

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

**Інститут (факультет) ННІТІ ім.акад.І.С.Гулого**

**Кафедра Електропостачання та електроменеджменту**

**«До захисту в ЕК»**

Директор інституту(декан факультету)

\_\_\_\_\_ Блаженко С.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020р.

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Балюта С.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Кваліфікаційна робота**

**на здобуття освітнього ступеня бакалавра**

з спеціальності 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(шифр та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Електротехніка та електротехнології»

на тему ‘‘Розробка системи електропостачання ремонтно-механічного цеху  
домобудівної компанії та схеми управління вимикачами в розподільних  
пристроях’’

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

\_\_\_\_\_ Любченко Владислав Романович  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Литвин Ірина Юріївна  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

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

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ Іващенко Н.В.  
(прізвище та ініціали)

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

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 р.

Національний університет харчових технологій

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

**З А В Д А Н Н Я**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) ЗДОБУВАЧА**

Любченко Владислав Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема проекту (роботи) Розробка системи електропостачання ремонтно-механічного цеху домобудівної компанії та схема управління вимикачами в розподільних пристроях  
керівник проекту (роботи) Литвин І.Ю.  
затверджені наказом вищого навчального закладу від «08» 04. 2020 р. № 260- кс
- Строк подання студентом проекту (роботи) 03 червня 2020 року
- Вихідні дані до проекту (роботи) Характеристики споживачів цеху; генплан споживачів в цеху; характеристика високовольтних двигунів; струм КЗ на РПВН; графік реактивної потужності
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розрахунок навантаження ремонтно-механічного цеху ; компенсація реактивної потужності; вибір схеми внутрішнього електропостачання цеху; розрахунок струмів короткого замикання та вибір електричних апаратів; якість електричної енергії.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) План розташування електричного обладнання ремонтно-механічного цеху; однолінійна схема електропостачання ремонтно-механічного цеху; конструкція цехової трансформаторної підстанції; спеціальна частина

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона	Доц. каф. ЕБ та ОП		
праці	к.т.н. Сірик А.О.		

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 наванчачення <u>ремонтно-механічного цеху</u>	16.04.2020 р	
3	Компенсація реактивної потужності	22.04.2020 р	
4	Вибір схеми внутрішнього електропостачання цеху	25.04.2020 р	
5	Розрахунок струмів короткого замикання та вибір електричних апаратів	02.05.2020 р	
6	Якість електричної енергії	10.05.2020р	
7	Електричне освітлення	15.05.2020р	
8	Спецпитання	23.05.2020р	
9	Охорона праці	24.05.2020р	
10	Оформлення пояснювальної записки	25.05.2020р	
11	Оформлення графічної частини проекту	31.05.2020р	
12	Подання готової роботи для перевірки на плагіат	16.06.2020р	

Здобувач

\_\_\_\_\_ (підпис)

Любченко В.Р.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Литвин І.Ю.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## **Анотація**

Любченко В.Р. Розробка системи електропостачання ремонтно-механічного цеху домобудівної компанії та схема управління вимикачами в розподільних пристроях.

Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра за напрямом 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. Національний університет харчових технологій, Київ, 2020. Пояснювальна записка складається зі вступу, восьми розділів та списку використаної літератури. Загальний обсяг пояснювальної записки становить 77 стор.

Метою роботи є проектування загальної схеми електропостачання, розрахунок електричних навантажень цехових електроприймачів, вибір елементів та розрахунок цехової мережі, розрахунок освітлювальної мережі ремонтно-механічного цеху домобудівної компанії, схема управління вимикачами в РП

У дипломному проекті розроблено: однолінійну схему ремонтно-механічного цеху, схему кабельних трас ремонтно-механічного цеху домобудівної компанії, схема освітлювальної мережі ремонтно-механічного цеху домобудівної компанії. Проаналізовано схеми управління вимикачами в розподільчих пристроях

**ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ; НАПРУГА; СТРУМ; ВИСОКОВОЛЬТНІ  
ВИМИКАЧІ**

## Summary

Lyubchenko V.R. Development of the power supply system of the repair and mechanical shop of the house-building company and the control scheme of the switches in the switchgear.

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 and a list of references. The total volume of the explanatory note is 77 pages.

The purpose of the work is to design a 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 repair and mechanical shop of a house-building company, circuit control circuit breakers in RP

In the diploma project the following is developed: the one-line scheme of repair and mechanical shop, the scheme of cable routes of repair and mechanical shop of the house-building company, the scheme of a lighting network of repair and mechanical shop of the house-building company. Circuits of control of switches in switchgears are analyzed

POWER SUPPLY; HIGH-VOLTAGE; CURRENT; HIGH VOLTAGE SWITCHES

## **Аннотация**

Любченко В.Р. Разработка системы электроснабжения ремонтно-механического цеха домостроительной компании и схема управления выключателями в распределительных устройствах.

Дипломный проект на соискание степени бакалавра по направлению 141 "Электроэнергетика, электротехника и электромеханика". Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2020. Пояснительная записка состоит из введения, восьми глав и списка использованной литературы. Общий объем пояснительной записки составляет 77 стр.

Целью работы является проектирование общей схемы электроснабжения, расчет электрических нагрузок цеховых электроприемников, выбор элементов и расчет цеховой сети, расчет осветительной сети ремонтно-механического цеха домостроительной компании, схема управления выключателями в РУ

В дипломном проекте разработаны: однолинейную схему ремонтно-механического цеха, схему кабельных трасс ремонтно-механического цеха домостроительной компании, схема осветительной сети ремонтно-механического цеха домостроительной компании. Проанализированы схемы управления выключателями в распределительных устройствах

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ; НАПРЯЖЕНИЕ; ТОК; ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ  
ВЫКЛЮЧАТЕЛИ**

## Зміст

Вступ.....	8
Завдання.....	9
1.Розрахунок навантаження ремонтно - механічного цеху.....	13
2.Компенсація реактивної потужності.....	17
3.Вибір схеми внутрішнього електропостачання цеху.....	20
4.Розрахунок струмів короткого замикання та вибір електричних апаратів.....	30
5.Якість електричної енергії.....	50
6.Електричне освітлення.....	52
7.Спеціальна частина.....	57
8.Охорона праці.....	68
Список використаної літератури.....	77

## Вступ

Проектування систем електропостачання полягає в розробці комплексної документації, яка містить техніко-економічні обґрунтування, розрахунки, креслення, схеми та пояснювальна записка.

Основна остаточна мета процесу проектування – створення мисленого уявлення про конкретну систему електропостачання. Система електропостачання – це сукупність електроустановок пов'язаних єдиним процесом виробництва, передачі, перетворення і розподілу електричної енергії по споживачам. Для створення доскональної та надійної системи електропостачання розробляється проект.

Проект – це сукупність конструкторських документів, які дають потрібне уявлення про будову створюваного спорудження(об'єкт системи).

В ході проектування проводиться аналіз потужності електроспоживачів, їх категорійність на напруги на які вони працюють, а також їх розташування.

В результаті аналізу визначаються групи приймачів електроенергії та намічається попередній варіант структурної схеми електропостачання. Далі проектувальник повинен вирішити задачу оптимального варіанту ел.мережи та порівняти їх технічні та економічні показники.

Наступним кроком є встановлення технічних параметрів при виборі конкретного електроустаткування. На цьому етапі проектування робиться загальна розробка взаємозв'язків конструктивної частини, кабельних трас, технології монтажу, процесу керування тощо. За даними, одержаними на цьому Етапі проводяться розрахунки з визначенням параметрів системи електропостачання та робиться вибір обладнання релейного захисту та автоматики.

Завершенням проекту є вибір обладнання і техніко-економічні розрахунки з контролю правильності та якості прийнятих рішень.

## Завдання

Завданням дипломного проєкту є розробка системи електропостачання ремонтно-механічного цеху домобудівної компанії та схеми управління вимикачами в розподільних пристроях.

Номер на генплані	Назва електроприймача	Кількість n , шт	Встановлена потужність , кВт	Коефіцієнт використання , $K_B$	$\cos\varphi/tg\varphi$
1	Станок трубозгинальний	1	8	0,16	0,6/1,33
2	Труборізний станок	1	12	0,16	0,6/1,33
3-8	Токарний станок	6	1,7	0,14	0,5/1,73
9-10	Токарно-гвинторізний станок	2	7,5	0,14	0,5/1,73
11-12	Фрезерний станок	2	6	0,14	0,5/1,73
13	Прес листозгинальний	1	11	0,24	0,65/1,17
14-15	Універсально-фрезерний станок	2	4	0,14	0,5/1,73
16	Прес-ножиці	1	3,2	0,24	0,65/1,17
17	Кран – балка ПВ=40%	1	24	0,15	0,5/1,73
18	Станок відрізний з дисковою пилою	1	5,5	0,16	0,6/1,33
19-20	Стругальний станок	2	2	0,16	0,6/1,33
21,22	Свердлильний станок	2	3	0,16	0,6/1,33
23,24	Заточний станок	2	4	0,16	0,6/1,33
25,26	Вертикально-свердлувальний станок	2	2,2	0,14	0,5/1,73
27	Заточний станок	1	3	0,16	0,6/1,33
28	Ножниці	1	1,5	0,24	0,65/1,17
29,30	Круглошліфувальний станок	2	11	0,16	0,6/1,33
31,32	Внутрішньошліфувальний станок	2	5	0,16	0,6/1,33
33	Вентилятор	1	12	0,65	0,8/0,75
34	Пневматичний молот	1	7,5	0,24	0,65/1,17
35	Заточний станок	1	1,2	0,16	0,6/1,33
36	Піч муфельна	1	4,8	0,75	0,95/0,33
37	Вентилятор	1	8,5	0,65	0,8/0,75
38,39	Електрична піч	2	15	0,75	0,95/0,33
40	Молот	1	4	0,24	0,65/1,17
41	Прес фрикційний	1	7,5	0,24	0,65/1,17
42,43	Зварювальний перетворювач	2	18	0,2	0,6/1,33
44	Зварювальний трансформатор ПВ=40%	1	14	0,25	0,35/2,67
45	Заточний станок	1	12	0,16	0,6/1,33
46	Вентилятор	1	5	0,65	0,8/0,75

47	Машина электрозваривальная точкова, ПВ=60%	1	20	0,2	0,6/1,33
48-50	Зваривальный агрегат ПВ=60%	3	25	0,2	0,6/1,33
51	Кран – балка ПВ=25%	1	11	0,15	0,5/1,73
52,53	Настільно-свердильний станок	2	1,8	0,14	0,5/1,73
54-57	Намотувальний станок	4	3,2	0,2	0,65/1,17
58	Вентилятор	1	16	0,65	0,8/0,75
59,60	Сушильний шкаф	2	3,5	0,75	0,95/0,33
61,62	Настільно-токарний станок	2	1,2	0,14	0,5/1,73
63	Свердильний станок	1	8,5	0,14	0,5/1,73

Табл.1

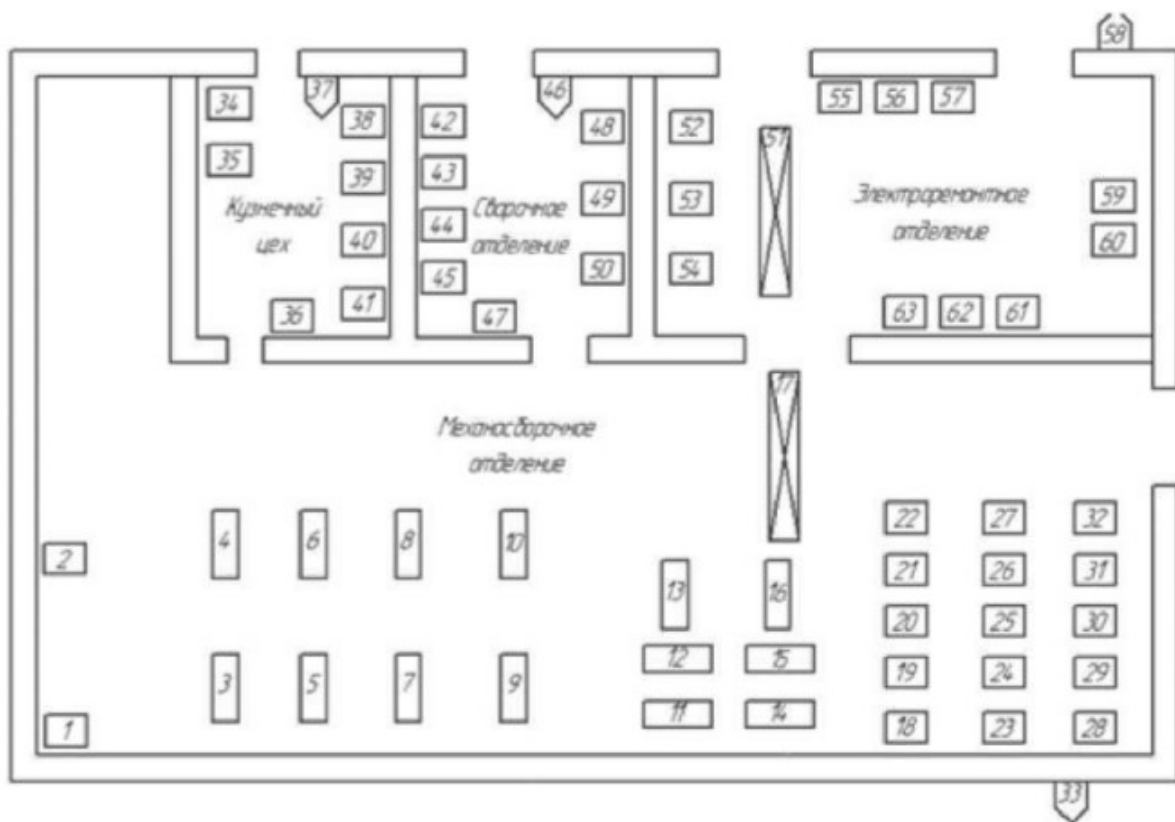


Рис.1 Генплан ремонтно – механического цеха домобудівної компанії

t , год	$\frac{Q_t}{Q_n} * 100 , \%$
0 - 3	45
3 - 6	35
6 - 9	25
9 - 12	65
12 - 15	50

15 - 18	40
18 – 21	35
21 - 24	55
$\cos\varphi_H$	0,96

Табл.2Додаток Б

Матеріал проводу живлення електроприймачів 380 В	Al
Категорійність електроспоживачів	3

Табл.3 Додаток В

Номінальна потужність	400
Тип електродвигуна	АД
Кількість електродвигунів	4
Номінальна напруга	6
Коефіцієнт завантаження	0,65
Віддаль до РП ВН ,м	100

Табл.4 Додаток Г

$$T_{нб} = 2\,700 \text{ год.}$$

$I_{кз}^{ВН} = 11,8 \text{ кА}$  – струм трифазного КЗ на стороні ВН.

Геометричні розміри цеху:

висота –  $h = 6 \text{ м}$ ;

довжина –  $a = 63 \text{ м}$ ;

ширина –  $b = 35 \text{ м}$ .

## 1. Розрахунок навантаження ремонтно – механічного цеху

Загальна кількість електроприймачів ремонтно – механічного цеху домобудівної компанії – 63 електроприймача. З них 5 – електроприймачі з постійним навантаженням, 58 – електроприймачі зі змінним навантаженням. Тому розрахунок будемо проводити за методом впорядкованих діаграм, з поділом електроприймачів за типом навантаження, їх окремо розраховуємо, і лише в кінці сумуємо їх повні потужності.

Виконувати розрахунки будемо послідовно. Тобто, спочатку розраховуємо повну потужність електроприймачів зі змінним навантаженням.

Номинальна потужність станка трубозгинального:

$$P_{\text{ном.с.т.}} = n * P_{\text{вст.с.т.}} = 1 * 8 = 8 \text{ кВт.}$$

Сумарна номинальна потужність змінного навантаження:

$$P_{\text{н.змін}} = \sum P_{\text{н.змін.і}} = 427,8 \text{ кВт.}$$

Середня  $P_{\text{см.с.т.}}$  станка трубозгинального за найбільш завантажену зміну:

$$P_{\text{см.с.т.}} = K_{\text{в.с.т.}} * P_{\text{ном.а.т.}} = 0,16 * 8 = 1,28 \text{ кВт.}$$

Сумарна середня активна потужність змінного навантаження:

$$P_{\text{см.змін.}} = \sum P_{\text{см.змін.}} = 96,67 \text{ кВт.}$$

Середня  $Q_{\text{см.с.т.}}$  станка трубозгинального за найбільш завантажену зміну:

$$Q_{\text{см.с.т.}} = P_{\text{см.с.т.}} * \text{tg}\varphi_{\text{с.т.}} = 1,28 * 1,33 = 1,7 \text{ квар.}$$

Сумарна середня реактивна потужність змінного навантаження:

$$Q_{\text{см.змін.}} = \sum Q_{\text{см.змін.і.}} = 121,54 \text{квар.}$$

Коефіцієнт використання ремонтно – механічного цеху при змінному навантаженні:

$$K_B = \frac{P_{\text{см.змін.}}}{P_{\text{н.змін.}}} = \frac{96,67}{427,8} = 0,226.$$

Ефективна кількість електроприймачів ремонтно – механічного цеху:

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{\text{н.змін.і.}})^2}{\sum_{i=1}^n P_{\text{н.змін.і.}}^2 * n} = \frac{427,8^2}{5684,02} = 32,2.$$

Коефіцієнт максимуму:

$$K_M = f(n_e, K_B)$$

$n_e/K_B$	0.2	0.3
30	1,34	1,24
35	1,3	1,21

Табл.5

Коефіцієнт максимуму після інтерполявання:

$$K_M = 1,31.$$

Розрахункова активна потужність:

$$P_{\text{р.змін.}} = K_M * P_{\text{см.змін.}} = 1,31 * 96,67 = 126,64 \text{ кВт.}$$

Розрахункова реактивна потужність:

$$n_e > 10,$$

$$Q_{\text{р.змін.}} = Q_{\text{см.змін.}} = 121,54 \text{ квар.}$$

Повна розрахункова потужність:

$$S_{\text{р.змін.}} = \sqrt{P_{\text{р.змін.}}^2 + Q_{\text{р.змін.}}^2} = \sqrt{126,64^2 + 121,54^2} = 175,5 \text{ кВ * А.}$$

Розрахунковий струм:

$$I_{p.змін.} = \frac{S_{p.змін.}}{\sqrt{3} * U_H} = \frac{175,5}{\sqrt{3} * 0,4} = 253,3 \text{ А.}$$

Розрахунок для електроприймачів постійного навантаження.

Сумарна номінальна потужність постійного навантаження:

$$P_{н.пост.} = \sum P_{н.пост.} = 41,8 \text{ кВт.}$$

Сумарна середня активна потужність постійного навантаження:

$$P_{см.пост.} = \sum P_{см.пост.} = 31,35 \text{ кВт.}$$

Сумарна середня реактивна потужність постійного навантаження:

$$Q_{см.пост.} = \sum Q_{см.пост.} = 10,35 \text{ квар.}$$

Розрахункова активна потужність:

$$P_{р.пост.} = P_{см.пост.} = 31,35 \text{ кВт.}$$

Розрахункова реактивна потужність:

$$Q_{р.пост.} = Q_{см.пост.} = 10,35 \text{ квар.}$$

Повна розрахункова потужність постійного навантаження:

$$S_{р.пост.} = \sqrt{P_{р.пост.}^2 + Q_{р.пост.}^2} = \sqrt{31,35^2 + 10,35^2} = 33 \text{ кВ * А.}$$

Розрахунковий струм постійного навантаження:

$$I_{р.пост.} = \frac{S_{р.пост.}}{\sqrt{3} * U_{ном}} = \frac{33}{\sqrt{3} * 0,4} = 47,6 \text{ А.}$$

Повна потужність силового навантаження ремонтно – механічного цеху  
домобудівної компанії:

$$S_{\text{силове}} = S_{\text{р.змін.}} + S_{\text{р.пост.}} = 175,5 + 33 = 208,5 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Струм силового навантаження:

$$I_{\text{силове}} = \frac{S_{\text{силове}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{208,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 301 \text{ А}.$$

Величина пікового струму силової частини ремонтно – механічного цеху.

Розрахунок пікового струму будемо проводити окремо для електроприймачів змінного навантаження, окремо – постійного навантаження.

Виділимо з групи змінного навантаження найпотужнішого електроприймача:

зварювальний агрегат (ПВ=60%) з потужністю 25 кВт.

Потрібно розрахувати його номінальний і пусковий струми.

Номінальний струм зварювального агрегата:

$$I_{\text{зв.ап. ном}} = \frac{P_{\text{ном}}^{\text{зв.ап.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}} \cdot \cos_{\text{зв.ап.}}} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,6} = 60,14 \text{ А}.$$

Пусковий струм зварювального агрегата:

$$i_{\text{пуск}}^{\text{зв.ап.}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{зв.ап. ном}} = 3 \cdot 60,14 = 180,42 \text{ А},$$

де  $K_{\text{пуск}}$  – кратність пускового струму для зварювальних апаратів.

Піковий струм змінного навантаження:

$$I_{\text{пik.змін.}} = i_{\text{пуск}}^{\text{зв.ап.}} + (I_{\text{р.змін.}} - K_B \cdot I_{\text{зв.ап. ном}}) = 180,42 + (253,3 - 0,2 \cdot 60,14) = 421,7 \text{ А}.$$

Піковий струм постійного навантаження:

$$I_{\text{пik.пост.}} = I_{\text{р.пост.}} = 47,6 \text{ А}.$$

Повний піковий струм силової частини ремонтно – механічного цеху:

$$I_{\Sigma \text{ пікове}} = I_{\text{пiк.змін.}} + I_{\text{пiк.пост.}} = 421,7 + 47,6 = 469,3 \text{ А.}$$

Освітлювальна частина навантаження ремонтно – механічного цеху.

Питома потужність у виробничих приміщеннях вибирається з діапазону:

$$P_{\text{пит}} = 10 \dots 15 \text{ Вт/м}^2.$$

Площа ремонтно – механічного цеху:

$$S = a * b = 63 * 35 = 2\,205 \text{ м}^2.$$

Активна потужність освітлення ремонтно – механічного цеху:

$$P_{\text{ос.}} = P_{\text{пит}} * S = 13 * 2\,205 = 28\,665 \text{ кВт.}$$

Реактивна потужність освітлення ремонтно – механічного цеху:

$$Q_{\text{ос.}} = P_{\text{ос.}} * \text{tg}\varphi = 28,665 * 0,284 = 8,14 \text{ квар ,}$$

де,  $\cos\varphi = 0,97$  – для світлодіодного джерела світла,  $\text{tg}\varphi = \arccos(0,96) = 0,284$ .

Повна потужність освітлення ремонтно – механічного цеху:

$$S_{\text{ос.}} = \sqrt{P_{\text{ос.}}^2 + Q_{\text{ос.}}^2} = \sqrt{28,665^2 + 8,14^2} = 29,8 \text{ кВ * А.}$$

Струм освітлення ремонтно – механічного цеху домобудівної компанії:

$$I_{\text{ос.}} = \frac{S_{\text{ос.}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}}} = \frac{29,8}{\sqrt{3} * 0,4} = 43 \text{ А.}$$

Загальна потужність (силова і освітлювальна) ремонтно – механічного цеху домобудівної компанії:

$$S_{\text{роз.}} = S_{\text{силове}} + S_{\text{ос.}} = 208,5 + 29,8 = 238,3 \text{ кВ * А.}$$

Повний розрахунковий струм ремонтно – механічного цеху:

$$I_{\text{роз.}} = \frac{S_{\text{роз.}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}}} = \frac{238,3}{\sqrt{3} * 0,4} = 344 \text{ А.}$$

Тип навантаження	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВ*А}$	$I_p, \text{А}$
Змінне	126,64	121,54	175,5	253,3
Постійне	31,35	10,35	33	47,6
Силове	158	131,9	208,5	301
Освітлювальне	28,665	8,14	29,8	43
Цех	188,7	140	238,3	344

Табл.6

## 2. Компенсація реактивної потужності

Потреби підприємства в реактивній потужності покриваються за рахунок джерел енергосистеми, основними з яких є генератори електростанцій і синхронні компенсатори, і власних ДРП (джерел реактивної потужності) на підприємстві.

У якості власних ДРП в системах електропостачання використовуються:

- генератори електростанцій і синхронні двигуни (СД) – синхронні машини;

-повітряні і кабельні лінії електричних мереж;

-додатково встановлюються пристрої, що компенсують: синхронні компенсатори, батареї конденсаторів поперечного включення високого і низького (до 1 кВ) напруг, вентильні установки зі спеціальним регулюванням (статичні компенсуючі пристрої).

Для компенсації реактивної потужності ремонтно – механічного цеху домобудівельної компанії розрахуємо і оберемо конденсаторну установку за наведеною формулою:

$$Q_{\text{КУ}} = Q_{\text{роз.}} = 140 \text{ квар.}$$

За вищенаведеним значенням обираємо найближче більше значення потужності конденсаторної установки. Обираємо УКМ58 – 0.4 – 140 – 20У1.

Перевірка за умовою:

$$Q_{\text{КУ}} \geq Q_{\text{р}}$$

$$Q_{\text{КУ}} = 140 \text{ квар} = Q_{\text{р}} = 140 \text{ квар.}$$

Отже, теоретично, обрана конденсаторна установка не тільки повністю компенсує реактивну потужність, яка генерується електроприймачами цеху але й сама не генерує в мережу цю ж потужність.

Вибиремо як апарат захисту для конденсаторної установки автоматичний вимикач за значенням номінального струму цієї ж установки:

$$I_{\text{КУ}} = 202 \text{ А,}$$

$$I_{\text{розч.АВ.}} = 250 \text{ А} > I_{\text{КУ}} = 202 \text{ А;}$$

$$I_{\text{АВ}} = 250 \text{ А} = I_{\text{розч.АВ.}} = 250 \text{ А;}$$

АВ ВА57 – 35 пройшов перевірку згідно з вищенаведеними умовами і тому приймаємо його до встановлення.

Установки конденсаторні призначені для компенсації реактивної потужності електричних приймачів індуктивного характеру і призначені для підтримки постійного заданого значення коефіцієнта потужності ( $\cos\phi$ ), в електричних розподільчих трифазних мережах низької напруги до 0,4 кВ, частотою 50 Гц промислових підприємств та інших об'єктів. Призначені для мереж з малим рівнем струмів вищих гармонік.

До складу установки входять автоматичний цифровий регулятор, комутаційні і захисні апарати, конденсатори по числу ступенів регулювання, ввідний комутаційний апарат, прилади вимірювання та індикації. Автоматичний контролер реалізує управління і стабілізацію заданого коефіцієнта потужності, допускає управління ступенями компенсації в ручному режимі з його власної панелі

Регулятор має можливість попереднього програмування необхідних експлуатаційних параметрів (чутливість,  $\cos\phi$ , час реакції, добовий графік роботи, закон управління - при необхідності та ін.)

Установки допускають тривалу роботу при підвищенні діючого значення напруги до 1,1 номінального і підвищенні діючого значення струму до 1,3 номінального, одержуваного як за рахунок підвищення напруги, так і за рахунок вищих гармонік.

Побудуємо графік зміни реактивної потужності за добу згідно з наступними даним, наведеними в таблиці нижче:

t , год	$\frac{Q_t}{Q_n} * 100 , \%$	$U_t, \text{В}$
0 - 3	45	63
3 - 6	35	49
6 - 9	25	35
9 - 12	65	91
12 - 15	50	70
15 - 18	40	56
18 - 21	35	49
21 - 24	55	77

Табл.7

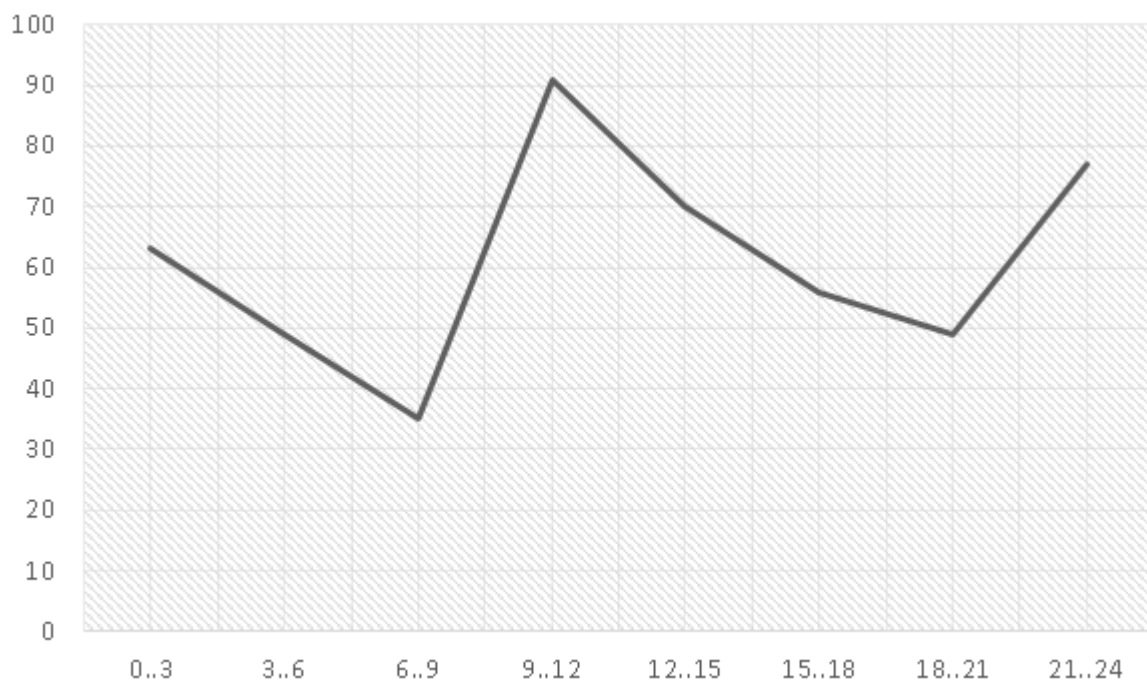


Рис.2

### 3. Вибір схеми внутрішнього електропостачання цеху

Внутрішньоцехові мережі виконуються по радіальним, магістральним або змішаним схемам. Кожен вид схеми має свою найбільш доцільну область застосування.

Магістральні схеми широко застосовуються в приміщеннях з нормальним середовищем і рівномірним розподілом технологічного обладнання. При цьому нерідко трансформатор цехової підстанції не має розподільного щита на низькій стороні і магістральна схема виконується за схемою блоку трансформатор – магістраль. Магістральну мережу найбільш просто використати з використанням шинопроводів.

Радіальні схеми живлення застосовуються в приміщеннях з будь-яким середовищем. Від ТП відходять лінії, що живлять безпосередньо потужні ЕП або розподільні шафи і силові шафи, від яких окремими лініями живлять більш дрібні ЕП. Перевага радіальної схеми живлення в порівнянні з магістральною полягає в більш високій надійності електропостачання та зручності експлуатації. При

коротких замиканнях припиняють роботу один або декілька ЕП, підключених до пошкодженої лінії, інші продовжують працювати.

### **3.1. Вибір типу та розміщення цехової підстанції**

При вирішенні цього питання в основному користуються такими положеннями:

- число трансформаторів на підстанції визначається з умов надійності живлення з урахуванням категорії споживачів електроенергії;
- намічаються можливі варіанти потужності трансформаторів з урахуванням допустимого їх перевантаження в робочому і післяаварійних режимах, і на підставі техніко – економічного зіставлення вибирається прийнятний варіант з урахуванням можливого збільшення навантаження.

Трансформаторні підстанції повинні розміщуватися якомога ближче до центру електричних навантажень. Для цього повинні застосовуватися внутрішньоцехові ТП, а також вбудовані в будівлю цеху або прибудовані до нього ТП, що живлять окремі цехи або їх частини.

ТП повинна розміщуватися поза цехом тільки при неможливості розміщення всередині його або при розташуванні частини навантажень поза цехом. Застосування зовнішніх окремо розташованих ТП доцільно:

- при живленні від однієї ТП кількох цехів;
- при наявності в цехах вибухонебезпечних виробництв;
- при неможливості розташування ТП всередині з міркувань виробничого характеру.

### **3.2. Вибір кількості й потужності трансформаторів**

При надійності електроприймачів – III-ої категорію і розрахунковому навантаженню цеха менше 1000 кВ \* А встановлюємо один трансформатор.

Врахуємо компенсацію  $Q_{роз.}$  на шинах НН:

$$S_{роз} \approx P_{роз} = 188,7 \text{кВ} \cdot \text{А}.$$

Бажана потужність трансформатора:

$$S_{баж.} = \frac{S_{роз.}}{\beta_T} = \frac{188,7}{0,9} = 209,67 \text{кВ} \cdot \text{А},$$

$\beta_T = 0,9$  для III-ої категорії.

Обираємо для встановлення в ТП ТМ – 250/6.

Коефіцієнт завантаження при розрахунковій потужності:

$$\beta_{факт.} = \frac{S_{роз.}}{S_{тр.}} = \frac{188,7}{250} = 0,75.$$

Технічні дані ТМ – 250 / 6 .

Тип	$S_{тр.},$ кВ*А	$U_{тр.},$ кВ		Втрати , кВт		$U_{к.},$ %	$I_{х.},$ %
		ВН	НН	$P_x$	$P_k$		
ТМ –250/6	400	6	0.4	0,82	3,7	4,5	2,3

Табл.9

Порахуємо реактивні втрати на х.х.:

$$\Delta Q_x = S_{тр.} * \frac{I_x}{100} = 250 * \frac{2,3}{100} = 5,75 \text{ квар};$$

Порахуємо реактивні втрати на к.з.:

$$\Delta Q_k = S_{тр.} * \frac{U_k}{100} = 250 * \frac{4,5}{100} = 11,25 \text{ квар}.$$

Знайдемо активні втрати на х.х.:

$$\Delta P_{x.}' = \Delta P_x + k_e * \Delta Q_x = 0,82 + 0,05 * 5,75 = 1,11 \text{ кВт};$$

Знайдемо активні втрати на к.з.:

$$\Delta P_{к.з.} = \Delta P_{к} + k_e * \Delta Q_{к} = 3,7 + 0,05 * 11,25 = 9,3 \text{ кВт.}$$

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

В якості розподільчих пристроїв будемо використовувати силові пункти типу СПА-77. Я вважаю, що за такої малої розрахункової потужності встановлювати РП не є необхідним. Тому СП будуть отримувати живлення безпосередньо від однотрансформаторної внутрішньоцехової ТП.

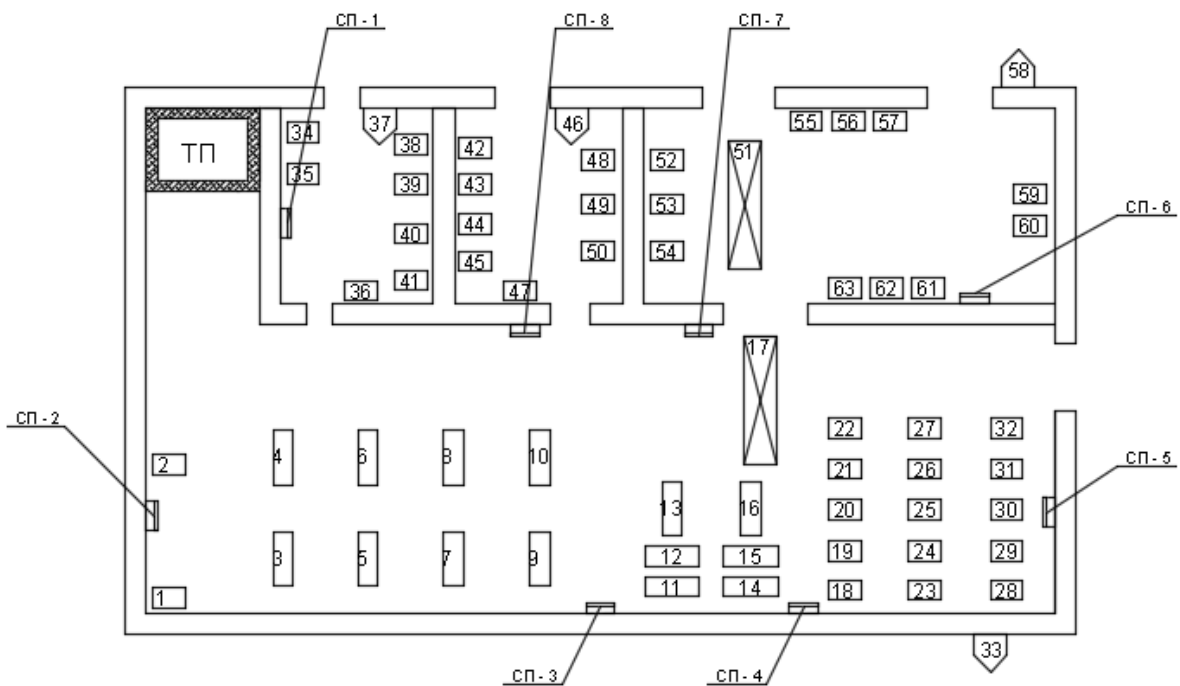


Рис.3 Схема розміщення внутрішньоцехової ТП і СП в цеху

### 3.4. Вибір трас та способів прокладання кабельних трас

#### трас

В якості трас від ТП до СП будемо використовувати відкриту прокладку кабеля по лотках, так як при цьому ми забезпечуємо і зменшуємо вірогідність

механічного пошкодження кабеля при його експлуатації і швидкий його ремонт чи заміна в разі його пошкодження.

Від СП до ЕП використовується прокладка кабеля в трубах, що забезпечує його механічну безпеку і меншу витрати провідникового матеріалу внаслідок виконання трас по найкоротшим відстаням.

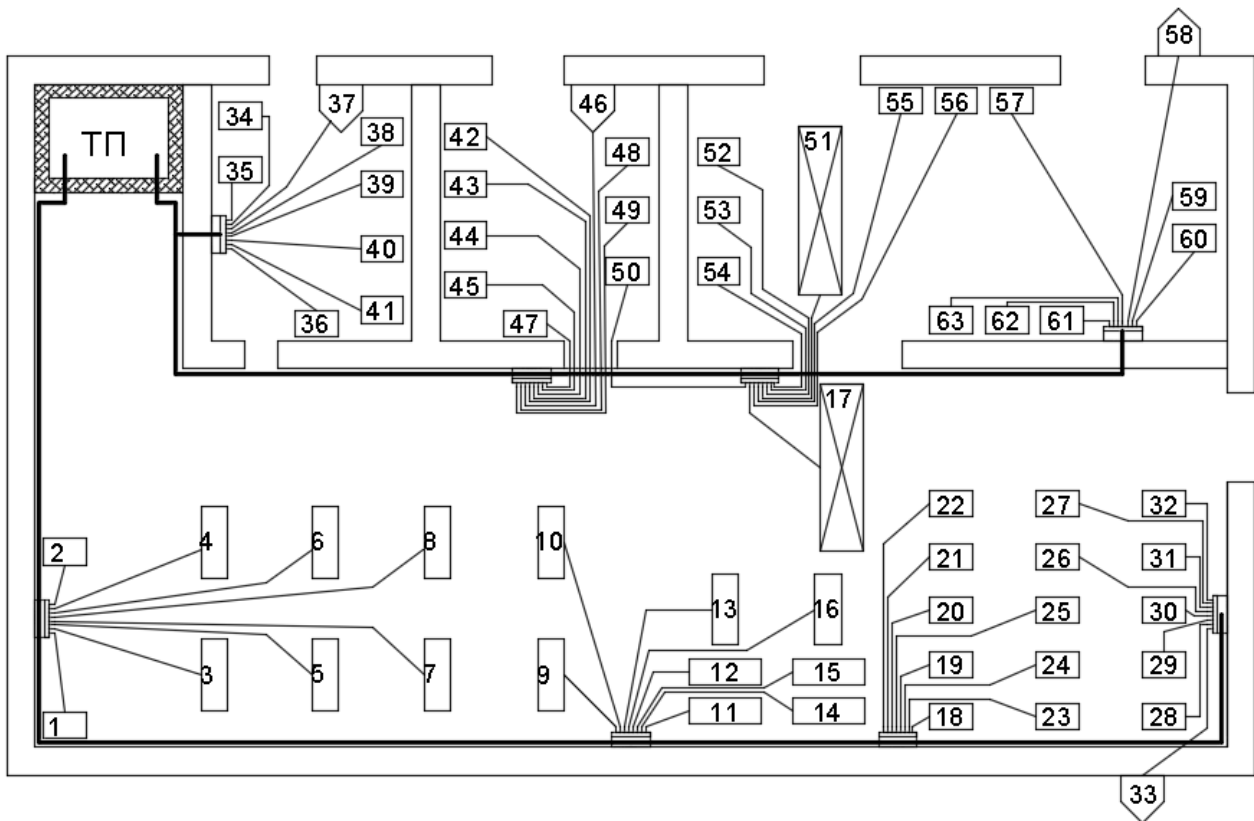


Рис.4 Схема прокладання трас

В силових пунктах встановлюються автоматичні вимикачі як апарати захисту відхідних ліній.

В таблицю зведемо дані про спосіб прокладки траси, початок і кінець траси, довжина траси і необхідний номінальний струм розчеплювача для захисту ЕП або СП і щоб мати змогу конкретно підібрати тип СП і відповідні АВ, які в ньому будуть встановлюватися.

Початок траси	Кінцева точка	Спосіб прокладки	Довжина траси, м	$I_{\text{ном. АВ}} / I_{\text{розч.}}, \text{А}$	Кількість приєднань/резерв
СП-1 СПА-77- 5УЗ	34	в трубі	5,9	63/25	8 / 0
	35		2,1	63/4	
	36		5,7	63/10	
	37		8	63/25	
	38		9,45	63/32	
	39		7,7	63/32	
	40		7,2	63/16	
	41		8	63/25	
СП-2 СПА-77- 5УЗ	1	в трубі	4,3	63/32	8 / 0
	2		2,4	63/40	
	3		8,2	63/8	
	4		8,6	63/8	
	5		15	63/8	
	6		14,8	63/8	
	7		20,7	63/8	
	8		20,5	63/8	
СП-3 СПА-77- 5УЗ	9	в трубі	3,9	63/32	8 / 0
	10		10,4	63/32	
	11		2,6	63/25	
	12		5,3	63/25	
	13		10,1	63/32	
	14		9,8	63/16	
	15		10,4	63/16	
	16		16,5	63/10	
СП-4 СПА-77- 5УЗ	18	в трубі	1,5	63/20	8 / 0
	19		4,4	63/8	
	20		7,6	63/8	
	21		9,7	63/10	
	22		11,9	63/10	
	23		8,3	63/16	
	24		9,6	63/16	
	25		11,3	63/10	
СП-5 СПА-77- 5УЗ	26	в трубі	6,9	63/10	8 / 0
	27		10,4	63/10	
	28		6,3	63/5	

	29		3,6	63/40	
	30		1,5	63/40	
	31		2,9	63/20	
	32		5,6	63/20	
	33		9,5	63/32	
СП-6 СПА-77- 5У3	57	в трубі	12,9	63/10	7 / 1
	58		14,5	63/40	
	59		7,3	63/10	
	60		5	63/10	
	61		1,4	63/5	
	62		5,9	63/5	
	63		8,8	63/40	
СП-7 СПА-77- 7У3	17	в трубі	5	100/100	8 / 0
	50		12,6	100/100	
	51		8,5	100/50	
	52		14,2	100/16	
	53		11,7	100/16	
	54		9,1	100/16	
	55		16,7	100/16	
	56		18	100/16	
СП-8 СПА-77- 7У3	42	в трубі	20,7	63/63	8 / 0
	43		18,5	100/63	
	44		15,3	100/80	
	45		13,1	100/40	
	46		22,2	100/16	
	47		10,2	100/63	
	48		19,3	100/100	
	49		16,8	100/100	
ТП Ш-0,4-В101 2xШ-0,4- Л103	СП-1	кабель по лотку	8	250/80	9/1
	СП-2		26	250/25	
	СП-3		64,1	250/40	
	СП-4		78,3	250/20	
	СП-5		102,2	250/50	
	СП-6		31,8	250/50	
	СП-7		43,9	250/63	
	СП-8		65,4	250/160	

Табл.10

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

Провідники обираємо за наступною формулою:

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

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

$k_3$  - кратність струму провідника до струму апарата захисту ;

$I_3$  – струм розчеплювача апарата захисту.

Для прокладки по лотках обираю кабелі типу АВВГ, а для прокладки в трубах – АПВ, так як вони розроблені для прокладання в трубах.

Для забезпечення живлення електроприймачів по всій мережі цеху ,використовуватимуться одножильні кабелі.

Оберемо кабель до пневматичного молоту (№34):

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{k_3 * I_3}{K_{\text{прок}}} = \frac{1.0 * 25}{1} = 25 \text{ A.}$$

Для його живлення обираємо 4 х АПВ – 1 х 5.

Приймаємо групу складності – В.

Внутрішній діаметр труби:

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

$D$  – внутрішній діаметр труби , мм ;

$d$  – зовнішній діаметр кабеля ;

$n_{\text{пр}}$  – кількість кабелів.

$$D \geq 1.35 * (d * n_{\text{пр}}) = 1.35 * 4,85 * 4 = 26,2 \text{ мм.}$$

Обираємо 25 – гу трубу.

Початок траси	Кінцева точка	$I_3, A$	$I_{доп}, A$	Тип КЛ	Переріз, $mm^2$	Кількість жил	Діаметр труби, мм
СП-1	34	25	27	АПВ	5	4	25
	35	4	15	АПВ	2	4	20
	36	10	15	АПВ	2	4	20
	37	25	27	АПВ	5	4	25
	38	32	37	АПВ	8	4	32
	39	32	37	АПВ	8	4	32
	40	16	19	АПВ	2,5	4	25
	41	25	27	АПВ	5	4	25
СП-2	1	32	37	АПВ	8	4	32
	2	40	55	АПВ	16	4	50
	3	8	15	АПВ	2	4	20
	4	8	15	АПВ	2	4	20
	5	8	15	АПВ	2	4	20
	6	8	15	АПВ	2	4	20
	7	8	15	АПВ	2	4	20
	8	8	15	АПВ	2	4	20
СП-3	9	32	37	АПВ	8	4	32
	10	32	37	АПВ	8	4	32
	11	25	27	АПВ	5	4	25
	12	25	27	АПВ	5	4	25
	13	32	37	АПВ	8	4	32
	14	16	19	АПВ	2,5	4	25
	15	16	19	АПВ	2,5	4	25
	16	10	15	АПВ	2	4	20
СП-4	18	20	21	АПВ	3	4	25
	19	8	15	АПВ	2	4	20
	20	8	15	АПВ	2	4	20
	21	10	15	АПВ	2	4	20
	22	10	15	АПВ	2	4	20
	23	16	19	АПВ	2,5	4	25
	24	16	19	АПВ	2,5	4	25
	25	10	15	АПВ	2	4	20
СП-5	26	10	15	АПВ	2	4	20

	27	10	15	АПВ	2	4	20
	28	5	15	АПВ	2	4	20
	29	40	55	АПВ	16	4	50
	30	40	55	АПВ	16	4	50
	31	20	21	АПВ	3	4	25
	32	20	21	АПВ	3	4	25
	33	32	37	АПВ	8	4	32
СП-6	57	10	15	АПВ	2	4	20
	58	40	55	АПВ	16	4	50
	59	10	15	АПВ	2	4	20
	60	10	15	АПВ	2	4	20
	61	5	15	АПВ	2	4	20
	62	5	15	АПВ	2	4	20
	63	40	55	АПВ	16	4	50
СП-7	17	100	120	АПВ	50	4	80
	50	100	120	АПВ	50	4	80
	51	50	55	АПВ	16	4	50
	52	16	19	АПВ	2,5	4	25
	53	16	19	АПВ	2,5	4	25
	54	16	19	АПВ	2,5	4	25
	55	16	19	АПВ	2,5	4	25
	56	16	19	АПВ	2,5	4	25
СП-8	42	63	70	АПВ	25	4	50
	43	63	70	АПВ	25	4	50
	44	80	85	АПВ	35	4	70
	45	40	55	АПВ	16	4	50
	46	16	19	АПВ	2,5	4	25
	47	63	70	АПВ	25	4	50
	48	100	120	АПВ	50	4	80
	49	100	120	АПВ	50	4	80

Табл.11

Для лінії від ТП до СП кабельні лінії підберемо ще й враховуючи допустиму втрату напруги (так як відстані від ТП кожного з СП відносно великі) в лінії живлення  $\mp 5\%$  за наступною формулою:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (\cos \varphi \cdot r_0 + \sin \varphi \cdot x_0);$$

У відсотках:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{\text{мережі}}} * 100\%.$$

Початок траси	Кінцева точка	$I_3, A$	$I_{\text{доп}}, A$	Тип КЛ	Переріз , мм <sup>2</sup>	Кількість жил	$\frac{\Delta U, B}{\Delta U, \%}$
ТП	СП-1	80	85	АВВГ	25	4	0,82 / 0,21
	СП-2	25	27	АВВГ	5	4	4,2 / 1,05
	СП-3	40	55	АВВГ	16	4	4,8 / 1,2
	СП-4	20	21	АВВГ	3	4	17,5 / 4,37
	СП-5	50	55	АВВГ	16	4	13,5 / 3,38
	СП-6	50	55	АВВГ	16	4	3,79 / 0,95
	СП-7	63	85	АВВГ	35	4	2,08 / 0,52
	СП-8	160	175	АВВГ	95	4	3,5 / 0,88

Табл.12

Для СП струм розраховувався за методом впорядкованих діаграм як для групи електроприймачів.

#### 4 .Розрахунок струмів короткого замикання

##### та вибір електричних апаратів

Найпростішим видом короткого замикання (к.з.), із точки зору сприйняття процесу, є симетричне трифазне коротке замикання. При такому к.з. опір усіх трьох фаз до точки к.з. буде однаковим.

До несиметричних к.з. можна віднести двофазне, двофазне через землю і однофазне к.з.. Останній вид к.з. може спостерігатися лише в мережах із заземленою нейтраллю.

Розрахунок струмів к.з. виконують для вибору струмоведучих частин та електричних апаратів, для перевірки їх на термічну та електродинамічну

стійкість, для проектування, налаштування та перевірки на чутливість релейного захисту, для вибору засобів обмеження струмів.

Для визначення максимальних струмів к.з. в заданих точках мережі приймають ряд припущень:

- всі джерела живлення включені і працюють із номінальним навантаженням;
- всі синхронні генератори електростанцій оснащені пристроями автоматичного регулювання збудження (АРЗ) і мають форсування збудження;
- розрахункова напруга кожного ступеня мережі на 5% більша від номінальної; – насичення магнітних систем відсутнє;
- для всіх елементів мережі враховується лише реактивний опір.

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

Місця визначення струмів КЗ наведені на рисунку нижче:

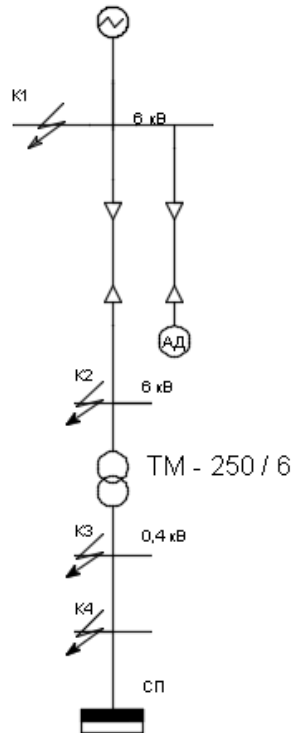


Рис.4

Точка:

К1 – шини джерела живлення, від яких здійснюється живлення цехової ТП;

К2 – шини 6 кВ ТП;

К3 – шини 0,4 кВ ТП;

К4 – ввід найзавантаженішого СП (так як на його ввіді буде найбільше значення струму К3 чим в інших СП).

Визначимо кабельні лінії від джерела до ЦТП (цехової ТП) і до АД.

Втрати в трансформаторів ТМ – 250/6:

$$\Delta Q_{\text{тр}} = \Delta Q_x + \Delta Q_k = 5,75 + 11,25 = 17 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_x + \Delta P_k = 1,11 + 9,3 = 10,41 \text{ кВт}.$$

Повні втрати:

$$\Delta S_{\text{тр}} = \sqrt{\Delta P_{\text{тр}}^2 + \Delta Q_{\text{тр}}^2} = \sqrt{10.41^2 + 17^2} = 19,9 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Потужність на шинах ВН ЦТП:

$$S_{\text{ВН}} = \Delta S_{\text{тр}} + S_{\text{роз.}} = 19,9 + 188,7 = 208,6 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

де  $S_{\text{роз}}$  – потужність при врахуванні компенсації реактивної потужності.

Значення струму:

$$I_{\text{ВН}} = \frac{S_{\text{ВН}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{208,6}{\sqrt{3} \cdot 6} = 20,1 \text{ А}.$$

Переріз кабельної лінії:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{ВН}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{20,1}{1,6} = 12,6 \text{ мм}^2,$$

де  $j_{\text{ек}}$  – при  $T_{\text{max}} = 2700$  год,  $j_{\text{ек}} = 1,6 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$  для алюмінієвих провідників.

Оберемо кабель ААБ – 3 х 16, з  $I_{\text{доп}} = 80$  А.

Кабель прокладатиметься в землі, тому розрахуємо струм при поправці на температуру:

$$I_{\text{доп}}' = I_{\text{доп}} \cdot \sqrt{\frac{t_{\text{доп}} - t_{\text{ф.с.}}}{t_{\text{доп}} - t_{\text{опт.}}}} = 80 \cdot \sqrt{\frac{65 - 20}{65 - 15}} = 75,9 \text{ А}.$$

Потужність АД:

$$P_{\text{АД}} = 400 \text{ кВт}.$$

Потужність всіх АД враховуючи, що вони працюють із завантаженням на 65%:

$$P_{\text{АД,зав.}} = \beta \cdot n \cdot P_{\text{АД}} = 0,65 \cdot 4 \cdot 400 = 1040 \text{ кВт}.$$

Реактивна потужність АД, якщо прийняти  $\cos\varphi = 0.9$ :

$$Q_{\text{АД.зав.}} = P_{\text{АД.зав.}} * \operatorname{tg} \varphi = 1\,040 * 0.484 = 503,4 \text{ квар.}$$

Повна потужність приєднаних АД:

$$S_{\text{АД}} = \sqrt{P_{\text{АД.зав.}}^2 + Q_{\text{АД.зав.}}^2} = \sqrt{1040^2 + 503,4^2} = 1\,155,4 \text{ кВ} * \text{А.}$$

Потужність одного АД:

$$S_{\text{АД1}} = \frac{S_{\text{АД}}}{n} = \frac{1155,4}{4} = 288,8 \text{ кВ} * \text{А.}$$

Значення струму для одного АД:

$$I_{\text{АД1}} = \frac{S_{\text{АД1}}}{\sqrt{3} * U_{\text{НОМ}}} = \frac{288,8}{\sqrt{3} * 6} = 27,8 \text{ А.}$$

Кабельна лінія до одного АД:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{АД1}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{27,8}{1,6} = 17,4 \text{ мм}^2,$$

де  $j_{\text{ек}}$  – при  $T_{\text{max}} = 2700$  год,  $j_{\text{ек}} = 1,6 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$  для алюмінієвих провідників.

Оберемо кабель ААБ – 3 х 16 ,

Кабель прокладатиметься в землі, тому розрахуємо струм при поправці на температуру:

$$I_{\text{доп}}' = I_{\text{доп}} * \sqrt{\frac{t_{\text{доп}} - t_{\text{ф.с.}}}{t_{\text{доп}} - t_{\text{опт.}}}} = 80 * \sqrt{\frac{65 - 20}{65 - 15}} = 75,9 \text{ А.}$$

Перевіримо вищеобрані КЛ на допустиму втрату напруги.

Кабель ААБ – 3 х 16 до ЦТП:

$$r_0 = 1,95 \text{ Ом/км};$$

$$x_0 = 0,103 \text{ Ом/км.}$$

Втратанапругиу вольтах:

$$\begin{aligned}\Delta U &= \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (\cos \varphi \cdot r_0 + \sin \varphi \cdot x_0) \\ &= \sqrt{3} * 0.1 * 20,1 * (0.96 * 1,95 + 0.28 * 0,103) = 6,62 \text{ В.}\end{aligned}$$

У відсотках:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{\text{мережі}}} * 100\% = \frac{6,62}{6000} * 100 = 0.11 \% < 5\% .$$

Кабель ААБ – 3 х 16 до АД:

$$r_0 = 1,95 \text{ Ом/км;}$$

$$x_0 = 0,103 \text{ Ом/км.}$$

Втратанапругиу вольтах:

$$\begin{aligned}\Delta U &= \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (\cos \varphi \cdot r_0 + \sin \varphi \cdot x_0) \\ &= \sqrt{3} * 0.1 * 27,8 * (0.9 * 1,95 + 0.436 * 0,103) = 8,7 \text{ В.}\end{aligned}$$

У відсотках:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{\text{мережі}}} * 100\% = \frac{8,7}{6000} * 100 = 0.15 \% < 5\% .$$

Визначивши всі необхідні значення, може складати схему заміщення опорів і розраховувати струми КЗ.

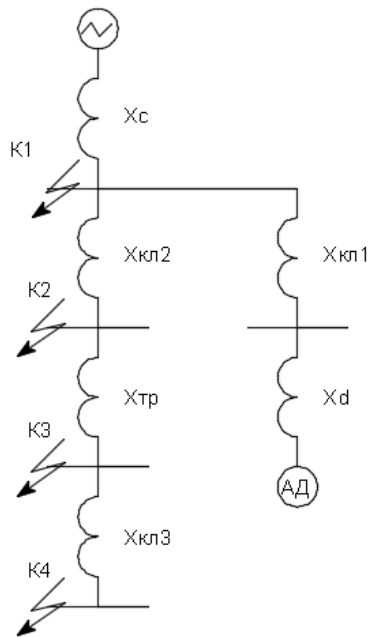


Рис.5

Прийmemo наступні значення для розрахунку:

для точок К1 і К2:

для СД і АД  $x_d^{\dots} = 0,2$ ;

$$S_6 = 10 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$U_6 = 6 \text{ кВ}.$$

Опір обмоток АД:

$$x_d = x_d^{\dots} * \frac{S_6}{n * S_{АД1}} = 0,2 * \frac{10}{4 * 0,29} = 1,724.$$

Опір  $x_{кл1}$  (ААБ – 3 x 16):

$$x_{кл1} = \frac{x_0 * l * S_6}{U_{НОМ}^2} = \frac{0.103 * 0.1 * 10}{6^2} = 0.0029,$$

$$r_{кл1} = \frac{r_0 * l * S_6}{U_{НОМ}^2} = \frac{1.95 * 0.1 * 10}{6^2} = 0.054.$$

Повний опір:

$$Z_{к11} = \sqrt{r_{к11}^2 + x_{к11}^2} = \sqrt{0,054^2 + 0,0029^2} = 0,054.$$

Сумарний опір від АД до точки К1:

$$x_{к1} = x_d + Z_{к11} = 1,724 + 0,054 = 2,264.$$

Струм підживлення від СД:

$$I_{АД,підж.} = \frac{n * I_{АД1} * E'_{ад} * 10^{-3}}{\sqrt{(r_{к11})^2 + (x_d + x_{к11})^2}} = \frac{4 * 27,8 * 0,9 * 10^{-3}}{\sqrt{0,054^2 + (1,724 + 0,0029)^2}} = 0,058 \text{ кА.}$$

Стала часу АД:

$$T_{АД} = \frac{T_{о АД} * I_{АД,підж.}}{I_{АД,підж.}} = \frac{0,04 * 0,058}{0,058} = 0,04 \text{ с.}$$

Струм КЗ в К1 з врахуванням  $I_{АД,підж.}$ :

$$I_{к1} = I_{АД,підж.} + I_{кз}_{вн}^{кз} = 0,058 + 11,8 = 11,86 \text{ кА.}$$

Стала часу в К1:

$$T_A = \frac{T_{о АД} * I_{АД,підж.} + T_{о с} * I_{кз}_{вн}^{кз}}{I_{к1}} = \frac{0,04 * 0,058 + 0,02 * 11,8}{11,86} = 0,02 \text{ с.}$$

Аперіодична складова в К1:

$$i_a = \sqrt{2} * I_{к1} * e^{-\frac{\tau_{пв}}{T_a}} = \sqrt{2} * 11,86 * e^{-\frac{0,04}{0,02}} = 2,27 \text{ кА,}$$

$\tau_{пв}$  - час початку розмикання струму КЗ ВВ :

$$\tau_{пв} = \tau_{р.з.min} + \tau_{о.р.} = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ с,}$$

$\tau_{о.р.}$  - час спрацювання ВВ.

Ударний струм :

$$i_{уд} = \sqrt{2} * I_{к1} * K_{уд} = \sqrt{2} * 11,86 * 1,61 = 27 \text{ кА.}$$

Тепловий імпульс:

$$B_k = I_{k31}^2 * (\tau_k + T_a) = 11,86^2 * (0,4 + 0,002) = 59,08 \text{ кА}^2 * \text{с}.$$

Мінімальна площа поперечного перерізу провідника:

$$S_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{45,6 * 10^6}}{90} = 85,4 \text{ мм}^2.$$

C – для алюмінієвих шин.

Для точки К2 розраховуємо за тим же принципом.

Опір системи за відомим КЗ в К1:

$$S_{кз} = \sqrt{3} * I_{кзВН} * U_{ном} = \sqrt{3} * 11,86 * 6 = 123,25 \text{ кВ} * \text{А}.$$

Опір системи:

$$Z_c = \frac{S_6}{S_{кз}} = \frac{10}{123,25} = 0,081.$$

Опір  $x_{кл2}$  (ААБ – 3 x 16):

$$x_{кл2} = \frac{x_0 * l * S_6}{U_{ном}^2} = \frac{0,103 * 0,1 * 10}{6^2} = 0,0029,$$

$$r_{кл2} = \frac{r_0 * l * S_6}{U_{ном}^2} = \frac{1,95 * 0,1 * 10}{6^2} = 0,054.$$

$$Z_{кл2} = 0,054.$$

Сумарний опір до К2:

$$x_{к2} = Z_c + Z_{кл2} = 0,081 + 0,054 = 0,135.$$

Струм КЗ в точці К2:

$$I_{кз2} = \frac{1}{x_{к2}} * \frac{S_6}{\sqrt{3} * U_6} = \frac{1}{0,135} * \frac{10}{\sqrt{3} * 6} = 7,13 \text{ кА}$$

Аперіодична складова:

$$i_a = \sqrt{2} * I_{K2} * e^{-\frac{\tau_{пв}}{T_a}} = \sqrt{2} * 7,13 * e^{-\frac{0,04}{0,02}} = 1,36 \text{ кА.}$$

Ударний струм :

$$i_{уд} = \sqrt{2} * I_{K2} * K_{уд} = \sqrt{2} * 7,13 * 1,8 = 16,23 \text{ кА.}$$

Тепловий імпульс:

$$B_K = I_{K32}^2 * (\tau_K + T_a) = 7,13^2 * (0,4 + 0,0045) = 21,35 \text{ кА}^2 * \text{с.}$$

Мінімальна площа поперечного перерізу провідника:

$$S_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{21,35 * 10^6}}{90} = 51,34 \text{ мм}^2.$$

C – для алюмінієвих кабелів до 10 кВ.

Обраний кабель до ЦТП не проходить за вищенаведним значенням мінімально, термічно стійкого до струму КЗ кабелю. Тому оберемо кабель ААБ – 3 х 70.

Перерахуємо опори і струм КЗ для цієї точки (К2).

Опір  $x_{кл2}$  (ААБ – 3 х 70):

$$x_{кл2} = \frac{x_0 * l * S_б}{U_{ном}^2} = \frac{0,08 * 0,1 * 10}{6^2} = 0,0022,$$

$$r_{кл2} = \frac{r_0 * l * S_б}{U_{ном}^2} = \frac{0,447 * 0,1 * 10}{6^2} = 0,012.$$

$$Z_{кл2} = 0,012.$$

$$x_{к2} = 0,093.$$

$$I_{к32} = 10,35 \text{ кА.}$$

$$i_a = 1,98 \text{ кА.}$$

$$i_{уд} = 23,57 \text{ кА.}$$

$$B_k = 45 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

$$S_{min} = 74,53 \text{ мм}^2.$$

І цей кабель не пройшов необхідну перевірку, оберемо наступний по номіналу, а саме ААБ – 3 х 95.

$$Z_{кЛ2} = 0,009.$$

$$x_{к2} = 0,09.$$

$$I_{к32} = 10,7 \text{ кА.}$$

$$i_a = 2,05 \text{ кА.}$$

$$i_{уд} = 24,4 \text{ кА.}$$

$$B_k = 48,08 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

$$S_{min} = 77 \text{ мм}^2.$$

Точка К3.

Розрахуємо опори до К-3:

ААБ – 3 х 95:

$$r_{кЛ2} = r_0 \cdot \frac{l}{n_{кб}} \cdot \left( \frac{U_{НОМ}^{НН}}{U_{НОМ}^{ВН}} \right)^2 = 0,329 \cdot \frac{0,1}{1} \cdot \left( \frac{0,4}{6} \right)^2 = 0,15 \text{ мОм},$$

$$x_{кЛ2} = x_0 \cdot \frac{l}{n_{кб}} \cdot \left( \frac{U_{НОМ}^{НН}}{U_{НОМ}^{ВН}} \right)^2 = 0,078 \cdot \frac{0,1}{1} \cdot \left( \frac{0,4}{6} \right)^2 = 0,04 \text{ мОм},$$

$$Z_{кЛ2} = \sqrt{r_{кЛ2}^2 + x_{кЛ2}^2} = \sqrt{0,15^2 + 0,04^2} = 0,16 \text{ мОм.}$$

Опір трансформатора ТМ-250/6:

$$X_{тр} = \sqrt{\left( \frac{U_k}{100} \right)^2 - \left( \frac{P_k}{S_{НОМ тр}} \right)^2} \cdot \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ тр}} = \sqrt{\left( \frac{4,5}{100} \right)^2 - \left( \frac{3,7}{250} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{250} = 0,03 \text{ мОм},$$

$$r_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{к}}}{S_{\text{НОМ тр}}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2 = \frac{3,7}{250} \cdot 0,4^2 = 2,37 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{тр}} = \sqrt{r_{\text{тр}}^2 + X_{\text{тр}}^2} = \sqrt{2,37^2 + 0,03^2} = 2,37 \text{ мОм}.$$

Опір алюмінієвих з'єднань:

$$r_{\text{кон}} = 10 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{кон}} = 0 \text{ мОм}, \text{ тоді } Z_{\text{кон}} = r_{\text{кон}} = 10 \text{ мОм}.$$

Опір системи в мОм:

$$Z_{\text{с}} = \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{кз}}} = \frac{6^2}{123,25} = 0,34 \text{ Ом} = 292 \text{ мОм}.$$

Сумарний опір до К-3:

$$Z_{\text{кз}} = Z_{\text{тр}} + Z_{\text{кон}} + Z_{\text{кл2}} + Z_{\text{с}} = 2,37 + 10 + 0,16 + 292 = 304,53 \text{ мОм}.$$

Величина струму КЗ в К-3:

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{кз}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 304,53} = 0,76 \text{ кА}.$$

Далі розрахунки проводимо за вищепказаним алгоритмом і заносимо відповідні дані в таблицю.

Точка КЗ	$I_{\text{к}}, \text{кА}$	$i_{\text{уд}}, \text{кА}$	$i_{\text{а}}, \text{кА}$	$B_{\text{к}}, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$S_{\text{min}}, \text{мм}^2$
К1	11,86	27	2,27	59,08	85,4
К2	10,7	24,4	2,05	48,08	77
К3	0,76	1,07	0	0,24	6,57
К4	0,71	1	0	0,21	6,14

Табл.12

## 4.2. Вибір комутаційної апаратури на напругу 0,38 кВ

Автоматичні вимикачі вибираються згідно з наступним умовами:

$$1) U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{НОМ.М}};$$

$$2) I_{\text{розч}} \geq I_{\text{НОМ}};$$

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

$$4) I_{\text{спр.}} \geq 1.25 * I_{\text{пік}};$$

$$5) I_{\text{кз}} \leq I_{\text{max.в.}}$$

$$6) i_{\text{ел.д.}} \geq i_{\text{уд.}}$$

Оберемо і певіримо АВ для пневматичного молота (№34):

$$1) U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{НОМ.М}}$$

$$660 \text{ В} > 380 \text{ В};$$

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

$$25 \text{ А} > 22,21 \text{ А.}$$

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

$$63 \text{ А} > 25 \text{ А}$$

$$4) I_{\text{спр.}} \geq 1.25 * I_{\text{пік}};$$

$$300 \text{ А} > 1.25 * 5 * 22,21 = 138,8 \text{ А}$$

$$5) I_{\text{кз}} \leq I_{\text{max.в.}}$$

$$0,71 \text{ кА} < 4,5 \text{ кА}$$

$$6) i_{ел.д.} \geq i_{уд.}$$

$$3 \text{ кА} > 1 \text{ кА.}$$

Для пневматичного молоту приймаю АВ типу АЕ2046М.

Початок лінії	Кінцева точка	$I_{розч.}, A$	$I_{ном.ав.}, A$	$I_{спр.}, A$	$I_{max.в.}, A$	$I_{кз}, A$	$i_{ел.д.}, кА$	$i_{уд.}, кА$	Назва АВ
СП-1	34	25	63	300	4,5	0,71	3	1	АЕ2046М
	35	4		48					
	36	10		120					
	37	25		300					
	38	32		384					
	39	32		384					
	40	16		192					
	41	25		300					
СП-2	1	32	63	384	4,5	0,71	3	1	АЕ2046М
	2	40		480					
	3	8		96					
	4	8		96					
	5	8		96					
	6	8		96					
	7	8		96					
	8	8		96					
СП-3	9	32	63	384	4,5	0,71	3	1	АЕ2046М
	10	32		384					
	11	25		300					
	12	25		300					
	13	32		384					
	14	16		192					
	15	16		192					
	16	10		120					
СП-4	18	20	63	240	4,5	0,71	3	1	АЕ2046М
	19	8		96					
	20	8		96					
	21	10		120					
	22	10		120					
	23	16		192					
	24	16		192					
	25	10		120					
СП-5	26	10	63	120					

	27	10		120	4,5	0,71	3	1	AE2046M
	28	5		60					
	29	40		480					
	30	40		480					
	31	20		240					
	32	20		240					
	33	32		384					
СП-6	57	10	63	120	4,5	0,71	3	1	AE2046M
	58	40		480					
	59	10		120					
	60	10		120					
	61	5		60					
	62	5		60					
	63	40		480					
СП-7	17	100	100	1200	4,5	0,71	3	1	AE2056M
	50	100		1200					
	51	50		600					
	52	16		192					
	53	16		192					
	54	16		192					
	55	16		192					
	56	16		192					
СП-8	42	63	100	756	4,5	0,71	3	1	AE2056M
	43	63		756					
	44	80		960					
	45	40		480					
	46	16		192					
	47	63		756					
	48	100		1200					
	49	100		1200					
ТІІ	СП-1	80	250	1250	25	0,76	3	1,07	BA57-35
	СП-2	25		320	6				
	СП-3	40		630	6				
	СП-4	20		320	6				
	СП-5	50		630	6				
	СП-6	50		630	6				
	СП-7	63		1250	15				
	СП-8	160		1600	35				

Табл.13

В СП типу СПА-77 встановлені рубильники ВР32-400.

Виконаємо перевірку рубильників:

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

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

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

№ СП	Рубильник	$I_{\text{ном.р.}}$ , А	$U_{\text{ном.р.}}$ , кВ	$U_{\text{ном.м}}$ , кВ	$I_{\text{ном.л.}}$ , А	$i_{\text{дин}}$ , кА	$i_{\text{уд}}$ , кА
1	ВР32 - 400	400	660	380	74,05	11	1,07
2					23,53		
3					35,8		
4					17		
5					44,6		
6					40,2		
7					52,73		
8					127		

Табл.14

Підберемо для вентиляторів МП (магнітні пускачі) і РТ (реле теплові).

Умови вибору:

$$U_{\text{ном.п.}} \geq U_{\text{мер}}$$

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

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

$$I_{\text{РТ}} > I_{\text{дв.}}$$

Електроприймач			Магнітний пускач			Телове реле	
Назва	$I_{\text{дв.}}$ , А	$P_{\text{дв.}}$ , кВт	Назва	$I_{\text{пуск.}}$ , А	$P_{\text{пуск.}}$ , кВт	Назва	Діапазон регулювання
Вентилятор №33	28,9	12	ПМЛ-3310	40	18,5	РТЛ 2053	(23...32),А
Вентилятор №37	20,5	8,5	ПМЛ-2210	25	11	РТЛ 1022	(18...25),А
Вентилятор №46	12,03	5	ПМЛ-1210Д	16	7,5	РТЛ 1016	(9,5...14),А
Вентилятор №58	38,5	16	ПМЛ-3210	40	18,5	РТЛ 2055	(30...41)

Табл.15

### 4.3. Вибір електричних апаратів РП - 6 кВ

Виберемо високовольтні вимикачі за умовами:

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

$$2) I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ВН}};$$

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

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

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

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

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

В кабельну лінію ААБ – 3 х 95 встановимо ВВ типу ВР – 10 – 20/630У2:

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

$$10 \text{ кВ} > 6 \text{ кВ.}$$

$$2) I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ВН}};$$

$$630 \text{ А} > 20,1 \text{ А.}$$

$$3) I_{\text{роз.}} \geq I_{\text{птр.}}$$

$$20 \text{ кА} > 11,86 \text{ кА.}$$

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

$$\sqrt{2} * 20 * \left(1 + \frac{40}{100}\right) = 39,6 \text{ кА} > \sqrt{2} * 11,86 + 2,27 = 19,04 \text{ кА.}$$

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

$$52 \text{ кА} > 27 \text{ кА.}$$

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

$$20,4 \text{ кА} > 11,86 \text{ кА.}$$

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

$$1200 \text{ кА}^2 * \text{с} > 59,08 \text{ кА}^2 * \text{с.}$$

Занесемо результати в таблицю.

Лінія	$U_{\text{мкВ}}$	$U_{\text{ВВкВ}}$	$I_{\text{р, А}}$	$I_{\text{ВВ, А}}$	Тип
ААБ – 3 x 95	6	10	20,1	630	ВР – 10 – 20 - /630У2
ААБ – 3 x 16	6	10	27,8	630	ВР – 10 – 20 - /630У2

Табл.16

Високовольтні ро'єднувачі .

Лінія	$U_{\text{ном.мкВ}}$	$U_{\text{ном.ВВкВ}}$	$I_{\text{р, А}}$	$I_{\text{р.ВВ, А}}$	Тип
ААБ – 3 x 95	6	10	20,1	400	РЛНДЗ- 10/400У1
ААБ – 3 x 16	6	10	27,8	400	РЛНДЗ- 10/400У1

Табл.17

#### 4.4. Вибір трансформаторів струму для приладів

##### контролю і обліку

Автоматизовані системи – це наступний після багатфункціональних електронних лічильників етап в історії розвитку обліку електричної енергії,

управління технологічними процесами приймання, передавання, розподілу й споживання електричної енергії.

Електроенергія в нових ринкових умовах у масштабі країни стала стратегічним товаром, від виконання цивілізованих ринкових умов купівлі/продажу якого залежала можливість нормального функціонування всього народного господарства й існування України як самостійної держави. Специфічність цього товару в тому, що його вартість весь час змінюється, оскільки залежить не лише від витрат на її виробництво й передавання, а й від моменту попиту (години доби, дня тижня, пори року).

Вирішення проблеми, як продавати/купувати такий специфічний товар, як електроенергія, на той час уже було відомим і впродовж багатьох десятиліть в інших країнах із ринковими відносинами на практиці себе виправдало. Воно полягало в переході до тарифів реального часу, які дозволяли визначати дійсну ціну електроенергії й оптимізувати її виробництво, постачання та споживання. Це було можливим лише за умови централізованого в масштабах усієї держави вдосконалення системи обліку електроенергії й вимагало втручання в цей процес зі сторони держави на найвищому рівні.

Досвід експлуатації енергетичних систем у країнах із ринковими відносинами свідчив про необхідність уведення процедур перевірки точності й достовірності інформації на всіх рівнях і в усіх точках системи обліку електроенергії та обробки даних цього обліку. Це було важливим як із технічного погляду, так і з погляду фінансових і правових відносин між виробниками, постачальниками й споживачами електричної енергії.

Вибирати ТС (трансформатори струму) необхідно згідно з наступними умовами:

$$1) U_{1ном} \geq U_{ном.м.}$$

$$2) I_{1та} \geq I_{нн}$$

$$3) i_{дин} \geq i_{уд}$$

$$4) I_{\tau}^2 * \tau \geq B_k$$

$$5) Z_{2га} \geq Z_{2факт}$$

Оберемо ТС в коло НН ЦТП.

Тип ТС	Дані за каталогом	Умова		Розрахункові дані
		Перевірки	Фактична	
TAS81	$U_{1ном} = 0.66 \text{ кВ}$	$\geq$	$>$	$U_{ном.м} = 0.38 \text{ кВ}$
	$I_{1ном} = 400 \text{ А}$	$\geq$	$>$	$I_p = 344 \text{ А}$
	$i_{дин} = 5 \text{ кА}$	$\geq$	$>$	$i_{уд} = 1,07 \text{ кА}$
	$I_{\tau}^2 * \tau = 268 \text{ кА}^2 * \text{С}$	$\geq$	$>$	$B_k = 0,24 \text{ кА}^2 * \text{С}$
	$Z_{2ном} = 1.2 \text{ Ом}$	$\geq$	$>$	$Z_2 = 0,52 \text{ Ом}$

Табл.18

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.19

Сумарний опір приладів, які найбільше завантажують фазу:

$$Z_{\Sigma прл} = \frac{S_{\Sigma прл}}{I_{2ном}^2} = \frac{5.1}{5^2} = 0.21 \text{ Ом}$$

Опір проводів:

$$r_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{прл}} - r_{\text{кн}} = 1.2 - 0.21 - 0.05 = 0.94 \text{ Ом},$$

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

Довжина кабелів  $l = 14 \text{ м}$ .

Переріз проводів для ТС:

$$S = \frac{\rho \cdot l}{r_{\text{пр}}} = \frac{0.028 \cdot 14}{0.94} = 0,42 \text{ мм}^2.$$

Опір при вибраному перерізі:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0.028 \cdot 14}{1.5} = 0.26 \text{ Ом}.$$

Опір вторинної обмотки:

$$Z_2 = r_{\text{пр}} + r_{\text{прл}} + r_{\text{кн}} = 0.26 + 0.21 + 0.05 = 0,52 \text{ Ом}.$$

## 5 . Якість електричної енергії

Проблема підтримання високої якості електроенергії в електропостачальних системах має багатогранний характер. Встановлення нормованих величин для показників якості є техніко-економічним завданням, внаслідок аналізу якого встановлено межі допустимих відхилень для основних показників якості згідно з чинним стандартом. Іншою проблемою є забезпечення наявності необхідних технічних засобів у відповідних місцях електропостачальних систем. Наступним завданням є комплексне використання засобів нормалізації та регулювання показників якості, а також вирішення інших технічних проблем, наприклад, компенсації реактивної потужності.

Збільшення навантаження в системі спричиняє збільшення моменту на валу турбіни, внаслідок чого виникає тенденція до зменшення обертів (тобто частоти), яку відчувають регулятори частоти і видають сигнал на відкриття напрямного

апарата турбіни до рівня, який забезпечить збільшення моменту на валу турбіни до значення, за якого частота відновиться.

В інженерних розрахунках режимів роботи електропостачальних систем низької та середньої напруги (НН та СН), а також коротких ліній живлення високої напруги (ВН), не пов'язаних з визначенням векторів напруг, переважно користуються спрощеними формулами, нехтуючи поперечною складовою спаду напруги.

Рієнь напруги на шинах ТМ-250/6 на низькій стороні:

$$U_2^{\text{прд.}} = U - \Delta U_{\text{л}} - \Delta U_{\text{тр}};$$

де  $U_2^{\text{НН}}$  – приведена напруга з ВН на НН;

$\Delta U_{\text{л}}$  – втрати напруги в ААБ – 3 x 95 ;

$\Delta U_{\text{тр}}$  – втрати в трансформаторі ТМ – 250 / 6.

Знайдемо втрати напруги в ТМ – 250/6:

$$U_{\text{ка}} = \frac{\Delta P_{\text{к}}}{S_{\text{тр}}} * 100 = \frac{3,7}{250} * 100 = 1,48 \%,$$

$$U_{\text{кр}} = \sqrt{U_{\text{к}}^2 - U_{\text{ка}}^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,48^2} = 4,12\%.$$

Втрати у вольтах:

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{тр}} &= \frac{U}{S_{\text{тр}}} * \left( U_{\text{ка}} * (S_{\text{НН}} * \cos \varphi) + U_{\text{кр}} * (S_{\text{НН}} * \sin \varphi) \right) \\ &= \frac{6}{250} * \left( 1,48 * (188,7 * 0,96) + 4,12 * (188,7 * 0,28) \right) = 11,7 \text{ В.} \end{aligned}$$

Втрати в лінії ААБ – 3 x 95:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (\cos \varphi \cdot r_0 + \sin \varphi \cdot x_0) \\ &= \sqrt{3} * 0,1 * 20,1 * (0,96 * 0,329 + 0,28 * 0,078) = 1,18 \text{ В.} \end{aligned}$$

Значення  $U_2^{\text{прд.}}$  :

$$U_2^{\text{прд.}} = U - \Delta U_{\text{л}} - \Delta U_{\text{тр}} = 6000 - 1,18 - 11,7 = 5\,987,12 \text{ В.}$$

КТ (коефіцієнт трансформації) ТМ – 250 / 6:

$$K_{\text{т}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{6}{0,4} = 15.$$

Фактична напруга:

$$U_2^{\text{ф.}} = \frac{U_2^{\text{прд.}}}{K_{\text{т}}} = \frac{5\,987,12}{15} = 399,14 \text{ В.}$$

## 6. Електричне освітлення

Світлодіодне освітлення вирізняється від усіх традиційних технологій надійністю, значним терміном придатності, високою енергоефективністю та екологічністю. Найбільш цікавими на цей час для підприємств є інтегровані системи освітлення на базі LED технологій. Світильники в таких системах крім традиційних функцій виконують роль мінікомп'ютерів, які оснащені датчиками руху, присутності, денного світла, модулями Wi-Fi. Інтегровані системи дозволяють до 80 % скоротити витрати електроенергії на освітлення.

КСС крива сили світла для світлодіодної лампи лінійного типу - Д .

Врахуємо при розрахунку висоти підвісу, що в цеху наявні кран – балки, орієнтовна висотка яких (середньо-статистична) 5 метрів, тоді світильники над кран балками будуть розташовані вище, ніж світильники в інших місцях цеху, де немає кран - балок:

$$H_{\text{к.-б.}} = H - h_{\text{с}} - h_{\text{р}} = 6 - 0 - 0,5 = 5,5 \text{ м,}$$

де  $H$  – висота цеху ;

$h_{\text{с}}$  – приймається рівним 0, над кран балками;

$h_{\text{р}}$  – рівень робочої поверхні .

Висота в місцях, де немає кран – балок:

$$H_p = H - h_c - h_p = 6 - 1,5 - 0,5 = 4 \text{ м.}$$

Розрахунок будемо проводити окремо для кожного приміщення, так як в нас їх певна кількість в цеху.

Перше приміщення, де проводитиметься розрахунок має наступні розміри:

$$a = 13,53 \text{ м}; b = 10,6 \text{ м.}$$

Визначимо площу:

$$S = a \times b = 13,53 * 10,6 = 143,42 \text{ м}^2.$$

Нормована освітленість -  $E_n = 200$  лк.

Відстань між центрами світлодіодних світильників:

$$L = \lambda * H_p = (1,8 \dots 2,6) * 4 = 7,2 \dots 10,4 \text{ м.}$$

Прийmemo  $L = 7$  м.

Числов рядів:

$$n_B = \frac{b}{L} = \frac{10,6}{7} = 1,52 \approx 2.$$

Кількість світильників в ряду:

$$n_A = \frac{a}{L} = \frac{13,53}{7} = 1,93 \approx 2.$$

Кількість світильників:

$$N_{CB} = n_A * n_B = 2 * 2 = 4.$$

Індекс форми приміщення ремонтно – механічного цеху домобудівної компанії:

$$i = \frac{S}{H_p * (A + B)} = \frac{143,42}{4 * (13,53 + 10,6)} = 1,49.$$

Прийmemo :

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

Коефіцієнт використання СП (світлового потоку):

$$\eta = 0,49;$$

коефіцієнт запасу  $K_z = 1,5$ ;

коефіцієнт нерівності  $i_z = 1,15$ .

Світловий потік приміщення площею  $143,42 \text{ м}^2$ :

$$\Phi_p = \frac{E_H * S * K_3 * Z}{N_L * \eta} = \frac{200 * 143,42 * 1,5 * 1,15}{4 * 0,49} = 25\,245 \text{ лм.}$$

Обираю світлодіодний світильник НВ – 200 з  $\Phi_H = 27\,000$  лм.

Відхилення  $\Phi_p$  від  $\Phi_H$ :

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_H - \Phi_p}{\Phi_p} * 100\% = \frac{27000 - 25\,245}{25\,245} * 100 = 6,95 \%,$$

отримане значення в межах -10...+20 %.

Споживана потужність:

$$P_{\text{св.}} = N_L * P_H = 4 * 200 = 800 \text{ Вт} = 0,8 \text{ кВт.}$$

Питома потужність:

$$P_{\text{пит.р.}} = \frac{P_{\text{о.р.}}}{S} = \frac{800}{143,42} = 5,58 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

$S, \text{мм}^2$	$H_p, \text{м}$	$P_H, \text{Вт}$	$\Phi_H, \text{лм}$	$N_L, \text{шт}$	$\Phi_p, \text{лм}$	$\Delta\Phi, \%$	$P_{\text{пит.р.}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
143,42	4	200	27000	4	25 245	6,95	5,58
156,25	4	200	27000	4	27 626	-2,27	5,1
72,48	4	240	31500	2	30493	3,3	6,62
798,8	4	200	27000	18	23197	16,4	4,51
115,83	5,5	300	40500	3	37000	9,5	7,8
342,29	4	240	31500	6	32803	-3,97	4,21
122,85	5,5	200	27000	4	25844	4,47	6,5
262,48	4	200	27000	6	26951	0,18	4,57

Табл.21

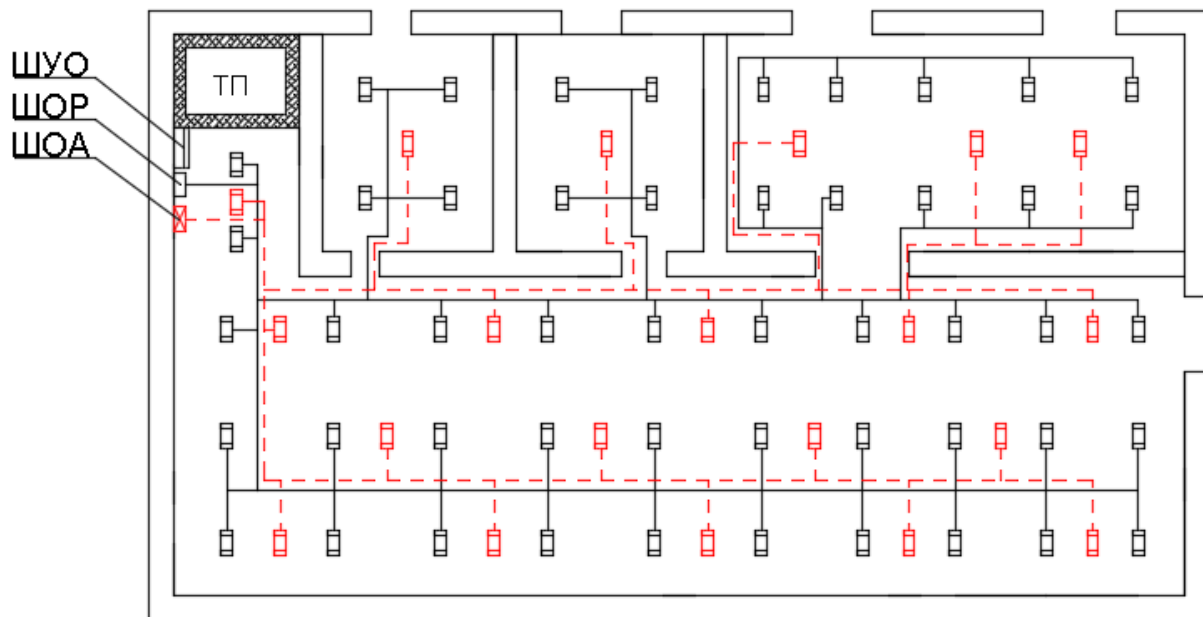


Рис.6 План розміщення трас і світильників

Сумарне освітлювальне навантаження в робочому режимі:

$$P_{\text{роб}} = \left( \sum P_{\text{св}} * n \right) * K_{\text{п}} = (200 * 36 + 240 * 8 + 300 * 3) * 0,95 = 9\,520 \text{ Вт},$$

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

Струм робочого освітлення:

$$I_{\text{роб}} = \frac{P_{\text{роб}}}{\sqrt{3} * U_{\text{л}} * \cos\varphi} = \frac{9,52}{\sqrt{3} * 0,38 * 0,95} = 15,23 \text{ А}.$$

Для керування аварійний і робочим освітлення встановимо ШУО.

Ввідний АВ в ШУО:

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

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

$$I_{\text{розч.}} \geq 1.4 * I_{\text{роб.}}$$

$$I_{\text{розч.}} = 25 \text{ А} > I_{\text{роб}} = 15,23 \text{ А}$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 63 \text{ А} > I_{\text{розч.}} = 25 \text{ А};$$

$$I_{\text{розч.}} = 25 \text{ А} > 1.4 * I_{\text{роб}} = 1.4 * 15,23 = 21,32 \text{ А},$$

обираємо ВА21-29.

Від ТП до ШУО оберемо кабель за умовою:

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{k_3 * I_3}{K_{\text{пр}}} = \frac{1 * 25}{1} = 25 \text{ A},$$

АВВГ – 4 х 3 з  $I_{\text{доп}} = 27 \text{ A}$ .

В щиток робочого освітлення вхідний АВ:

$$I_{\text{розч.}} \geq I_{\text{роб.}};$$

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

$$I_{\text{розч.}} \geq 1.4 * I_{\text{роб.}};$$

$$I_{\text{розч.}} = 25 \text{ A} > I_{\text{роб.}} = 15,23 \text{ A}$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 63 \text{ A} > I_{\text{розч.}} = 25 \text{ A};$$

$$I_{\text{розч.}} = 25 \text{ A} > 1.4 * I_{\text{роб.}} = 1.4 * 15,23 = 21,32 \text{ A},$$

обираємо ВА21-29.

Кабель від ШУО до щитка РО (робочого освітлення):

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{k_3 * I_3}{K_{\text{прок}}} = \frac{1 * 25}{1} = 25 \text{ A},$$

АВВГ – 4 х 3 .

На магістральні лінії обираємо кабель АВВГ – 4 х 2,5, а на відгалуження безпосередньо до ламп – АВВГ – 4 х 1,5.

На відхідну магістральну лінії обираю АВ типу ВА21-29 з  $I_{\text{розч.}} = 25 \text{ A}$ .

Споживана аварійними світильникам потужність:

$$P_a = N_l * P_n = 20 * 240 = 4800 \text{ Вт} = 4,8 \text{ кВт.}$$

Струм при цьому:

$$I_a = \frac{P_a}{\sqrt{3} * U_l * \cos\varphi} = \frac{4,8}{\sqrt{3} * 0,38 * 0,95} = 7,7 \text{ A.}$$

АВ на вводі в ЩОА:

$$I_{\text{розч.}} \geq I_a;$$

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

$$I_{\text{розч.}} \geq 1.4 * I_a;$$

$$I_{\text{розч.}} = 12,5 \text{ A} > I_a = 7,7 \text{ A}$$

$$I_{\text{ном.ав}} = 63 \text{ A} > I_{\text{розч.}} = 12,5 \text{ A};$$

$$I_{\text{розч.}} = 12,5 \text{ A} > 1,4 * I_a = 1,4 * 7,7 = 10,92 \text{ A}.$$

Кабель від ШУО до щитка аварійного освітлення:

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{k_3 * I_3}{K_{\text{прок}}} = \frac{1 * 12,5}{1} = 12,5 \text{ A},$$

АВВГ – 4 х 2 , з  $I_{\text{доп}} = 21 \text{ A}$ .

Для відхідної лінії і ліній відгалужень обираємо кабель АВВГ – 4 х 2.

АВ відхідної лінії - ВА21-29 з  $I_{\text{розч.}} = 12,5 \text{ A}$ .

## 7. Схеми управління вимикачами в розподільних пристроях

При управлінні технологічним процесом виробництва, перетворення або розподілу електроенергії виникає необхідність дискретної дії на виконавчі органи. В електричних схемах такими органами є приводи вимикачів, комутаційні апарати в колах електродвигунів.

Ручне управління приводом того або іншого пристрою може здійснюватися або безпосередньо на місці установки шляхом фізичної дії апарату на привід, або за допомогою команд апарата з місцевого щита управління, або комірки КРУ чи з віддаленого пункту управління. Автоматичне управління здійснюється за допомогою пристроїв релейного захисту і автоматики.

Управління вимикачами здійснюється з щитів управління станції або підстанції, а також з диспетчерських пунктів. Найвідповідальніші об'єкти мають дубльоване управління. Спосіб управління з щитів станцій і підстанцій відрізняється від управління з щита енергосистеми. При відстанях в десятки метрів можливий безпосередній електричний зв'язок між командо апаратом і виконавчим органом, таке управління називається дистанційним.

При великих відстанях (управління з ДП) передача команд здійснюється засобами телемеханіки і це управління називається телемеханічним. Дистанційне керування комутаційними апаратами відбувається по ланцюжку: опера-

тор – апаратура управління – привод комутаційного апарату. При цьому обов’язково повинен бути забезпечений зворотний зв’язок об’єкта управління з оператором – сигналізація положення апарату, що підтверджує виконання команди. Автоматичні і мимовільні комутації повинні супроводжуватися дією світлової (або) звукової сигналізації.

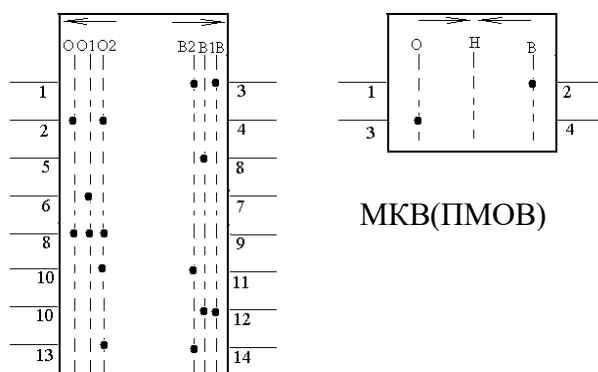
Розрізняють три види дистанційного керування комутаційними апаратами:

- індивідуальне;
- індивідуальне за вибором;
- функціонально - групове (ФГУ)

При індивідуальному дистанційному керуванні кожен об’єкт має ключ управління і показчик положення. При управлінні за вибором на групу об’єктів встановлюється один загальний ключ управління, один показчик положення і один номеронабирач. Команда управління виконується в два етапи:

- 1) Спочатку відбувається вибір об’єкта за допомогою номеронабирача;
- 2) Потім подається команда на вибраний об’єкт(або групу об’єктів).

При ФГУ відбувається управління функціональними групами за певними логічними програмами. У разі відмови ФГУ є можливість управління по схемі за вибором або індивідуального управління.



*Рисунок 1–Діаграм аключів. Крапка означає, що контакти замкнуті при відповідному положенні ключа*

Для управління вимикачами застосовують вимикачі управління, наприклад ПМО або МК:

- ПМО – перемикач малогабаритний загального призначення;

– МК – малогабаритний ключ.

Ключі можуть бути з фіксацією положення рукоятки (буква Ф в позначенні), з самоповерненням рукоятки з оперативних положень «включити» «вимкнути» в фіксоване положення (буква В в позначенні), з вбудованою в рукоятку сигнальною лампою (буква С). Ключ із фіксацією рукоятки і самоповерненням МКВФ і ПМОФ мають шість положень: чотири фіксованих – «відключено» (0), «заздалегідь включено» (В1), «включено» (В), «заздалегідь відключено» (01) і два положення з поверненням в попереднє положення – «включить» (В2) і «відключити» (02).

Подачу кожної команди здійснюють в два етапи. Наприклад для вимикача рукоятку ключа поворотом рукоятки на 90 за годинниковою стрілкою переводять з положення «відключено» в проміжне положення «за здалегідь включено», а потім додатковим поворотом на 45<sup>0</sup> ставлять в положення «включити». Після чого оператор відпускає рукоятку, механізм повернення переводить в положення «включено» співпадаюче з положенням «заздалегідь включено».

У ключів без фіксації (МКВ, ПМОВ) рукоятка має три положення:

- «ввимкнути» – поворот рукоятки на 45<sup>0</sup> за годинниковою стрілкою,
- «вимкнути» – теж, але проти годинникової стрілки і нейтральне.

У це положення ключ повертається з положення «ввимкнути» і «вимкнути».

Ключі управління мають два типи контактів:

- оперативні для подачі команд, які замикаються тільки на час подачі команд;
- сигнальні, призначені для сигналізації положення вимикача.

### **Управління вимикачами з електромагнітними приводами.**

Силовими елементами приводу служать електромагніти з сердечниками, що втягуються. Електромагніт вмикаючого пристрою – потужний, вимикаючого – малопотужний. Для вмикання вимикача необхідно подати команду на електромагніт включення. Оскільки цей магніт споживає великий струм, то команда на включення подається через проміжний контактор з потужними контактами, у включеному положенні вимикач утримується за допомогою утримуючого механізму.

На електромагніт відключення з ключа управління команда подається на-пряму. Електромагніт відключення звільняє утримуючу установку і під дією відключаючих пружин вимикач вимикається.

Схема управління, що використовують реле команді ключ управління МКВ, дозволяє понизити рівень сигналу, що поступає з щита управління в розподільну установку, оскільки реле розташовуються в ньому. (КСС – реле вмикання, КСТ – вимикання).

Обмотки електромагніті в включення і відключення розраховані на короткочасне протікання струму, тому тривалість команд повинна обмежуватися автоматичними пристроями.

Розглянемо роботу схеми. Живлення схеми управління здійснюється від шинок управління Е Після включення автомата SF1, а електромагніту від шини ЕУ після включення автоматичного вимикача SF2. Для вмикання необхідно повернути рукоятку ключа в положення «включено». При цьому замикається коло живлення контактора КМ. Контактор спрацьовує і своїми контактами замикає коло живлення електромагніту включення УАС. В кінці, процесу включення при провертанні валу приводу розмикається контакт SQ1 в колі КМ і контактор відключається знімаючи живлення з електромагніту включення. Таким чином забезпечується короткочасність подачі командного імпульсу. Одночасно з розмиканням кола живлення КМ контактами приводу SQ1 відбувається замикання контактів SQ2 в колі електромагніту відключення УАТ, готуючи коло відключення

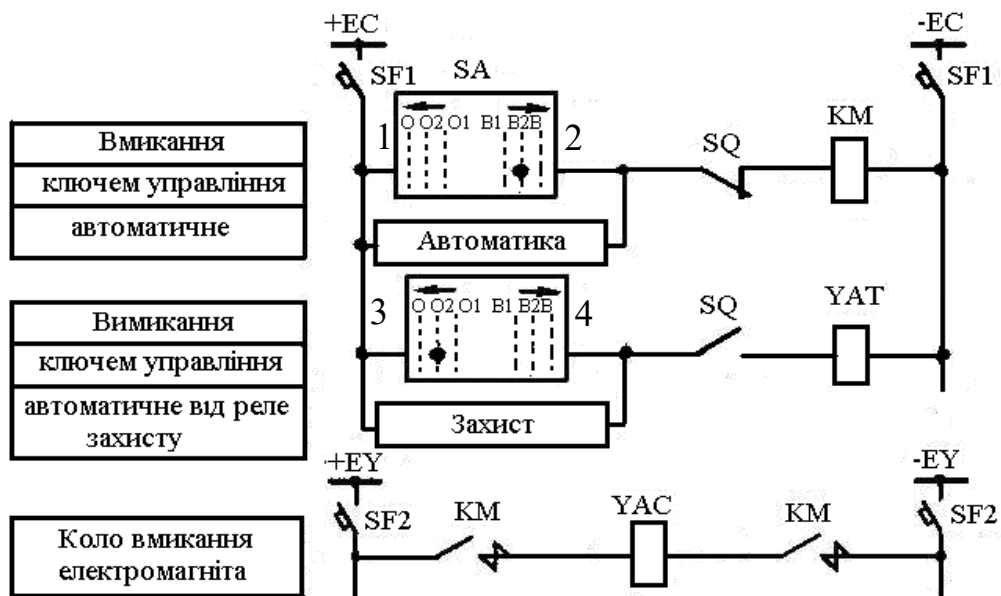


Рисунок 2 – Схема дистанційного управління вмикачем

З електромагнітним приводом, виконана з застосуванням ключа типу ПМОФ

Для відключення необхідно повернути рукоятку в положення «відключено», при цьому замикаються контакти 2–4 внаслідок чого YAT одержує живлення і відключає вмикач. В кінці операції відключення розмикаються SQ2 і переривають сигнал на відключення. Контакти приводу SQ1 знов готують вмикання. Операції включення і відключення можуть бути виконані за сигналами релейного захисту і автоматики, оскільки контакти цих пристроїв підключені паралельно відповідними контактами ключа управління.

Схема управління з ключем МКВ відрізняється лише тим, що оперативні команди на включення подаються через реле команд КСС – включення і КСТ–відключення.

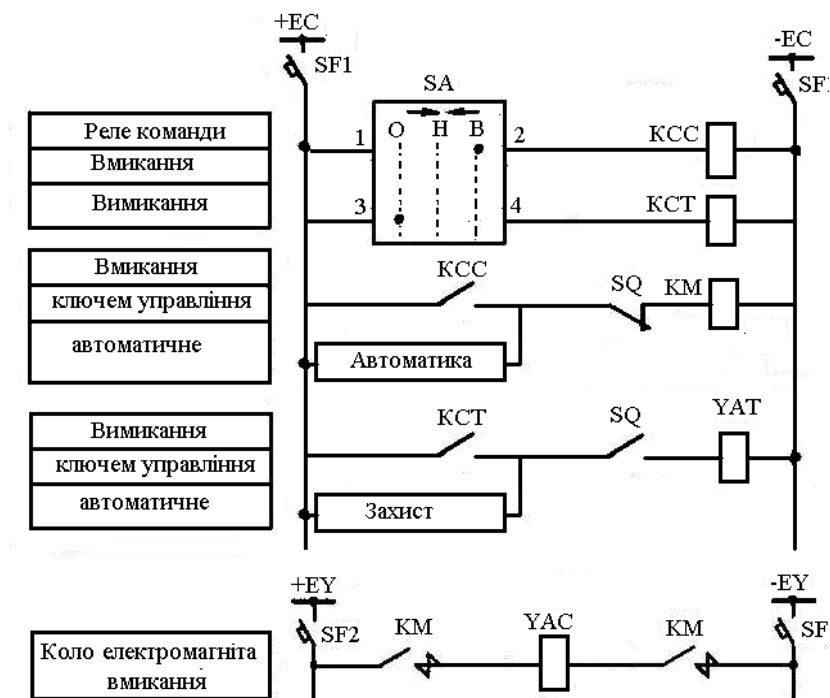


Рисунок 3 – Схема дистанційного управління вимикачем

З електромагнітним приводом, виконана з застосуванням ключа типу МКВ

### Блокування від багатократного включення на коротке замикання (захист від «стрибання»).

Подача тривалої команди включення на стійке коротке замикання небезпечна для вимикача, оскільки при цьому відбуваються багатократні включення і відключення струму КЗ. Для запобігання цьому передбачають блокування. Найчастіше застосовується електричне блокування.

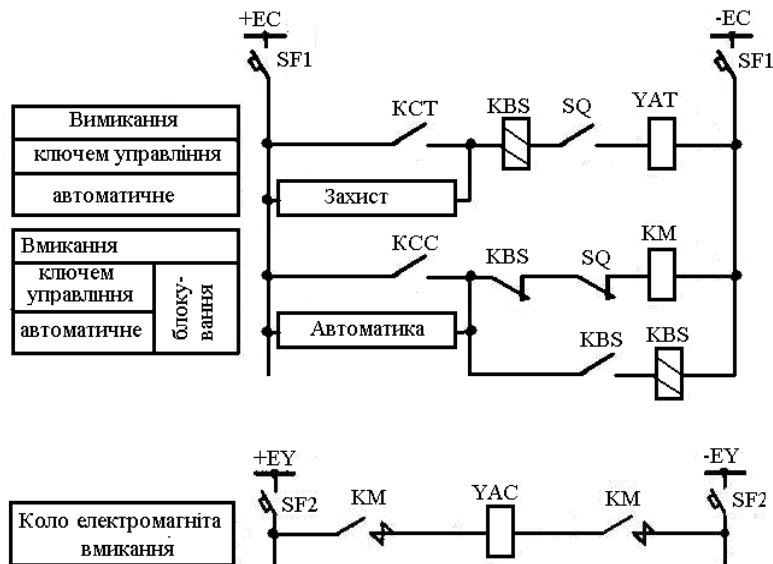


Рисунок 4 – Схема електричного блокування від багатократного вмикання на КЗ

В такій схемі передбачене проміжне реле KBS з двома обмотками – послідовною і паралельною. Реле має дві пари контактів – розмикаючі KBS1 і замикаючих KBS2. При спрацьовуванні релейного захисту, викликаному вмиканням на КЗ, через електромагнітне відключення YA T протікає струм, одночасно цей струм протікає і по послідовній обмотці KBS. Реле KBS спрацьовує і своїми контактами KBS1 розмикає коло живлення контактора включення KM, запобігаючи повторному його включенню. Реле утримується у включеному стані до зняття команди на включення паралельної обмотки, після зняття команди схема повертається в вихідне положення.

### Сигналізація положення вимикача.

Сигналізація при виконанні операції управління оператором повинна відрізнятися від сигналізації положення вимикача при дії автоматичних пристроїв або мимовільній дії. У першому випадку оператор потребує тільки світлової сигналізації положення вимикача, а у другому – необхідна ще і звукова, щоб оповістити про аварію. Світлова сигналізація нормального положення вимикача забезпечується або свіченням зеленої лампи у відключеному положенні і червоної увключеному положенні і, або положенням рукоятки ключа управління що світиться: уперек мнемонічної схеми у відключеному положенні і вповдуж у включеному положенні.

Для світлової сигналізації аварійної зміни положення вимикача використовують додаткову ознаку – мигання лампи. Велике поширення набула дволампова схема сигналізації: червона HLR – положення «включено», зелена HLG – «відключено».

Якщо операція з вимикачем виконана ключем управління, то сигнальна лампа підключається до шинки, що має постійний позитивний потенціал, через коло, що фіксує відповідність положень вимикача і ключа (ключ з фіксацією) або останньої операції (ключ без фіксації). Якщо ж перемикач відбувається під дією захисту або автоматики, сигнальна лампа приєднується до шинки, на яку позитивний потенціал подається переривисто через коло, що фіксує не відповідність між положенням ключа або останньою операцією поданою ключем, і новим положенням вимикача.

В описаних схемах нормальне положення вимикача сигналізується постійним свіченням відповідної лампи. При аварійній зміні положення вимикача гасне лампа, колір якої відповідав колишньому стану вимикача, і починає мигати лампа, колір якої відповідає новому положенню вимикача. Переривистий позитивний потенціал подається за допомогою спеціального пристрою миготливого світла на шину +EP. Якщо використовується ключ з фіксацією рукоятки, то в коло сигнальних ламп включають сигнальні контакти ключа, що відображають положення його рукоятки, і допоміжні контакти вимикача.

Для сигналізації положення вимикача, керованого ключем без фіксації рукоятки, в коло сигнальних ламп вводять контакти реле фіксації команди KQQ і допоміжні контакти вимикача. Реле фіксації команди має дві обмотки 1 і 2 і шість перемикаючих контактів.

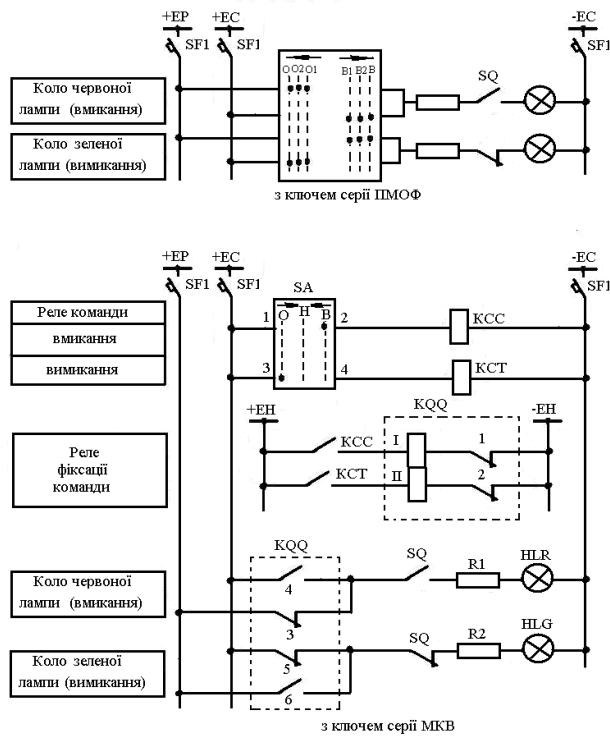


Рисунок 5 – Схема дволампової сигналізації положення вимикача

Положення перемикаючих контактів відповідає останній команді, поданій ключем. Якщо, наприклад, останньою була команда «відключить», то реле КСТ в період подачі команди своїми замикаючими контактами створює коло струму через обмотку 2 реле КQQ. При цьому контакти перемикаються: не парні – за-микаються, а парні розмикаються (показано на схемі). Якщо положення вимикача відповідає останній команді ключем, то коло сигнальної лампи створюється від шинок +ЕС; якщо не відповідає – то від шинок +ЕР.

Справний станків управління постійно контролюється. Для цього передбачений світловий або звуковий контроль. При світловому контролі кола управління і кола дволампової сигналізації положення вимикача об'єднують, використовуючи сигнальні лампи одночасно для контролю цілісності оперативних кіл. З цією метою кола сигнальних ламп положення вимикача підключають через

допоміжні контакти вимикача і електромагніти управління. Наприклад, горіння зеленої лампи означає, що вимикач відключений, а його коло включення справне. Аналогічно, при включеному вимикачі червона лампа контролює коло відключення. Порушення контрольованого кола приводить до згасання лампи. Світловий контроль вимагає постійного спостереження і тому витісняється зручнішим – звуковим.

Розглянемо схему управління мало масляним вимикачем ВКЭ-10. Управління вимикачем виконується через реле команд КСС і КСТ. В обох колах управління передбачений під хватком андиконтактами реле КВ4 і КВ3, забезпечуючий завершення команди. На випадок невиконання команди управління передбачене блокування за допомогою реле КВ1 і КВ2. Так, при включенні вимикача шунтується обмотка реле КАТ і його контакти з уповільненням на повернення замикають коло реле КВ1 (допоміжний контакт вимикача SQ – замкнутий). З витримкою часу замикається контакт КВ1 в колі КВ2. Якщо за цей час вимикач не відключився (допоміжні контакти SQ залишилися замкнутими), розімкнуться контакти КВ2 і забезпечиться коло контактора КМ і електромагніту УАС.

Блокування від багатократних вмикань на КЗ виконане з використанням допоміжних контактів електромагніту відключення УАТ. При тривалій команді включення на КЗ після першого відключення вимикача електромагніт відключення УАТ залишається під напругою по колу: плюс–КСС, (автоматика) – КВ4 замикаючі контакти УАТ – R. Розмикаючі допоміжні контакти УАТ розривають коло включення. Резистор R обмежує струм УАТ.

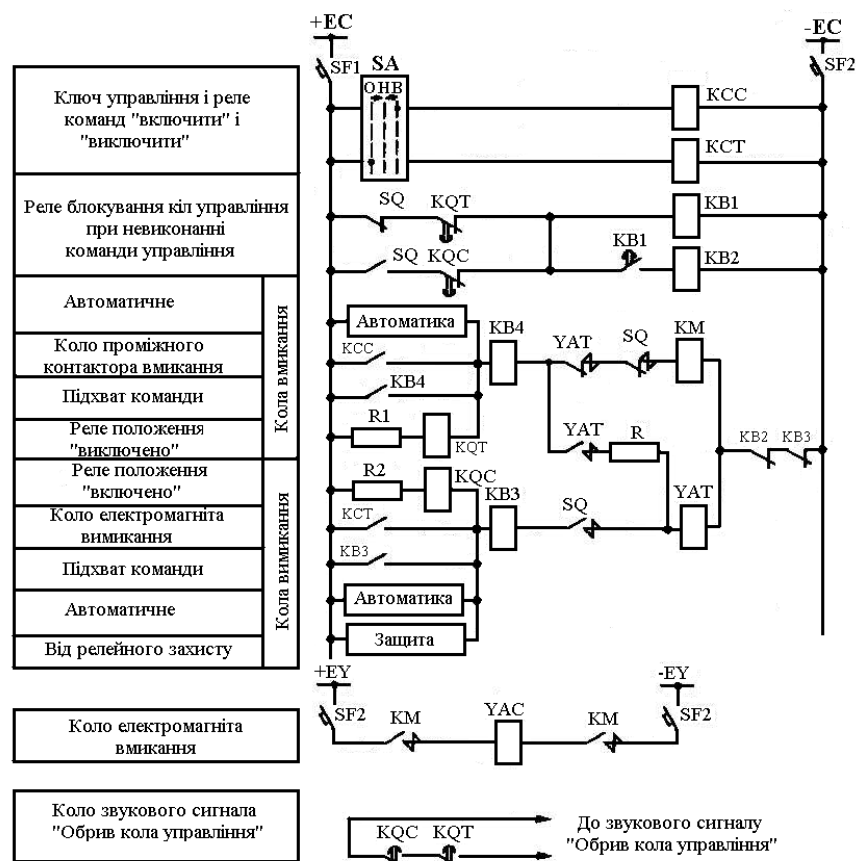


Рисунок 6 – Схема управління мало масляним вимикачем типу ВКЭ-10 з ключем серії МКВ і звуковим контролем кіл управління.

Для контролю кіл управління використані два проміжні реле: реле положення «включено» КQC, що контролює кола вмикання і реле положення «відключено» КQT, що контролює кола вимкання. Коло запуску звукової сигналізації обриву утворюється через послідовно включені розмикаючі контакти КQC і КQT відповідних реле. При справному стані оперативних кіл обмотка одного з двох реле обтікається струмом, а іншого – знеструмлена, внаслідок чого коло звукового сигналу розімкнене. У разі обриву кола подальшої операції обмотки обох реле виявляються знеструмленими і з'являється звуковий сигнал. Резистори R1 і R2 в колах КQC і КQT запобігають спрацьовуванню вимикача при випадковому заколючуванні обмотки реле під час роботи у вторинних колах. Складніші схеми управління

повітряними вимикачами, оскільки вони мають пофазне виконання і пофазне управління. Крім того, в схему управління входять реле контролю і сигналізації тиску повітря.

## **8. Охорона праці**

### **8.1 Обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання**

Група з електробезпеки-система кваліфікаційних вимог, з проведенням навчання (інструктажу), подальшою задачею іспиту і видачею (у разі позитивного результату складання іспиту) відповідного посвідчення, на групи осіб і визначає їх повноваження в доступі і роботах з електрогосподарством установи, підприємства і т. п.

Для електротехнічного персоналу встановлено п'ять кваліфікаційних груп з електробезпеки.

I група ЕБ присвоюється не електротехнічного виробничому персоналу використовує в своїй роботі електроінструмент, що експлуатує електроустановки і споживачі (електро приймачі), які не потребують спеціального навчання. Присвоєння I групи ЕБ виробляє працівник з числа електротехнічного персоналу даного підприємства з групою з електробезпеки не нижче III за розпорядженням керівника відповідно до затвердженого переліку.

II кваліфікаційна група ЕБ Для первинного отримання II групи ЕБ персонал із середньою освітою або не має середнього повинен пройти навчання в навчальному центрі за програмою «Норми і правила роботи в електроустановках» в обсязі не менше 72 годин і здати іспити в атестаційній комісії Ростехнагляду, обслуговуючому установки і обладнання з електроприводом, електрозварники (без права підключення), термісти

установок ТВЧ, машиністи вантажопідіймальних машин, пересувні машини і механізми з електроприводом, що працює з ручними електричними машинами та іншими переносними електроприймач та інший технологічний персонал, зайнятий в основній і неосновної діяльності підприємства (об'єднання), організації. Так само 2 група ЕБ до 1000 В присвоюється новоприйнятим електромонтерами, електромонтажникам.

III кваліфікаційна група присвоюється електротехнічного персоналу. Вимоги при прийомі на роботу і виконання робіт до електротехнічного, так само технологічного персоналу. Допуск персоналу з III групою підрозділяється на роботу з мережами до 1000 В і понад 1000 В, а також дає право одноосібного обслуговування, огляду, підключення і відключення електроустановок від мережі.

IV кваліфікаційна група присвоюється тільки особам електротехнічного персоналу. 4 група ЕБ (до 1000 В) необхідна особам (ІТП) для призначення відповідальною особою за електрогосподарство в організації. Також присвоюється оперативному персоналу для навчання молодого покоління на робочому місці.

V кваліфікаційна група ЕБ присвоюється особам, відповідальним за електрогосподарство, і іншому інженерно-технічного персоналу в установках напругою вище 1000 В.

При обслуговуванні і ремонті електричного обладнання необхідно дотримуватися правил техніки безпеки. Під час роботи електричне обладнання його час від часу потрібно обслуговувати, а при раптовій аварії виключити.

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 Електричний опір землі (загальні положення, залежність питомого опору ґрунту від вологості, температури, щільності та пори року, вимірювання питомого опору ґрунту).**

Для розрахунку заземлюючих пристроїв потрібні дані про електропровідні властивості різних видів ґрунтів. Питомий електричний опір верхнього шару землі (ґрунту)  $r$  залежить не тільки від виду гірської породи, але від ступеня їх зволоження та температури. Основний провідник струму в ґрунті є його рідка частина – ґрунтовий розчин, роль якого відіграє електроліт. Як відомо з фізики, носіями струму в електроліті є іони, які утворилися в результаті електролітичної дисоціації. Під впливом електричного поля в ґрунті відбувається направлене переміщення іонів. Чим більше в ґрунті є води та розчинних речовин, тим менше його питомий опір (більш детальну інформацію студент може отримати в .

Для практичних розрахунків значень питомого електричного опору верхніх шарів землі, на тій ділянці, де буде споруджуватися заземлювач, необхідно користуватися значеннями, отриманими натурними вимірами. Розрахунковий питомий опір ґрунту за даними вимірювання  $r_{\text{вим.}}$  знаходяться з врахуванням кліматичного коефіцієнта  $Y$  (табл. 1):  $Y_1$  – при великій вологості ґрунту;  $Y_2$  – при середній вологості ґрунту;  $Y_3$  – при сухому ґрунті. Таким чином, розрахунковий питомий опір ґрунту визначається так:

$$r = r_{\text{вим.}} \times Y. \quad 1$$

Якщо опір ґрунту неоднорідний за шарами, то методом стратифікації визначають окремо питомі опори верхнього шару (для заземлювальних провідників) і нижнього шару (для вертикальних електродів).

Для навчальних цілей рекомендується використовувати табличні дані, взяті з довідників (табл. 1)

Таблиця 1

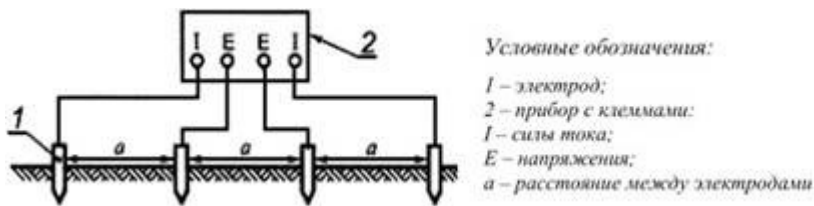
### Питомий опір ґрунтів

Вид ґрунту	Питомий опір, $\rho$ , Ом $\times$ м	Рекомендоване для розрахунків $\rho$ , Ом $\times$ м	Кліматичний коефіцієнт			
Ґрунт сухий	Ґрунт вологий	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$		
Торф Чорнозем					1,1	1,2
Садова земля Глина				1,4	1,32	1,2
Суглинок Супісок				—	1,3	1,2
Пісок Щебінь, гравій Каменистий	—		—	1,6	1,3	1,4
ґрунт Мерзлий ґрунт				2,4	1,5	1,4
				—	1,5	1,2
				—	1,56	—
				—	—	—

Як ми раніше висвітлили, активна складова загального опору кола струму, що проходить через людину ( $R_h$ ), являє собою еквівалентний опір декількох елементів.

Корозійна агресивність ґрунту по відношенню до сталі характеризується значеннями питомого електричного опору ґрунту, що визначається в польових і лабораторних умовах.

**Визначення питомої електричного (удаваного) опору ґрунту в польових умовах** [45]. Питомий електричний опір ґрунту вимірюють безпосередньо на трасі підземного трубопроводу без відбору проб ґрунту по чотириелектродній схемою (рис. 2). Застосовуються польові електророзвідувальні прилади, наприклад твань АЕБ-72, і електроди у вигляді сталевих стрижнів довжиною від 250 до 350 мм і діаметром від 15 до 20 мм.



Мал. 2. Схема визначення питомого опору ґрунту

Електроди розміщують на поверхні землі на одній прямій лінії, що збігається з віссю траси для проектованого споруди, а для покладеного в землю споруди на лінії, що проходить перпендикулярно або паралельно на відстані від 2 до 4 м від осі споруди. Вимірювання виконують з інтервалом від 100 до 200 м в період, коли на глибині закладення споруди відсутня промерзання ґрунту.

Глибина забивання електродів в ґрунт повинна бути не більше 1/20 відстані між електродами.

Питомий електричний опір ґрунту  $\rho$ , Ом, обчислюють за формулою

$$\rho = 2\pi R_{г.п} a,$$

де  $\rho$  - електричний опір ґрунту, виміряний приладом. Ом;  $a$  - відстань між електродами, рівне глибині (для кабелів зв'язку - подвійній глибині) прокладки підземної споруди, м.

### 8.3. Практичний розрахунок

Людина доторкнулась до фази трифазної трипровідної мережі з ізольованою нейтралю (частота 50 Гц) напругою 380 В. 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:  $R_{\text{л}} = 850$  Ом;  $R_0 = 2$ кОм;  $R = 30$ кОм;  $C = 0,06$ мкФ;  $R_{\text{зам}} = 110; 60; 3; 0,5$ ; Ом.

Напруга дотику при протіканні нормального режиму:

$$U_{\text{дот}} = U_{\text{ф}} * \frac{R_{\text{л}}}{R_{\text{л}} + R_0} = 220 * \frac{850}{850 + 3 * 10^3} = 48,57 \text{ В.}$$

Струм через людину:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{л}} + R_0} = \frac{220}{850 + 3 * 10^3} = 0,057 \text{ А.}$$

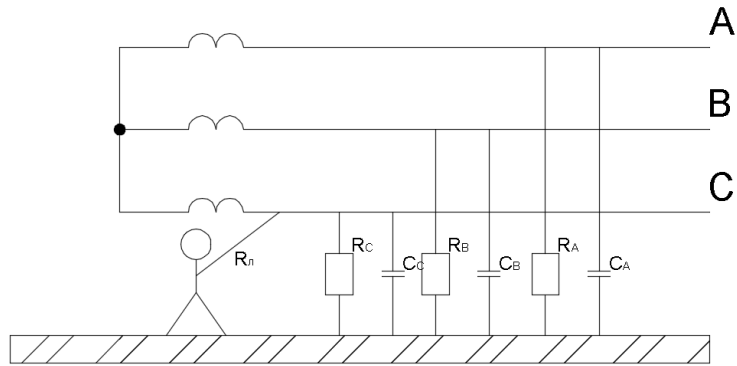


Рис. Однофазний дотик людини до проводу в мережі з ізольованою нейтралю в нормальному режимі.

Напруга дотики при протіканні аварійного режиму:

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

$$U_{\text{дот}} = U_{\phi} * R_{\text{л}} * \frac{R_{\text{зам}} + R_0 * \sqrt{3}}{R_{\text{зам}} * R_0 + R_{\text{л}} * (R_{\text{зам}} + R_0)}$$

$$= 220 * 850 * \frac{110 + 3 * 10^3 * \sqrt{3}}{110 * 3 * 10^3 + 850 * (110 + 3 * 10^3)} = 333,7 \text{ В};$$

$$U_{\text{дот}} = U_{\phi} * R_{\text{л}} * \frac{R_{\text{зам}} + R_0 * \sqrt{3}}{R_{\text{зам}} * R_0 + R_{\text{л}} * (R_{\text{зам}} + R_0)}$$

$$= 220 * 850 * \frac{60 + 3 * 10^3 * \sqrt{3}}{60 * 3 * 10^3 + 850 * (60 + 3 * 10^3)} = 353,43 \text{ В};$$

$$U_{\text{дот}} = U_{\phi} * R_{\text{л}} * \frac{R_{\text{зам}} + R_0 * \sqrt{3}}{R_{\text{зам}} * R_0 + R_{\text{л}} * (R_{\text{зам}} + R_0)}$$

$$= 220 * 850 * \frac{3 + 3 * 10^3 * \sqrt{3}}{3 * 3 * 10^3 + 850 * (3 + 3 * 10^3)} = 379,6 \text{ В};$$

$$\begin{aligned}
 U_{\text{дот}} &= U_{\phi} * R_{\text{л}} * \frac{R_{\text{зам}} + R_0 * \sqrt{3}}{R_{\text{зам}} * R_0 + R_{\text{л}} * (R_{\text{зам}} + R_0)} \\
 &= 220 * 850 * \frac{0.5 + 3 * 10^3 * \sqrt{3}}{0.5 * 3 * 10^3 + 850 * (0.5 + 3 * 10^3)} = 380,8 \text{ В.}
 \end{aligned}$$

Розрахуємо значення струму, що проходитьиме через людини при тих же значеннях опору замикання фази на землю:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{л}} &= U_{\phi} * \frac{R_{\text{зам}} + R_0 * \sqrt{3}}{R_{\text{зам}} * R_0 + R_{\text{л}} * (R_{\text{зам}} + R_0)} \\
 &= 220 * \frac{110 + 3 * 10^3 * \sqrt{3}}{110 * 3 * 10^3 + 850 * (110 + 3 * 10^3)} = 0.393 \text{ А;}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{л}} &= U_{\phi} * \frac{R_{\text{зам}} + R_0 * \sqrt{3}}{R_{\text{зам}} * R_0 + R_{\text{л}} * (R_{\text{зам}} + R_0)} \\
 &= 220 * \frac{60 + 3 * 10^3 * \sqrt{3}}{60 * 3 * 10^3 + 850 * (60 + 3 * 10^3)} = 0.416 \text{ А;}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{л}} &= U_{\phi} * \frac{R_{\text{зам}} + R_0 * \sqrt{3}}{R_{\text{зам}} * R_0 + R_{\text{л}} * (R_{\text{зам}} + R_0)} = 220 * \frac{3 + 3 * 10^3 * \sqrt{3}}{3 * 3 * 10^3 + 850 * (3 + 3 * 10^3)} \\
 &= 0.447 \text{ А;}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{л}} &= U_{\phi} * \frac{R_{\text{зам}} + R_0 * \sqrt{3}}{R_{\text{зам}} * R_0 + R_{\text{л}} * (R_{\text{зам}} + R_0)} \\
 &= 220 * \frac{0.5 + 3 * 10^3 * \sqrt{3}}{0.5 * 3 * 10^3 + 850 * (0.5 + 3 * 10^3)} = 0.448 \text{ А.}
 \end{aligned}$$

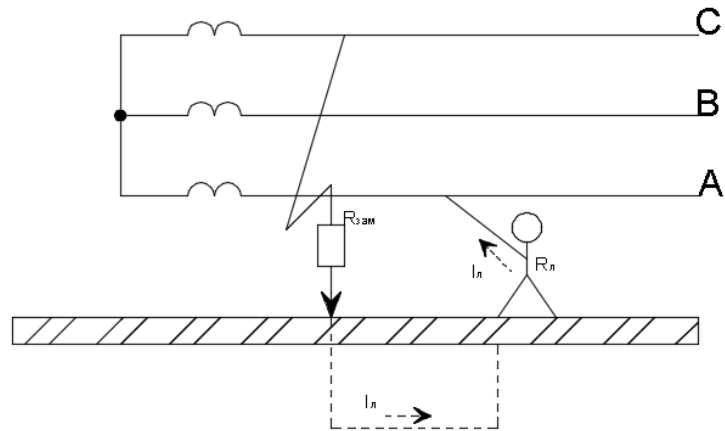


Рис. Однофазний дотик людини до проводу трифазної трипровідної мережі з ізолюваною нейтраллю при аварійному режимі.

В мережі з ізолюваною нейтраллю, вона заземлена через великий опір трансформаторів або вимірювальних приладів.

Найбільшу небезпеку для людини складає замикання в аварійному режимі будь-якому значенні опору замикання, так як струм досягає небезпечного значення для життя людини.

## Список використаної літератури

1. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств . Підручник . – Вінниця : Нова книга , 2004 . – 656 с .
2. Сірий О.М. Системи електроспоживання : розрахунки , вибір обладнання : Навч. посіб . – К.: НУХТ , 2011. – 319 с.
3. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник. – 2-е вид., перероб. і доп. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 148 с.