

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ЧНУТТ ім. акад. І.С.Тулєго  
Кафедра Електроенергетики та енергоменеджменту

«До захисту в ЕК»  
Директор інституту(декан факультету)

\_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис) = Балюєва С. М. (прізвище та ініціали)

« 5 » \_\_\_\_\_ 02 \_\_\_\_\_ 2021р.

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 СЕП ремонтно-механічного цеху заводу металоварів.  
Аналіз використання в промисловості частотно-регульованих електродвигунів.

Виконав: здобувач \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_

Емісінрайов Андрій Андрійович \_\_\_\_\_ (підпис)  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

Керівник Семко Дмитро Михайлович \_\_\_\_\_ (підпис)  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

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

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент Грищенко А. І. \_\_\_\_\_ (підпис)  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)  
\_\_\_\_\_ (підпис)

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

Здобувач \_\_\_\_\_ (підпис)

Київ - 20 21 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

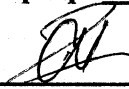
Інститут (факультет) ННУТТ ім. акад. І.В.Туллого  
Кафедра Електроенергетики та Енергоменеджменту  
Освітній ступінь Бакалавр  
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код і назва)  
Освітньо-професійна програма Електротехніка та електротехнології

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри

  
= Бальюта С.М. =  
" 3 " 02 2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Бісєрашова Андрій Андрійовича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка СЕП ремонтно-механічного цеху заводу мейншвидиробів. Акаліз використання в промисловості частотно-регульованих електродвигунів.  
керівник роботи \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від "09" 11 2020 року № 934-кС

2. Строк подання здобувачем роботи 25.01.2021р.

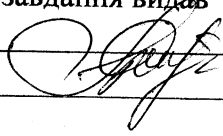
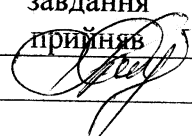
3. Вихідні дані до роботи шлях цеху з розміщенням на ньому споживачами електричної енергії, податківців споживачів.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розрахунок електричних навантажень. Вибір напруги і схеми електропостачання цеху. Режими реактивної потужності. Вибір кількості і потужності трансформаторів. Вибір і розрахунок швидості енергії цеху. Розрахунок струмів КЗ. Облік електроенергії. Якість електроенергії. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Генеральний шлях цеху
2. Схема електропостачання цеху
3. Схема освітлення цеху.

### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
07	доц Сірик А.О.		

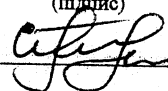
7. Дата видачі завдання 12 листопада 2020 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на дисциплінарний проект	12.11.2020р.	
2	Розрахунок електричних навантажень		
3	Вибір мапури і схеми електрооб'єкта		
4	Ретельна перевірка існуючої потужності		
5	Вибір кількості і потужності трансформаторів		
6	Вибір і розрахунок силової мережі		
7	Розрахунок струмів КЗ		
8	Облік електроенергії		
9	Якість електричної енергії		
10	Конструктивне виконання підстанції		
11	Специфікація		
12	Охорона праці		
	Представлення проекту на перевірку	25.01.2021р.	

Здобувач

Керівник роботи

  
(підпис)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Селеко А.М.  
(прізвище та ініціали)

(прізвище та ініціали)

## Анотація

Слістратов А.А. Розробка СЕП ремонтно-механічного цеху заводу металовиробів. Аналіз використання в промисловості частотно-регульованих електроприводів.

Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра за напрямом 141 “ Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. Національний університет харчових технологій, Київ, 2021. Пояснювальна записка складається зі вступу, дванадцяти розділів та списку використаної літератури. Загальний обсяг пояснювальної записки становить стор.

Метою роботи є проектування загальної схеми електропостачання, розрахунок електричних навантажень цехових електроприймачів, вибір елементів та розрахунок цехової мережі, розрахунок освітлювальної мережі цеху, аналіз ефективності роботи частотно-регульованого електропривода.

У дипломному проекті розроблено: генплан підприємства , загальна схема електропостачання підприємства, схема релейного захисту і автоматики, схеми з індивідуального питання. Було порівняно економічну складову при використанні частотних перетворювачів.

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ; ВИРОБНИЧИЙ ЦЕХ; ТРАНСФОРМАТОР;  
СТРУМ; ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ КОНТРОЛЛЕР;

## **Annotation**

Yilistratov A.A. The PSE repair and mechanical workshop of the metalworks. Analiz vicoristanna in the promiscuity of frequency-regulovanie elektroprivod.

Diploma project for a bachelor's degree in 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". National University of Food Technologies, Kyiv, 2021. The explanatory note consists of an introduction, 12 chapters and a list of references. The total volume of the explanatory note is      pages.

The purpose of the work is to design a general scheme of power supply, calculation of electrical loads of workshop electric receivers, selection of elements and calculation of the workshop network, calculation of the lighting network of the workshop, analysis of the efficiency of the frequency-controlled electric drive.

The diploma project developed: general plan of the enterprise, general scheme of power supply of the enterprise, relay protection and automation scheme, schemes on individual issues. It was a relatively economical component when using frequency converters.

ELECTRICITY; PRODUCTION PLANT; TRANSFORMER; CURRENT ;  
FREQUENCY-CONTROLLED.



## ВСТУП

В даний час особливого значення набувають питання якості та ефективності виробництва включаючи розподіл і споживання електроенергетичних ресурсів. Система електропостачання промислових підприємств забезпечує живленням електричною енергією промислових споживачів. Основними споживачами є електроприводи різних машин і механізмів, електричне освітлення, електричні нагрівальні пристрої в тому числі електричні печі. Сучасна система електропостачання промислового підприємства повинна задовольняти таким вимогам: бути економною і надійною, безпечною і зручною в експлуатації, забезпечувати належну якість електроенергії, рівні напруги, стабільність частоти та ін. По мірі розвитку електроспоживання стають складнішими і системи електропостачання промислових підприємств. В них включаються мережі високих напруг, розподільчі мережі, а в деяких випадках і мережі промислових ТЕЦ.

Завданням нашого дипломного проекту є розробка системи електропостачання ремонтно-механічного цеху заводу металовиробів.

Ремонтно-механічний цех заводу металовиробів призначений для виконання ремонтних робіт та технічного обслуговування обладнання підприємства. Електропостачання цеху здійснюється від цехової трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ, яка розміщена в прибудові. Цех має розміри 52\*32\*8 м.

					<b>ДП 2021 141</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		<i>Слістратов</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Семко Д.М.</i>					
Н. Контр.					<b>ВСТУП</b> ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ5-8ск		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>					

## 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ ЦЕХУ

В цеху розміщено обладнання, яке забезпечує виконання всіх необхідних робіт це: гвинторізальні верстати, зварювальні трансформатори, преси, намоточні верстати, універсальні фрезерні верстати та інше обладнання.

Перелік електрообладнання та потужності електроспоживання приймачів ремонтно-механічного цеху наведено в таблиці 1.1.

Потужність електроспоживання вказана для одного електроприймача. План розміщення основного електрообладнання показано на рисунку 1.1.

*Таблиця 1.1 – Перелік електрообладнання ремонтно-механічного цеху*

№ з/п	Позиція на плані	Назва обладнання	п, шт	Р <sub>н</sub> , кВт	Примітка
1	1-4, 9-12	Токарсько-гвинторізний верстат	8	4,6	
2	5-8	Токарсько-гвинторізний верстат	4	0,6	
3	13-15	Універсально-фрезерний верстат	3	6,5	
4	16-24	Строгальний верстат	9	9,2	
5	25-27	верстат Долбіжний	3	6	
6	28-31	Трансформатор зварювальний,	4	5	ПВ=40%
7	32-34	Намотлуваьний верстат	3	2,8	
8	35-38	Вертикально-свердлильний верстат	4	4,8	
9	39-40	Сушильна електрична шафа	2	9	
10	41-44	Прес-гідравлічний	4	4,6	
11	45,46	Верстат відрізний	2	3,5	
12	47-50	Вентилятори	4	15	

					<b>ДП 2021 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ ЦЕХУ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Слістратов</i>						
Перевірив		<i>Семко Д.М.</i>						
Н. Контр.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8ск		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

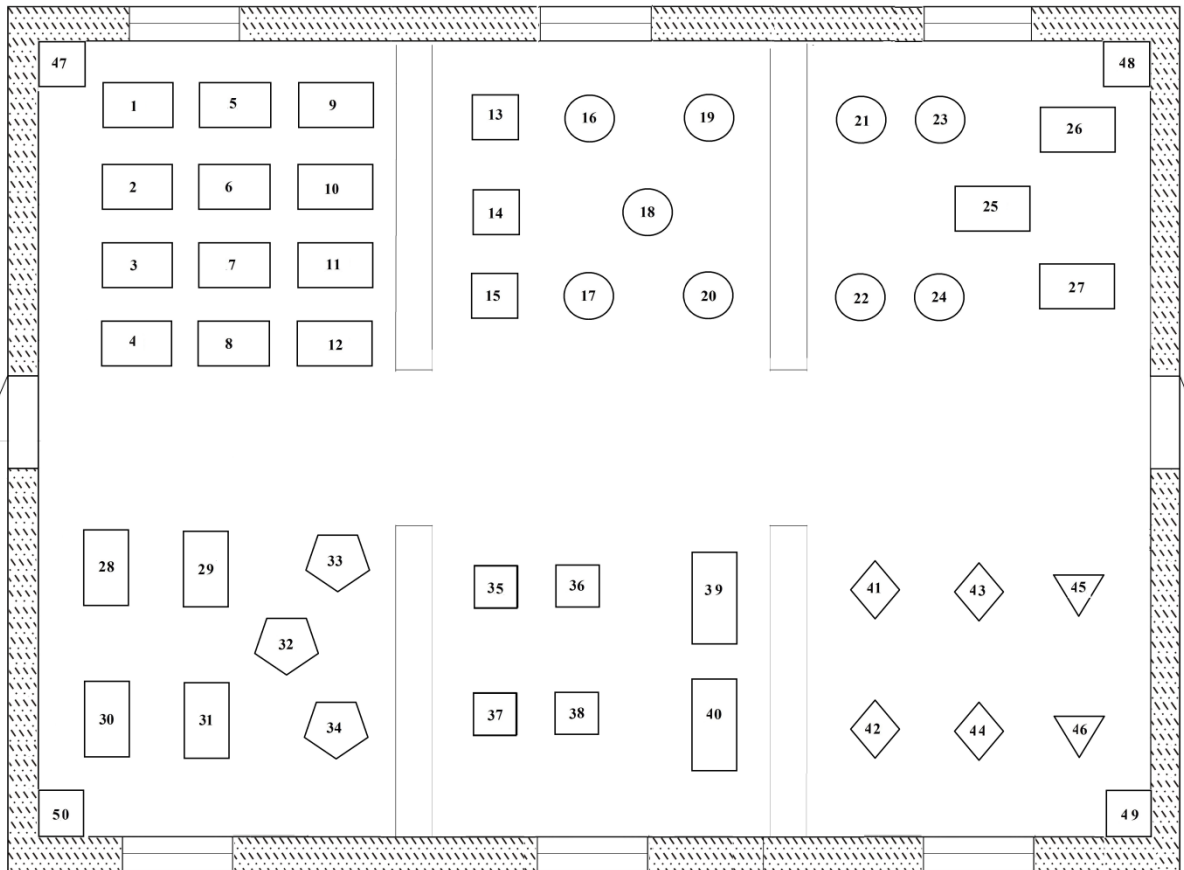


Рис. 1.1. - План розміщення основного електрообладнання ремонтно-механічного цеху

					<b>ДП 2021      141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ

### 2.1 Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В

Для визначення навантаження цеху застосуємо метод упорядкованих діаграм (метод визначення розрахункового навантаження за середньою потужністю та за коефіцієнтом максимуму)[2]

Потужності зварювальних трансформаторів з повторно - короткочасним режимом роботи необхідно привести до тривалого режиму за формулою:

$$P_{ном} = P_{II} \times \sqrt{ПВ} \quad (1)$$

де  $P_{ном}$  – наведена до тривалого режиму потужності;

$P_{II}$  – встановлена потужність;

$ПВ$  – тривалість увімкнення

$$P_{ном49,50,51,52} = 5 \times \sqrt{0,4} = 3,16 \text{ кВт},$$

$$3,16 \times 4 = 12,64$$

Розрахункове активне навантаження цеху визначається за середньою потужністю і коефіцієнту максимуму з виразу.

$$P_p = K_{max} * P_{cm} \quad (2)$$

де-  $K_{max} = f(n_e, k)$  відповідно [9] для ремонтно-механічного цеху  $K_B = 0,3$ ;

$$\cos f = 0,8; \quad \text{tg } f = 0,75$$

$$P_{cm} = K_B * P_{ном} = 0,3 * 313,94 = 94,18$$

де:  $P_{cm}$  - середня потужність за максимальну навантажену зміну.

$$P_H = \sum_{i=1}^n P_{H.i} \quad (3)$$

					<b>ДП 2021 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Слістратов</i>			<b>РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Семко Д.М.</i>						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8ск		
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

В загальному вигляді ефективне число електроприймачів визначається за формулою:

$$n_e = (\sum P_{\text{ном}})^2 / \sum P_{\text{ном}}^2 \quad (4)$$

Для спрощення розрахунку вводиться поняття  $m$

$$m = P_{\text{ном.макс}} / P_{\text{ном.мін}} = 15 / 2,8 = 5,36 \quad (5)$$

Якщо  $m \leq 3$  то ефективне число :

$$n_e = n$$

Якщо  $m > 3$ , а  $K_B \geq 0,2$ , то

$$n_e = 2 \sum P_{\text{ном}} / P_{\text{ном.макс}} = 2 * 313,94 / 15 = 41,8 \quad (6)$$

Відповідно [2]  $K_{\text{макс}} = 1,19$ , тоді

$$P_p = 1,19 * 94,18 = 112,07 \text{ кВт}$$

Якщо  $n_e > 10$ , то  $Q_p = Q_{\text{см}}$  (7)

Якщо  $n_e \leq 10$ , то  $Q_p = 1,1 Q_{\text{см}}$

де-  $Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} * \text{tg} \varphi$  (8)

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

$$Q_{\text{см}} = 94,18 * 0,75 = 70,6 \text{ кВАр}$$

Тоді сумарна розрахункова потужність буде визначатись по формулі (9)

$$S_p = \sqrt{(P_p)^2 + (Q_p)^2}, \text{ кВА}$$

$$S_p = \sqrt{(112,07)^2 + (70,6)^2} = 132,45 \text{ кВА}$$

					<b>ДП 2021</b>	<b>141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			





$$X_o = 22,3\text{м}$$

$$Y_o = 16,2$$

Величина кута, що обмежує сектор кола, площа якого пропорційна освітлювальному навантаженню буде :

$$a_{он} = 360^\circ * 24,96/137,03 = 65,56^\circ$$

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. ВИБІР НАПРУГИ І СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ

Важливою задачею, яку потрібно вирішувати при проектуванні електропостачання, є вибір напруги силової та освітлювальної мережі. Від правильного вибору будуть залежати втрати електроенергії та багато інших чинників. При виборі напруги живлення слід вибирати більш високу напругу, оскільки чим більша величина  $U$ , тим менше струм в провідниках, тим менше перетин, менші втрати потужності.

Для електроустановок з  $U \leq 1000 \text{ В}$  прийняті наступні стандартні напруги змінного струму: 110 В, 220 В, 380 В, 660 В. Найбільш поширено на підприємствах промисловості отримала система трифазного струму напругою 380/220 В частотою 50 Гц з глухозаземленою нейтраллю. Широко використовується так само система напруги 660/380 В. Для ремонтно-механічного цеху приймаємо трифазну систему змінного струму з напругою 380/220В з глухозаземленою нейтраллю, що дозволяє жити від одних і тих же трансформаторів силової та освітлювальної мережі.

Силові споживачі живляться напругою 380 В, а освітлення напругою 220 В.

Цехові електричні мережі поділяються на силові, розподільчі і освітлювальні.

До силових ліній відносяться ділянки мережі від джерела живлення ТП до РП, а до розподільних – ділянки мережі, до яких приєднуються електроприймачі.

Вибір схеми електропостачання приймачів цеху залежить від багатьох факторів:

- потужності споживачів;

					<b>ДП 2021 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Слістратов</i>			<b>ВИБІР НАПРУГИ ТА СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Семко Д.М.</i>						
Н. Контр.					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ5-8ск			
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

- розміщення споживачів;
- площі цеху;
- технологічного процесу цеху та категорією електроприймачів.

Система електропостачання повинна відповідати таким вимогам:

- зручність і надійність обслуговування;
- належну якість електроенергії;
- безперебійність і надійність електропостачання як в нормальному, так і в аварійному режимі;
- економічність системи, тобто найменші капітальні й експлуатаційні витрати;
- гнучкість системи, що дає можливість розширення виробництва без істотних додаткових витрат.

Існує декілька схем електропостачання. В даному проекті застосовуємо

радіальну схему електропостачання, яка забезпечує живлення від РП та ТП всіх електроприймачів, розташованих у різних місцях цеху.

Розподіл електроенергії до окремих споживачів при даній схемі електропостачання здійснюється окремими лініями від силових пунктів (СП).

Перевагами радіальної схеми електропостачання є висока надійність.

Електропостачання цеху здійснюється від власної цехової ТП 10/04кВ.

Від ТП двома паралельними кабельними лініями ведеться живлення РП-0,4 кВ. Від РП за радіальною схемою ведеться електропостачання силових пунктів.

Від силових пунктів живляться споживачі даного цеху. На рис. 3.1 показана радіальна схема електропостачання цеху.

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

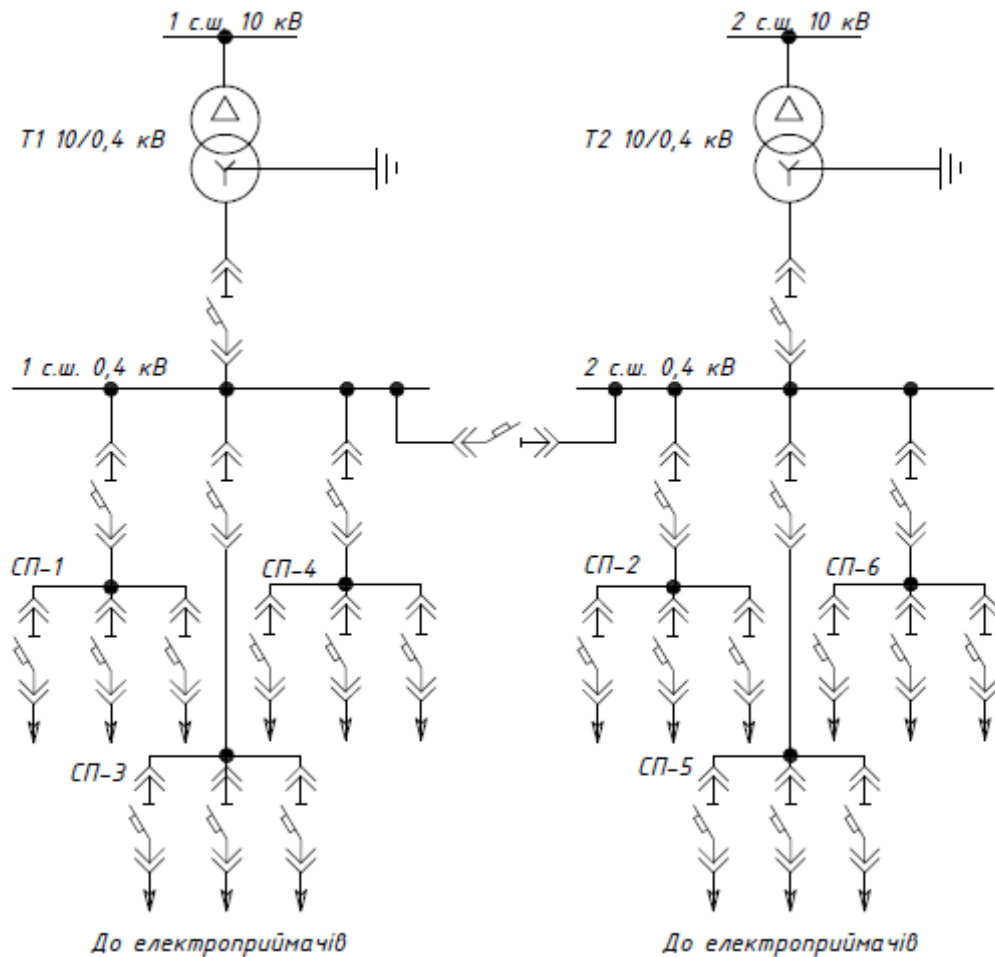


Рисунок 3.1.- Радіальна схема електропостачання споживачів

Освітлювальне навантаження цеху складає відносно невелику частину усього електричного навантаження, тому питання його живлення вирішується в комплексі з іншими питаннями електропостачання. Освітлювальне навантаження живиться від тих же ТП, від яких живиться силове навантаження.

При розробці схеми живлення освітлювального навантаження крім економічності враховано і надійність електропостачання освітлювальних установок і види освітлення (робоче та аварійне). Схема електропостачання освітлювальних навантажень наведена на рисунку 3.2.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

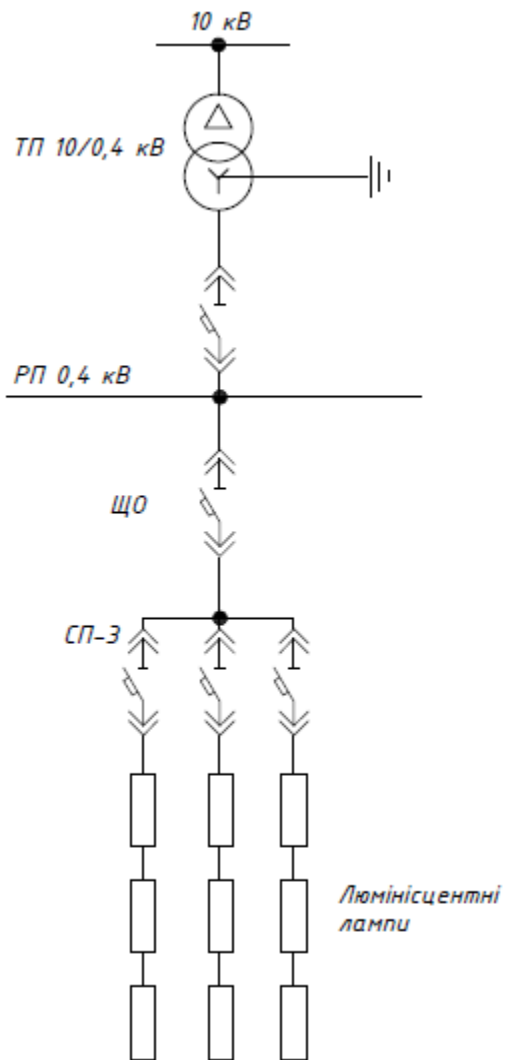


Рисунок 3.2.- Схема електропостачання освітлювальних навантажень

					<b>ДП 2021      141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Споживачі електричної енергії цеху споживають як активну так і реактивну енергії

Значна частина реактивної потужності (60-65%) випадає на асинхронні електродвигуни, 20-25% - на трансформатори і близько 10% на повітряні електричні мережі та інші електроприймачі.

Компенсація реактивної потужності є частиною проблеми підвищення ККД роботи системи електропостачання та поліпшення якості електроенергії.

Визначаємо потужність компенсуючого пристрою [9] :

$$Q_{\text{ку}} = \alpha P_{\text{max}} (\text{tg} \varphi_1 - \text{tg} \varphi_2) \quad (15)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт, що враховує підвищення  $\cos\varphi$  природним способом, приймається  $\alpha = 0,9$ ,

$P_{\text{max}}$  - активна потужність,

$\text{tg} \varphi_1$  - фактичний тангенс кута,

$\text{tg} \varphi_2$  - оптимальний тангенс кута,

$$Q_{\text{ку}} = \alpha P_{\text{max}} (\text{tg} \varphi_1 - \text{tg} \varphi_2) = 0,9 * 137,07 * (0,95 - 0,48) = 58$$

Цех відноситься до II категорії надійності, тому має два трансформатори і відповідно 2 шини, тому вибираємо 2 конденсаторні установки.

Вибираємо дві конденсаторні установки типу УКАР-0,4/30 УЗ, що мають 6 ступенів регулювання.

Виконуємо розрахунок коефіцієнта потужності з урахуванням компенсації.

					<b>ДП 2021 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
		<i>Слістратов</i>						
		<i>Семко Д.М.</i>						
		Н. Контр.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8ск		
		Затвердив	<i>Балюта С.М</i>					

Активна потужність  $P_p = 137,03 \text{ кВт}$ .

Визначаємо реактивну потужність після компенсації (квар):

$$Q_{pнн} = Q_p - Q_{кв}$$

де  $Q_p$  - максимальна реактивна потужність по цеху.

$$Q_{pнн} = 70,6 - 60 = 10,6 \text{ квар.}$$

Визначаємо повне навантаження (кВА):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$$

$$S_p = \sqrt{137,03^2 + 10,6^2} = 137,4 \text{ кВА.}$$

Визначаємо  $\cos \phi$  та  $\text{tg} \phi$ :

$$\cos \phi = \frac{P_p}{S_p};$$

$$\cos \phi = \frac{268,7}{268,9} = 0,99; \quad 137,03/137,4 = 0,99$$

$$\text{tg} \phi = \frac{Q_p}{P_p};$$

$$\text{tg} \phi = \frac{113,66}{250,35} = 0,45.$$

Визначаємо струм компенсуючого пристрою (А):

$$I_{кв} = \frac{Q_{кв}}{\sqrt{3} \cdot U_n};$$

$$I_{кв} = \frac{120}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 182,37 \text{ А.}$$

Конденсаторна установка призначена для компенсації реактивної потужності і підвищення коефіцієнта потужності електроустановок промислових підприємств і розподільних мереж і для автоматичного регулювання реактивної потужності в мережах напругою 0,4 кВ частотою 50Гц.

Конденсаторні установки призначені для роботи в закритих приміщеннях або на відкритих майданчиках (в залежності від виконання

					ДП 2021	141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

згідно ГОСТ 15150-69 “Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды”).

Конденсаторні установки - це електротехнічні шафи, в яких розміщені апаратура управління, вимірювання, сигналізації і конденсатори.

Конденсатори типу "МКР" мають вбудовані розрядні резистори, працюють конденсатори при природному охолодженні.

Установки оснащені регулятором PIC-KVAR для автоматичного регулювання включення секцій конденсаторних батарей. Захист від струмів короткого замикання в установках здійснюється плавкими запобіжниками і автоматами захисту в ланцюгах підключення конденсаторів і автоматом захисту в ланцюгах управління пускачами.

Установки мають сигнальні індикатори, що вказують наявність напруги на них і індикатори, що вказують про включення кожного ступеня регулювання, розташовані на панелі управління регулятора. Для створення захисного розриву ланцюга при проведенні ремонтних робіт на місці експлуатації в установках встановлено рубильник - запобіжник FA.

Для включення і відключення конденсаторів в установках застосовані пускачі типу КМІ (або CNK).

Регулятор забезпечує роботу установки в режимі автоматичного або ручного управління. Вибір режиму управління здійснюється кнопкою, розташованою на передній панелі регулятора.

У режимі автоматичного управління, при зміні значення реактивної потужності, регулятор здійснює включення і відключення ступенів регулювання автоматично із заданою витримкою часу.

У режимі ручного управління переключення проводиться вручну

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

натисканням відповідних кнопок на панелі регулятора.

Включення і відключення здійснюється з витримкою часу в діапазоні 15-300с.

При включенні і відключенні ступенів установок здійснюється світлова індикація світлодіодами, розташованими на фасадній панелі регулятора.

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Число та потужність цехових трансформаторів вибирають виходячи з одержаних даних про потужність цеху та категорії повну розрахункову цеху та категорії споживачів [9].

При виборі ТП з одно чи двотрансформаторними підстанціями треба виходити з таких міркувань:

- одотрансформаторні ТП встановлюються там де допускається перерва в живленні на час доставки „складського резерву”. Інакше необхідне резервування на вторинній напрузі;
- двотрансформаторні ТП застосовуємо при перевазії споживачів першої та другої категорій або при нерівномірному добовому чи річному графіку навантаження;
- рекомендується на цехових ТП встановлювати однотипні трансформатори;
- крім того, слід пам'ятати, що в будь-якому цеху із загальною потужністю 1000кВА і більше доцільно ставити не менш як два трансформатори.

Обрані ТП перевіряються по безперебійності електропостачання, так для споживачів першої та другої категорій надійності допускаються післяаварійне перевантаження, при вимиканні одного з трансформаторів, на 40% на час не більше 6 годин на добу, протягом 5 діб. При цьому коефіцієнт заповнення добового графіка в умовах перевантаження  $K_3 \leq 0,75$ .

Умова:

$$\frac{S_p}{1,4 \cdot S_{ном}^{Tp}} \leq K_3 = 0,75$$

					<b>ДП 2021 141</b>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ</b>					
Розробив		<i>Єлістратов</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Семко Д.М.</i>								
Н. Контр.								ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8ск		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>								



Отже, виходячи з розрахунку вибираємо двотрансформаторну ТП з трансформаторами типу ТС160/10 потужністю 160 кВА кожний.

Номінальні параметри трансформаторів наведені в таблиці 5.1.

**Таблиця 5.1 - Номінальні параметри вибраного трансформатора**

Тип	$S_N$ , кВА	$U_1/U_2$	$\Delta P_{xx}$ , кВт	$\Delta P_{кз}$ , кВт	$I_{xx}$ , %	$U_{к}$ , %	Кількість
ТС3160/10	160	10/0,4	0,42	2,7	3,5	5,5	2

					<b>ДП 2021      141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6. ВИБІР СХЕМИ ТА РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ

### 6.1. Вибір схеми цехової мережі

Вибираємо високовольтні вимикачі на живлячій стороні 10 кВ (на РП 10 кВ) за номінальною напругою і розрахунковим струмом з врахуванням післяаварійних режимів та можливих нерівномірностей розподілу струмів між лініями і секціями шин:

$$U_{ном.в} \geq U_{ном. мережі},$$

$$I_{ном.в} \geq I_{м.ав},$$

де  $I_{м.ав}$  - розрахунковий максимальний струм для післяаварійного режиму.

Розрахуємо струм нормального режиму для ТП, що живить цех:

$$I_m = S_p / 2 * \sqrt{3} \cdot U$$

$$I_m = \frac{154,15}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 4,5 \text{ А}$$

Розрахуємо струм для післяаварійного режиму:

$$I_{мав} = \frac{S_{нтр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{154,15}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9 \text{ А.}$$

Для встановлення на стороні 10 кВ вибираємо вакуумні вимикачі типу ВВ/TEL-10-12,5/630 У2 виробництва «Таврида-Електрик». Номінальна напруга 10 кВ, номінальний струм вимикача 630А, номінальний струм вимкнення 12,5 кА, кліматичне виконання та категорія розміщення У2, власний час відключення вимикача 0,042 с.

Для даної ділянки високовольтної мережі вибираємо броньовані кабелі з паперовою ізоляцією в алюмінієвій оболонці типу ААБ. Вибір перерізу жил виконаємо за економічною густиною струму. Для кабелів з

					<b>ДП 2021 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Слістратов</i>						
Перевірив		<i>Семко Д.М.</i>						
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8ск		

паперовою ізоляцією  $j_{ек}=1,4 \text{ А/мм}^2$  при  $T_m=3500 \text{ год}$  [2].

Визначаємо економічний переріз провідників для живлення ТП:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{11,3}{1,4} = 8,7 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель ААБл перерізом  $3 \times 35 \text{ мм}^2$  з  $I_{дон} = 110 \text{ А}$ .

Вибираємо вимикач навантаження типу ВВПз-10/630-20 У2 вітчизняного виробництва: ВН - вимикач навантаження; П - з запобіжником; з - з заземлюючими ножами; 10-номінальна напруга, кВ; 630-номінальний струм, А; 20-номінальна періодична складова наскрізного струму, А; У2-кліматичне виконання і категорія розміщення. Запобіжник вибираємо типу ПКТ-101-10-31,5-12,5 У3.

Вимикачі навантаження серії ВВП відрізняються компактністю, модульною конструкцією і широкою функціональністю. Завдяки унікальній системі гасіння електричної дуги і високій вимикаючій здібності, вони є цікавим рішенням при застосуванні їх в якості головного вимикаючого елемента в закритих розподільчих пристроях, а також на трансформаторних підстанціях. Дані вимикачі навантаження ВВП забезпечують контроль струмів навантаження і короткого замикання в усьому їх діапазоні.

## 6.2. Розрахунок силової мережі цеху на стороні 0,4 кВ

Живлення обладнання в залежності від його розташування здійснюється від силових пунктів СП-1, СП-2, СП-3, СП-4, СП-5, СП-6, які, в свою чергу, живляться від розподільчого пристрою. Розподільчий пристрій 0,4 кВ отримує живлення від ТП 10/0,4.

При виборі автоматичних вимикачів повинні виконуватись такі умови

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} I_m, \quad I_{с.в} \geq K_n I_n,$$

де  $I_{н.розч}$  - номінальний струм самозапуску;

$I_{с.в}$  - струм спрацювання відсічки;

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2021	141			

$K_{відс}$  - коефіцієнт відстроювання, що визначається з умов надійності захисту від перевантажень і його неспрацюванні при (після) пуску або самозапуску.

$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3}U_n}$  - розрахунковий струм окремого електроприймача чи РП в цілому при  $U_n = 0,38 \text{ кВ}$  ;

$K_n$  - коефіцієнт надійності відстроювання струмової відсічки;

$I_n$  - піковий (пусковий) струм.

Вибираємо автоматичний вимикач для ліній від ТП до РП-0,4 кВ.

Розрахунковий струм для цих ліній:

$$I_M = \frac{S_{нтр}}{2\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{154,15}{2\sqrt{3} \cdot 0,4} = 118,6 \text{ А.}$$

Піковий струм визначаємо за формулою:

$$I_n = I_M - K_{\epsilon} I_{н.макс} + I_{п.макс} ,$$

де  $I_{н.макс}$  ,  $I_{п.макс}$  - номінальний і піковий струми найбільш потужних електроприймачів, а  $K_{\epsilon}$  - коефіцієнт використання найбільш потужного електроприймача.

$$I_n = 297,68 - 0,35 \times \frac{31,62}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,87} + 5 \times \frac{31,62}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,87} = 811,79 \text{ А.}$$

Вибираємо для встановлення на лініях від ТП до РП автоматичні вимикачі SENTRON [15] виробництва Siemens. Розрахуємо номінальний струм розчеплювача та струм спрацювання відсічки для лінії ТП – РП:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \times I_M = 1,1 \times 297,68 = 327,448 \text{ А};$$

$$I_{с.в} \geq K_n \times I_n = 1,5 \times 811,79 = 1217,69 \text{ А.}$$

Номінальний струм вимикача 400 А, номінальний струм розчеплювача 400 А та струм спрацювання відсічки 1600 А.

Для приєднань РП-СП1, РП-СП2, РП-СП3, РП-СП4, РП-СП5, РП-СП6 вибираємо автоматичні вимикачі серії SENTRON виробництва SIEMENS.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Дані автоматичні вимикачі призначені для проведення струму в нормальному режимі і відключення струму при коротких замиканнях, перевантаженнях, а також для нечастих оперативних включень і відключень електричних ланцюгів і розраховані для експлуатації в електроустановках з номінальною напругою до 400 В змінного струму частотою 50 і 60 Гц і 220 В постійного струму.

Автоматичний вимикач VL являє собою компактний струмообмежуючий комутаційний апарат, оптимізований для фідерних збірок. Автоматичні вимикачі застосовуються для комутації та захисту трифазних двигунів до 45кВт при змінному струмі 400 В, а також для інших споживачів з номінальними струмами до 100 А. Розчіплювачі коротких замикань автоматичних вимикачів VL при короткому замиканні від'єднують несправну фідерну збірку від мережі і таким чином запобігають подальшому збитку обладнання. Завдяки граничній вимикаючій здатності 50кА або 100кА при змінному струмі 400 В вимикачі стійкі до більшості коротких замикань, оскільки струми короткого замикання на практиці зазвичай досягають істотно менших значень.

Результати розрахунків для приєднань наведені в таблиці 6.1.

**Таблиця 6.1. – Розрахунок комутаційно-захисної апаратури цеху**

Лінія	$S_m$ , кВА	$I_m$ , А	$I_n$ , А	Тип захисного апарата	$I_{ном.в.}$ , А	$I_n$ розч (розр), А	$I_n$ розч, А	$I_{св}$ (розр), А	$I_{св}$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТП-РП 0,4кВ	154,15	233,56	811,79	SENTRON VL630	630	327,45	630	1217,69	1600
РП - СП1	30,73	46,7	172,8	SENTRON VL160	160	51,37	160	77,06	200
РП - СП2	22,91	34,82	121,86	SENTRON VL160	160	38,3	160	182,8	200
РП - СП3	46,81	71,14	293,87	SENTRON VL160	160	78,25	160	440,8	500
РП - СП4	42,8	65,05	221,16	SENTRON VL160	160	71,55	160	331,73	400
РП - СП5	29	44,07	158,65	SENTRON VL160	160	48,48	160	238	300
РП - СП6	197,9	300,75	1022	SENTRON VL400	400	330,82	400	1,533	1700
									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ДП 2021 141</b>				

### 6.3. Вибір силових пунктів

З таблиці 2.1. беремо розрахункову потужність силових пунктів СП1, СП2, СП3, СП4, СП5 та СП6. Для СП1  $S_p=30,73$  кВА,  $I_m=46,7$  А. До СП1 підключено 13 електроприймачів, струм найбільшого струмоприймача 21,49А. Вибираємо силовий пункт типу ПР11Д-7-3085А-54 У3 з чотирма групами автоматичних вимикачів.

Для СП2  $S_p=22,91$  кВА,  $I_m=34,82$  А. До СП2 підключено 22 електроприймача, струм найбільшого струмоприймача 30,37 А. Вибираємо силовий пункт типу ПР11Д-7-3085А-54 У3 з чотирма групами автоматичних вимикачів.

Для СП3  $S_p=46,81$  кВА,  $I_m=71,14$  А. До СП3 підключено 15 електроприймачів, струм найбільшого струмоприймача 70,09 А. Вибираємо силовий пункт типу ПР11Д-7-3085А-54 У3 з чотирма групами автоматичних вимикачів.

Для СП4  $S_p=42,8$  кВА,  $I_m=65,05$  А. До СП4 підключено 14 електроприймачів, струм найбільшого струмоприймача 28,037А. Вибираємо силовий пункт типу ПР11Д-7-3085-54 У3 з чотирма групами автоматичних вимикачів.

Для СП5  $S_p=29$  кВА,  $I_m=44,07$  А. До СП5 підключено 10 електроприймачів, струм найбільшого струмоприймача 46,73 А. Вибираємо силовий пункт типу ПР11Д-7-3085-54 У3 з двома групами автоматичних вимикачів.

Для СП6  $S_p=197,9$  кВА,  $I_m=300,75$  А. До СП6 підключено 11 електроприймачів, струм найбільшого струмоприймача 147,75 А. Вибираємо силовий пункт типу ПР11Д-7-3085-54 У3 з трьома групами автоматичних вимикачів.

На лініях, що підходять безпосередньо до електроприймачів вибираємо автоматичні вимикачі серії SIRIUS 3RV1 виробництва SIEMENS

з тепловим і електромагнітними розчіплювачами. Виберемо автоматичний

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимикач для лінії від СП1 до ЕП-1.

Розрахунковий та піковий струми для цієї лінії:

$$I_M = \frac{4,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,65} = 21,49 \text{ A.}$$

$$I_n = 5 \times I_M = 5 \times 21,49 = 107,47 \text{ A.}$$

За умовами вибору автоматичних вимикачів розрахуємо номінальний струм розчіплювача та струм спрацювання відсічки:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \times I_M = 1 \times 21,49 = 21,49 \text{ A,}$$

$$I_{с.в} \geq K_n \times I_n = 2,1 \times 107,47 = 225,7 \text{ A.}$$

За розрахованими значеннями струмів вибираємо автоматичний вимикач SIRIUS-3RV10-S2 з тепловим і електромагнітними розчіплювачами з номінальним струмом вимикача 50 А, номінальним струмом розчіплювача 50 А та струмом спрацювання відсічки 500 А.

Аналогічно проводимо вибір автоматичних вимикачів з тепловими і електромагнітними розчіплювачами для решти ліній, що підходять безпосередньо до електроприймачів. Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.2.

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лінія	$P_m$ , кВт	$I_m$ , А	$I_n$ , А	Тип захисного апарата	$I_{ном.в.}$ , А	$I_n$ розч (розр), А	$I_n$ розч, А	$I_{св}$ (розр), А	$I_{св}$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СП1-1,2,3,4, 9,10,11,12	36	69,2		SIRIUS- 3RV10-S2	50	21,49	50	225,7	300
СП1-5,6,7,8	14	26,9		SIRIUS- 3RV10-S2	12	2,8	12	29,43	50
СП1-47	15	28,8		SIRIUS- 3RV10-S2	100	70,09	100	736	900
СП1	65	125	!!!	SIRIUS- 3RV10-S2	25	14,95	25	157	200
СП2-13,14,15	19,5	37,5	151,87	SIRIUS- 3RV10-S2	50	30,37	50	318,9	400
СП2- 16,17,18,19,20	46	88,5	215	SIRIUS- 3RV10-S2	50	43	50	451,4	500
СП2	65,5	126	107,47	SIRIUS- 3RV10-S2	50	21,49	50	225,7	300
СП3- 21,22,23,24	36,8	70,8							
СП3-25,26,27	18	34,6	107,47	SIRIUS- 3RV10-S2	50	21,49	50	225,7	300
СП3-48	15	28,8	73,83	SIRIUS- 3RV10-S2	25	14,77	25	155,05	200
СП3	69,8	134,2	65,42	SIRIUS- 3RV10-S2	25	13,08	25	137,38	200
СП4- 28,29,30,31	12,64	24,3	39,72	SIRIUS- 2RV10-S0	12	7,94	12	83,41	200
СП4-32,33,34	8,4	16,15	140,19	SIRIUS- 2RV10-S2	50	28,037	50	294,39	300
СП4-50	15	28,8	350,46	SIRIUS- 3RV10-S2	100	70,09	100	736	900
СП4	36,04	69,3	73,83	SIRIUS- 3RV10-S2	25	14,77	25	155,05	200
СП5- 35,36,37,38	19,2	36,9	107,47	SIRIUS- 3RV10-S2	50	21,49	50	225,7	300
СП5-39,40	18	34,6	233,64	SIRIUS- 3RV10-S2	100	46,73	100	490,65	600
СП5	37,2	71,5	739	SETRON VL160	160	147,75	160	1551	1600
СП6- 41,42,43,44	18,4	35,4	327,1	SIRIUS- 3RV10-S2	100	65,42	100	686,9	800
СП6-45,46	7	13,5	350,46	SIRIUS- 3RV10-S2	100	70,09	100	736	900
СП6-49	15	28,8							
СП6	40,4	76,9							

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ДП 2021 141</b>					

Вибираємо переріз кабелю на ділянці від ТП до РП 0,4 кВ:

$$I_m = \frac{S_m}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{391,16}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,38} = 297,68 \text{ A. } 154,15/2 * 3 * 0,38 = 154,15/1,31 = 117,67 \text{ ???}$$

Вибираємо кабель типу АВВГнг [8] перерізом 4х240 (силовий кабель з алюмінієвими жилами з полівінілхлоридною ізоляцією, не підтримуючий горіння), для якого:

$$I_{доп} = 337 \text{ A} \geq I_m = 297,68 \text{ A.}$$

Аналогічно обираємо переріз решти провідників АВВГнг. Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.3.

**Таблиця 6.3. – Вибір провідників цехової мережі**

Лінія	$I_m, A$	Тип провідника	$S, \text{мм}^2$	$I_{доп}, A$
1	2	3	4	5
ТП - РП	233,56	АВВГнг	4х150	254
РП - СП1	125	АВВГнг	4х50	126
РП - СП2	126	АВВГнг	4х50	126
РП - СП3	134,2	АВВГнг	4х70	155
РП - СП4	69,3	АВВГнг	4х25	82
РП - СП5	71,5	АВВГнг	4х25	82
РП - СП6	76,9	АВВГнг	4х25	82
СП1-1,2,3,4, 9,10,11,12	8,65	АВВГнг	4х6	34
СП1-5,6,7,8	6,7	АВВГнг	4х6	34
СП1-47	28,8	АВВГнг	4х6	34
СП2-13,14,15	12,5	АВВГнг	4х6	34
СП2-16,17,18,19,20	17,7	АВВГнг	4х6	34
СП3-21,22,23,24	17,7	АВВГнг	4х6	34
СП3-25,26,27	11,5	АВВГнг	4х6	34
СП3-48	28,8	АВВГнг	4х6	34
СП4-28,29,30,31	9,6	АВВГнг	4х6	34
СП4-32,33,34	5,4	АВВГнг	4х6	34
СП4-50	28,8	АВВГнг	4х6	40
СП5-35,36,37,38	9,2	АВВГнг	4х6	34
СП5-39,40	17,3	АВВГнг	4х6	34
СП6-41,42,43,44	8,8	АВВГнг	4х6	34
СП6-45,46	6,7	АВВГнг	4х6	34
СП6-49	28,8	АВВГнг	4х6	34

#### 6.4. Вибір магнітних пускачів

Оскільки в цеху наявні вентилятори (47,48,49,50 - на плані цеху), то для них вибираємо магнітні пускачі. При виборі магнітних пускачів приймається найбільша допустима потужність електродвигуна, роботою якого буде керувати пускач. У комплекті з тепловим реле пускачі виконують захист електродвигунів від перевантажень і від струмів, що виникають при обриві однієї з фаз. Номінальний струм теплового реле вибирають виходячи з номінального навантаження електродвигуна.

До вибору приймаємо магнітний пускач Schneider Electric LC1-D1810. Номінальний струм двигунів вентиляторів 39,5

А, магнітного пускача 80А, що більше номінального струму двигуна.

#### 7. Розрахунок мережі освітлення цеху

Мережі освітлення поділяються на живильні та групові. До мережі живлення відносяться лінії від трансформаторних підстанцій або інших точок живлення до групових щитків, до групової мережі - лінії від групових щитків до освітлювальних приладів.

Освітлювальна мережа ремонтно-механічного цеху живиться від щитка робочого освітлення ЩО.

Від освітлювального щитка відходять 6 ліній, тому виберемо щиток освітлення типу ЩО-П-1А-32-6УХЛ4, який має 6 автоматичних вимикачів та 1 ввідний автоматичний вимикач.

Лінії, що живлять ряди світильників виконаємо однофазними, а живильну лінію РП-ЩО – як трифазну чотирипровідну.

Згідно ПУЕ [7], освітлювальні мережі повинні вибиратись за умовою нагрівання розрахунковим струмом і перевірятись за умовою допустимих втрат напруги та спрацювання захисних апаратів при коротких замиканнях.

Вибираємо щиток аварійного освітлення типу ЩАО1-Н1-3/1, що має три групові автомати та один ввідний автомат.

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Група 9

..=3,45

Група 10

=3,45

Потужність освітлювального щитка визначаємо за формулою:

$$P_{щ} = 0,69+0,69+0,69+0,69+0,69+0,69+0,69+0,69+0,69+0,69 = 6,9 \text{ кВт.}$$

Струм щитка буде становити:

$$I_{p.щ} = \frac{P_{щ}}{\sqrt{3} \times U_n \times \cos \varphi} = \frac{15,2}{\sqrt{3} \times 0,38 \times 0,95} = 24,34 \text{ А.} = 11,13 \text{ А}$$

Для живлення ряду світильників приймаємо провід АВВГнгд– з алюмінієвими жилами, з полівінілхлоридною ізоляцією (ПВХ), не підтримуючий горіння з низьким димо- та газовиділенням. Перетин кабелю вибираємо по розрахунковому струму. Для освітлювальної мережі кожного ряду приймаємо перетин 2,5 мм<sup>2</sup>. Перевіряємо даний кабель по найбільшому розрахункову струму для груп світильників:

$$I_{дон} = 21 \text{ А} > I_{p1,2,3,4,5,6,7,8} = 11,13 \text{ А.}$$

Для живлення щитка освітлення – кабель АВВГнгд 4х6, прокладений по стіні.  $I_{дон} = 34 \text{ А} > 11,13 \text{ А.}$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

## 7. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Розрахунок струмів КЗ виконаємо у відносних одиницях, для цього приймемо базисну потужність  $S_{\sigma} = 1000 \text{ МВА}$ . За базисну напругу приймаємо напругу ступеня, на якому виникає КЗ  $U_{\text{сер}} = 10,5 \text{ кВ}$ .

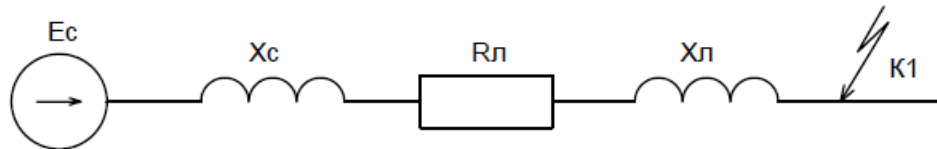


Рисунок 7.1. – Схема заміщення для розрахунку струму на стороні 10 кВ

На рисунку 7.1 показана схема заміщення системи електропостачання. За базовими значеннями потужності і напруги визначимо базовий струм:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА}.$$

Розрахуємо опори елементів кабельної лінії.

Для вибраної кабельної лінії ААБл 3х35  $X_0=0,868 \text{ Ом/км}$ ,  $r_0=0,087 \text{ Ом/км}$  [8].

$$X_l = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\text{сер}}^2} = 0,868 \cdot 1,2 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 9,44;$$

$$R_l = R_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\text{сер}}^2} = 0,087 \cdot 1,2 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,947.$$

Визначаємо результуючий опір:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{(X_c + X_l)^2 + R_l^2} = \sqrt{9,44^2 + 0,947^2} = 9,48.$$

Початкове діюче значення струму трифазного КЗ:

					<b>ДП 2021 141</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		<i>Єлістратов</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Семко Д.М.</i>					
Н. Контр.					<b>РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ</b>		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>					

$$I_{no.C} = \frac{E_C''}{Z} \cdot I_{\sigma} = \frac{1}{9,48} \cdot 55 = 5,8 \text{ кА}.$$

Періодична складова струму від енергосистеми не змінюється, тому

$$I_{n.\tau.C} = I_{no.C} = 5,8.$$

Розрахунковий час складає

$$\tau = t_{pz.mih} + t_{B.B.} = 0,01 + 0,042 = 0,052 \text{ с}.$$

Аперіодичну складову струму КЗ при  $t = \tau = 0,052 \text{ с}$  визначаємо:

$$i_{ax.C} = \sqrt{2} \cdot I_{no.C} \left( 1 + e^{-\frac{\tau}{T_{oc}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 5,8 \cdot e^{-\frac{0,052}{0,03}} = 9,3 \text{ к},$$

де  $T_{oc}$  - постійна часу аперіодичної складової.

Визначаємо ударний струм КЗ:

$$i_{yd.C} = \sqrt{2} \cdot I_{no.C} \left( 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{oc}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 5,8 \cdot \left( 1 + e^{-\frac{-0,01}{0,03}} \right) = 11,45 \text{ кА}$$

Визначаємо тепловий імпульс:

$$B_K = I_{no.C}^2 \cdot (t_{відкл} + T_{oc}) = 5,8^2 \cdot (0,7 + 0,03) = 24,56 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де  $t_{відкл} = t_{pz} + t_{ПВ} = 0,6 + 0,1 = 0,7 \text{ с}$  - час відключення КЗ.

## 7.2. Перевірка електроустаткування на термічну та динамічну стійкість дії струмів КЗ

Перевіримо вимикачі ВВ/TEL-10-12,5/630, що встановлені на РП-10 кВ, на комутаційну здатність і стійкість до дії струмів КЗ.

Перевірку комутаційної здатності здійснюємо за умовами:

$$\begin{cases} I_{n.відкл} \geq I_{нт}, \\ \sqrt{2} I_{n.відкл} \left( 1 + \frac{\beta_n}{100} \right) \geq \sqrt{2} I_{нт} + i_{ат}, \end{cases}$$

оскільки  $\tau = 0,052 \text{ с} < 0,09 \text{ с}$ , то приймаємо  $\beta_n = 0$  і перевірку вимикача здійснюємо за наступними умовами:

$$\begin{cases} I_{n.відкл} \geq I_{нт}, \\ \sqrt{2} I_{n.відкл} \geq \sqrt{2} I_{нт} + i_{ат}, \end{cases}$$

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						





Визначаємо опір шин:

$$X_{ouu}=0,163 \text{ мОм/м};$$

$$r_{ouu}=0,099 \text{ мОм/м},$$

$$L_{uu}=5\text{м}.$$

$$X_{uu}=X_{ouu} \times L = 0,163 \times 5 = 0,815 \text{ мОм};$$

$$r_{uu}=r_{ouu} \times L = 0,099 \times 5 = 0,495 \text{ мОм}.$$

Опір трансформаторів струму:

$$X_{mm}=0,07 \text{ мОм};$$

$$r_{mm}=0,05 \text{ мОм}.$$

Визначимо результуючий опір та струм короткого замикання в точці К2.

$$r_{рез} = r_{uu} + r_{mp} + r_{ав} + r_{ка} + r_{кр} + r_{mm} = 0,495 + 16,875 + 0,12 + 0,25 + 0,15 + 0,05 = 17,94 \text{ мОм},$$

$$X_{рез} = X_c + X_{uu} + X_{mp} + X_a + X_{mm} = 0,16 + 0,815 + 42 + 0,094 + 0,07 = 43,14 \text{ мОм},$$

$$Z_{рез} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} = \sqrt{17,94^2 + 43,6^2} = 46,72 \text{ мОм}.$$

Струм КЗ в точці К2:

$$I_{к2} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 46,72} = 4,95 \text{ кА}.$$

Миттєве значення ударного струму:

$$i_y = \sqrt{2} \times k_y \times I_k = \sqrt{2} \times 1,4 \times 4,95 = 9,8 \text{ кА}.$$

Потужність КЗ в точці К2:

$$S_{к2} = \sqrt{3} \cdot U_6 \cdot I_{к2} = \sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 4,95 = 3,425 \text{ МВА}.$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ДП 2021

141

## 8. ОБЛІК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Управління електропостачанням промислового підприємства являє собою складний процес, який обумовлено необхідністю дотримання режимів електроспоживання, та вимогами технологічного процесу виробництва підприємства. При цьому важливе значення має інформація про процеси, що протікають. Одержання достовірної інформації вимагає постійного слідкування за роботою споживачів електричної енергії, вимірюванню їх параметрів. Перш за все необхідно виконувати вимірювання на трансформаторній підстанції. Вимірюванню підлягають струм, напруга, активна та реактивна енергії. Амперметри, які використовуються для вимірювання струму, включаються через трансформатори струму. До цих же трансформаторів струму повинні бути підключені також і струмові обмотки лічильників активної та реактивної енергії. Вольтметр на низькій стороні трансформаторів підключається безпосередньо в мережу.

Перелік вимірювальних приладів, що підключаються до трансформатора струму наведено в таблиці 8.1.

**Таблиця 8.1. - Навантаження вимірювальних пристроїв**

Назва приладу	Тип	Навантаження по фазах, ВАС		
		А	В	С
Амперметр	Э-378	0,1	0,1	0,1
Лічильник	LZQM	0,05	0,05	0,05
<b>Разом</b>		0,15	0,15	0,15

Лічильник електричної енергії LZQM (виробництво Литва) призначен для виміру активної й реактивної потужності й енергії в мережах змінного струму. Електронний лічильник із вбудованим мікроконтролером вимірює, обробляє, відображає на ЖКД й передає на зовнішні обладнання напругу,

					<b>ДП 2021 141</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		<i>Слістратов</i>			<b>ОБЛІК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ</b>		
Перевірив		<i>Семко Д.М.</i>					
Н. Контр.					Літ.	Арк.	Аркушів
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>			ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8ск		

струм, потужність, енергію,  $\cos \phi$  і частоту мережі. Обробка показань лічильника здійснюється персональним комп'ютером через оптичний інтерфейс програмою LZPEMS, що працює в середовищі ОС MS Windows. Інтерфейси "струмова петля" дозволяють одержувати дані через двухпровідні лінії зв'язку, включаючи міжмодемний телефонний зв'язок".

Зважаючи на те, що до трансформаторів струму підключаються лічильники комерційного обліку електроенергії, то згідно [7] вони повинні працювати в класі точності 0,5.

Підрахуємо опір вторинної обмотки трансформатора струму.

Опір приладів:

$$R_{np} = \frac{S_{np}}{I_{2н}^2} = \frac{0,15}{5^2} = 0,006 \text{ Ом.}$$

Перехідний опір контактів  $R_k = 0,1 \text{ Ом.}$

Для підключення приборів використовуємо мідні проводи перерізом  $2,5 \text{ мм}^2$ , довжиною  $l = 4 \text{ м.}$

Опір проводів:

$$R_{np} = \frac{1}{\gamma \times S} \times l = \frac{1}{2,5 \times 57} \times 4 = 0,028 \text{ Ом.}$$

Опір вторинного кола трансформатора струму

$$R = R_{np} + R_k + R_{пров} = 0,006 + 0,1 + 0,028 = 0,134 \text{ Ом.}$$

Для живлення струмових обмоток вимірювальних пристроїв вибираємо трансформатор ТНШЛ-0,66 класу точності 0,5. Складемо порівняльну таблицю розрахункових і каталожних даних трансформатора струму.

					ДП 2021	141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

**Таблиця 8.2. - Вибір трансформаторів струму**

Розрахункові дані	Каталожні дані ТНШЛ-0,66
$U=0,4 \text{ кВ}$	$U_n=0,66 \text{ кВ}$
$I_{max}=297,68 \text{ А}$	$I_n=400 \text{ А}$
$S=0,15 \text{ ВА}$	$S_n=20 \text{ ВА}$
$R=0,134 \text{ Ом}$	$R_n=0,8 \text{ Ом}$
$\frac{I_{\infty} * \sqrt{tn}}{I_{na} * \sqrt{tn_{ту}}} = \frac{11,1 * \sqrt{1,2}}{1,0 * \sqrt{1}} = 12,16$	$K_{my}=20$

Вирішення питання раціональної організації обліку електроенергії на промислових підприємствах можливо лише на основі системного підходу, в комплексі з іншими елементами раціональної організації енерговикористання.

Лічильники є електронними мікропроцесорними приладами, в яких ряд параметрів обчислюються за замовленням споживачів.

Лічильники призначені як для автономного використання, так і для автоматизованих систем комерційного і технічного обліку електричної енергії (АСКОЕ). Для роботи у складі автоматизованих систем обліку і контролю електричної енергії лічильники мають стандартний інтерфейс і телеметричні виходи.

Лічильники дозволяють виконувати облік тарифів на електричну енергію, а також формувати графіки споживання електричної енергії із заданим інтервалом часу.

Типи лічильників і виконувані ними функції відповідають позначенню лічильника. Лічильники призначені для експлуатації в таких кліматичних умовах:

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- встановлений робочий температурний діапазон навколишнього середовища від мінус 10 до плюс 45 °С;

- граничний робочий температурний діапазон навколишнього середовища від мінус 20 до плюс 55 °С;

- відносна вологість повітря до 90 % при 30 °С;

- атмосферний тиск від 70 до 106,7 кПа.

По стійкості до механічних дій лічильники відповідають групі 3 по ГОСТ 22261 “Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия”.

Лічильники LZQM є складними електронними приладами, що мають в своєму складі мікроконтролер, призначений для вимірювання активної і реактивної енергії одночасно із застосуванням диференційованих за часом тарифів на електричну енергію.

У вхідних колах лічильників як датчики струму використовуються активні трансформатори струму, що мають малу фазову і амплітудну похибку, як перетворювачі використовуються високоточні фазокомпенсуючі активні резистивні ділянки напруги.

Як джерело живлення використовується імпульсне однокітне зворотньоходове джерело живлення, побудоване за принципом автогенератора, що має широкий діапазон вхідних напруг.

Всі модифікації лічильників як пристрій відображення інформації використовують рідкокристалічний дисплей.

Лічильники забезпечуються годинниками, які показують поточний час (година, хвилини, секунди) і дату (рік, місяць, день місяця і тижня), формує сигнали управління, відповідні часу дії 4-х тарифних зон. При вимкненій мережі годинник працює не менше 10 років (при цьому час і інші параметри на індикатор не виводяться). Календар (рік, місяць, день), з урахуванням

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ДП 2021</b>		<b>141</b>			



## 9. ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

При здійсненні електропостачання велике значення має якість електроенергії. Відхилення напруги, зумовлені повільними процесами зміни навантажень у системі, справляють різний вплив на режим роботи окремих споживачів. Скажімо, тривале підвищення напруги на затискачах електричних двигунів – наймасовіших споживачів енергосистем – призводить до збільшення обертового моменту, зменшення ковзання й зростання втрат у сталі двигунів, бо такі втрати пропорційні квадрату підведеної напруги, збільшенню струму холостого ходу і, значить, зменшенню коефіцієнта потужності електродвигунів. Зниження напруги на затискачах електродвигунів призводить до зниження обертового моменту, збільшенню ковзання, зростанню струму статора й зменшенню терміну служби ізоляції електродвигунів.

Підвищення напруги на затискачах звичайного асинхронного двигуна на 1 % спричиняється до збільшення струму холостого ходу й споживаної двигуном реактивної потужності приблизно на 3 % . При цьому має місце перехід на нелінійну частину кривої намагнічування, що є джерелом генерації вищих гармонік напруги. Підвищення напруги веде до підвищення запасу статичної стійкості вузла навантаження.

Найбільший вплив відхилення напруги справляє на режими роботи освітлювальних та нагрівальних, приймачів електричної енергії.

Підвищення напруги на затискачах освітлювальних приладів на 10 % скорочує термін служби ламп розжарювання приблизно в 3 рази. Зменшення напруги призводить до зростання терміну нагріву в електротермічних установках.

					<b>ДП 2021 141</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
		<i>Слістратов</i>			<b>ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ</b>
		<i>Семко Д.М.</i>			
		Н. Контр.			Літ.
		Затвердив			Арк.
		<i>Балюта С.М</i>			Аркушів
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8ск

Підвищення напруги впливає на режим мережі: - зменшуються втрати потужності у повздовжніх елементах схем заміщення та зростають втрати потужності неробочого ходу.

Основним засобом забезпечення необхідного рівня напруги є регулювання напруги.

За допомогою систем управління забезпечується баланс активних потужностей при частоті 50 Гц. Якщо баланс потужностей порушується, то змінюється і частота у мережі. Причиною порушення балансу може бути аварійне відключення генераторів на електростанціях, будь якого елемента електричної системи, включення і відключення споживачів. Розподіл потужностей при зміні частоти відрізняється від оптимального, що викликає зростання втрат потужностей та зменшення терміну роботи обладнання із-за перегрівів ізоляції.

Великий вплив на роботу споживачів має розподіл навантаження в мережі. Причинами несиметрії у мережі є нерівномірний розподіл однофазного навантаження у мережах до 0,4 кВ; несиметричні режими у мережах вище 0,4 кВ. Розглянемо вплив несиметрії на АД.

Незначна несиметрія напруги може привести к значному росту несиметрії струму. Зростанні струму призводить до додаткового нагріву обмоток. При роботі з номінальним навантаженням та при  $K2u = 4\%$  термін служби ізоляції тільки з причини додаткового нагріву зменшується приблизно у 2 рази. Несиметрія у мережі веде до зменшення потужності що генерує батарея конденсаторів.

Несиметрія може бути причиною неправильної роботи системи автоматики та релейного захисту, а це може привести до порушень технологічних процесів.

В наслідок роботи нелінійних навантажень в мережах можуть виникати гармоніки. Вищі гармоніки виникають при роботі тиристорних перетворювачів; обладнання, яке використовує електричну дугу. Вищі

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

гармоніки викликають втрати потужностей, порушення у роботі релейного захисту, протиаварійної автоматики, пристроїв керування.

Джерела гармонік такі:

1. Машини змінного струму - генератори і двигуни (магнітне поле не ідеально синусоїдально);
2. Магнітні кола;
3. Перетворювачі усіх типів;
4. Апарати з електричною дугою чи апарати, що використовують електричний розряд: дугові печі, зварювальні машини.

Основним засобом забезпечення необхідного рівня напруги є регулювання напруги в електричних системах.

Заходи щодо зменшення впливу несиметрії називають симетруванням режимів роботи:

1. Забезпечення рівномірного розподілу навантажень по фазам;
2. Зменшення опору нульової послідовності в мережах до 1 кВ за рахунок збільшення перерізу нульового проводу.

Універсальні симетрируючі пристрої - батареї конденсаторів. Відомо, що за допомогою конденсаторів є можливість створювати струми зворотної послідовності за рахунок включення різної кількості конденсаторів між фазами мережі. Треба створити по значенню струм такий як у мережі, але повернутий відносно струму у мережі на 180.

Слід пам'ятати, що струм прямої послідовності не залежить від розподілу конденсаторів між фазами, а струм зворотної послідовності залежить.

Зменшення несинусоїдальності забезпечується наступним чином:

1. Зменшення рівня вищих гармонік від перетворювачів за рахунок збільшення числа фаз і використання спеціальних схем перетворення та керування ними;

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Раціональної побудови схеми мережі:

Заходи щодо зниження коливань напруги:

1. Пристрої повздожньої компенсації;

2. Синхронні генератори с АРВ;

3.Раздільне живлення навантажень.

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 10. КОНСТРУКТИВНЕ ВИКОНАННЯ ПІДСТАНЦІЙ

Комплектні двотрансформаторні підстанції потужністю 160 кВА використовуються для живлення житлово-комунальних, громадських та промислових споживачів.

У двохтрансформаторній підстанції на напругу 10 кВ підключені два вводи силових трансформаторів потужністю 160 кВА і відхідні лінії.

У КТП передбачається установка силових трансформаторів типу ТМ-160/10/0,4 потужністю 160 кВА.

У КТП передбачається установка обліку активної і реактивної потужності. У відсіку розподільних пристроїв трансформатори струму, напруги і лічильники активної і реактивної енергії на стороні НН.

Підключення силового трансформатора до РУВН передбачається кабелями ААБл-3х35. Підключення силового трансформатора до РУНН кабелем АВВГнг 4х240.

У відсіках КТП прийнято робоче освітлення на напругу 220В. Ремонтне, переносне освітлення і освітлення камер КСО виконано на напрузі 24В. Живлення мережі освітлення прийнято від щитків робочого освітлення.

					<b>ДП 2021 141</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>КОНСТРУКТИВНЕ ВИКОНАННЯ ПІДСТАНЦІЙ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Єлістратов</i>						
Перевірив		<i>Семко Д.М.</i>						
Н. Контр.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8ск		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

## 11. Спецпитання

### Аналіз використання в промисловості частотно-регульованих електроприводів

Сучасний частотно регульований електропривод складається з асинхронного або синхронного електричного двигуна і перетворювача частоти (див. Рис.1.).

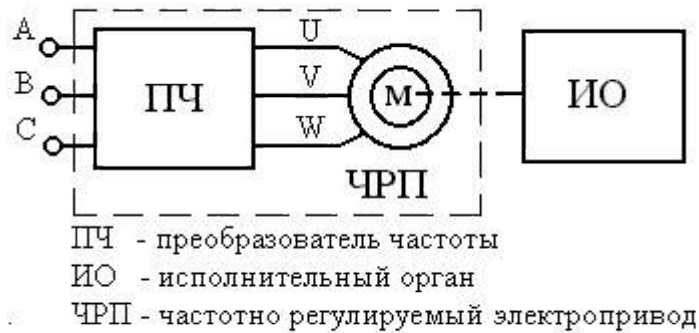


Рис.1.

Принцип, на основі якого функціонує частотний привід, використовує базове властивість обертових електричних машин, виражене залежністю параметрів електромагнітного поля статора від частоти напруги. Так, кутова швидкість електромагнітного поля статора асинхронного двигуна виражається формулою:

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / p,$$

д:  $f_1$  - частота напруги живлення;

$p$  - число пар полюсів обмотки статора.

Отже, здійснюючи зміну частоти напруги, що подається, можна плавно регулювати кутову швидкість обертового поля статора, а значить і частоту обертання ротора двигуна. Структурна схема, представлена на рис.2 показує, як влаштований перетворювач частоти (ПЧ), що працює в складі частотно-регульованого електроприводу.

					<b>ДП 2021 141</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розробив		<i>Єлістватов</i>			Літ.
Перевірив		<i>Семко Д.М.</i>			Арк.
					Аркушів
Н. Контр.					<b>СПЕЦПИТАННЯ</b>
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>			
ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8ск					

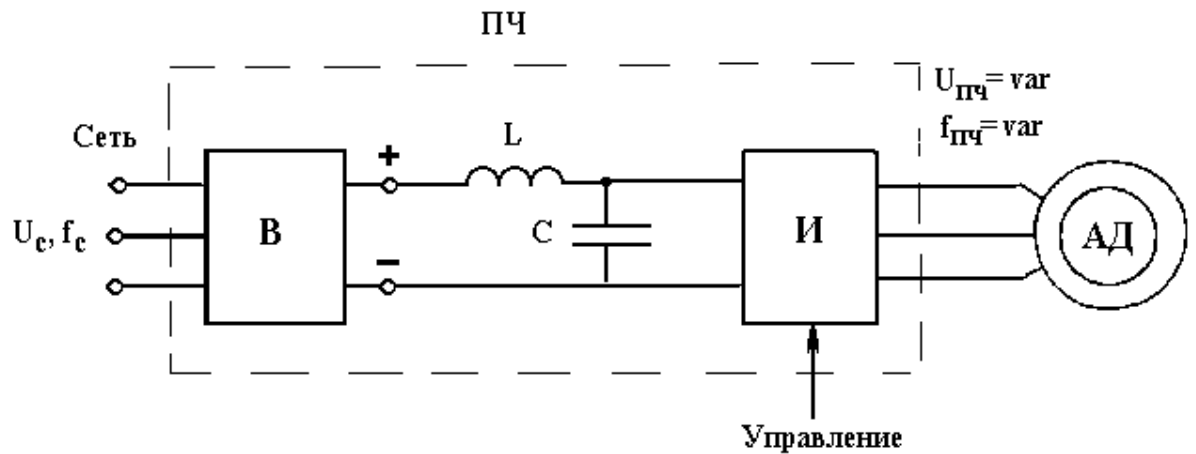


Рис. 2. Схема частотного регулювання

Змінна напруга мережі  $U_c$  промислової частоти  $f_c$  спрямляється доданим мостом (В) і після LC - фільтра, що згладжує пульсації, надходить на вхід інвертора (І), який є ключовим вузлом всього приводу.

Простий Г - образний LC - фільтр являє собою комбінацію індуктивності (дроселя) і ємності (конденсатора), які включені відповідно послідовно і паралельно навантаженню випрямляча. Спрямлена напруга, крім постійної складової, містить також змінну, що має вигляд односпрямованих пульсацій з деякою амплітудою. Наявність високочастотних складових, обумовлених пульсаціями, негативно позначається на роботі електроніки, тому частотно регульовані електроприводи (ЧРЕП), як правило, обладнуються фільтрами подібного роду. Працює фільтр наступним чином. Індуктивність, яка включена послідовно з навантаженням, безперешкодно пропускає постійну складову струму, надаючи їй лише незначний активний опір проводів котушки. Мінлива же складова струму відчуває індуктивний опір дроселя. При цьому, в напівперіоді наростання струму, дросель індукує ЕРС протилежного напрямку. У цей час відбувається намагнічування сердечника, тобто накопичення енергії. В цей же напівперіод відбувається заряд конденсатора фільтра. У напівперіоді спаду струму, запасені дроселем енергія вивільняється, перешкоджаючи його зменшенню, а конденсатор

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
					ДП 2021	141			

розряджається на навантаження, також підтримуючи величину струму. В результаті цього відбувається значне згладжування змінної складової.

Інвертор формує на виході змінну напругу із змінною частотою і амплітудою. Основу схеми інвертора становлять силові електронні ключі, функції яких виконують транзистори, виготовлені за IGBT - технології. Для управління ключами використовується принцип широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Керуючі сигнали формує система імпульсно - фазового управління. Процес регулювання приводу може здійснюватися або вручну, шляхом установки завдання оператором, або в автоматичному режимі.

### Ефективність застосування ЧРП

Електричний двигун перетворює електричну енергію в механічну і приводить в рух виконавчий орган технологічного механізму.

Перетворювач частоти управляє електричним двигуном і являє собою електронний пристрій. На виході перетворювача формується електрична напруга зі змінними амплітудою і частотою.

Назва «регульований частотний електропривод» обумовлена тим, що регулювання швидкості обертання двигуна здійснюється зміною частоти напруги живлення, що подається на двигун від перетворювача частоти.

Протягом останніх 10 - 15 років у багатьох галузях світової економіки спостерігається широке і успішне впровадження частотно регульованого електроприводу для вирішення різних технологічних завдань. Це пояснюється в першу чергу розробкою і створенням перетворювачів частоти на принципово новій елементній базі, головним чином на біполярних транзисторах з ізольованим затвором IGBT.

При подальших міркуваннях будемо говорити про трифазний частотно - регульований електропривод, так як він має найбільше поширення в промисловості.

У всіх галузях народного господарства, в побуті, науці і в багатьох інших сферах людської діяльності використовуються різноманітні технічні пристрої, призначені для реалізації технологічних процесів з метою

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконання соціально-практичного замовлення, наприклад, отримання кінцевого корисного продукту. Для приведення в рух робочих органів цих технічних пристроїв і призначена машина-двигун, або привід, в якості якого найчастіше застосовується електричний двигун. У загальному випадку під електроприводом розуміють електромеханічну систему, що приводить в рух робочі органи технічного пристрою і складається з передавального, електродвигунного, перетворюючого і керуючого пристроїв. Електропривод, який в якості перетворювального пристрою використовує перетворювач частоти, називається частотно-регульований привід (ЧРП). Принцип частотного регулювання, при якому частота і напруга живлення двигуна можуть змінюватися відповідно до встановленого співвідношення незалежно один від одного, є найбільш ефективним способом управління швидкістю асинхронних двигунів. Реалізація такого способу залежить від того, що швидкість обертального магнітного поля статора  $\omega_0$  пропорційна частоті джерела живлення  $f$ .

З викладеного випливає, що для частотно-регульованого асинхронного приводу потрібно перш за все джерело змінного струму регульованої частоти. Використання для цих цілей синхронних генераторів з регульованою швидкістю обертання не справджується ні технічними, ні економічними міркуваннями.

Тільки при появі статичних напівпровідникових перетворювачів виникла реальна можливість створення частотного регулювання. Отже, змінюючи частоту  $f$ , можна плавно и в широких межах регулювати швидкість обертання ротора. При цьому ковзання  $s$  змінюється із зміною  $I$ .

Це важлива перевага частотного управління асинхронним двигуном дозволяє реалізувати енергозберігаючі технології як для двигунів з фазним ротором, так и з короткозамкнутим. Їх основу складають перетворювачі частоти і асинхронний двигун (ПЧ-АД). Основною вихідною координатою силового приводу є електромагнітний момент.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ДП 2021 141</b>				

При частотному управлінні його значення залежить від частоти і напруги джерела змінного струму. Тому наявність двох незалежних каналів управління дає можливість реалізувати в системах ПЧ-АД різні закони регулювання швидкості.

Управління двигуном при ненасиченій магнітній системі дозволяє зберігати практично незмінним коефіцієнт потужності і абсолютне ковзання електроприводу, при цьому його ККД не залежить від швидкості. В цьому і полягає основна перевага частотного управління. Залежно від видів навантаження закон управління напругою і частотою має різні форми. Наприклад, при постійному моменті навантаження ( $M_c = \text{const}$ ) співвідношення набуває вигляду  $U / f = \text{const}$ ; при постійній потужності ( $M_c = kW^{-1}$ ) -  $U^2 / f = \text{const}$ ; при «вентиляторному» навантаженні ( $M_c = kW^{-2}$ ) -  $U / f^2 = \text{const}$ . Механічні характеристики приводу ПЧ-АД, що зберігає сталість перевантажувальної здатності двигуна, наведені на рис. 3.

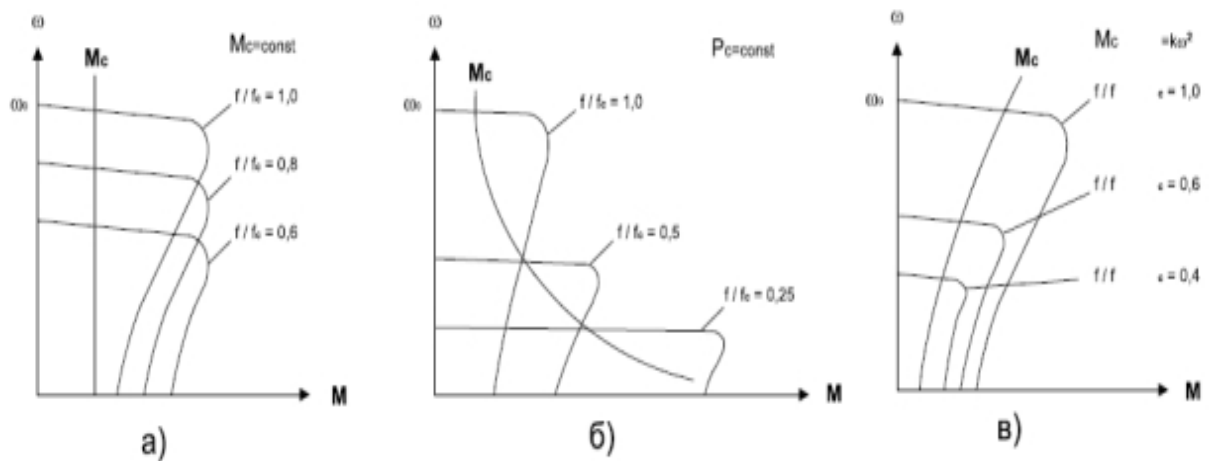


Рис.3. Механічні характеристики приводу ПЧ-АД: а) при постійному моменті; б) при постійній потужності; в) при вентиляторному навантаженні.

Таким чином, для того, щоб реалізувати принцип частотного управління асинхронним двигуном, необхідно керувати напругою, що підводиться до статора двигуна, так як це взаємопов'язано зі зміною частоти живлення.

Функцію перетворення параметрів електричної енергії мережі живлення до таких значень, які необхідні для нормальної роботи приводного двигуна, а також функцію дозування величини електричної енергії, що підводиться до двигуна для регулювання його швидкості і виконує перетворювальний пристрій.

У системах регульованого електроприводу знаходять застосування всі основні типи перетворювальних пристроїв: випрямлячі, що перетворюють змінну напругу в постійну; інвертори, які здійснюють зворотне перетворення енергії; безпосередні перетворювачі частоти; регулятори змінної і постійної напруги, що забезпечують перетворення рівня напруги без зміни його частоти.

Ефективність застосування і перспективи подальшого використання тих чи інших перетворювальних пристроїв в значній мірі визначається досконалістю властивостей силових напівпровідникових приладів.

Слід враховувати головну особливість силових перетворювачів електричної енергії: незалежно від типу і властивостей, застосовуваних силових напівпровідникових приладів вони повинні використовуватися тільки в ключових режимах роботи, для яких властиві два стійких стану повного включення (максимальна електрична провідність) і повного виключення (мінімальна провідність).

Винятком є тільки динамічні процеси, пов'язані з переходами з одного стійкого стану в інший. У станах ключового режиму втрати активної потужності  $P = UI$  в напівпровідникових приладах малі, оскільки один із співмножників (струм  $I$  або напруга  $U$ ), має мінімально можливе значення. Це і забезпечує високий ККД напівпровідникових перетворювачів електричної енергії.

Найбільш поширеним типом перетворювачів частоти є двоступеневий перетворювальний пристрій, виконаний на основі випрямляча трифазної змінної напруги мережі і автономного інвертора напруги (АІН), що перетворює випрямлену напругу в змінний струм з регульованою частотою і

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

амплітудою. Незважаючи на дворазове перетворення енергії і обумовлене цим деяке зниження ККД, такі перетворювачі частоти (з проміжною ланкою постійного струму) набули найбільшого поширення в різних типах електроустановок.

На відміну від АІТ, що містить на своєму вході в ланцюзі постійного струму індуктивність, обов'язковим елементом на вході АІН є паралельно включена ємність. Тому в результаті підключень напівпровідниковими ключами цієї ємності до вихідних затискачів АІН здійснюється формування кривих напруги навантаження. При використанні некерованого випрямляча забезпечується високе значення коефіцієнта потужності на вході, а регулювання величини вихідної напруги може здійснюватися методом широтноімпульсної модуляції (ШІМ).

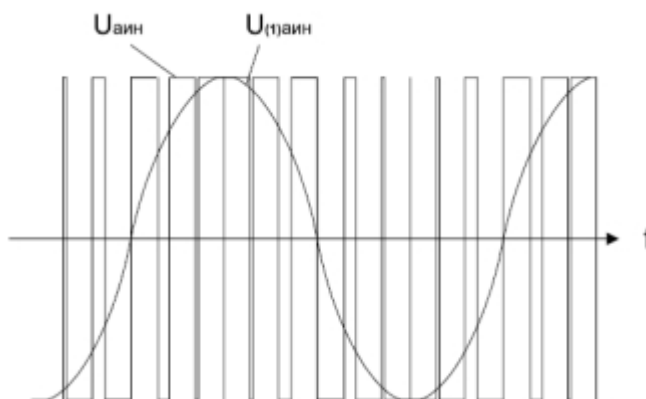


Рис. 4. Форма вихідної напруги однофазного АІН з ШІМ  $U(1)$  АІН - основна гармоніка.

При формуванні вихідних напруг трифазного АІН кожна з фаз навантаження в будь-який момент часу виявляється підключеною до одного з двох полюсів вхідної постійної напруги. Тому в момент підключення даної фази до одного полюса можливі три комбінації підключень двох інших фаз:

- 1) обидві фази підключені до того ж полюсу;
- 2) одна з фаз підключена до того ж полюсу, а інша до протилежного;

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

3) обидві фази підключені до протилежного полюсу напруги. Отже, миттєво напруга кожної фази трифазного АІН може набувати значень, що відповідають п'яти рівням. Приклад кривої вихідної напруги трифазного АІН з ШІМ показаний на рис. 3.

Частота вищих гармонійних складових вихідної напруги визначається частотою ШІМ, яка при використанні в АІН сучасних транзисторів типу IGBT може без помітного зниження ККД перетворювача підвищена до величини більше 4кГц. Тому, незважаючи на значний рівень амплітуди вищих гармонік напруги АІН, струми активно-індуктивного навантаження (наприклад, асинхронний двигун) практично синусоїдальні.

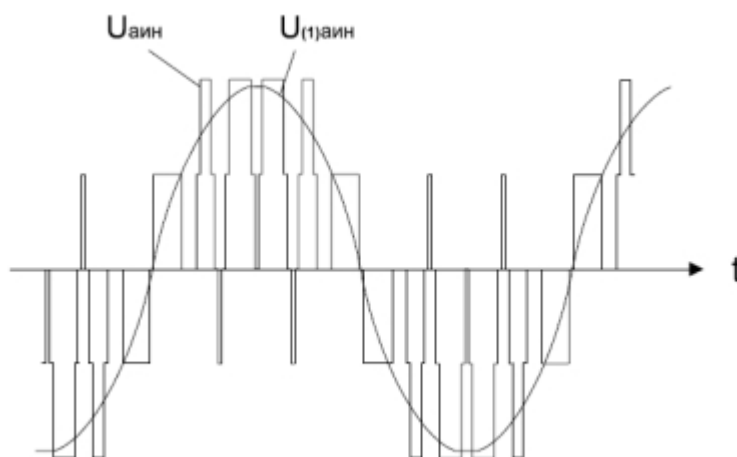


Рис.5. Форма вихідної напруги однієї фази трифазного АІН з ШІМ.

Коротко зупинимося на гальмівних режимах частотно-регульованого електроприводу. Цей режим може бути здійснений за принципом динамічного гальмування при живленні обмоток статора двигуна постійним струмом від АІН. У випадках, коли ефективність такого гальмування виявляється недостатньою, може бути використаний принцип генераторного гальмування з передачею активної потужності через АІН в ланцюг постійного струму перетворювача частоти. Оскільки передача енергії в мережу через некерований випрямляч неможлива, для запобігання неприпустимого підвищення напруги на ємності фільтра постійного струму її

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

розряджають за допомогою транзисторного імпульсного регулятора на спеціальний гальмівний резистор.

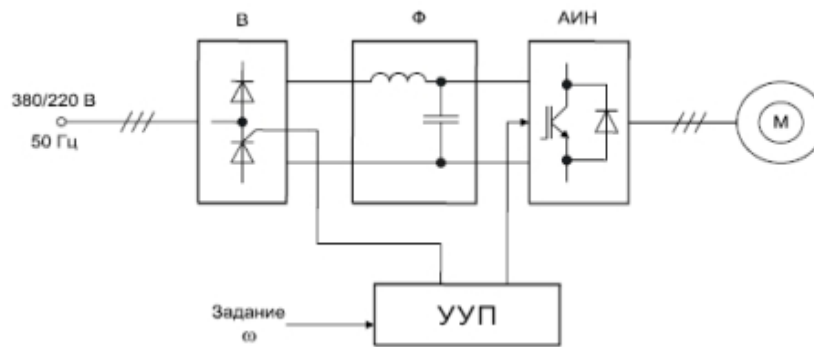


Рис.6. Частотно регульований електропривод: В- випрямляч; ф- фільтр; АИН- автономний інвертор напруги; УУП- пристрій управління перетворювачем частоти.

Таким чином, аналіз показав, що оптимальну за енергетичними показниками структуру сучасного частотно-регульованого асинхронного електроприводу слід виконувати на основі перетворювача частоти з проміжною ланкою постійного струму, (рис.4) що складається з випрямляча з індуктивно-ємнісним фільтром постійної напруги і автономного інвертора напруги, побудованого на силових транзисторах типу IGBT і формує основну гармоніку вихідної напруги методом широтно-імпульсної модуляції. Регульований електропривод, силова частина якого базується на структурі, представленої на рис. 4, має цілу низку переваг:

- широкий діапазон регулювання ( $D = 30 \dots 100$  і більше);
- високий коефіцієнт корисної дії (без урахування двигуна він досягає величини 0,98);
- високий коефіцієнт потужності (до 0,98);
- висока надійність і компактність перетворювача і ін.

Переважає більшість робочих машин в газовій промисловості в даний час оснащено нерегульованими електроприводами з асинхронними і синхронними електродвигунами. Регулювання продуктивності

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

перекачувальних агрегатів здійснюється дискретно зміною їх числа і плавно - вельми неефективним способом - дроселюванням за допомогою засувок.

Останній спосіб пов'язаний з підвищенням енергоспоживання, невисокою точністю регулювання технологічних параметрів, а також підвищенням зносом електричного, механічного та гідравлічного обладнання. Прямі пуски двигунів великої потужності викликають ударні навантаження в передавальних механізмах, неприпустимі посадки напруги в системі електропостачання.

Низький рівень використання регульованих електроприводів в газовій промисловості пояснюється з одного боку відсутністю до останнього часу надійних перетворювачів частоти (ПЧ), придатних для важких умов експлуатації, з іншого боку ціною політикою, що існувала в 80-х роках на енергоносії.

У зв'язку з постійним збільшенням вартості електроенергії, зростанням цін на спорудження ліній електропередач при освоєнні нових родовищ і тенденцією переходу на автономні джерела електропостачання технологічних установок газової промисловості стає економічно і технічно доцільним застосування регульованих електроприводів.

Перші спроби створення регульованого електроприводу в установках транспорту газу були здійснені для двигуна СДЗС-4500-1500. Однак використані для ПЧ напівпровідники (традиційні тиристори) виявилися недостатньо надійними, конструкція системи управління істотно ускладнювала експлуатацію і знижувала надійність електроприводу.

Поява повністю керованих силових напівпровідникових приладів, радикальних змін в схемотехніці пристроїв силової електроніки, що дозволило створювати частотно-регульовані електроприводи великої (десятки МВт) потужності. З'явилися об'єктивні можливості створення малогабаритних, простих і надійних в експлуатації ПЧ з високими значеннями ККД і коефіцієнта потужності.

Частотно-регульований електропривод забезпечує:

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- плавний пуск;
- тривалу роботу в заданому діапазоні зміни швидкості і навантаження;
- реверсування, гальмування і зупинка;
- захист електричного і механічного обладнання від аварійних режимів.

(IGBT, IGCT, GTO) з високим значенням параметрів привело до того, що частотно-регульований електропривод є не тільки пристроєм економічного перетворення електричної енергії в механічну, а й ефективним засобом управління технологічним процесом, в тому числі в замкнених системах автоматичного управління в складі різних АСУ ТП.

Ефективність застосування частотно-регульованих електроприводів обумовлена:

- високими енергетичними показниками;
- гнучким налаштуванням, програмними засобами параметрів і режимів роботи електроприводу;
- розвитим інтерфейсом і пристосованістю до різних систем управління і автоматизації, в тому числі високого рівня;
- простотою і зручністю управління і обслуговування в експлуатації;
- високою якістю статичних і динамічних характеристик, що забезпечують високу продуктивність керованих машин.

Оптимальна за енергетичними показниками і за регульовальними механічними характеристиками структура сучасного частотно-регульованого електроприводу з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором включає в себе ПЧ з проміжною ланкою постійного струму (рис.), що складається з випрямляча з індуктивно-ємнісним фільтром постійної напруги і автономного інвертора напруги, побудованого на силових транзисторах IGBT. Інвертор формує основну гармоніку вихідної напруги ПЧ методом ШІМ.

Регульований електропривод, силова частина якого базується на зазначеній структурі, має наступні переваги:

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- широкий діапазон регулювання швидкості ( $D = 30-60$ );
- високий ККД (без урахування двигуна він досягає 0,98);
- високий коефіцієнт потужності (до 0,98);
- висока надійність і малі габарити перетворювача;
- облегчене забезпечення електромагнітної сумісності електропривода з джерелом живлення та іншими споживачами електричної енергії.

При регулюванні швидкості електроприводу частота і напруга на виході ПЧ змінюється взаємопов'язано, відповідно до необхідного співвідношенням. Змінюючи частоту, можна плавно в широких межах регулювати частоту обертання ротора двигуна. При цьому ковзання асинхронного двигуна в процесі регулювання при заданому значенні навантаження змінюється незначно, а, отже, втрати в ланцюзі ротора, пропорційні ковзанню, акож змінюються незначно, що забезпечує енергозбереження.

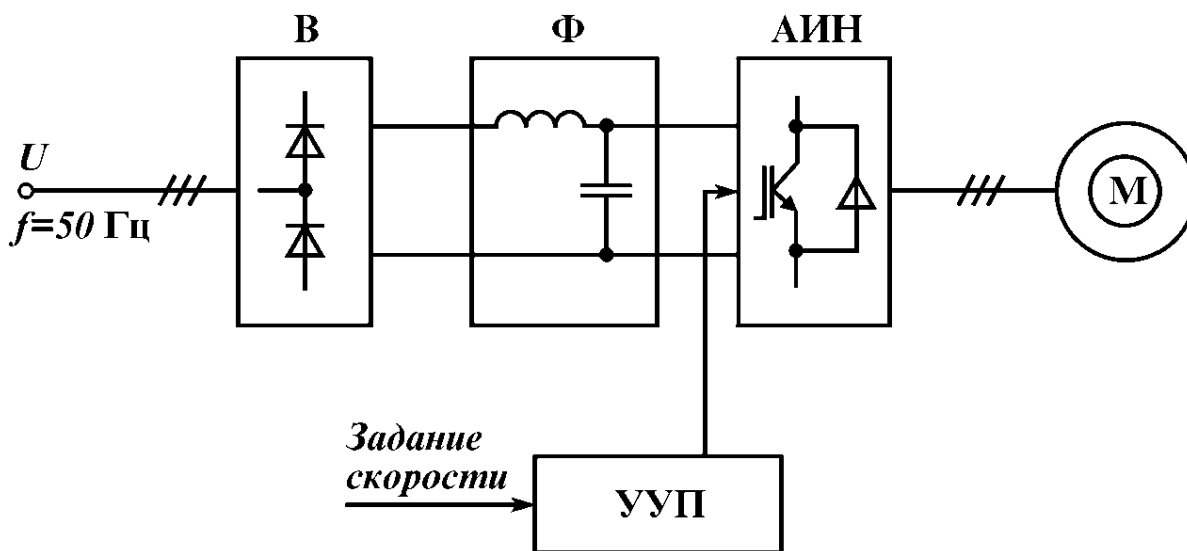


Рис. 7. Частотно-регульований електропривод з асинхронним

короткозамкненим двигуном: В - випрямляч; Ф - фільтр; АИН - автономний IGBT-інвертор напруги; УУП - пристрій управління перетворювачем частоти; М – двигун.

В даний час випуск частотно-регульованих електроприводів здійснюють десятки різних фірм в багатьох країнах.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

До їх числа можна віднести: АВВ (Швейцарія), General Electric (США), Siemens (Німеччина), Schneider Electric (Франція), Mitsubishi (Японія), Hitachi (Японія), Тріол (Росія) та ін.

Незважаючи на те, що ПЧ різних фірм відрізняються типами застосовуваних силових напівпровідникових приладів, виконанням, видами захистів, слід зазначити загальні принципи побудови сучасних частотно-регульованих електроприводів. Відзначимо деякі з них.

1. Силова частина - перетворювач частоти складається з випрямляча, фільтра постійної напруги і IGBT або IGCT-інвертора з модулем гальмування в ланці постійної напруги. Для зниження рівня радіоперешкод (кондуктивних - поширюються по дротах) на вході ПЧ може включатися блок вхідного фільтра, для обмеження перенапруг на затискачах приводного двигуна і захисту ізоляції його обмоток від пробоя і прискореного старіння на затискачі двигуна включається блок вихідного фільтра.

2. Система управління - мікропроцесорна, формує сигнали управління інвертором згідно з алгоритмом, що дозволяє максимально використовувати напругу джерела з мінімальними спотвореннями форми вихідної напруги, забезпечуючи при цьому:

- автоматичне визначення параметрів підключеного двигуна;
- самотестування двигуна і технологічних датчиків;
- індикацію стану двигуна дискретними сигналами;
- цифрову індикацію на вбудованому рідкокристалічному дисплеї поточних значень змінних електроприводу (заданого  $i$  / або фактичного значення, швидкості, заданого  $i$  / або фактичного значення параметра, наприклад, тиску, на виході насоса (компресора) струму статора двигуна, напруги мережі, споживаної потужності і ін.);
- параметри регулятора (способу введення завдання, початкового напрямку обертання, часу розгону і гальмування, максимального  $i$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ДП 2021 141</b>				

мінімального значень вихідної частоти, пропорційного, інтегрального і диференціального коефіцієнтів ПІД-регулятора і ін.);

-значення уставок захисту (максимально-струмового, час-струмового та температурного двигуна, параметрів частотно-струмового обмеження, температурного перетворювача);

-перегляд і зміну параметрів двигуна і регулятора з вбудованого пульта управління при введенні пароля доступу до режиму програмування.

Зазначені функції виконуються за допомогою спеціального обладнання під завдання керування електроприводом швидкодіючого сигнального процесора (DSP). Управління електроприводом може бути місцевим зі вбудованого пульта управління, дистанційним з дистанційного пульта управління, дистанційним від зовнішнього АСУ або персонального комп'ютера по каналу послідовного зв'язку, інтерфейс RS485. Для прийому керуючих і задаючих сигналів електропривод може містити:

- аналогові входи в стандарті  $0 \dots 10 \text{ В}$  ( $0 \dots 5 \text{ В}$ ),  $0 \dots \pm 10 \text{ В}$  ( $0 \dots \pm 5 \text{ В}$ );
- аналоговий входи з гальванічною розв'язкою в стандарті  $4.20 \text{ мА}$ ;
- дискретні входи з гальванічною розв'язкою.

Для управління зовнішніми пристроями електропривод може містити релейні і аналогові виходи. Призначення цифрових входів і виходів можуть бути перепрограмовані. Передбачається також можливість збільшення числа входів / виходів за допомогою додаткових вбудованих субмодулів розширення.

3. Система захисту електроприводу може включати захист від наступних факторів:

- струм неприпустимого перевантаження і короткого замикання;
- замикання на "землю";
- обрива фази;
- перенапруг на силових елементах схеми;

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- недопустимих відхилень і зникнення напруги мережі живлення;
- недопустимого перегріву силових елементів схеми;
- несправності і збоїв системи управління;
- недопустимих відхилень технологічних параметрів і ін.

Крім того, можуть бути передбачені режими обмеження максимальної та мінімальної потужності електроприводу, мінімальної робочої частоти та інших параметрів.

4. Система сигналізації електропривода повідомляє про наступне:

- наявність напруги мережі живлення;
- включений / відключений стан;
- аварійне відключення і ін.

Додаткова інформація про стан електроприводу виводиться на дисплей пульта керування у вигляді текстових повідомлень або кодів.

Для отримання високої якості управління електроприводом в статичних і динамічних режимах в широкому діапазоні регулювання швидкості, в тому числі в області нульових швидкостей, необхідно мати можливість швидкого безпосереднього управління моментом електродвигуна. Сучасні засоби мікропроцесорної техніки дозволяють формувати складні закони керування асинхронним двигуном, близькі за якістю регулювання моменту, швидкості та інших величин до електроприводів з двигунами постійного струму.

Це стає можливим, якщо окремо впливати на дві складові статорного струму асинхронного двигуна: намагнічувальну і складову струму, що визначає момент двигуна, таке векторне представлення складових струму для кожної фази двигуна отримало назву векторного управління.

Іншими словами, в асинхронному двигуні необхідно забезпечити управління як амплітудою, так і фазою струму статора, тобто оперувати векторними величинами, чим і обумовлений термін векторне управління.

Синонімами даного терміна, що відображають певну різницю використовуваних методів вимірювання параметрів і управління їх фазою, є:

- "управління полем";

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ДП 2021 141</b>				



частотний привід, регулювання тиску здійснювалося кількістю одночасно знаходящихся в роботі насосних агрегатів, а також положенням засувки, тобто, у деяких випадках, необхідність плавного регулювання кутової швидкості валів механізмів диктується самою технологією. Наприклад, потужність котлів і енергоблоків теплових станцій регулюється плавною зміною продуктивності механізмами подачі палива. На ГРЕС і ТЕЦ, що працюють на вугіллі, останній, перед подачею в топку котла, подрібнюється в млинах до пилоподібного стану. Подачу вугільного пилу в топку виконує ППЛ (живильник пилу лопатевий). Привід цього механізму традиційно здійснюється двигуном постійного струму з регульованими оборотами. Регулювання здійснюється за допомогою тиристорного блоку управління. Електродвигуни постійного струму мають цілий ряд експлуатаційних недоліків. Вони дорогі, щітковий механізм цих електричних машин схильний до швидкого зносу, вельми чутливий до забруднень і потребує періодичного регулювання і чищення. Крім застосування двигунів постійного струму, функція безступінчатого регулювання реалізується за допомогою механічних варіаторів, наприклад, у великих верстатних приводах. Застосування механічних коробок передач завжди супроводжується суттєвими втратами, до того ж, такі системи мають обмежений діапазон регулювання.

Використання частотного приводу, укомплектованого асинхронним двигуном, що має короткозамкнений ротор, дозволяє позбутися від перерахованих недоліків двигунів постійного струму і механічних систем регулювання. Слід особливо підкреслити, що найбільшу вигоду приносить застосування саме електродвигунів з короткозамкненим ротором. Ці машини найбільш дешеві, конструктивно прості, не мають щіткового апарату і можуть бути пристосовані для роботи в найважчих умовах. Впровадження систем управління, які використовують частотно регульований привід, є інноваційним заходом і, як правило, швидко окупається.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ДП 2021 141</b>				

## Застосування ЧРП в промисловості

ЧРП застосовуються в:

- судновому електроприводі великої потужності;
- прокатних станах (синхронна робота клітей);
- високооборотному приводі вакуумних турбомолекулярних насосів (до 100 000 об / хв.);
- конвеєрних системах;
- різальних автоматах;
- верстатах з ЧПУ - синхронізація руху відразу декількох осей (до 32 - наприклад в поліграфічному або упаковувальному обладнанні) (сервоприводи);
- автоматично відкриваємих дверях;
- мешалках, насосах, вентиляторах, компресорах;
- пральних машинах;
- побутових інверторних спліт-системах;
- на електротранспорті: електровозах, електропоїздах, трамваях і тролейбусах;
- в текстильній промисловості (для підтримки постійної швидкості і натягу тканини між різними вузлами машини);
- в системах позиціонування;
- в системах пневмопошти (для плавного старту і гальмування капсули, наприклад, з пробами крові в медичних установах).

Найбільший економічний ефект дає застосування ЧРП в системах вентиляції, кондиціонування і водопостачання, де застосування ЧРП стало фактично стандартом.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			<b>ДП 2021</b>	<b>141</b>	



## 12. Охорона праці

### 12.1. Обґрунтування рішення щодо розміщення електричного обладнання

#### 12.1.1. Обґрунтування рішення щодо розміщення асинхронних двигунів

Згідно завдання ми проектуємо систему електропостачання ремонтно механічного цеху. Цех має у своєму складі споживачі електричної енергії, які використовують, в якості рушійної сили, асинхронні двигуни. Асинхронні двигуни в промисловості застосовуються, головним чином, для перетворення електричної енергії в механічну, хоча можуть працювати і в інших режимах. На сьогоднішній день найбільшими споживачами електроенергії серед усього електроустаткування на промисловому виробництві є електродвигуни. Так, доля їх споживання від виробленої електроенергії, згідно з останніми дослідженнями, складає приблизно 75 %. Основу парку електроприводів сучасних промислових підприємств та інших виробничих об'єктів складають багатофазні асинхронні двигуни. Асинхронні двигуни зарекомендували себе як надійні, витривалі та відносно дешеві електричні машини, впливова частка яких збільшилася після розвитку приводів з регульованою швидкістю обертання. Даний вид двигунів досить поширений, про що свідчить те, що вони споживають до 40 % електроенергії, яка виробляється у світі. При цьому 90 % даного виду обладнання являє собою коротко замкнуті асинхронні електродвигуни. За статистикою на 2010 рік, у загальному виробництві України, використовувалося не менше 50 млн одиниць трьохфазних АД напругою 0,4 кВ. В електроприводі промислових установок найбільшого поширення набули трифазні асинхронні двигуни (ТАД) Таке поширення ТАД пов'язано з простотою їхньої будови та відносно малою вартістю виробництва. У таких машинах відсутні електричні та механічні частини, які легко пошкоджуються або швидко зношуються. ТАД - це найбільш випускаєма

					<b>ДП 2021 141</b>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Елістратов А.А.</i>			<b>Охорона праці.</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Сірик А.О.</i>						
Реценз.								
Н. контр.		<i>Семко Д.М.</i>				<b>ННІТІ ім.акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8ск</b>		
Затверд.		<i>Балюта С.М.</i>						

електрична машина. Різноманітність асинхронних двигунів дає можливість вибрати потрібний двигун по захищеності від впливу на навколишнє середовище. Так, для вологих приміщень використовують двигуни вологостійкого виконання. Вони розраховані на роботу при температурі навколишнього середовища до – 40 С і відносній вологості до 100% при температурі +25 . Ці двигуни відрізняються від двигунів загального виконання вологостійкістю ізоляцією і захисним покриттям вузлів. В приміщеннях, які мають велику концентрацію пилу, використовуються пилонепроникні двигуни.

### **12.1.2. Кваліфікаційні вимоги до персоналу, який обслуговує електроустановки**

Кваліфікаційні вимоги до професій робітників, які обслуговують електроустановки, позначені групами кваліфікації. Зараз існує сім кваліфікаційних груп, а на ремонт устаткування електростанцій і мереж - це шестирозрядна сітка. Передбачається, що кваліфікація професій робітників, яка подана в групах кваліфікації, відповідає кваліфікації професій робітників, поданій у розрядах. Групи кваліфікації і розряди встановлено за їх складністю, як правило, без урахування умов праці. Інколи роботи, що виконується, здійснюється під керівництвом робітника вищої кваліфікації.

У цих випадках робітники вищої кваліфікації повинні вміти керувати робітниками нижчих груп кваліфікації (розрядів) тієї ж професії. Крім того, робітники вищої кваліфікації, здійснюють і керівництво веденням процесу роботи. За умови обслуговування різного устаткування група кваліфікації встановлюється за найбільш складним устаткуванням, що обслуговується.

У тих випадках, коли для професії передбачено декілька груп кваліфікації (розрядів), робітник вищої кваліфікації, окрім робіт, перерахованих у кваліфікаційній характеристиці присвоєної групи кваліфікації (розряду), повинен володіти знаннями і навичками для їх виконання і в разі необхідності виконувати роботи, які передбачені кваліфікаційними характеристиками робітників нижчої кваліфікації цієї ж професії.

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрім робіт, які передбачені кваліфікаційними характеристиками, робітники повинні також виконувати роботи, які пов'язані з прийманням і здаванням зміни, роботи по підготовки до роботи свого робочого місця, устаткування, інструменту, пристроїв і утриманням їх в належному стані, веденням встановленої технічної документації, а також повинні знати види аварійних ситуацій, причини їх виникнення і способи запобігання та усунення.

Робітники, безпосередньо зайняті в обслуговуванні агрегатів, машин і механізмів, повинні володіти знаннями і навичками в обсязі, необхідному для виявлення і усунення пошкоджень, та виконувати ці роботи. Крім теоретичних і спеціальних знань, вимоги до яких викладено у кваліфікаційних характеристиках, працівники також повинні знати:

- посадову (робочу) інструкцію;
- технологічні карти;
- Правила технічної експлуатації електричних станцій і мереж (ПТЕ);
- Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів;
- Правила технічної експлуатації тепловикористовуючих установок і теплових мереж;
- Правила безпеки (ПБ);
- Правила безпечної експлуатації електроустановок;
- Правила влаштування електроустановок (ПВЕ);
- Правила влаштування та безпечної експлуатації трубопроводів пари і гарячої води;
- Правила радіаційної безпеки;
- Правила протипожежної безпеки (ППБ);
- Правила Держнаглядохоронпраці;
- Положення системи управління охорони праці в Міненерго України;
- нормативно-технічну документацію, що діє в енергетиці України;
- правила охорони праці у відповідності до Закону України "Про охорону праці";
- Правила безпеки в газовому господарстві;

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

-Правила влаштування і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском;

-Правила організації технічного обслуговування і ремонту устаткування, будівель і споруд електростанцій і мереж Міненерго України;

-Положення про інструктаж, навчання і перевірку знань робітників підприємств, установ і організацій галузі з питань охорони праці і експлуатації устаткування;

-Правила внутрішнього трудового розпорядку підприємства;

-Правила й норми виробничої санітарії;

-основи економіки енергетики;

-інші нормативні акти в обсязі знань за своєю професією.

**12.2 Організаційні та технічні заходи з охорони праці на тему:  
«Плакати та знаки безпеки, що вивішуються на приводах комутаційних апаратів, щоб уникнути подачу напруги на робоче місце при проведенні ремонту або планового огляду електрообладнання».**

Робота з електроустановками вимагає відповідальності, підвищеної уваги, виконання певних правил, викладених у нормативній документації. Велика увага, при роботі з електроустановками, повинна приділятися засобам захисту, серед яких – плакати з електробезпеки.

### **Плакати як засоби захисту**

Яскраві зображення з пояснювальними написами або символами називаються плакатами або знаками безпеки. Вони мають певну геометричну форму: прямокутну, трикутну, квадратну.

Плакати потрібні, щоб попередити як працівників, так і випадкових людей про потенційну небезпеку, яку представляє собою електроустановочне обладнання. Деякі плакати прямо забороняють виконувати ті чи інші дії, інші несуть інформаційне навантаження, треті дозволяють, наказують працювати.

Щоб плакати та знаки кидалися в очі, для фону і написів використовують контрастні або сигнальні кольори та їх поєднання: червоний/білий, синій/білий, чорний/білий, чорний/жовтий.

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робочий персонал, залучений до робіт в електроустановках, необхідно забезпечити засобами захисту, у тому числі і плакатами, пояснити, як і де потрібно їх використовувати, щоб забезпечити максимально безпечні умови праці. Переносні знаки повинні входити в інвентарний арсенал, яким озброюються виїзні бригади. Як і інші засоби захисту, знаки і плакати потребують правильному зберіганні, транспортуванні, а постійні повинні бути в належному стані, тобто чистими, сухими, без пошкоджень, з інформативними написами. Плакати і знаки виготовляють відповідно до Держстандарту. На відміну від інструментів та одягу, вони не вимагають маркування, їх не потрібно нумерувати або позначати якимось іншим способом. Всього налічується 13 плакатів і знаків. Згідно інструкції, за призначенням вони поділяються на 4 види: -заборонні – для заборони включення/вимкнення комутаційних апаратів, щоб усунути ризик подачі напруги в робочу зону;- попереджувальні – для попередження робітників про те, що поблизу знаходяться струмоведучі частини і потрібні засоби захисту; -розпорядчі – для дозволу працювати, але з урахуванням виконання вимог ТБ; -вказівні – для зазначення місць, де розташовані пристрої чи об'єкти (зокрема, пов'язані з заземленням).

Друга група – найбільша. Вона включає в себе 4 плаката і 2 знаки. В інших категоріях знаків немає. Розміри знаків, як і плакатів, регламентуються ГОСТ. В залежності від місця монтажу (на двері, на стіні або на електроприладі) розміри можуть бути різними.

За характером експлуатації плакати поділяються на 2 групи: -постійні (сюди відносяться і знаки); -переносні.

Всі види плакатів виготовляють виключно з електроізоляційних матеріалів, але постійні знаки можна наносити фарбою з пульверизатора або пензлем на металеві та бетонні поверхні – стіни, частини конструкцій. Металеві частини з нанесеними знаками повинні знаходитися вдалині від струмопровідних ланцюгів і пристроїв. Група #1 – забороняють. Категорія включає чотири знака, об'єднані однаковим призначенням, прямокутної формою і використанням червоно-білої кольорової гами.

### **НЕ ВКЛЮЧАТИ працюють люди.**

Прямокутний плакат переносного типу, який використовують на будівництвах і в місцях розташування електроустановок (до 1000 В і вище) для того, щоб забезпечити робоче місце від подачі напруги.

Арк.

**ДП 2021 141**

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

Фон – білий, букви – червоні. По периметру прямокутника, на відстані 1,25 мм від краю, проведено червона смуга шириною 5 мм для плаката 100x50 мм і 10 мм для плаката 200x100 мм. Місця монтажу: -дроти вимикачів роз'єднувачів; -рубильники і автомати до 1000 В;-регулюючі кнопки дистанційного управління.

Якщо схема з напругою до 1000 В не включає комутаційних пристроїв, перед початком роботи знімають запобіжники, а вивішують плакат поруч з місцем їх установки.

### **НЕ ВКЛЮЧАТИ - робота на лінії**

Схожий по оформленню переносний плакат, який повідомляє, що на лінії працюють люди, тому подача напруги заборонена.

Фон – червоний, букви – білі. По периметру прямокутника розташована біла рамка шириною 1,25мм від краю, розмір плакатів 100x50 мм або 200x100 мм. Призначення те ж, що і у першого плаката в групі – заборона дій з комутаційними пристроями: кнопками і важелями включення, приводами, що подають напругу на силовий кабель, з яким працюють монтажники.

### **Працівникам слід пам'ятати, що після зникнення напруги з електроустановки вона може бути подана знову без попередження**

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмоводних частинах та поблизу них;
- без зняття напруги віддалік від струмоводних частин, що перебувають під напругою.

При виконанні робіт зі зняттям напруги на ключах і кнопках дистанційного керування, на комутаційній апаратурі до 1000 В (автоматичні та інші вимикачі, рубильники), під час ввімкнення яких може бути подана напруга на робоче місце, мають бути вивішені плакати «Не вмикати ! працюють люди».

У роз'єднувачів, які скеровуються оперативною штангою, плакати вивішуються на огорожах, а у однополюсних роз'єднувачів – на приводі кожного полюсу. В КРУ плакати вивішуються на ключах дистанційного керування.

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На засувках, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи комутаційної апаратури, вивішується плакат «Не відкривати! Працюють люди!».

На приєднаннях напругою до 1000 В, які не мають автоматичних та інших вимикачів або рубильників, плакати вивішуються біля знятих запобіжників, під час встановлення яких може бути подана напруга на місце роботи.

На приводах роз'єднувачів, якими відключена для робіт ПЛ чи КЛ, незалежно від кількості бригад, що працюють, має бути вивішений один плакат «Не вмикати! Робота на лінії». Цей плакат вивішується і знімається за вказівкою працівника, який віддає розпорядження на підготовку робочих місць і веде облік кількості бригад, що працюють на лінії. В разі одночасного виконання робіт на лінії і лінійному роз'єднувачі в тій електроустановці, до якої належить лінійний роз'єднувач, плакати «Не вмикати! Робота на лінії» вивішуються на приводах тих найближчих по схемі роз'єднувачів, котрими може бути подана напруга на лінійний роз'єднувач. Невідключені струмовідні частини, доступні для випадкового доторкання, мають бути на час роботи обгороджені. Для тимчасового обгороджування струмовідних частин, що залишилися під напругою, можуть застосовуватися щити, ширми, екрани тощо, які виготовлені з ізоляційних матеріалів. Необхідність встановлення тимчасових огорож, їх вид, спосіб встановлення визначаються особою, яка виконує підготовку робочого місця. На тимчасові огорожі слід написати «Стій! Напруга» або прикріпити відповідні плакати безпеки.

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 12.3.Практичне завдання

**Завдання 1.** Людина доторкнулась до фазного проводу чотирипровідної мережі з заземленою нейтраллю ( 380/220 В, 50 Гц ). Накреслити схему і визначити напругу дотику ( $U_{\text{дот}}$ ) та силу струму, що проходить через людину ( $I_{\text{л}}$ ) для двох режимів роботи електроустановки: нормальному і аварійному.

1. В нормальному режимі для двох випадків :

1.1. при  $C_A = C_B = C_C = 0$  і  $R_A = R_B = R_C = R$ , кОм; опір  $R$  має значення, наведені у таблиці.

1.2.  $C_A = C_B = C_C = C$  мкФ , і  $R_A = R_B = R_C = \infty$ ; ємність  $C$  має значення, наведені в таблиці.

2. В 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 ).

**Таблиця 12.1**

Варіант	$R_{\text{л}}$ Ом	$R_0$ Ом	Нормальний режим		Аварійний режим		
			1 випадок : $C_A = C_B = C_C = 0$ $R_A = R_B = R_C = R$	2 випадок : $R_A = R_B = R_C = \infty$ ; $C_A = C_B = C_C = C$	$R$ , кОм	$C$ , мкФ	$R_{\text{зам}}$ , Ом
18	1000	4	4;6; 20; 40; 60;80 кОм	0,04;0,08;0,12;0,3; 0,8;1,1 ; мкФ	45	0,09	140; 70; 4; 0,5

1.1. В нормальному режимі роботи мережі провідності фазного і нульового проводів відносно землі припущено дорівнюють 0 ( рис.12.1).

В цьому випадку напруга дотику знаходимо по формулі

$$U_{\text{дот}} = U_{\phi} \cdot \frac{R_{\text{л}}}{R_{\text{л}} + R_0} ;$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Знаходимо інші значення  $U_{\text{дот}}$  та  $I_{\text{дот}}$  підставляючи відповідні параметри  $R_{\text{зам}}$ . Отримані значення заносимо до таблиці 12.2.

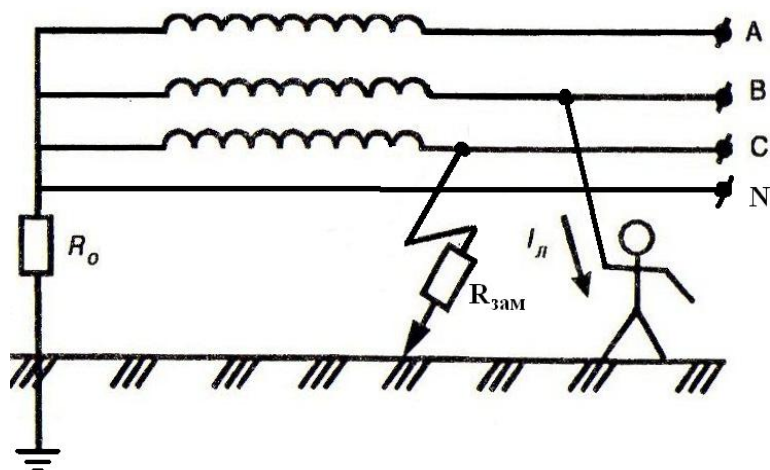


Рис. 12.2. Однофазний дотик до фази 4-провідної лінії (аварійний режим).

Таблиця 12.2

$U_{\text{ф}}$	220, В			
$R_{\text{л}}$	1000, Ом			
$R_0$	4, Ом			
$R_{\text{зам}}$	140	70	4	0,5
$U_{\text{дот}}$	223,59	228,7	299,6	362,5
$I_{\text{дот}}$	0,22	0,228	0,299	0,36

**Завдання 2.** Людина доторкнулась до фази трифазної трипровідної мережі з ізолюваною нейтраллю. Накреслити схему і визначити напругу дотику  $U_{\text{дот}}$  та струм, що проходить через людину -  $I_{\text{дот}}$ , для двох режимів роботи електроустановки – нормального та аварійного.

2.1. При рівності активних опорів і відсутності ємностей, тобто  $R_A = R_B = R_C = R$  та  $C_A = C_B = C_C = 0$ , струм через людину визначається за формулою

					ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{\text{дот}} = 220 \cdot \frac{1000}{1000+4} = 219,12\text{В.}$$

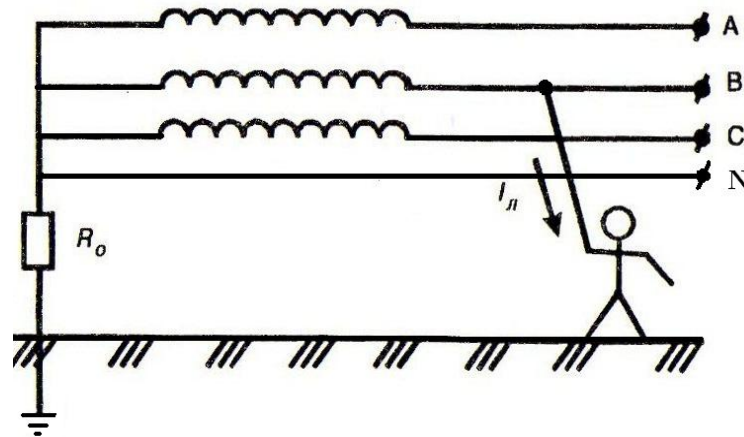


Рис. 12.1. Однофазний дотик до фази 4-провідної мережі (заземлена нейтраль).

Струм, який протікає через людину, знайдемо по формулі :

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{л}} + R_0};$$

$$I_{\text{л}} = \frac{220}{1000+4} = 0,219\text{А.}$$

2. Аварійний режим розглядаємо для випадку, коли одна з фаз замкнута на землю (наприклад – С ), через відносно малий активний опір  $R_{\text{зам}}$  ( рис. 8.2).

У цьому випадку напругу дотику визначаємо за формулою :

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

Знаходимо  $U_{\text{дот}}$  для наступних значень :

$U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$ ;  $R_{\text{л}} = 1000 \text{ Ом}$ ;  $R_{\text{зам}} = 140 \text{ Ом}$ ;  $R_0 = 4 \text{ Ом}$ .

$$U_{\text{дот}} = 220 \cdot 1000 \cdot \frac{140 + 4 \cdot \sqrt{3}}{140 \cdot 4 + 1000(140 + 4)} = 223,59 \text{ В.}$$

За тими же вхідними даними розраховуємо струм через людину :

$$I_{\text{дот}} = U_{\text{ф}} \cdot \frac{R_{\text{зам}} + R_0 \cdot \sqrt{3}}{R_{\text{зам}} \cdot R_0 + R_{\text{л}}(R_{\text{зам}} + R_0)} ;$$

$$I_{\text{дот}} = 220 \cdot \frac{140 + 4 \cdot \sqrt{3}}{140 \cdot 4 + 1000(140 + 4)} = 0,22 \text{ А}$$

					<b>ДП 2021 141</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





<b>R</b>	<b>45000</b>					
<b>U<sub>дот</sub></b>	<b>13,75</b>					
Для лінії з ємнісним опором						
<b>C</b>	<b>0,04</b>	<b>0,08</b>	<b>0,12</b>	<b>0,3</b>	<b>0,8</b>	<b>1,1</b>
<b>X<sub>c</sub></b>	<b>79,6 · 10<sup>3</sup></b>	<b>39,8 · 10<sup>3</sup></b>	<b>26,7 · 10<sup>3</sup></b>	<b>10,8 · 10<sup>3</sup></b>	<b>3,98 · 10<sup>3</sup></b>	<b>2,89 · 10<sup>3</sup></b>
<b>U<sub>д</sub> (ємн)</b>	<b>8,28</b>	<b>16,5</b>	<b>24,6</b>	<b>58,8</b>	<b>132</b>	<b>158,5</b>

**Таблиця 12.4**

2.2. При аварійному режимі роботи мережі, коли одна із фаз замкнута на землю через відносно малий активний опір  $R_{зам}$ , провідності двох інших фаз можна прийняти рівними нулю, тобто  $Y_A = Y_B = 0$

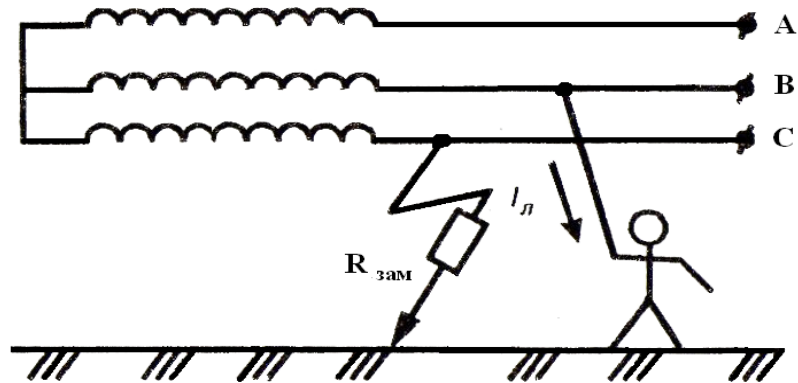


Рис. 12.4. Однофазний дотик до проводу трифазної мережі (ізольована нейтраль, аварійний режим).

У цьому випадку (при  $R_{зам}=140$  Ом) визначаємо напругу дотику за формулою :

$$U_{дот} = \frac{U_{\phi} \cdot R_{л} \cdot \sqrt{3}}{R_{л} + R_{зам}} ;$$

$$U_{дот} = \frac{220 \cdot 1000 \cdot \sqrt{3}}{1000 + 140} = 321,3 \text{ В.}$$

Аналогічно знаходимо  $U_{дот}$  для інших заданих значень  $R_{зам}$  і зводимо їх у таблицю 12.5 :

						ДП 2021 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



