731-36
РП - 1	1000	800	693.93	ВА5541-36
РП - 2	1000	400	368.84	ВА5541-36
РП - 3	1000	400	368.84	ВА5541-36

Табл.15

Згідно з цією таблицею ,ми обрали для встановлення та перевірили автоматичні вимикачі .

Так як на РП в нас встановлюються рубильники , тому оберемо їх номінальний струм і перевіримо на стійкість до струму короткого замикання.

Умови вибору рубильників :

$$1) U_{\text{ном.р.}} \geq U_{\text{ном.м}}$$

$$2) I_{\text{ном.р.}} \geq I_{\text{ном.л.}}$$

$$3) i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$$

В розподільчих пунктах встановлені рубильники типу РЕ19 – 41 і РЕ19 – 39.

Р П	Тип рубильник а	$I_{\text{ном.р.}}$ , А	$U_{\text{ном.р.}}$ , кВ	$U_{\text{ном.м.}}$ , кВ	$I_{\text{ном.л.}}$ , А	$i_{\text{дин}}$ , кА	$i_{\text{уд}}$ , кА
Р П - 1	РЕ19 - 41	1000	1000	380	693. 93	18	4.4 5
Р П - 2	РЕ19 - 41	1000	1000	380	368. 84	18	4.4 5
Р П - 3	РЕ19 - 41	1000	1000	380	368. 84	18	4.4 5

Табл.16

В арматурному цеху встановлено два вентилятора по 10 кВт потужності кожний . Для їх комутації оберемо й перевіримо магнітні пускачі .

$$U_{\text{ном.пуск.}} \geq U_{\text{мережі}}$$

$$I_{\text{ном.пуск.}} \geq I_{\text{ном.дв.}}$$

$$P_{\text{ном.пуск.}} \geq P_{\text{ном.дв.}}$$

$$I_{\text{РТ}} > I_{\text{ном.дв.}}$$

Встановлювати і захищати вентилятори буду за допомогою пускачів типу ПММ і теплових реле серії РТ2М.

Обираємо за умова КМ і теплове реле .

Параметри пускача	Умови	Параметри двигуна
$U_{\text{ном.пуск.}} = 380 \text{ В}$	=	$U_{\text{двиг.}} = 380 \text{ В}$
$I_{\text{ном.пуск.}} = 25 \text{ А}$	>	$I_{\text{ном.дв.}} = 22.55 \text{ А}$
$P_{\text{ном.пуск.}} = 11 \text{ кВт}$	>	$P_{\text{ном.дв.}} = 10 \text{ кВт}$
$I_{\text{рТ}} = (18 \div 28) \text{ А}$	=>	$I_{\text{ном.дв.}} = 22.55 \text{ А}$

Табл.17

Для комутації і захисту вентиляторів потужністю по 10 кВт кожен , я обираю ПММ – 2/25 з тепловим реле

### 4.3. Вибір електричних апаратів РП-10 кВ

Електричні апарати напругою 10 кВ слід обирати виходячи з значення струму , що протікає в максимально режимі ( при обриві одієї з кабельних чи повітряних ліній ) , з значення струму короткого замикання на шинах РП ВН ЦТП , величини ударного струму і його термічного впливу .

З електричних апаратів на напругу 10 кВ ми обираємо наступні :

високовольтний вимикач ( в коло лінії живлення , секційний вимикача , вимикач для захисту ліній до асинхронних двигунів на напругу 10 кВ );

роз'єднувачі .

Для вибору апаратури , розрахуємо значення струму на стороні 10 кВ.

Розрахуємо значення втрат в трансформаторі :

$$\Delta Q_{\text{тр}} = \Delta Q_x + \Delta Q_k = 14 + 55 = 69 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_x + \Delta P_k = 2.8 + 13.75 = 16.55 \text{ кВт.}$$

До шин РП ВН ЦТП підключено 4 АД на напругу 10 кВ , з потужністю кожного по 1250 кВт.

Тип	Напруга	Кількість	Потужність	Коефіцієнт т завантаження	Відстань від РП ВН
АД	10 кВ	4	1250 кВт	0.5	200 м

Табл.18

Розрахуємо реактивну потужність споживану асинхронним двигуном :

$$Q_{АД} = P_{сД} * tg\varphi = 1250 * 0.484 = 605 \text{ квар,}$$

при  $\cos\varphi = 0.9$  .

Розрахуємо повну потужність АД :

$$S_{АД} = \sqrt{P_{АД}^2 + Q_{АД}^2} = \sqrt{1250^2 + 605^2} = 1388.7 \text{ кВ * А}$$

$$n * S_{АД} = 4 * 1388.7 = 5554.8 \text{ кВ * А.}$$

Розрахуємо повну споживану потужність на шинах ЦТП РП ВН 6 кВ :

$$S_{р.10кВ} = \sqrt{(P_{осв} + P_{р.с.} + n * \Delta P_{тр} + n * P_{АД})^2 + (Q_{осв} + Q_{р.с.} + n * \Delta Q_{тр} - Q_{ку0.4} + n * Q_{АД})^2} =$$

$$\sqrt{(18.14 + 563.4 + 2 * 16.55 + 4 * 1250)^2 + (8.78 + 603.3 + 2 * 69 - 650 + 4 * 605)^2} = 6154.3 \text{ кВ * А.}$$

Врахуємо те , що АД праюють із завантаженням 50 % :

$$S_{АД} = \sqrt{0.5 * P_{АД}^2 + 0.5 * Q_{АД}^2} = \sqrt{0.5 * 1250^2 + 0.5 * 605^2} = 981.97 \text{ кВ * А}$$

$$S_{р.10кВ} = \sqrt{(P_{осв} + P_{р.с.} + n * \Delta P_{тр} + 0.5 * n * P_{АД})^2 + (Q_{осв} + Q_{р.с.} + n * \Delta Q_{тр} - Q_{ку0.4} + 0.5 * n * Q_{АД})^2}$$

$$= \sqrt{(18.14 + 563.4 + 2 * 16.55 + 0.5 * 4 * 1250)^2 + (8.78 + 603.3 + 2 * 69 - 650 + 0.5 * 4 * 605)^2}$$

$$= 3379 \text{ кВ * А.}$$

Розрахуємо площу поперечного перерізу КЛЕП для АД.

Струм нормального режиму :

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{АД}}}{n * \sqrt{3} * U_{\text{ном}}} = \frac{981.97}{2 * \sqrt{3} * 10} = 28.35 \text{ А.}$$

Струм максимального режиму :

$$I_{\text{макс}} = \frac{S_{\text{АД}}}{(n - 1) * \sqrt{3} * U_{\text{ном}}} = \frac{981.97}{(2 - 1) * \sqrt{3} * 10} = 56.7 \text{ А.}$$

Економічно - вигідний переріз КЛЕП :

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{норм}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{28.35}{1.4} = 20.25 \text{ мм}^2,$$

де  $j_{\text{ек}}$  – економічно вигідна густина струму .

Обираємо кабель марки АСБ ( алюмінієвий , в свинцевій оболонці з бронєю) , АСБ – 3 х 25 , з  $I_{\text{доп}} = 90 \text{ А}$  для 10 кВ.

Урахування поправки на температуру навколишнього середовища :

$$I_{\text{доп}}' = I_{\text{доп}} * \sqrt{\frac{t_{\text{доп}} - t_{\text{ф.с.}}}{t_{\text{доп}} - t_{\text{опт.}}}} = 90 * \sqrt{\frac{60 - 20}{60 - 15}} = 84.85 \text{ А,}$$

де  $t_{\text{доп}}$  – тривалодопустима максимальна ;

$t_{\text{опт}}$  – оптимальна температура навколишнього середовища .

Отже,  $I_{\text{доп}}' = 84.85 \text{ А} > I_{\text{макс.}} = 56.7 \text{ А}$  , то приймаємо кабель марки АСБ – 3 х 25.

Розрахуємо значення струму для кабельної лінії , що живить секцію ТП РП ВН і 2 АД в нормальному режимі , і максимальному режимі , коли КЛЕП живить 4 АД і 2 ТМ – 630/10.

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{р.10кВ}}}{n * \sqrt{3} * U_{\text{ном}}} = \frac{3379}{2 * \sqrt{3} * 10} = 97.54 \text{ А.}$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{S_{\text{р.10кВ}}}{(n - 1) * \sqrt{3} * U_{\text{ном}}} = \frac{3379}{(2 - 1) * \sqrt{3} * 10} = 195.09 \text{ А.}$$

Економічно вигідну площу перерізу КЛЕП :

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{норм}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{97.54}{1.4} = 69.67 \text{ мм}^2,$$

Обираємо кабель марки АСБ – 3 х 95 , з  $I_{\text{доп}} = 205 \text{ А}$  для 10 кВ.

Урахування поправки на температуру навколишнього середовища :

$$I_{\text{доп}}' = I_{\text{доп}} * \sqrt{\frac{t_{\text{доп}} - t_{\text{ф.с.}}}{t_{\text{доп}} - t_{\text{опт.}}}} = 205 * \sqrt{\frac{60 - 20}{60 - 15}} = 193.28 \text{ А.}$$

Оскільки маємо  $I_{\text{доп}}' = 193.28 \text{ А} < I_{\text{макс.}} = 195.09 \text{ А}$  , то обираємо наступний по номінальному перерізу алюмінієвий кабель АСБ – 3 х 120 з  $I_{\text{доп}} = 240 \text{ А}$  для 10 кВ.

Урахування поправки на температуру навколишнього середовища :

$$I_{\text{доп}}' = I_{\text{доп}} * \sqrt{\frac{t_{\text{доп}} - t_{\text{ф.с.}}}{t_{\text{доп}} - t_{\text{опт.}}}} = 240 * \sqrt{\frac{60 - 20}{60 - 15}} = 226.27 \text{ А,}$$

Оскільки маємо  $I_{\text{доп}}' = 226.27 \text{ А} > I_{\text{макс.}} = 195.09 \text{ А}$  , то обираємо алюмінієвий кабель АСБ – 3 х 120 з  $I_{\text{доп}} = 295 \text{ А}$  для 10 кВ.

Виберемо й перевіримо високовольтну комутаційну апаратуру .

$$I_{\text{кз}} = 10.2 \text{ кА}$$

$\tau_{\text{пв}}$ - розрахунковий час початку розмикання струму КЗ вимикачем :

$$\tau_{\text{пв}} = \tau_{\text{р.з.min}} + \tau_{\text{о.р.}} = 0.01 + 0.03 = 0.04 \text{ с.}$$

Аперіодична складова струму короткого замикання :

$$i_a = \sqrt{2} * I_{кз} * e^{-\frac{\tau_{пв}}{T_a}} = \sqrt{2} * 10.2 * e^{-\frac{0.04}{0.022}} = 2.34 \text{ кА}$$

$T_a$  – стала часу , для збірних шин 6 .. 10 кВ  $T_a = 0.02 \dots 0.05 \text{ с}$ .

Ударний коефіцієнт :

$$K_{уд} = 1 + e^{-\frac{-0.01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0.01}{0.022}} = 1.63 .$$

Величина ударного струму :

$$i_{уд} = \sqrt{2} * I_{кз} * K_{уд} = \sqrt{2} * 10.2 * 1.64 = 23.5 \text{ кА}.$$

Тепловий імпульс струму КЗ :

$$B_k = I_{кз}^2 * (\tau_k + T_a) = 10.2^2 * (0.39 + 0.022) = 42.87 \text{ кА}^2 * \text{с},$$

$\tau_k$  – тривалість перебігу процесу короткого замикання , с .

Розрахуємо значення мінімального перерізу алюмінієвих шин згідно з тепловим імпульсом :

$$S_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{42.87 * 10^6}}{90} = 690.17 \text{ мм}^2$$

де  $C$  – для алюмінієвих шин .

Для шин РП ВН ЦТП обираю алюмінієві шини прямокутного перерізу розміром 100 x 8 ( 800 мм<sup>2</sup>) з  $I_{доп} = 1625 \text{ А}$  .

Розрахуємо обрані кабелі на втрату напруги в лінії. Для АД відстань до РП ВН складає 200 м , такою ж приймемо відстань лінії , що живить РП ВН .

АСБ – 3 x 25 :

$$r_0 = 1.25 \text{ Ом/км};$$

$$x_0 = 0.099 \text{ Ом/км}.$$

$$\begin{aligned}\Delta U &= \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (\cos \varphi \cdot r_0 + \sin \varphi \cdot x_0) \\ &= \sqrt{3} * 0.2 * 28.35 * (0.9 * 1.25 + 0.436 * 0.099) = 11.47 \text{ В.}\end{aligned}$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} * 100\% = \frac{11.47}{10000} * 100 = 0.11\% < 5\%, \text{ що допускається.}$$

Втрати напруги в лінії АСБ – 3 х 25 при максимальному струмі :

$$\begin{aligned}\Delta U &= \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (\cos \varphi \cdot r_0 + \sin \varphi \cdot x_0) \\ &= \sqrt{3} * 0.2 * 56.7 * (0.9 * 1.25 + 0.436 * 0.099) = 22.94 \text{ В.}\end{aligned}$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} * 100\% = \frac{24.28}{10000} * 100 = 0.22\% < 5\%, \text{ що допускається.}$$

СБ – 3 х 120 :

$$r_0 = 0.261 \text{ Ом/км};$$

$$x_0 = 0.107 \text{ Ом/км}.$$

Втрати напруги в кабелі АСБ – 3 х 120 в режимі нормального навантаження :

$$\begin{aligned}\Delta U &= \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (\cos \varphi \cdot r_0 + \sin \varphi \cdot x_0) \\ &= \sqrt{3} * 0.2 * 97.54 * (0.97 * 0.261 + 0.243 * 0.107) = 9.43 \text{ В.}\end{aligned}$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} * 100\% = \frac{9.43}{10000} * 100 = 0.09\% < 5\%, \text{ що допускається.}$$

Втрати напруги в кабелі АСБ – 3 х 120 в режимі максимального навантаження :

$$\begin{aligned}\Delta U &= \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (\cos \varphi \cdot r_0 + \sin \varphi \cdot x_0) \\ &= \sqrt{3} * 0.35 * 195.08 * (0.97 * 0.261 + 0.243 * 0.107) = 18.86 \text{ В.}\end{aligned}$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} * 100\% = \frac{18.76}{10000} * 100 = 0.18\% < 5\%, \text{ що допускається.}$$

Обрані кабелі проходять перевірку за допустимою втратою напруги.

Підберемо високовольтну апаратуру.

Перевірки комутаційної і захисної апаратури виконується за наступними умовами :

$$1) U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.мер.}}$$

$$2) I_{\text{ном}} \geq I_{\text{роз.}}$$

$$3) I_{\text{ном.р.}} \geq I_{\text{птр.}}$$

$$4) \sqrt{2} * I_{\text{ном.р.}} * \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right) \geq \sqrt{2} * I_{\text{пр}} + i_{\text{а}}$$

$$5) i_{\text{дин.}} \geq i_{\text{уд.}}$$

$$6) I_{\text{дин.}} \geq I_{\text{п0.}}$$

$$7) I_{0.0}^2 * \tau \geq \beta_{\text{к}}$$

Для кола захисту кабеля АСБ – 3 х 120 обираю елегазовий вимикач типу LF1 – 10 -31.5-/630 У1 :

$$1) U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.мер.}}$$

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ.}$$

$$2) I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс.}}$$

$$630 \text{ А} > 195.08 \text{ А.}$$

$$3) I_{\text{ном.р.}} \geq I_{\text{птр.}}$$

$$31.5 \text{ кА} > 10.2 \text{ кА.}$$

$$4) \sqrt{2} * I_{\text{ном.р.}} * \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right) \geq \sqrt{2} * I_{\text{пр}} + i_{\text{а}}$$

$$\sqrt{2} * 31.5 * \left(1 + \frac{40}{100}\right) = 62.37 \text{ кА} > \sqrt{2} * 10.2 + 2.34 = 16.77 \text{ кА.}$$

$$5) i_{\text{дин.}} \geq i_{\text{уд.}}$$

$$80 \text{ кА} > 23.5 \text{ кА.}$$

$$6) I_{\text{дин.}} \geq I_{\text{по.}}$$

$$32 \text{ кА} > 10.2 \text{ кА.}$$

$$7) I_{0.0}^2 * \tau \geq \beta_{\text{к.}}$$

$$4800 \text{ кА}^2 * \text{с} > 42.87 \text{ кА}^2 * \text{с.}$$

Лінія	$U_{\text{ном.мкВ}}$	$U_{\text{ном.ввкВ}}$	$I_{\text{р.мах}}, \text{А}$	$I_{\text{р.вв}}, \text{А}$	Тип
АСБ – 3 х 120	10	10	195.08	630	LF1 – 10 -31.5- /630 У1
АСБ – 3 х 25	10	10	56.7	630	LF1 – 10 -31.5- /630 У1
Секційни й вимикач	10	10	138.3	630	LF1 – 10 -31.5- /630 У1

Табл.19

Обираю і перевіряю роз'єднувач в коло кабеля АСБ – 3 х 120 типу РЛНДЗ-10/400У1 :

$$1) U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.м}}$$

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ} ;$$

$$2) I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}$$

$$400 \text{ А} > 195.08 \text{ А} ;$$

$$3) i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$$

$$51 \text{ кА} > 23.5 \text{ кА} ;$$

$$4) I_{\text{дин}} \geq I_{\text{п.о.}}$$

$$20.4 \text{ кА} > 10.2 \text{ кА} ;$$

$$5) I_{\tau}^2 * \tau \geq B_{\text{к}}$$

$$468,75 \text{ кА}^2 * \text{с} > 42.87 \text{ кА}^2 * \text{с} .$$

Лінія	$U_{\text{ном.мкВ}}$	$U_{\text{ном.ввкВ}}$	$I_{\text{р.мах}}, \text{А}$	$I_{\text{р.вв}}, \text{А}$	Тип
АСБ – 3 х 70	10	10	195.08	400	РЛНДЗ -10/400У1
АСБ – 3 х 25	10	10	56.7	400	РЛНДЗ -10/400У1
Секційни й вимикач	10	10	138.3	400	РЛНДЗ -10/400У1

Табл.20

#### 4.4. Вибір трансформаторів струму для приладів контролю і обліку

Основне завдання трансформатора струму полягає в перетворенні первинного змінного струму до значень, прийнятних для його вимірювання. Другим призначенням трансформатора струму є забезпечення електробезпеки співробітників електрослужби. Розрізняють два види трансформаторів струму: вимірювальні та захисні. Іноді в одному трансформаторі струму суміщені обидві функції.

Вимірювальні пристрої — лічильники — отримують інформацію про вимірювання за допомогою вимірювальних трансформаторів. Місце установки таких трансформаторів — ланцюги, в яких пряме підключення вимірювального приладу неможливо, це ланцюга з великим струмом або ланцюга високої напруги. Для вимірювання до вторинної обмотки трансформатора струму підключають амперметри, ватметри, лічильники і аналогічні прилади вимірювання. Тому

вимірювальні трансформатори струму перетворюють змінний струм різного значення в потрібний за значенням — для можливості проведення вимірювання за допомогою стандартних вимірювальних приладів. Також дані трансформатори ізолюють лічильники від ланцюга високої напруги — для захисту обслуговуючого персоналу.

Захисні трансформатори струму передають інформації про вимірювання в захисні пристрої і пристрої управління. Таким чином, даний трансформатор

перетворює змінний струм будь-якого значення в потрібний за значенням, щоб забезпечити харчуванням пристрої релейного захисту. І, звичайно ж, даний трансформатор ізолює реле доступні обслуговуючому персоналу від високовольтної ланцюга.

Трансформатори струму перевіряються за наступними критеріями :

$$1) U_{1\text{ном}} \geq U_{\text{ном.м.}}$$

$$2) I_{1\text{ном}} \geq I_{\text{р.макс}}$$

$$3) i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$$

$$4) I_{\tau}^2 * \tau \geq B_{\text{к}}$$

$$5) Z_{2\text{ном}} \geq Z_2$$

Для кола НН обираємо ТА типу ТШ – 066-1 .

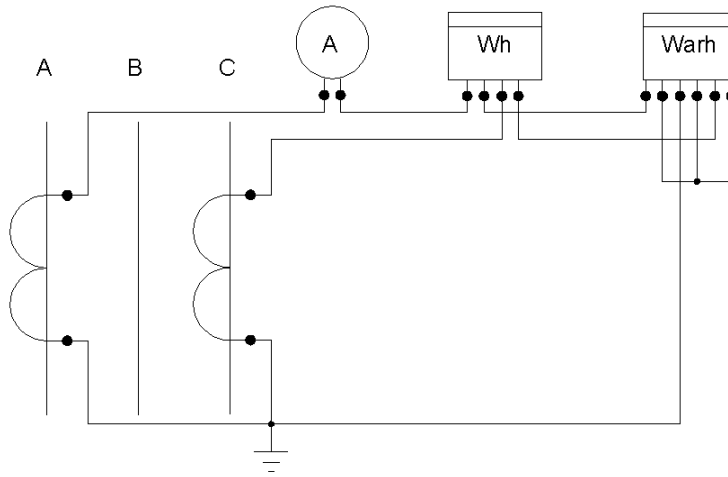


Рис.4.4.1 Схема приєднання вимірювальних приладів

Тип ТС	Дані за каталогом	Умова		Розрахункові дані
		Перевірки	Фактична	
ТШ – 066-1	$U_{1ном} = 0.66\text{кВ}$	$\geq$	$>$	$U_{ном.м} = 0.38\text{кВ}$
	$I_{1ном} = 1250\text{А}$	$\geq$	$>$	$I_{р.макс} = 1220.6\text{А}$
	$i_{дин} = 74.5\text{кА}$	$\geq$	$>$	$i_{уд} = 12.36\text{кА}$
	$I_t^2 * \tau = 3675\text{кА}^2 * \text{С}$	$\geq$	$>$	$B_k = 29.85\text{кА}^2 * \text{С}$
	$Z_{2ном} = 1.2\text{Ом}$	$\geq$	$>$	$Z_2 = 0.426\text{Ом}$

Табл.107

Прилад	Тип приладу	Навантаження, В*А		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Е - 378	0.1	-	-
Лічильник активної енергії	Меркурій 230	2.5	-	2.5

Лічильни к реактивної енергії	Меркурій 230	2.5	-	2.5
Усього		5.1	-	5

Табл.21

Сумарний опір приладів максимально завантаженої фази :

$$Z_{\Sigma \text{ прил}} = \frac{S_{\Sigma \text{ прил}}}{I_{2\text{ном}}^2} = \frac{5.1}{5^2} = 0.204 \text{ Ом}$$

Опір проводів :

$$r_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{кон}} = 1.2 - 0.204 - 0.05 = 0.946 \text{ Ом},$$

де  $r_{\text{кон}}$  – опір контактних з'єднань .

Переріз проводів :

$$S = \frac{\rho * l}{r_{\text{пр}}} = \frac{0.0172 * 15}{0.946} = 0.273 \text{ мм}^2,$$

Опір проводів :

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho * l}{S} = \frac{0.0172 * 15}{1.5} = 0.172 \text{ Ом}.$$

Опір вторинної обмотки :

$$Z_2 = r_{\text{пр}} + r_{\text{прил}} + r_{\text{кон}} = 0.172 + 0.204 + 0.05 = 0.426 \text{ Ом}.$$

Тоді ,  $Z_{2\text{ном}} \geq Z_2$

$$1.2 \text{ Ом} \geq 0.426 \text{ Ом}.$$

Для лінії від шин ТП до ШМА – 73 обираю ТА типу ТШ – 066-1 .

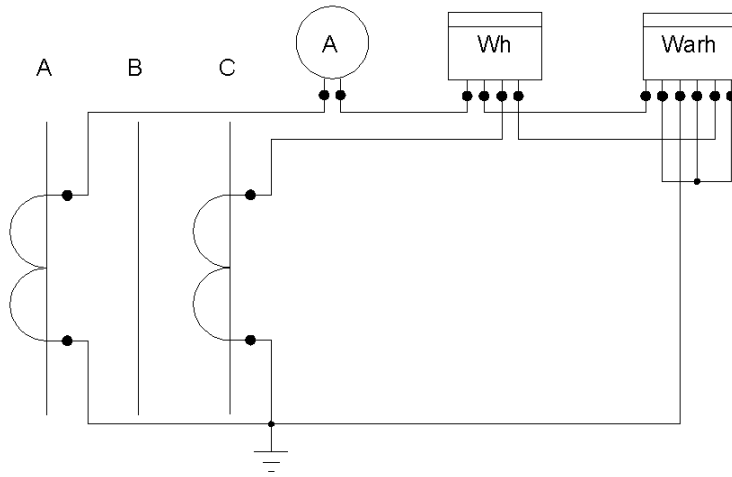


Рис.4.4.2 Схема приєднання вимірювальних приладів

Тип ТС	Дані за каталогом	Умова		Розрахункові дані
		Перевірки	Фактична	
ТШ – 066-1	$U_{ном} = 0.66\text{кВ}$	$\geq$	$>$	$U_{ном.м} = 0.38\text{кВ}$
	$I_{макс} = 1250\text{А}$	$\geq$	$>$	$I_{р.макс} = 1220.6\text{ А}$
	$i_{дин} = 74.5\text{ кА}$	$\geq$	$>$	$i_{уд} = 6.53\text{ кА}$
	$I_{\tau}^2 * \tau = 4286.5\text{ кА}^2 * \text{С}$	$\geq$	$>$	$B_{к} = 8.35\text{ кА}^2 * \text{С}$
	$Z_{2ном} = 1.2\text{ Ом}$	$\geq$	$>$	$Z_2 = 0.426\text{ Ом}$

Табл.22

Прилад	Тип приладу	Навантаження , В*А		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Е - 378	0.1	-	-
Лічильник активної	Меркурій 230	2.5	-	2.5

енергії				
Лічильни к реактивної енергії	Меркурій 230	2.5	-	2.5
Усього		5.1	-	5

Табл.23

В коло секційного вимикача обираю ТА ТЛКП10 :

Тип ТС	Дані за каталогом	Умова		Розрахунк ові дані
		Перевір ки	Фактичн а	
ТЛКП10	$U_{1ном} = 10$	$\geq$	$=$	$U_{ном.м} = 10$ кВ
	$I_{1ном} = 150$ А	$\geq$	$>$	$I_{р.макс} = 138.3$ А
	$i_{дин} = 74.5$ кА	$\geq$	$>$	$i_{уд} = 23.5$ кА
	$I_{\tau}^2 * \tau$ $= 596.43$ кА <sup>2</sup> * С	$\geq$	$>$	$B_k$ $= 42.87$ кА <sup>2</sup> * С
	$Z_{2ном} = 0.4$ Ом	$\geq$	$>$	$Z_2 = 0.12$ Ом

Табл.24

Прилад	Тип приладу	Навантаження , В*А		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперме тр	Е - 378	0.1	0.1	0.1
Усього		0.1	0.1	0.1

Табл.25

В коло секційного вимикача НН обираю ТА ТШ – 066-1 :

Тип ТС	Дані за каталогом	Умова		Розрахункові дані
		Перевірки	Фактична	
ТШ – 066-1	$U_{1ном} = 10$	$\geq$	$>$	$U_{ном.м} = 0.4$ кВ
	$I_{1ном} = 1250$ А	$\geq$	$>$	$I_{р.макс} = 1220.6$ А
	$i_{дин} = 74.5$ кА	$\geq$	$>$	$i_{уд} = 12.36$ кА
	$I_{\tau}^2 * \tau = 596.43$ кА <sup>2</sup> * С	$\geq$	$>$	$B_{к} = 29.85$ кА <sup>2</sup> * С
	$Z_{2ном} = 0.4$ Ом	$\geq$	$>$	$Z_2 = 0.12$ Ом

Табл.26

Прилад	Тип приладу	Навантаження , В*А		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Е - 378	0.1	0.1	0.1
Усього		0.1	0.1	0.1

Табл.27

Для лінії АСБ – 3 x 25 ТПЛК10 .

Тип ТС	Дані за каталогом	Умова		Розрахункові дані
		Перевірки	Фактична	
ТПЛК10	$U_{1ном} = 10$	$\geq$	$=$	$U_{ном.м} = 10$ кВ
	$I_{1ном} = 100$ А	$\geq$	$>$	$I_{р.макс} = 56.8$ А
	$i_{дин} = 74.5$ кА	$\geq$	$>$	$i_{уд} = 23.5$ кА

	$I_t^2 * \tau$ $= 66.84 \text{ кА}^2$ $* \text{С}$	$\geq$	$>$	$B_k$ $= 42.87 \text{ кА}^2 * \text{С}$
	$Z_{2\text{НОМ}} = 0.4 \text{ Ом}$	$\geq$	$>$	$Z_2 = 0.12 \text{ Ом}$

Табл.28

Прилад	Тип приладу	Навантаження , В*А		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Е - 378	0.1	-	-
Лічильник активної енергії	Меркурій 230	2.5	-	2.5
Лічильник реактивної енергії	Меркурій 230	2.5	-	2.5
Усього		5.1	-	5

Табл.29

## 5 . Якість електричної енергії

Показниками якості електричної енергії являються:

- усталене відхилення напруги: фазної і міжфазної
- коефіцієнти несиметрії
- коефіцієнти спотворення синусоїдності напруги;
- характеристики провалів і перенапруг;
- розмах зміни напруги .

Встановлено два види норм якості електричної енергії: нормально допустимі та гранично допустимі. Оцінка відповідності показників якості зазначеним нормам проводиться протягом розрахункового періоду, який рівний 24 год.

Додатково допускається визначати відповідність нормам стандарту за сумарною тривалістю часу виходу виміряних значень даного показника за нормально і гранично допустимі межі. При цьому якість електричної енергії по сталому відхиленню напруги рахують відповідним вимогам справжнього стандарту, якщо сумарна тривалість часу виходу за нормально допустимі значення складає не більше 5 % від встановленого періоду часу, тобто 1 ч 12 мін, а за гранично допустимі значення — 0 % від цього періоду часу.

Загалом, при передачі енергії виникають три основні проблеми: – стійкість передачі, значною мірою пов'язана з величиною транспортного кута; – контроль напруги й зростання напруги за відсутності навантаження; – підсинхронний резонанс, що може вивести з ладу генераторні установки електростанцій. Будівництво нових ліній електропередачі пов'язано зі значними витратами й часто

неможливе з причин екологічного характеру. Тому доводиться збільшувати потужність енергії, передаваної існуючими лініями, в основному за рахунок збільшення сили струму. Цього можна досягти тільки при таких умовах: – коли немає теплових обмежень; – є надійне керування розподілом потоків енергії між лініями, що живлять певну місцевість. При дотриманні цих умов можна підвищити передавану потужність в режимі максимальної надійності, залишаючись у припустимих межах стійкості, тобто при значеннях транспортного кута не вище 40°. Для керування величиною транспортного кута використовуються різні пристрої, наприклад, поперечні (шунтувальні) й поздовжні компенсатори.

Рівень відхилень напруги в арматурному цеху на шинах НН ЦТП мережі.

Розрахуємо значення рівнів напруги :

$$U_2' = U - \Delta U_{\text{л}} - \Delta U_{\text{тр}};$$

де  $U_2'$  - значення напруги на стороні НН приведені до ВН ;

$\Delta U_{\text{л}}$  – втрати напруги в лінії ;

$\Delta U_{\text{тр}}$  – втрати напруги в трансформаторі .

Значення втрат напруги в лінії ми розраховували заздалегідь :

$$\Delta U\% = 0.09\% = 9.43 \text{ В.}$$

Розрахуємо значення втрат напруги в трансформаторі :

$$U_{\text{ка}} = \frac{\Delta P_{\text{к}}}{S_{\text{ном.тр}}} * 100 = \frac{11}{630} * 100 = 1.7 ,$$

Де  $\Delta P_{\text{к}}$ - втрати короткого замикання;

$S_{\text{ном.тр}}$ - потужність трансформатора

$$U_{\text{кр}} = \sqrt{U_{\text{к}}^2 - U_{\text{ка}}^2} = \sqrt{5.5^2 - 1.7^2} = 5.3.$$

Розрахуємо втрати напруги в трансформаторі , враховуючи повну компенсацію реактивної потужності на шинах НН :

$$\begin{aligned}\Delta U_{\text{тр}} &= \frac{U}{S_{\text{ном.тр}}} * (U_{\text{ка}} * (S_{\text{р10кВ}} * \cos\varphi) + U_{\text{кр}} * (S_{\text{р10кВ}} * \sin\varphi)) \\ &= \frac{10}{630} * (1.1 * (2397 * 1) + 5.3 * (2397 * 0)) = 26.37 \text{ В.}\end{aligned}$$

Де  $S_{\text{р10кВ}}$  – потужність навантаження лінії 10 кВ

Значення  $U_2'$  :

$$U_2' = U - \Delta U_{\text{л}} - \Delta U_{\text{тр}} = 10000 - 9.43 - 26.37 = 9964 \text{ В.}$$

Розрахуємо коефіцієнт трансформації нашого трансформатора :

$$K_{\text{т}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{10}{0.4} = 25.$$

Значення дійсної напруги на шинах ЦТП 0.4 кВ :

$$U_2^{\text{д}} = \frac{U_2'}{K_{\text{т}}} = \frac{9964}{25} = 398.6 \text{ В.}$$

Значення вторинної дійсної напруги на шинах РП НН не перевищує допустимих меж.

## 6. Електричне освітлення

Для раціонального перерозподілу світлового потоку, захисту очей людини від осліплюваності ламп, захисту їх від механічних пошкоджень та пилу, який осідає на їх поверхні і поглинає значну долю світлового потоку, використовують різні освітлювальні арматури, які разом з джерелами світла називаються *освітлювальними приладами*.

Освітлювальний прилад складається із джерела світла і оптичного пристрою (відбивач, розсіювач), який перерозподіляє світловий потік в потрібному напрямку.

В склад освітлювального приладу входять також пристрої, які комутують і стабілізують електричний струм, і монтажні елементи.

Освітлювальні прилади поділяються на два класи: ближньої дії – *світильники* і дальньої дії – *прожектори*.

Світильники використовують для освітлення робочих поверхонь, які розташовані від них на відстані не більше 20–30 м .

Світильники характеризуються потужністю , типом джерела світла, характером розподілу світлового потоку, способом установки, захистом від оточуючого середовища, цільовому призначенню, ККД та іншими показниками.

По своєму призначенню світильники діляться на дві групи:

*загального освітлення* і *місцевого освітлення*, а по конструктивному виконанні вони бувають:

*відкриті;*

*захищені;*

*володозахищенні;*

пилонепроникні;

вибухозахищені;

вибухонепроникні.

Розрахуємо освітлення для арматурного цеху .

Визначимо висоту підвісу світильників врахувавши той факт , що шинопроводи розташовані на висоті 4.5 м над рівне підлоги:

$$H_p = H - h_c - h_p = 5 - 0.5 - 1 = 3.5 \text{ м,}$$

де  $H$  – висота від підлоги до стелі ;

$h_c$  – відстань від стелі до світильника ;

$h_p$  – рівень робочої поверхні.

Для встановлення в цеху телефонних кабелів я обираю ДРЛ лампи промислового призначення з кривою силою світла типу Л –напівширока .

Необхідну кількість світильників:

$$L = \lambda * H_p = (1.4 \dots 2) * 3.5 = 4.9 \dots 7 \text{ м} = 6 \text{ м,}$$

$L$  – відстань між центрами світильників , м ;

$\lambda$  – коефіцієнт , який залежить від кривої сили світла.

Визначимо кількість рядів :

$$n_B = \frac{B}{L} = \frac{28}{6} = 4.66 \approx 5.$$

Кількість світильників в ряду :

$$n_A = \frac{A}{L} = \frac{54}{6} = 9.$$

Кількість світильників :

$$N = n_A * n_B = 5 * 9 = 45 \text{ шт.}$$

Загальну площа цеху :

$$S = A * B = 54 * 28 = 1512 \text{ м}^2.$$

Індекс форми приміщення :

$$i = \frac{S}{H_p * (A + B)} = \frac{1512}{3.5 * (54 + 28)} = 5.27.$$

Прийmemo , що коефіцієнти відбиття :

$$\rho_{\text{стелі}} = 50\%; \rho_{\text{стін}} = 30\%; \rho_{\text{підлоги}} = 10\%.$$

Коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta=0.55$ .

Нормована освітленість поверхні для арматурного цеху  $E_n = 200$  лк;

коефіцієнт запасу для обраного виду джерела світла  $\kappa_3 = 1.5$ ;

коефіцієнт нерівномірності освітлення  $z = 1.1$ .

Знайдемо значення необхідного світлового потоку :

$$\Phi_p = \frac{E_n * S * \kappa_3 * z}{N * \eta} = \frac{200 * 1512 * 1.5 * 1.1}{45 * 0.55} = 19\,453 \text{ лм.}$$

Обираю для освітлення лампи ДРЛ – 400 з номінальним світловим потоком 23 700 лм.

Відхилення обраного світлового потоку лампи від розрахованого :

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_n - \Phi_p}{\Phi_p} * 100\% = \frac{23\,700 - 19\,453}{19\,453} * 100 = 21.8 \%,$$

що не допускається , так як не лежить в допустимих межах -10...+20 %.

Тому приймаю рішення встановлювати лампи ДРИ – 250 з номінальним світловим потоком 19 500 лм.

Відхилення обраного світлового потоку лампи від розрахованого :

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_n - \Phi_p}{\Phi_p} * 100\% = \frac{19\,500 - 19\,453}{19\,453} * 100 = 2.41 \%,$$

що максимально підходить для нашого випадку .

Розрахуємо відхилення :

$$E_{\Phi.p} = \frac{\Phi_n}{\Phi_p} * E_n = \frac{19\,500}{19\,453} * 200 = 200,5 \text{ лк,}$$

що майже дорівнює нормованому значенню .

Розрахуємо загальне споживання лампами :

$$P_{\text{оу.р.}} = N * P_n = 45 * 250 = 11\,250 \text{ Вт} = 11.25 \text{ кВт.}$$

Питома потужність:

$$P_{\text{пит.р.}} = \frac{P_{\text{оу}}}{S} = \frac{11250}{1512} = 7.44 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Технічні параметри світильника ДРИ - 250 :

Світильник	$U_{\text{но}}$ ,В	$f_{\text{ном}}$ ,Гц	$\Phi_n$ ,лм	Коефіцієнт	Колірн а	Коеф. кольоропе	Період експлуатації,г

				потужнос ті	температу ра	редачі	од
ДРИ - 250	2 10- 240	50	1 9 500	0.75	4200 К	65	10 000

Табл.30

Для ламп робочого і аварійного освітлення будемо використовувати напругу 220 В при живленні чотирипровідною мережею 380/220 . Мережа з глухозаземленою нейтралю , тому наші світильники будуть обов'язково під'єднуватися до РЕ – провідника .

ДРИ лампи робочого освітлення будуть отримувати живлення кабелем ВВГнг , а аварійного освітлення НХН 180/Е90 FLAME .

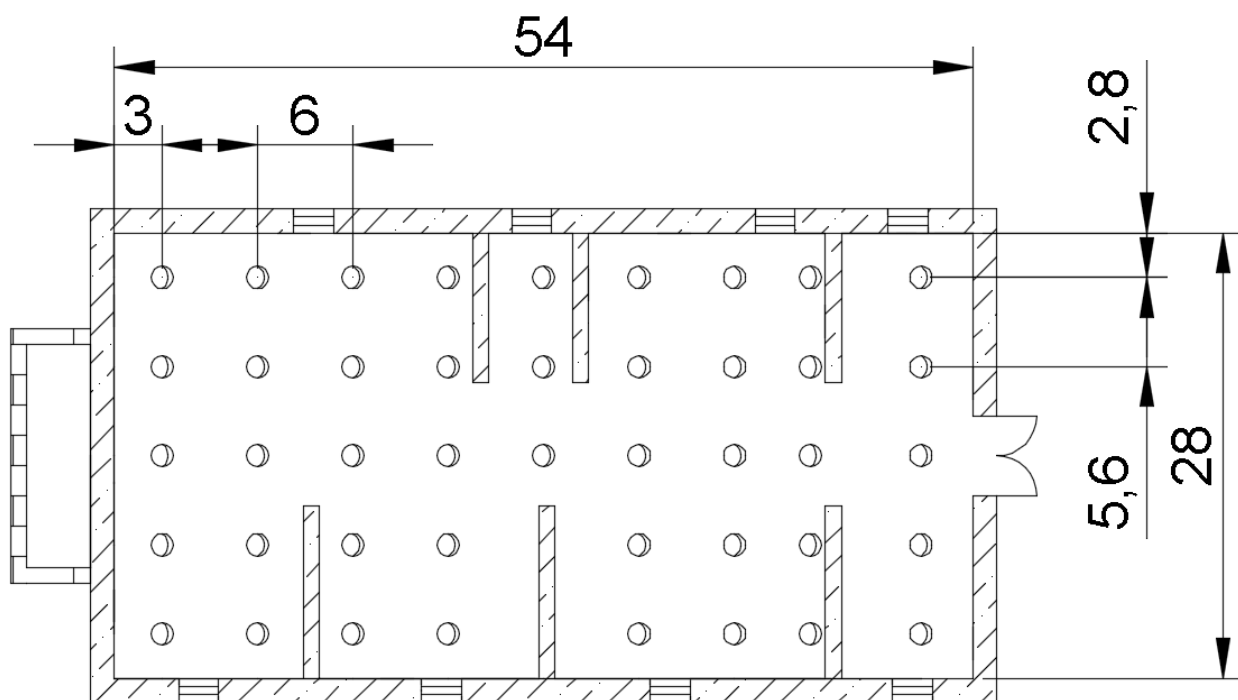


Рис.6.1 План розміщення ламп ДРИ – 250

Виходячи з цього плану , можемо спостерігати , що дві лампи ДРИ – 250 неможливо встановити згідно з геометричним розрахунками розташування ламп , тому я приймаю рішення їх не встановлювати . Перерахуємо світлотехнічні й енергетичні показники для 43 – ьох ламп ДРИ – 250.

$$\Phi_p = \frac{E_n * S * K_z * z}{N * \eta} = \frac{200 * 1512 * 1.5 * 1.1}{43 * 0.55} = 20\ 357 \text{ лм.}$$

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_H - \Phi_p}{\Phi_p} * 100\% = \frac{19\,500 - 20\,357}{20\,357} * 100 = -4.2\%,$$

що допускається.

$$E_{\phi.p} = \frac{\Phi_H}{\Phi_p} * E_H = \frac{19\,500}{20\,357} * 200 = 191.6 \text{ лк.}$$

$$P_{\text{оу.р.}} = N * P_H = 43 * 250 = 10\,750 \text{ Вт} = 10.75 \text{ кВт.}$$

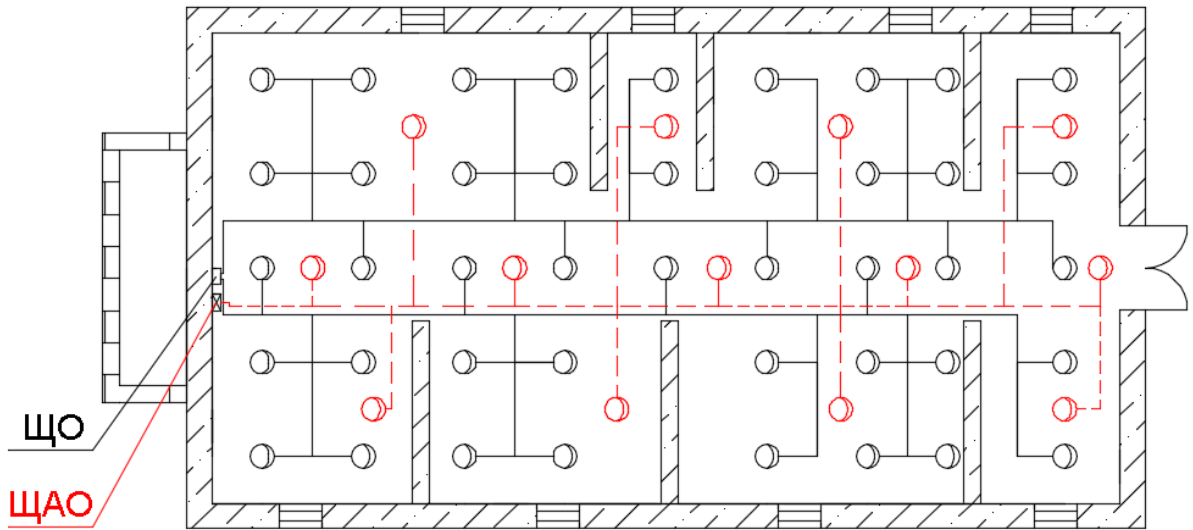


Рис.6.2 Схема прокладення трас та підключення ламп ДРИ-250

Розрахуємо потужність ламп аварійного освітлення, їх світлотехнічні показники.

$$\Phi_a = \frac{E_H * S * K_3 * z}{N * \eta} = \frac{200 * 1512 * 1.5 * 1.1}{13 * 0.55} = 66\,376 \text{ лм.}$$

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_H - \Phi_a}{\Phi_a} * 100\% = \frac{19\,500 - 66\,376}{66\,376} * 100 = -70.62\%,$$

$$E_{\phi.a} = \frac{\Phi_H}{\Phi_a} * E_H = \frac{19\,500}{66\,376} * 200 = 58.76 \text{ лк.}$$

$$\frac{E_{\phi.a}}{E_H} * 100\% = \frac{58.76}{200} * 100 = 29.38\%,$$

в аварійному режимі таке значення освітленості цілком достатнє для забезпечення евакуації виробничого персоналу.

$$P_{\text{оу.а.}} = N * P_H = 13 * 250 = 3\,250 \text{ Вт} = 3.25 \text{ кВт.}$$

Вибір перерізів провідників робочого і аварійного освітлення .

Навантаження робочого освітлення за нагріванням :

$$P_{p,роб} = K_{п} * P_{y,p} = 0.95 * 10.75 = 10.21 \text{ кВт},$$

де  $K_{п} = 0.95$  – для виробничих будівель.

$K_{п} = 1$  - аварійних мереж .

$$P_{p,роб} = K_{п} * P_{y,p} = 1 * 3.25 = 3.25 \text{ кВт} .$$

Розрахуємо струми що протікатимуть в провідниках напругою 220 В від живлення трифазною 380/220 ( чотирипровідної 3ф + N ) мережею :

$$I_{p,роб} = \frac{P_{роб}}{\sqrt{3} * U_{л} * \cos\varphi} = \frac{10.21}{\sqrt{3} * 0.38 * 0.85} = 18.25 \text{ А}.$$

Для живлення робочого освітлення приймаю кабель ВВГнг – 4 х 4 , як ввідний від ШУО .

Так як відстань від ШУО до ЩО ( щитка робочого освітлення ) невелика ( 4 м ) то перевіряти на допустиму втрату напруги немає сенсу.

Розрахуємо струму для живлення двох магістральних ліній.

Магістраль №1 живить 23 лампи ДРИ – 250 , то розрахую струм , що протікатиме по головній магістралі :

$$I_{p,роб} = \frac{P_{ДРИ} * n}{\sqrt{3} * U_{л} * \cos\varphi} = \frac{250 * 23 * 10^3}{\sqrt{3} * 0.38 * 0.85} = 10,28 \text{ А}.$$

Магістраль №2 живить 20 ламп ДРИ – 250 :

$$I_{p,роб} = \frac{P_{ДРИ} * n}{\sqrt{3} * U_{л} * \cos\varphi} = \frac{250 * 20 * 10^3}{\sqrt{3} * 0.38 * 0.85} = 8.94 \text{ А}.$$

Для обох магістралей обираю кабель ВВГнг – 5 х 2.5.

Перевіримо допустимі втрати напруги на кінцях магістралей :

$$\Delta U_{M1} = \frac{P_{M1} * L_{M1}}{c * S_{M1}} = \frac{5.75 * 51}{46 * 2.5} = 2.55 \text{ В}$$

$$\Delta U_{M2} = \frac{P_{M2} * L_{M2}}{c * S_{M2}} = \frac{5 * 50}{46 * 2.5} = 2.17 \text{ В}$$

що знаходиться в допустимих межах , тому залишаємо дані перерізи.

Для відгалужень від магістралей до світильників ДРИ - 250 обираємо кабель типу ВВГ нг – 5 х 1.5.

Розрахуємо втрати напруги від кінців магістралей до найвіддаленіших ламп:

$$\Delta U_{\text{СВМ1}} = \Delta U_{\text{М1}} + \frac{P_{\text{СВ}} * L_{\text{Відг.}}}{c * S_{\text{Відг.}}} = 2.55 + \frac{0.25 * 10.2}{46 * 1.5} = 2.59 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{СВМ2}} = \Delta U_{\text{М2}} + \frac{P_{\text{СВ}} * L_{\text{Відг.}}}{c * S_{\text{Відг.}}} = 2.17 + \frac{0.25 * 10.2}{46 * 1.5} = 2.21 \text{ В}$$

що знаходиться в припустимих межах.

Для робочого освітлення встановлюю щиток типу ЩО – 12 В.

Для аварійного освітлення встановлюю щиток типу BS-AKTEON-1-10-400/230-LCG3x6-R10 .

Ввідний автоматичний вимикач для ЩО – 12 В вибираю фірми Legrand С32 А триполюсного виконання.

Перевіряємо за двома умовами :

$$I_{\text{ном.ав}} \geq I_{\text{групи}};$$

$$I_{\text{ном.ав}} \geq 1.4 * I_{\text{групи}}$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 32 \text{ А} > I_{\text{групи}} = 18.25 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 32 \text{ А} > 1.4 * I_{\text{групи}} = 1.4 * 18.25 = 25.55 \text{ А.}$$

Ввідний автоматичний вимикач в ЩАО :

$$I_{\text{ном.ав}} \geq I_{\text{групи}};$$

$$I_{\text{ном.ав}} \geq 1.4 * I_{\text{групи}}$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 10 \text{ А} > I_{\text{групи}} = 5.8 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 10 \text{ А} > 1.4 * I_{\text{групи}} = 1.4 * 5.8 = 8.12 \text{ А.}$$

Для захисту магістралі М1 :

$$I_{\text{ном.ав}} \geq I_{\text{групи}};$$

$$I_{\text{ном.ав}} \geq 1.4 * I_{\text{групи}}$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 16 \text{ А} > I_{\text{групи}} = 10.28 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 16 \text{ А} > 1.4 * I_{\text{групи}} = 1.4 * 10.28 = 14.39 \text{ А.}$$

Для захисту магістралі М2 :

$$I_{\text{ном.ав}} \geq I_{\text{групи}};$$

$$I_{\text{ном.ав}} \geq 1.4 * I_{\text{групи}}$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 16 \text{ А} > I_{\text{групи}} = 8.94 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 16 \text{ А} > 1.4 * I_{\text{групи}} = 1.4 * 8.94 = 12.52 \text{ А}.$$

Для захисту аварійних світильників :

$$I_{\text{ном.ав}} \geq I_{\text{групи}};$$

$$I_{\text{ном.ав}} \geq 1.4 * I_{\text{групи}}$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 10 \text{ А} > I_{\text{групи}} = 5.8 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 10 \text{ А} > 1.4 * I_{\text{групи}} = 1.4 * 5.8 = 8.12 \text{ А}.$$

## **7.ВПЛИВ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

Проаналізовано показники електромагнітної сумісності підключеної до низьковольтної мережі сонячної електростанції. Згідно з виміряними експериментально миттєвими значеннями струмів і напруг, які генеруються за допомогою сонячних електростанцій, обчислено струми вищих гармонік. Результати вимірювання показали, що наявність фотоелектричних систем у мережі може призвести до зниження параметрів якості напруги живлення, таких як коливання напруги, коефіцієнтів гармонічних спотворень, флікера напруги і коефіцієнта потужності. Зроблено порівняння допустимих значень основних параметрів електричної енергії з експериментальними даними. Показано ймовірність виникнення коливних енергообмінних процесів та необхідність експериментального визначення імпедансу мережі.

Зростаючий попит на сонячні електростанції, крім користі для навколишнього середовища, зумовив розгляд фахівцями-енергетиками питання щодо впливу даних електростанцій на якість електроенергії та надійність енергосистеми. Підключення до мережі фотоелектричних джерел, які мають у своєму складі інвертори, може призвести до збільшення втрат, зміни перетоку потужностей, ферорезонансу, флікеру напруги, втрати координації системи захисту, а як наслідок – до відключень споживачів. Крім того, фотоелектричні системи можуть спричиняти гармонійні складові, а варіації сонячної радіації можуть викликати коливання потужності генерування і напруги.

Стабільність в мережі може досягатись за допомогою Smart Grid, які ефективно керують процесами виробництва і споживання електроенергії з отриманням максимальної вигоди від наявних ресурсів. Для нового покоління сонячних інверторів PV необхідно збільшувати рівень інтелектуалізації при інтеграції в мережу за рахунок збільшення кількості контрольованих параметрів та уникнення режимів з низькою ефективністю та електромагнітною сумісністю. Також при підключенні сонячної електростанції до енергосистеми необхідно

проводити попереднє математичне моделювання режимів роботи при різних параметрах мережі, а за можливості – експериментальні дослідження на наявність гармонічних спотворень. Ускладнює процес моделювання динамічна зміна параметрів джерела генерації та навантаження, що найбільше проявляється в локальних мережах. В цілому, система інвертор-мережа може бути представлена за допомогою еквівалентної схеми, зображеної на рисунку 7.1.

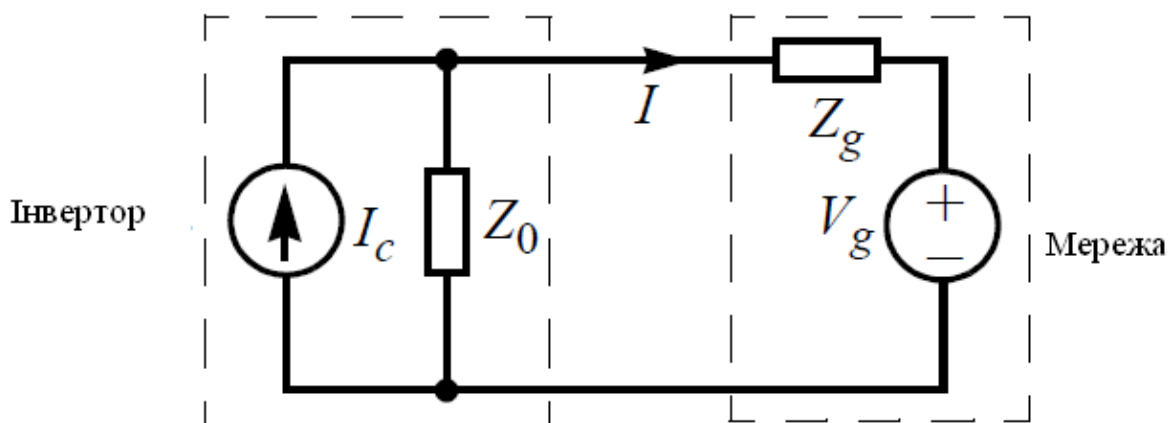


Рисунок 7.1 – Схема заміщення інвертора та мережі

На підставі еквівалентної схеми, вихідний струм перетворювача, який може бути перетворений

$$I(s) = \frac{I_c(s)Z_0(s)}{Z_0(s) + Z_g(s)} - \frac{V_g(s)}{Z_0(s) + Z_g(s)}$$

$$I(s) = \left[ I_c(s) - \frac{V_g(s)}{Z_0(s)} \right] \cdot \frac{1}{1 + \frac{Z_g(s)}{Z_0(s)}}$$

Проте при домінуванні в мережі нелінійного навантаження дані рівняння не завжди адекватні і не можуть бути використані при резонансах та інших високочастотних явищах. Також даний «імпедансний метод» не може бути застосований для однофазних сонячних джерел локальної генерації, тому рекомендовано використовувати методи аналізу сигналів «гармонійної лінеаризації».

$$Z_p(s) = \frac{\frac{H_i(s)V_{dc} + sL}{2}}{1 - \frac{1}{2}T_{PLL}(s \pm j2\pi f_1) \left[ H_i(s) \frac{V_{DC}}{V_1} \frac{I_1}{2} e^{j\Phi} \right]}$$

Де  $H_i(s)$  – передавальна функцією ємнісного струму,

$L$ - вихідна індуктивність

$V_{dc}$ - напруга шини постійного струму

$T_{PLL}$ - коефіцієнт посилення петлі фази автопідстроювання частоти(ФАПЧ), який використовується для синхронізації з мережею,

$I_1, \Phi$ - амплітуда і фазовий кут вихідного струму.

Даний метод дозволяє аналізувати криві струму залежно від характеристик перетворювача. Для більш повного аналізу пропонується симулятор з експериментальними дослідженнями та можливістю моделювання режимів мережі, застосовуючи генератори гармонійних спотворень. Такі вимірювання дозволять відобразити наявні процеси при різних частотах [1].

При дослідженні роботи сонячної електростанції за допомогою переносного інформаційно-вимірювального апаратно-програмного комплексу (ІВАПК) було проаналізовано енергетичні показники на шинах 0,4 кВ однієї з ТП630 кВА, яка віддає сонячну енергію в мережу. Розроблений вимірювальний пристрій побудований за допомогою застосування технології віртуальних приладів і середовища графічного програмування LabVIEW має в складі ноутбук та конструктивно завершені вузли з нормованими метрологічними характеристиками (три давачі напруги CV3-1000 та три давачі струму типу струмових кліщів з аналоговим виходом АТА-2502, які приєднані до входів 16-розрядного АЦП NI USB-6210). Останній за допомогою шини USB з'єднується з портативною ЕОМ із встановленим програмним забезпеченням, яке реалізує зчитування інформації з АЦП, розрахунок і візуалізацію ПЯЕ та розроблений інтерфейс. Програмне забезпечення містить велику кількість підпрограм

стандартних алгоритмів цифрової обробки сигналів (швидке перетворення Фур'є, визначення середньоквадратичного значення, цифрові фільтри та ін.), підпрограм візуалізації інформації та записування у файл на жорсткому диску ЕОМ, а також інтерфейс віртуального приладу та блок-схеми, яка є алгоритмом його функціонування.

Вимірювання проводилися в серпні при максимальному рівні сонячної інсоляції, проте вироблення електроенергії супроводжувалося відключеннями певних груп інверторів, які відбувалися спонтанно і впливали на кількість виробленої активної потужності. На рисунку 7.2 зображено графік зміни активної потужності сонячного джерела (в кожній фазі та сумарне), який умовно можна розділити на чотири періоди. На першому етапі відбувається вироблення електроенергії всіма групами інверторів (480 кВт), що супроводжується значними коливаннями величини виробленої енергії. На наступному етапі ми відімкнули половину навантаження і отримали практично прямолінійний графік виробітку електроенергії (350 кВт). На третьому етапі було ввімкнено 4/6 навантаження, в результаті чого величина виробленого навантаження зросла до 400 кВт, а графік залишився прямолінійним. На четвертому етапі ввімкнено 5/6 навантаження, що несуттєво збільшило величину виробленої електроенергії, а коливання величини виробленої електроенергії повернулося на попередній рівень. Інтенсивність коливання збільшується зі зростанням активної потужності генерування [2].

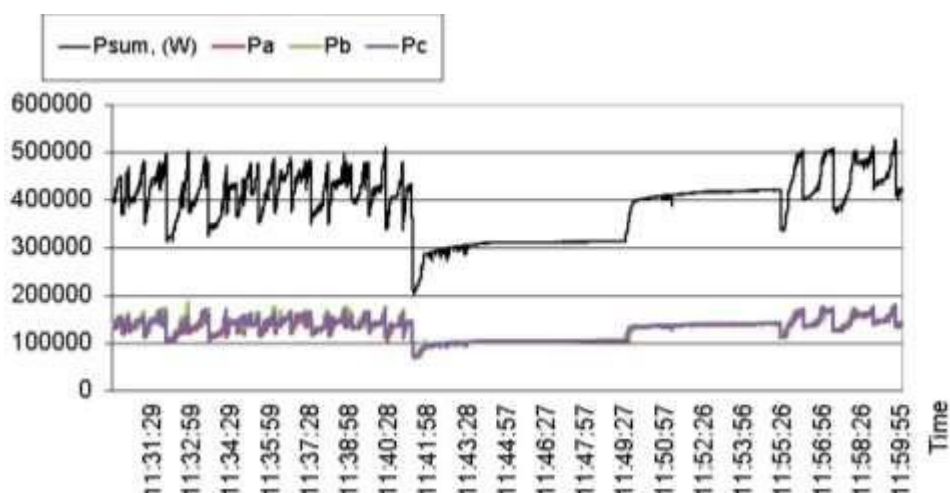


Рисунок 7.2 – Графік зміни активних потужностей на шинах  
0,4 кВ підстанції сонячної електростанції

Експериментально доказано, що правильний вибір трансформатора та його групи з'єднання має важливу роль при сумісній роботі джерела генерації з мережею, які необхідно враховувати власникам електростанції. При зміні групи з'єднання трансформаторів на даній електростанції інвертори перестали відмикатися і потужність генерації зростає до номінальної.

На рисунку 7.3 зображено графік зміни реактивної потужності зсуву  $Q = UI \sin \alpha$  яку можна компенсувати конденсаторними батареями, синхронними компенсаторами або недовантаженими синхронними електродвигунами в режимі перезбудження.

Та реактивну потужність спотворення  $T = U \sqrt{\sum_{i=2}^n I^2}$  яка спричинена вищими гармоніками струму і для компенсації якої необхідні спеціальні фільтро-компенсувальні пристрої. Реактивна потужність зсуву в даному випадку має від'ємний характер, а піки практично симетричні з піками потужності спотворення. Рівень споживаної реактивної потужності зсуву практично незмінний, але має різкі зміни під час відключення частини інверторів та за інших перехідних процесів.

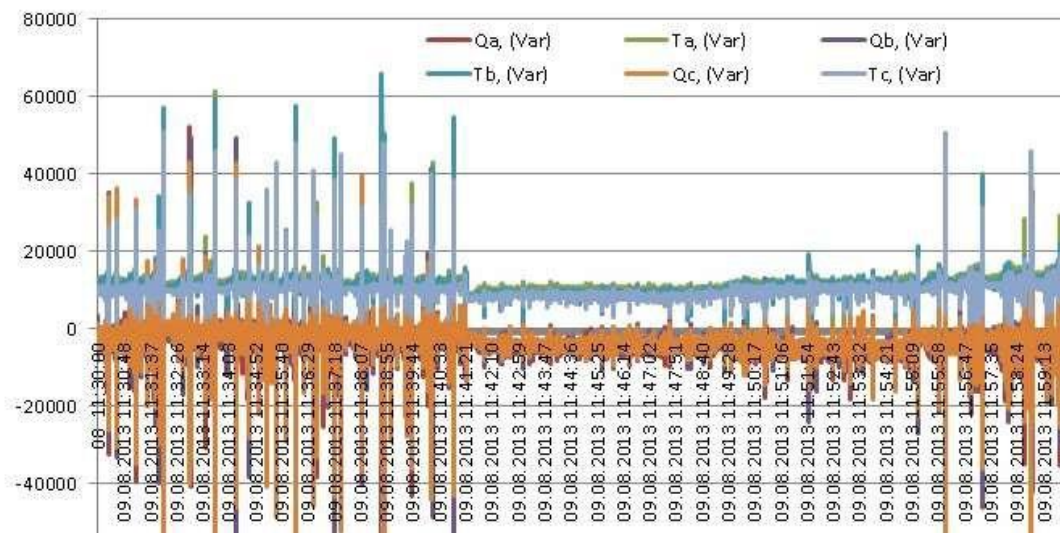


Рисунок 7.3 – Графіки зміни реактивної потужності зсуву та спотворення

Проаналізувавши зміну миттєвих значень напруг і струмів в трьох фазах, зміни частоти струму інвертора та аналіз гармонійного складу струмів фази А інвертора за допомогою середовища LabVIEW було розроблено підпрограми пофрагментної обробки сигналу для розрахунку коефіцієнтів несиметрії та несинусоїдності. При вимірюваннях на затискачах підстанції сонячної електростанції коефіцієнт несиметрії струму досягав в окремі періоди 17 %, що перевищує допустиме значення. При цьому коефіцієнт несиметрії напруг не перевищував 5 %. Напряга має чітко виражену синусоїдну форму, натомість в формі струму фази А присутні гармонійні складові.

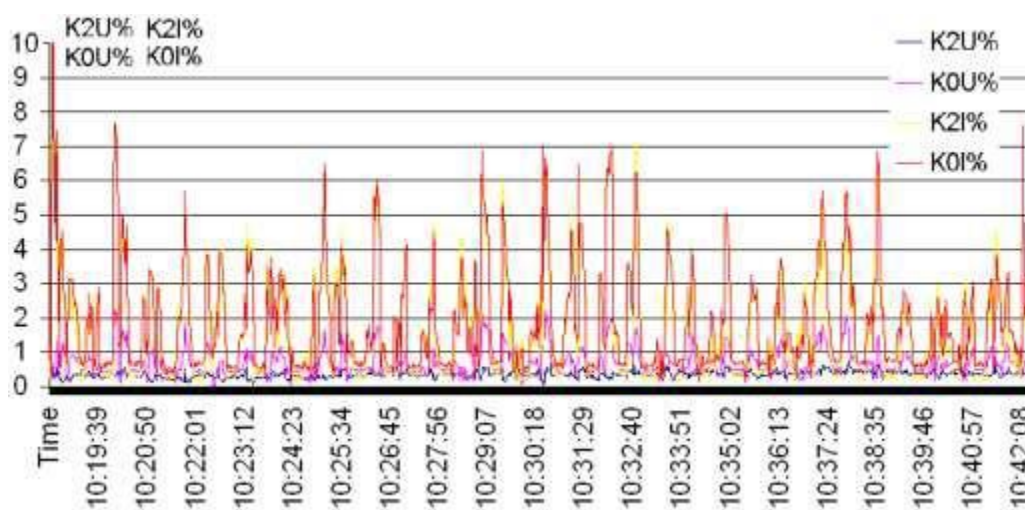


Рисунок 7.4 – Графік зміни коефіцієнтів несиметрії струмів та напруг сонячної електростанції

Важливим показником електромагнітної сумісності є сумарний коефіцієнт гармонійних спотворень (THD). Як і очікувалося, максимальні значення THD були виміряні під час роботи при низькій активній потужності, у той час як мінімальні значення спостерігалися, коли інвертори PV працювали практично при номінальній потужності. Значення суммарного коефіцієнта гармонійних спотворень струму THDi під час генерації становило близько 5 %, проте при відмиканнях інверторів збільшувалось до 14 %, що не відповідає нормованим ГОСТ 13109-97 значенням.

Коливні зміни реактивної потужності фотоелектричних систем можуть викликати швидке перемикання конденсаторів. У зв'язку з цим, піки напруги і коливання можуть відбуватися з непередбачуваною амплітудою і тривалістю. Це може призвести до виходу з ладу чутливе електронне обладнання або мінімізацію тривалості роботи. Таким чином, бажано зменшити існування коливних процесів. Сучасні конструкції інтелектуальних інверторів повинні мати функції контролю реактивної потужності та забезпечувати кращу компенсацію, що ґрунтується на системних параметрах і потребах в розподільній мережі.

Втрати потужності в мережі залежатимуть від потужності генерації СЕС. Якщо навантаження шин більше або дорівнює потужності джерела на кожній шині, то втрати зменшуються по всіх лініях в розподільній мережі. При збільшенні потужності СЕС відносно навантаження, втрати збільшуватимуться через перерозподіл потоків потужності в мережі. Тому потрібно контролювати процес такого генерування і керувати ним.

Моделювання і аналіз впливу сонячних електростанцій на режими роботи електричної мережі виконано для електричної мережі 110-35-10(6) кВ південно-західної частини ОЕС України. Вихідна схема мережі включає 38 підстанцій, 190 шин, 55 ліній електропередач, 12 двохобмоткових і 50 трьохобмоткових трансформаторів, 110 вузлів навантажень. Власна генерація у досліджуваному фрагменті електричної мережі відсутня. Зовнішні зв'язки мережі по розрізу 110 кВ і відповідні потоки потужності моделюються підключенням синхронних машин до шин 110 кВ підстанцій Вулканешти, МолдГРЕС, Усатово, Н.Одеська та Арциз-110. Моделюються і аналізуються режими при підключенні СЕС Арциз (40 МВт), Залізничне (40 МВт), Кілія (50 МВт), Рені (40 МВт) та Старокозаче (40 МВт) до шин відповідних підстанцій.

Узагальнена схема досліджуваної електричної мережі з основними результатами розрахунку усталеного режиму (без підключення СЕС) показана на рис. 7.1. Схема складається з 39 вузлів, що є шинами 110 кВ підстанцій та 54 віток, які є ділянками ЛЕП 110 кВ. Розрахунки усталених режимів роботи електричної мережі проводились з використанням програмного комплексу PowerFactory[2]. Сумарне надходження потужності в мережу від зовнішніх джерел складає близько 360 МВА. Втрати активної потужності складають близько 17 МВт. Рівні напруг на шинах 110 кВ підстанцій, де приєднані зовнішні зв'язки мережі, відповідають межах 0,84 .. 0,96 в.о. Напруги на ПС Вулканешти не виходять за допустимі межі, на інших ПС напруги занижені. При відсутності власної генерації в мережі, рівні напруг в цих вузлах значною мірою визначають режими напруг в усій мережі. Введення режиму у допустиму

область по напругам можливо застосуванням існуючих засобів і методів регулювання напруг [3] і за рахунок використання наявних додаткових генеруючих потужностей.

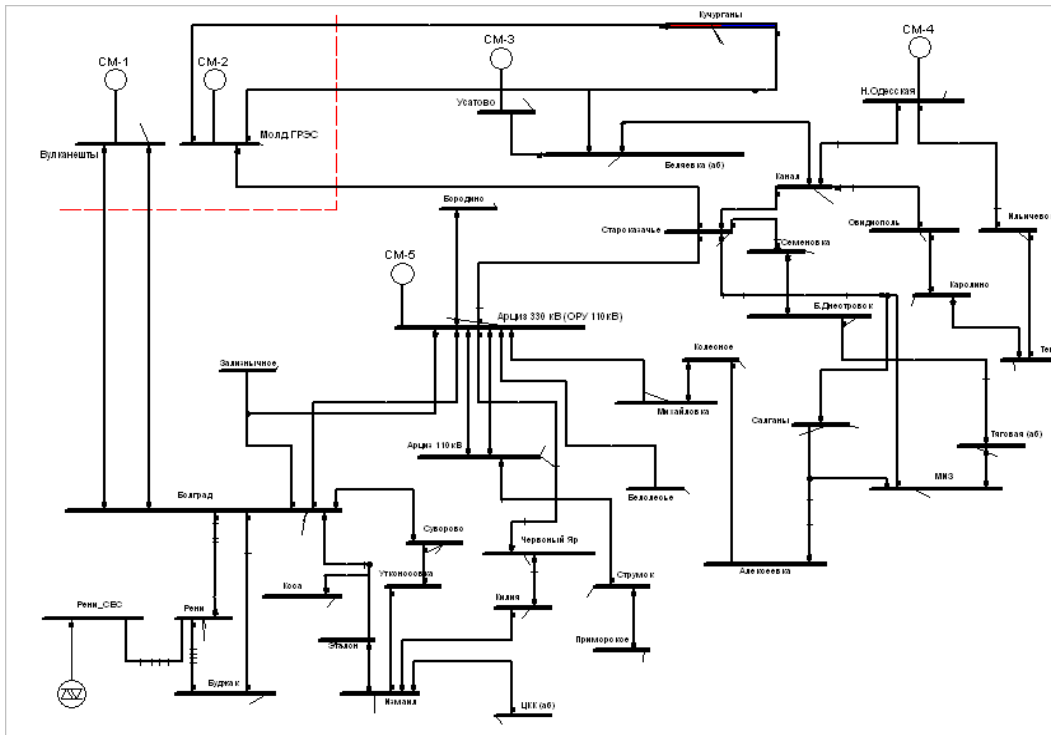


Рисунок 7.5 - Узагальнена схема досліджуваної електричної мережі (OverView)

**Аналіз усталених режимів роботи мережі при підключенні та зміні генерації сонячних електростанцій.** Розглянемо вплив генерації існуючих і перспективних СЕС у південно-західній частині ОЕС України на рівні напруг і втрати активної потужності в електричній мережі при незмінному сумарному навантаженні в ній. Потужність генерації сонячних станцій мало залежить від змін навантажень і режимів роботи електричної мережі і значно змінюється під впливом природних факторів – інтенсивності сонячного випромінювання, хмарності тощо, залежно від часу доби та пори року.

При моделюванні активна потужність СЕС покроково збільшується від нуля до максимальної з кроком 10 МВт. Вплив потужності деяких із СЕС на напруги у контрольних вузлах показані на рис. 7.6 – 7.8

Збільшення потужності генерації сонячною електростанцією Рені практично не впливає на рівні напруг у контрольних вузлах, напруга на шинах 110 кВ ПС Рені підвищується і входить у допустимі межі (рис. 7.6). Втрати активної потужності в мережі при збільшенні генерації РеніСЕС до 40 МВт збільшуються від 16,96 МВт до 18,38 МВт (рис. 7.10). Генерація СЕС Кілія призводить до збільшення напруг у контрольних вузлах, але її недостатньо для введення напруг у допустиму область (рис. 7.7). Втрати активної потужності при збільшенні генерації КіліяСЕС зменшуються до 13,87 МВт. Збільшення генерації СЕС Старокозаче призводить до збільшення напруг у всіх контрольних вузлах, крім Вулканешти (рис. 7.8). При цьому сумарні втрати активної потужності в мережі практично не змінюються. Збільшення генерації СЕС Залізничне і АрцизСЕС впливає на режим роботи мережі дуже несуттєво. Напруги у вузлах незначно збільшуються, втрати активної потужності залишаються практично незмінними.

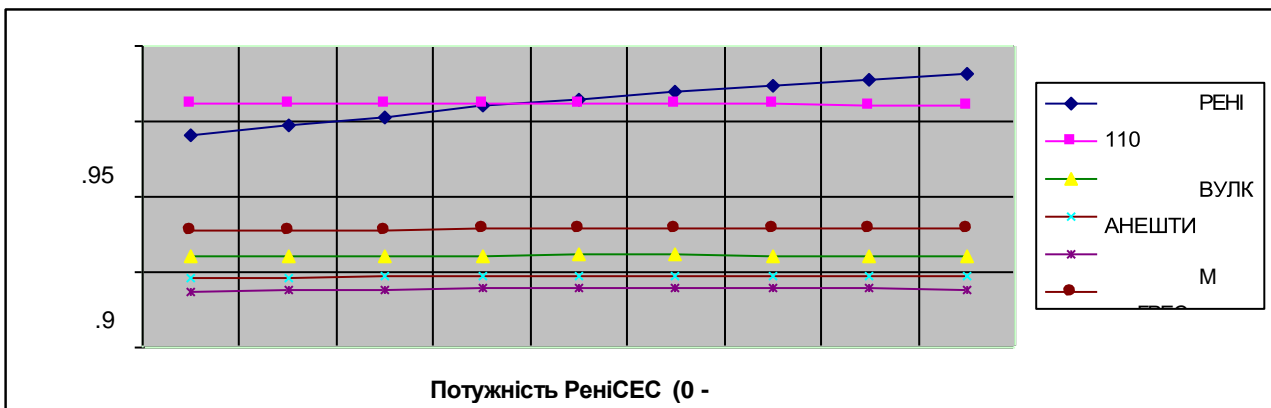


Рисунок 7.6 - Вплив генерації РеніСЕС на напруги

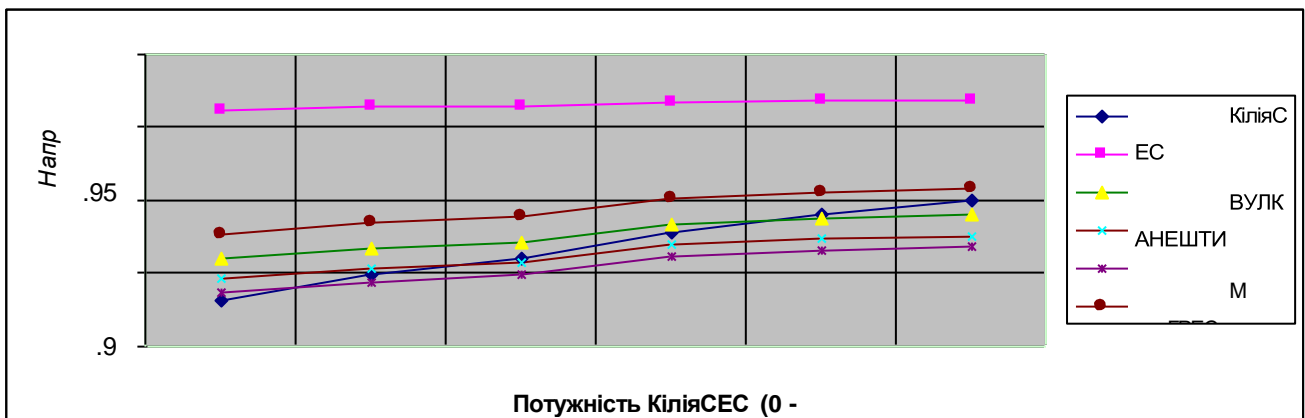


Рисунок 7.7 - Вплив генерації КіліяСЕС на напруги

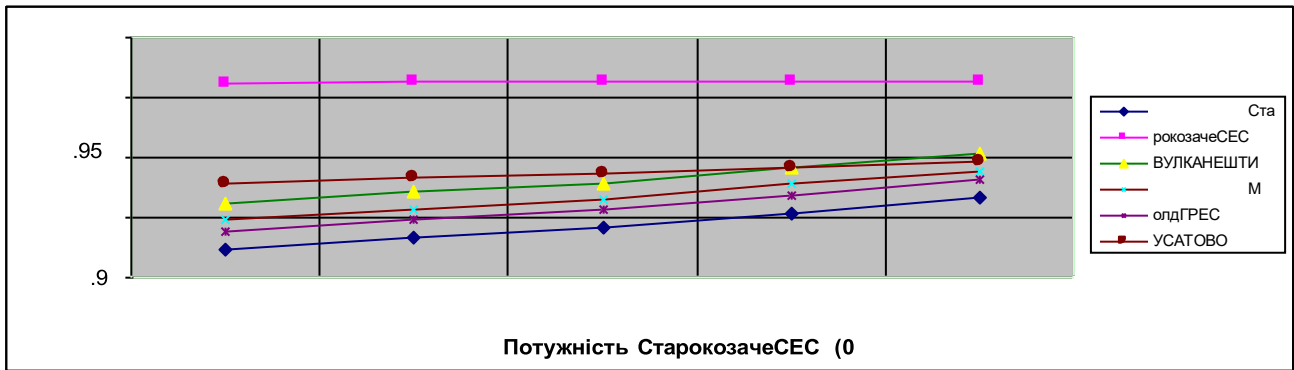


Рисунок 7.8 - Вплив генерації СтарокозачеСЕС на напруги

Моделювання впливу одночасного сумарного покрокового збільшення генерації усіх СЕС від 0 до 200 МВт показує, що режим напруг в більшості контрольних вузлів значно покращується (рис. 7.9). На шинах 110кВ ПС Вулканешти напруга залишається у допустимих межах і практично не змінюється. Втрати потужності у мережі при збільшенні сумарної генерації СЕС до 25% зменшуються, при подальшому її рості до максимальної вони значно збільшуються (рис. 7.10)

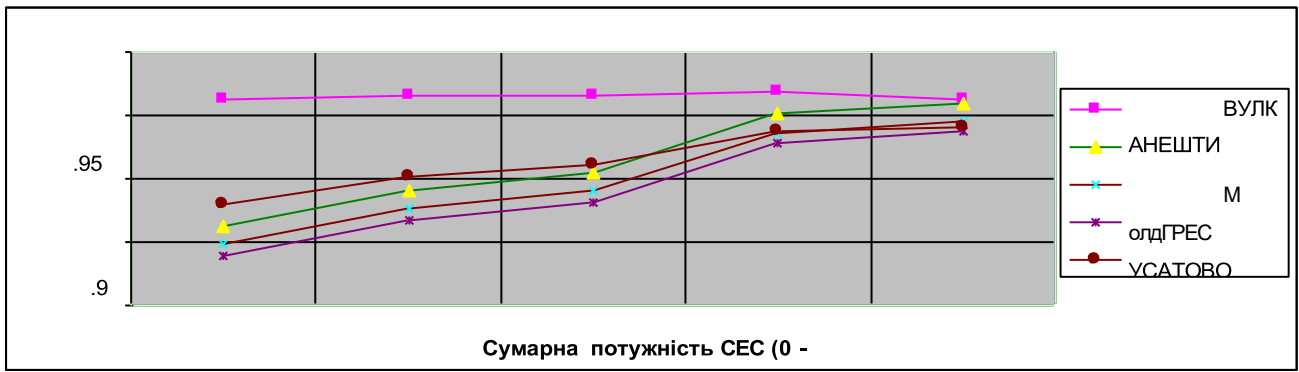


Рисунок 7.9 - Вплив сумарної генерації СЕС на напруги

Вплив генерації кожної СЕС і їх загальної генерації на сумарні втрати активної потужності показаний на рис.7.10.

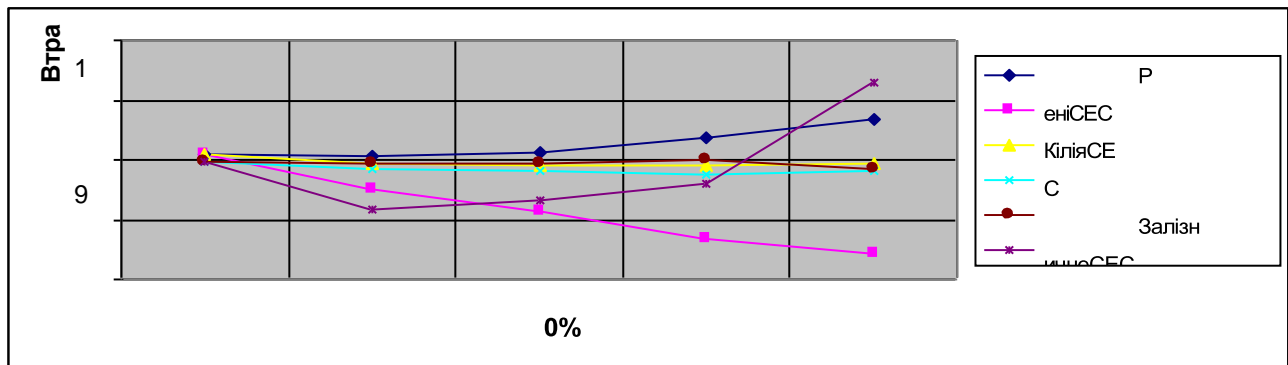


Рисунок 7.10 - Вплив генерації СЕС на втрати потужності у мережі

**Аналіз режимів роботи мережі при зміні генерації сонячної електростанції Арциз відповідно до її добового графіка за 03.02.2020 р.** Графіки генерації СЕС Арциз сформовані на основі даних системи АСУ ТП пристанційного вузла сонячної станції «Арциз-110». Для прикладу вибрано день 28.02.2013 р., у який була максимальна середня на добу генерація СЕС протягом лютого (рис. 7.11). Добовий графік генерації СЕС Арциз за 28.02.2013 р. наведений на рис. 8. Показані середні потужності генерації за кожний 60-хвилинний інтервал протягом доби. Зміни потужності генерації СЕС відповідають змінам впливу природних факторів (фактична сонячна інсоляція, хмарність тощо).

728

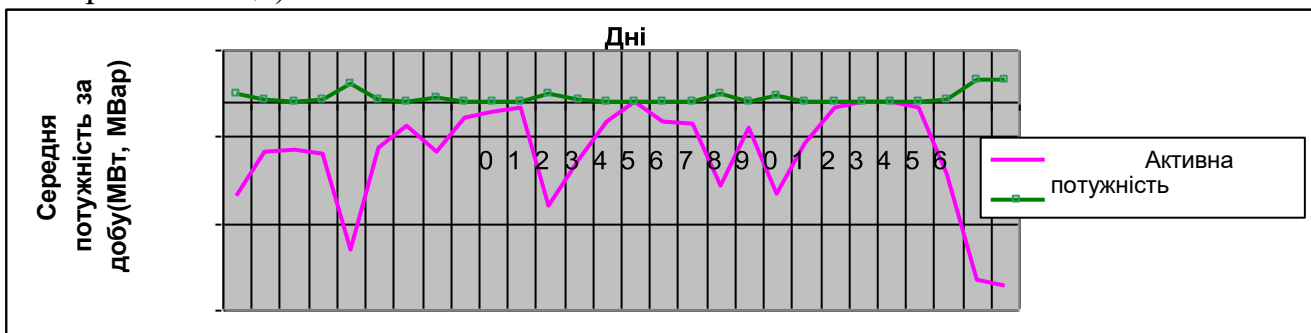


Рисунок 7.11 - Середня за добу потужність генерації СЕС Арциз у лютому 2013 р.

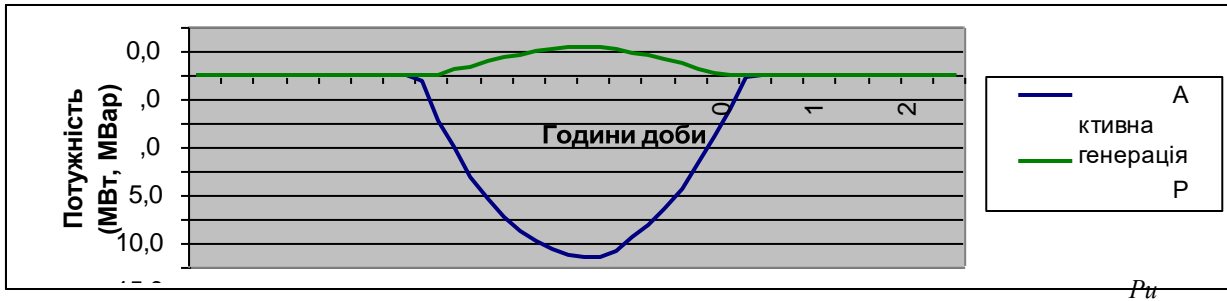


рисунок 7.12- Генерація СЕС Арциз 28 лютого 2013 р.

Зміни фактичної потужності генерації СЕС Арциз протягом доби практично не впливають на рівні напруг у контрольних вузлах мережі. При цьому сумарні втрати активної потужності в мережі змінюються суттєвіше, збільшуючись від 16,96 МВт до 17,65 МВт при максимальній генерації СЕС (рис. 7.13).

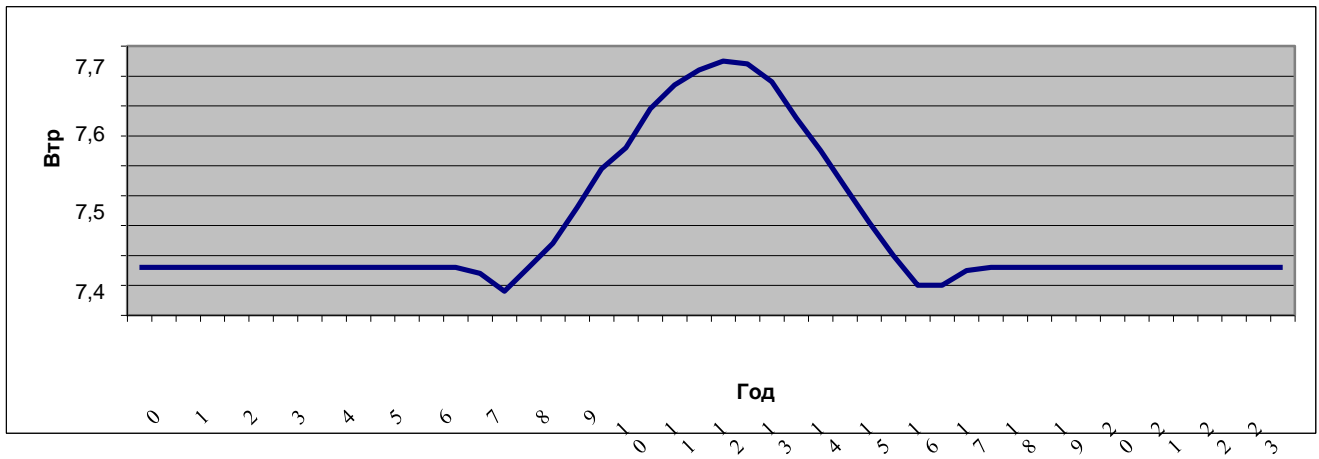


Рисунок 7.13 - Вплив генерації СЕС Арциз 28 лютого 2013 р. на втрати потужності

## 8. Охорона праці

### 8.1 Обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання

В даному дипломному проєкті розраховується електропостачання арматурного цеху. В цеху встановлюється таке обладнання: трансформатори, автоматичні вимикачі, роз'єднувачі, кабельні мережі, асинхронні двигуни, машини постійного струму.

Електроустановки відповідають вимогам Правил устрою електроустановок, Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів, Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів.

Електропроводка до світильників, виконується в металевих трубах, металевих рукавах чи захисних оболонках.

Для живлення світильників місцевого стаціонарного освітлення з лампами накаливання застосовується напруга: у приміщеннях без підвищеної небезпеки – не вище 220 В, а в приміщеннях з підвищеною небезпекою – не вище 42 В. В моєму випадку так як підвищеної небезпеки немає, то застосовується напруга 220В. На електродвигуни, світильники, інші електричні машини, апарати й устаткування, нанесені знаки, що вказують їхній ступінь захисту. Все електроустаткування (корпуса електричних машин, апаратів, світильників, розподільних пристроїв, металеві корпуси пересувних і переносних електроприймачів мають надійне захисне заземлення чи занулення. Розподільні пристрої мають чіткі написи, що вказують призначення окремих ланцюгів і панелей. Струмоведачі частини пускорегулюючих і захисних апаратів захищені від випадкових доторкань.

В розподільчому пристрої встановлені вакуумні вимикачі, це рішення обґрунтоване простотою їх монтажу, відносною довготривалістю служби і надійністю їх роботи.

Кваліфікаційні вимоги до персоналу, котрий обслуговує електротехнічне обладнання:

2 розряд. **Повинен знати:** будову і принцип роботи електродвигунів, генераторів, трансформаторів, комутаційної та пускорегулювальної апаратури, акумуляторів і електроприладів; основні види електротехнічних матеріалів; їх властивості і призначення, правила і способи монтування і

ремонту електроустаткування в обсязі виконуваної роботи; назву, призначення і правила користування робочим та контрольно-вимірвальним інструментом і основні знання про виробництво та організацію робочого місця; прийоми і способи заміни, зрощування і паяння проводів низької напруги; правила надання першої допомоги в разі ураження електричним струмом; правила електробезпеки під час обслуговування електроустановок в обсязі кваліфікаційної групи II; прийоми і послідовність виконання такелажних робіт. **Кваліфікаційні вимоги:** повна загальна середня освіта та професійна підготовка на виробництві, без вимог до стажу роботи.

3 розряд. **Повинен знати:** основи електротехніки; знання про постійний і змінний струм у обсязі виконуваної роботи; принцип дії та будову обслуговуваних електродвигунів, генераторів, апаратури розподільних пристроїв, електромережі та електроприладів, масляних вимикачів, запобіжників, контакторів, акумуляторів, контролерів, ртутних кремнійових випрямлячів та іншої електроапаратури та електроприладів; конструкцію та призначення пускових і регулюючих пристроїв; прийоми і способи заміни зрощування та паяння проводу високої напруги; безпечні прийоми роботи, послідовність розбирання, ремонту і монтажу електроустаткування, позначення виводів обмоток електричних машин; припої і флюси; провідникові електроізоляційні матеріали та їх основні характеристики і класифікації; будову і призначення простого та середньої складності контрольно-вимірвального інструменту та пристроїв; способи замірювання електричних величин; прийоми виявлення та усунення несправностей у електромережах; правила прокладання кабелів у приміщеннях, під землею та підвісних тросах; правила електробезпеки в обсязі кваліфікаційної групи III. **Кваліфікаційні вимоги:** Повна загальна середня освіта та професійно-технічна освіта без вимог до стажу роботи або повна загальна середня освіта та професійна підготовка на виробництві. Підвищення кваліфікації та стаж роботи за професією електромонтера з ремонту та обслуговування електроустаткування 2 розряду — не менше 1 року.

4 розряд. **Повинен знати:** основи електротехніки; будову різних типів електродвигунів постійного та змінного струму, захисних і вимірвальних

приладів, комутаційної апаратури; найбільш раціональні способи перевірки, ремонту, складання, встановлення і обслуговування електродвигунів і електроапаратури, способи захисту їх від перенапруги; призначення релейного захисту; принцип дії та схеми максимально-струмового захисту; вибір перерізу проводу, плавких вставок і апаратів захисту залежно від струмового навантаження; будову і принцип роботи напівпровідникових та інших випрямлячів; технічні вимоги до виконання електричних проводок усіх типів; номенклатуру, властивості і взаємозамінність застосовуваних під час ремонту електроізоляційних і провідних матеріалів; методи проведення регульовально-здавальних робіт і здавання електроустаткування з пускорегульовальною апаратурою після ремонту; основні електричні норми настроювання обслуговуваного устаткування, методи перевірки і вимірювання їх; принцип дії устаткування, джерел живлення; будову, призначення та умови застосування складного контрольно-вимірювального інструменту; конструкцію універсальних і спеціальних пристроїв; правила електробезпеки в обов'язку кваліфікаційної групи IV. **Кваліфікаційні вимоги:** професійно-технічна освіта. Підвищення кваліфікації та стаж роботи за професією електрика з ремонту та обслуговування електроустаткування 3 розряду — не менше 1 року.

5 розряд. **Повинен знати:** основи телемеханіки; будову та електричні схеми різних електричних машин, електроапаратів, електроприладів вимірювання та автоматичного регулювання; загальні знання про призначення та основні вимоги до максимального струмового захисту; методи проведення випробувань електроустаткування і кабельних мереж, схеми електродвигунів та іншого обслуговуваного електроустаткування; будову реле різних систем і способи його перевірки і налагодження; прийоми робіт і послідовність операцій із розбирання, складання, ремонту і налагодження електричних машин великих потужностей, складного електроустаткування; правила випробування захисних засобів, які застосовуються в електричних установках; порядок організації безпечного ведення робіт в електроустановках, нагляду та обслуговування працюючого електроустаткування; побудову геометричних кривих, необхідних для

користування застосовуваними під час ремонту приладами; принцип роботи перетворювачів, установок високої частоти з машинними і ламповими генераторами; розрахунок потреби в статичних конденсаторах для підвищення косинуса фі; способи центрування і балансування електродвигунів; призначення і види високочастотного захисту; правила настроювання і регулювання контрольно-вимірювальних інструментів, правила електробезпеки в обсязі кваліфікаційної групи IV. **Кваліфікаційні вимоги:** професійно-технічна освіта. Підвищення кваліфікації та стаж роботи за професією електромонтера з ремонту та обслуговування електроустаткування 4 розряду — не менше 1 року.

6 розряд. **Повинен знати:** конструкцію, електричні схеми, способи і правила перевірки на точність різних електричних машин, електроапаратів, електроприводів будь-якої потужності і напруги та автоматичних ліній; схеми телекерування та автоматичного регулювання та способи їх налагодження; будову і конструкцію складних реле та приладів електронної системи; правила обслуговування ігнітронних зварювальних апаратів з електронікою, ультразвукових, електроімпульсних і електронних установок; методи комплексних випробувань електромашин, електроапаратів і електроприладів; правила складання електричних схем та іншої технічної документації на електроустаткування в мережі електроживлення; електричні схеми первинної і вторинної комутації розподільних пристроїв; принцип дії захисту з високочастотними блокуваннями; схеми стабілізаторів напруги, напівпровідникових, селенових випрямлячів і телеметричного керування оперативним освітленням і пультів оперативного керування; правила електробезпеки в обсязі кваліфікаційної групи IV. **Кваліфікаційні вимоги:** неповна вища освіта (молодший спеціаліст) без вимог до стажу роботи. Підвищення кваліфікації та стаж роботи за професією електромонтера з ремонту та обслуговування електроустаткування 5 розряду — не менше 1 року.

При обслуговуванні і ремонті електричного обладнання необхідно дотримуватися правил техніки безпеки. Під час роботи електричне обладнання його час від часу потрібно перевірити чи вийшло воно з ладу, а у випадку

аварійної ситуації – відключити. При огляді електричного обладнання обов'язково потрібно звернути увагу на наявність і справність захисного заземлення чи занулення корпусів, каркасів і т.д. не змінюючи кожухів і огорожень з діючого обладнання роботи.

Тяжкість ураження організму електричним струмом залежить від цілого ряду фізіологічних та фізичних чинників і умов середовища. Сюди відноситься: опір тіла людини, сила струму та тривалість його дії, шлях протікання через тіло людини; вид і частота електричного струму, індивідуальні особливості організму людини, стан її здоров'я і нервової системи, середовище, яке оточує людину при ураженні її електричним струмом і т. ін.

## 8.2 Організаційні та технічні заходи з охорони праці

Опір шкіри людини змінюється у широких межах. Так, суха, чиста, непошкоджена шкіра може мати опір понад 100 000 Ом. Волога шкіра, порізи, подряпини, забруднення знижують опір до 1000 - 5000 Ом та збільшують електропровідність шкіри, а відтак і небезпеку ураження людини струмом. У сухому, чистому непошкодженому стані роговий шар епідермісу має питомий опір 105-106 Ом. Електричний опір дерми значно менший.

Внутрішній опір тіла людини - це опір внутрішнього шару шкіри, внутрішніх тканин, органів та систем організму, що мають різні значення і змінну величину, яка коливається у широких межах. Наприклад, питомий опір м'язової тканини дорівнює 1,5-3,0 Ом · м, жирової тканини - 30-60 Ом · м, крові - 1—2 Ом · м, а спинномозкової рідини усього - 0,5-0,6 Ом · м.

Опір тіла людини — це змінна величина, яка коливається у широких межах і залежить від місця контакту електрода з тілом людини. Найменший опір має шкіра обличчя, шиї, тильної сторони кисті рук, підпахові впадини. На тілі людини є цілий ряд точок, де опір значно менший за опір сусідніх ділянок. Це явище співпадає зі старовинною топографією голковколювання, пояснити яке ще неможливо. Меншою мірою на опір тіла людини впливає стать або вік людини, однак відомо, що опір тіла у жінок і дітей значно менший, ніж у чоловіків, що можна пояснити більш тоншою і ніжнішою шкірою. Враховуючи всі наведені чинники, при доборі захисних та технічних засобів захисту від ураження електричним струмом, за опір тіла людини беруть 1000 Ом.

Опір людини не є величиною постійною; він зменшується при збільшенні: напруги і часу дії, що пояснюється пробоем верхнього шару шкіри; поверхні і площі контактів; струму, тому що при цьому збільшується прогрівання і потовиділення в місцях контактів і зволоження і забруднення шкіри. У табл. 8.1 наведено дані про характер дії струму на організм людини залежно від його величини.

Таблиця 8.1

Струм, мА	Характер дії струму	
	Змінного з частотою 50–60Гц	постійного

До 0,5	Не відчувається	Не відчувається
0,6—1,5	Легке тремтіння пальців	Не відчувається
2—3	Сильне тремтіння пальців	Не відчувається
5—10	Судомні скорочення	Відчуття нагрівання
12—15	Руки важко відірвати від електродів. Сильні болі	Посилення нагрівання
20—25	Параліч рук. Ускладнене дихання.	Ще більше підсилення нагрівання
50—58	Параліч дихання	Судомні скорочення
90—100	При тривалості більшій за 3 с — параліч серця	Ускладнення дихання Параліч дихання

Як видно з таблиці, змінний струм промислової частоти 50—60 Гц сильніше вражає людину ніж постійний, тому що густина струму буде більшою за рахунок ємнісних складових в електричному опорі людини, й амплітудне значення змінного струму більше, ніж постійного. При збільшенні частоти, починаючи приблизно з 1000 Гц, небезпека ураження зменшується. Струм високої частоти, починаючи з сотень кілогерц, викликає тільки опік, але не вражає внутрішні органи, тому що має місцевий поверхневий ефект.

Важливе значення на результат ураження людини має тривалість дії струму на організм. З часом збільшується прогрівання шкіри в місцях контакту з електродами, зменшується опір, що веде до збільшення струму, який проходить через людину. Час, протягом якого електричний струм може викликати смертельний результат, не перевищує частки секунди. Безпечний час дії знаходиться в межах 0,01 с — для змінного струму частотою 50—60 Гц, а для постійного струму — 0,02—0,05 с.

На результат ураження впливає також шлях струму в тілі людини, який визначає величину струму, що проходить через серце. Найбільш небезпечний шлях вздовж осі тіла, наприклад, рука—нога або рука—рука.

Що електричний струм у тілі проходить шляхом найменшого електричного опору (нервовими тканинами, кровоносними судинами тощо), обминаючи тканини з поганою електропровідністю (жир, м'язи), тому неможливо точно сказати, який шлях струму в тілі людини є найбільш безпечним. Встановлено, що результат ураження електричним струмом залежить від фізичного і психічного стану людини. Величина напруги, прикладеної до тіла людини, залежить від виду дотику: одно- або двополюсного. Але треба зауважити, що напруга порядку 127—500 В, яка застосовується в силових і освітлювальних електроустановках, є небезпечною для людини. В електричних установках напругою вищою за 1000 В однополюсний дотик при будь-якому режимі нейтралі дуже небезпечний тому, що крізь тіло людини утворюється електрична мережа через землю і нейтраль джерела живлення або через ємність мережі відносно землі і через опір ізоляції інших фаз.

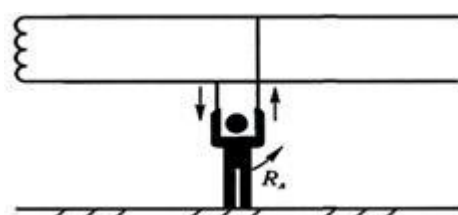
Струм, який проходить крізь тіло людини, залежить від напруги електроустановок, схеми під'єднання людини, режиму нейтралі, опору і ємності електричної мережі відносно землі. Розрізняють дво- і однополюсний дотик людини до частин електроустановок, які знаходяться під напругою. **Двополюсний, або двофазний дотик** (рис. 8.1, 8.2) є найбільш небезпечним тому, що в цьому випадку напруга дотику максимальна і дорівнює напрузі мережі, і струм, який проходить крізь людину, дорівнює:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{дот}}}{R_{\text{л}}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{л}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}}}{R_{\text{л}}}, \quad (8.1)$$

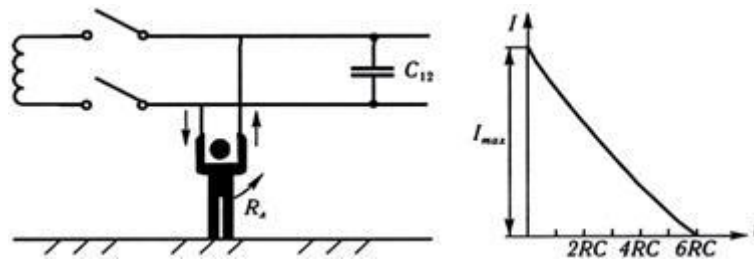
де  $I_{\text{л}}$ — струм, що проходить крізь людину, А;

$U_{\text{дот}}$ ,  $U_{\text{л}}$ ,  $U_{\text{ф}}$ — відповідно напруги дотику, лінійна і фазна, В;

$R_{\text{л}}$ — опір людини, Ом.



*Рис. 8.1. Двополюсний дотик людини до електричної мережі*



**Рис. 8.2. Двополюсний дотик людини до мережі із залишковим зарядом**

Людина може бути уражена електричним струмом у випадку дотику до проводів довгої повітряної або кабельної відімкненої мережі, яка має велику ємність, що аналогічно дотику до обкладок зарядженого конденсатора.

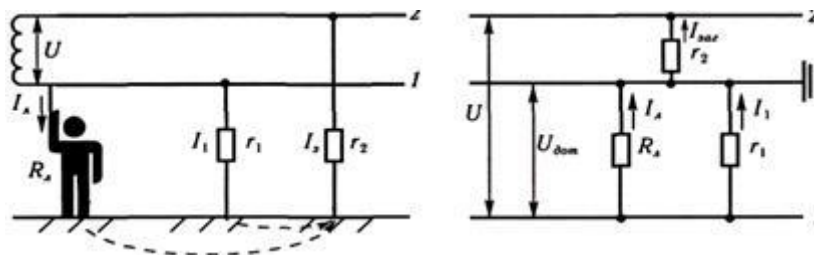
У цьому випадку крізь людину, ізольовану від землі, проходить струм, що змінюється за показовою кривою.

$$I_{\text{л}} = \frac{U_0}{R_{\text{л}}} \cdot t - \frac{t}{R_{\text{л}} \cdot C_{12}}, \quad (8.2)$$

де  $U_0$ — напруга між проводами в момент дотику, В;

$t$ — час від моменту дотику, с;

$C_{12}$ — ємність між проводами відключеної мережі, Ф.



**Рис. 8.3. Однополюсний дотик людини до електричної мережі**

Використовуючи схему заміщення, визначимо напругу дотику:

$$U_{\text{дот}} = \frac{R_{\text{л}} r_1}{R_{\text{л}} + r_1} I_{\text{зам}} \quad (8.3)$$

Загальний струм визначається зі схеми заміщення:

$$I_{\text{зам}} = \frac{U}{r_2 + R_1 / (R_{\text{л}} + r_1)} \quad (8.4)$$

Підставляючи формулу 13.4 в формулу 13.3, отримаємо вираз:

$$U_{\text{дот}} = U \frac{r_1 R_{\text{л}}}{r_1 r_2 + r_1 R_{\text{л}} + r_2 R_{\text{л}}} \quad (8.5)$$

Тоді струм, який проходить крізь тіло людини, визначають як:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{дот}}}{R_{\text{л}}} = U \frac{r_1 R_{\text{л}}}{r_1 r_2 + r_1 R_{\text{л}} + r_2 R_{\text{л}}} \quad (8.6)$$

Якщо  $r_1 = r_2 = r_{i3}$  де  $r_{i3}$  — опір ізоляції, то формула 8.4 набуде вигляду:

$$U_{\text{дот}} = U \frac{R_{\text{л}}}{2R_{\text{л}} + r_{\sigma}} \quad (8.7)$$

$$I_{\text{л}} = U \frac{1}{2R_{\text{л}} + r_{i3}} \quad (8.8)$$

Аналізуючи формулу 8.8, можна зробити висновок про зменшення струму, який проходить через людину під час збільшення опору ізоляції мережі.

Якщо людина стоїть на ізольованій підлозі і має взуття, тоді загальний опір людини визначаємо як:

$$R_3 = R_{\text{л}} + r_n + r_{\text{вз}} , \quad (8.9)$$

де  $r_n$  — опір підлоги, Ом;

$r_{\text{вз}}$  — опір взуття, Ом.

### 8.3 Практичне завдання

Людина доторкнулась до фазного проводу трифазної чотирипровідної мережі 380/220В (частотою 50Гц) з заземленою нейтраллю. Накреслити схеми і визначити напругу дотику ( $U_{\text{дот}}$ ) та силу струму, що проходить через людину ( $I_{\text{л}}$ ) для двох режимів роботи електроустановки: нормальному та аварійному (людина доторкнулась до фазного провідника в момент, коли інший провідник був замкнений на землю через різні опори замикання на землю  $R_{\text{зам}}$ , Ом). Покажіть, в яких випадках доторкання небезпечніше. В розрахунках прийняти опір тіла людини  $R_{\text{л}}$ , Ом; опір заземлення нейтралі  $R_0$ , Ом; опір ізоляції повідників  $R_A = R_B = R_C = R_N = R$ , Ом ; ємність провідників  $C_A = C_B = C_C = C_N = C$ ; мкФ. Вихідні дані для розрахунку:  $R_{\text{л}} = 700$  Ом;  $R_0 = 1$  Ом;  $R = 15$  Ом;  $C = 0,03$  мкФ;  $R_{\text{зам}} = 80; 40; 2; 0,2$ ; Ом.

При виконанні розрахунків по практичному завданні в нормальному режимі рівняння для визначення напруги дотику має вигляд:

$$U_{\text{дот}} = U_{\phi} \frac{R_{\text{л}}}{R_{\text{л}} + R_0}, B; \quad (8.10) \quad U_{\text{дот}} = 220 \frac{700}{700+1} = 219,6B$$

А струм через людину:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{л}} + R_0}, A; \quad (8.11) \quad I_{\text{л}} = \frac{220}{700+1} = 0,314A$$

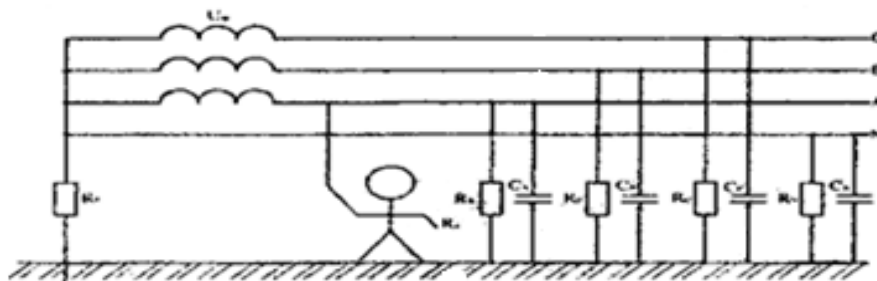


Рис.8.4. Однофазний дотик людини до проводу трифазної чотирипровідної мережі з заземленою нейтраллю.

При аварійному режимі, коли одна із фаз мережі, наприклад фаза С замкнута на землю через відносно малий активний опір  $R_{\text{зам}}$ , провідності двох інших фаз рівняння для визначення напруги дотику має вигляд:

$$U_{\text{дот}} = U_{\phi} R_{\text{л}} \frac{R_{\text{зам}} + R_0 \sqrt{3}}{R_{\text{зам}} R_0 + R_{\text{л}} (R_{\text{зам}} + R_0)}, B; \quad (8.12)$$

$$U_{\text{дот}} = 220 \cdot 700 \frac{80 + 1\sqrt{3}}{80 \cdot 1 + 700 \cdot (80 + 1)} = 375 B$$

$$U_{\text{дот}} = 220 \cdot 700 \frac{40 + 1\sqrt{3}}{40 \cdot 1 + 700 \cdot (40 + 1)} = 371 B$$

$$U_{\text{дот}} = 220 \cdot 700 \frac{2 + 1\sqrt{3}}{2 \cdot 1 + 700 \cdot (2 + 1)} = 253 B$$

$$U_{\text{дот}} = 220 \cdot 700 \frac{0,2 + 1\sqrt{3}}{0,2 \cdot 1 + 700 \cdot (0,2 + 1)} = 63,5 B$$

Струм визначається за формулою:

$$I_{\text{л}} = U_{\phi} \frac{R_{\text{зам}} + R_0 \sqrt{3}}{R_{\text{зам}} R_0 + R_{\text{л}} (R_{\text{зам}} + R_0)}, A; \quad (8.13)$$

$$I_{\text{л}} = 220 \frac{80 + 1\sqrt{3}}{80 \cdot 1 + 700 \cdot (80 + 1)} = 0,317 A$$

$$I_{\text{л}} = 220 \frac{40 + 1\sqrt{3}}{40 \cdot 1 + 700 \cdot (40 + 1)} = 0,319 A$$

$$I_{\text{л}} = 220 \frac{2 + 1\sqrt{3}}{2 \cdot 1 + 700 \cdot (2 + 1)} = 0,391 A$$

$$I_{\text{л}} = 220 \frac{0,2 + 1\sqrt{3}}{0,2 \cdot 1 + 700 \cdot (0,2 + 1)} = 0,506 A$$

Небезпечніше доторкання при  $R_{\text{зам}}=2$  Ом, а також  $R_{\text{зам}}=0,2$ ; Ом.

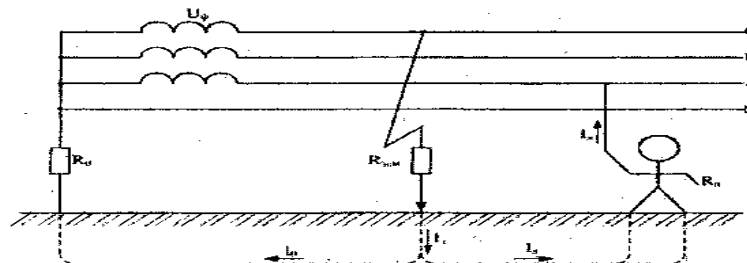


Рис.8.5. Однофазний дотик людини до проводу трифазної чотирипровідної мережі з заземленою нейтраллю при аварійному режимі.

Висновок: при нормальному режимі роботи електричної мережі напруга дотику ( $U_{\text{дот}}$ ) і струм через людину ( $I_{\text{л}}$ ), менше ніж при аварійному режимі роботи; при аварійному режиму роботи напруга дотику ( $U_{\text{дот}}$ ) та струм через людину змінюються залежно від опору замикання на землю ( $R_{\text{зам}}$ ), чим більше

опір замикання на землю ( $R_{зам}$ ), тим менше напруга дотику ( $U_{дот}$ ) і струм через людину, та навпаки, чим менше опір замикання на землю ( $R_{зам}$ ), тим більше напруга дотику ( $U_{дот}$ ) і струм через людину ( $I_{л}$ ).

## **Висновки**

У даному проєкті проведено розрахунок арматурного цеху заводу залізобетонних виробів з аналізом впливу сонячних електростанцій на якість електроенергії, метою якого є вибір оптимального варіанта схеми, параметрів електромережі та її складових, що дозволяє забезпечити потрібну надійність електропостачання та безперебійної роботи цеху.

У ході виконання дипломної роботи зробив розрахунок електричних навантажень цехових електроспоживачів.

Вибрав кількість, потужність та місця розташування компенсуючих пристроїв.

Вибрав кількість та потужність трансформаторів і місця розташування ТП.

Провів розрахунок струмів коротких замкнень.

Розрахував освітлювальну мережу арматурного цеху.

На основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що вибрано оптимальний та раціональний варіант електропостачання арматурного цеху.

## Л і т е р а т у р а

1. В. Є. Шестеренко, О. В. Шестеренко. Електропостачання промислових підприємств, Київ-2013.
2. Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. Электрическая часть станций и подстанций, Москва 1989.
3. О. М. Сірий, В. Є. Шестеренко. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств, Київ-2013.
4. В. Є. Шестеренко. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств, Вінниця-2004
5. О.М. Сірий, В.Є Шестеренко. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств. Київ. 1993.
6. О.М.Сірий Системи електроспоживання: розрахунки, вибір обладнання. Київ, 2011р.
7. Кривенков В.В., Новелла В.Н. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. Учеб. пособие для вузов – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 328 с.
8. Беркович М.А. и ДР. Основы техники релейной защиты М.: Эннергоатомиздат, 1985. – 480 с.
9. Правила улаштування електроустановок ( ПУЕ ). К. 2017., 736 с.
10. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. К. 2010.
11. Правила пожежної безпеки в Україні. К. 2015.
12. Справочная книга по светотехнике под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472 с., ил.