

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва транспорту та енергетики
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЕШКОВ
“ ____ ” _____2026р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої
освіти
на тему
“Розроблення системи електропостачання
заводу з виробництва пневмонасосів”

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу, групи ЕЕ-22
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Приходько В.В.
« ____ » _____2026р.

Керівник роботи
к.т.н., доцент
_____Андрій КОТИШ
« ____ » _____2026р.
Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Будівництва транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плешков П.Г.

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Приходька Владислава Вадимовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Розроблення системи електропостачання заводу з виробництва пневмонасосів

Development of the power supply system of the plant for the production of pneumatic pumps

2. Керівник роботи (проекту)

Котили Андрій Іванович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Вступ; 1.Електричні навантаження; 2.Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки; 3.Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; 4.Компенсація реактивної потужності; 5.Трансформаторні підстанції; 6.Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання; 7.Спеціальний розділ; Висновки; Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>к.т.н., доц. Н. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>08.05.26</i>	
2	<i>Електричні навантаження</i>	<i>12.05.26.</i>	
3	<i>Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки</i>	<i>16.05.26.</i>	
4	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	<i>19.05.26.</i>	
5	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>21.05.26.</i>	
6	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>24.05.26</i>	
7	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>28.05.26.</i>	
8	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>01.06.26.</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: с.; 12 рис.; 16 табл.; 11 джерел.

Приходько В. В. Розроблення системи електропостачання заводу з виробництва пневмонасосів. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький, 2026 р.

У даному проєкті розроблено систему електропостачання заводу з виробництва пневмонасосів. Робота охоплює повний цикл проєктування електричної частини підприємства, починаючи від визначення електричних навантажень і закінчуючи вибором основного електротехнічного обладнання. У процесі роботи було визначено центр електричних навантажень для оптимального розміщення центральної розподільної підстанції (ЦРП). Виконано техніко-економічне порівняння варіантів зовнішнього електропостачання (напругою 35 кВ та 10 кВ), на основі якого обрано найбільш рентабельний варіант. Також розраховано струми короткого замикання, здійснено вибір цехових трансформаторів, струмопровідних пристроїв силових мереж та засобів компенсації реактивної потужності. Окрему увагу приділено спеціальному питанню — комплексній оцінці та запобіганню імпульсним перешкодам в електричних мережах, де розглянуто джерела збурень та сучасні методи захисту систем вторинної комутації.

Ключові слова: система електропостачання, центр електричних навантажень, трансформаторна підстанція, компенсація реактивної потужності, струми короткого замикання, електромагнітна сумісність, імпульсні перешкоди, вторинна комутація, волоконно-оптичні лінії, цифровізація енергетики.

SUMMARY

Prykhodko V.V. Development of the power supply system of the plant for the production of pneumatic pumps. 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics" EPP, "Electric power, electrical engineering and electromechanics". Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi, 2026.

In this project, a power supply system for a pneumatic pump plant was developed. The work covers the full cycle of designing the electrical part of the enterprise, starting from determining electrical loads and ending with the selection of the main electrical equipment. In the process, the center of electrical loads was determined for the optimal placement of the central distribution substation (CDS). A feasibility study of external power supply options (35 kV and 10 kV) was performed, on the basis of which the most cost-effective option was selected. Short-circuit currents were also calculated, and shop transformers, current-carrying devices of power networks and reactive power compensation devices were selected. Special attention was paid to a special issue - a comprehensive assessment and prevention of impulse interference in electrical networks, where sources of disturbances and modern methods of protecting secondary switching systems were considered.

Keywords: power supply system, electrical load center, transformer substation, reactive power compensation, short-circuit currents, electromagnetic compatibility, impulse interference, secondary switching, fiber-optic lines, digitalization of the energy industry.

ЗМІСТ

Стор.

Вступ.....	
1. Електричні навантаження.....	
2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної роподільної установки (головної знижувальної підстанції).....	
3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства.....	
4. Компенсація реактивної потужності.....	
5. Трансформаторні підстанції.....	
6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання.....	
7. Спеціальний розділ роботи.....	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	

					Випускна кваліфікаційна робота					
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис.	Дат						
Розроб.	Приходько				Розроблення системи електропостачання заводу з виробництва пневмонасосів			Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Котиш									
Н.контр.										
Затвер.	Плешков									
					ЦНТУ гр. ЕЕ-22					

ВСТУП

Сучасний розвиток промислового сектору економіки та впровадження високотехнологічних процесів висувають підвищені вимоги до систем енергозабезпечення підприємств. Машинобудівна галузь, зокрема виробництво компресорного та насосного устаткування, належить до категорій виробництв із високою концентрацією автоматизованих робочих місць, робототехнічних комплексів та точних механічних процесів. Завод з виробництва пневмонасосів є складним інфраструктурним об'єктом, ефективність функціонування якого безпосередньо залежить від надійності, безпеки, якості та економічної доцільності його системи електропостачання.

Актуальність даного проєкту обумовлена необхідністю створення такої системи розподілу та споживання електроенергії, яка б мінімізувала технологічні ризики, забезпечувала гнучкість при модернізації виробничих потужностей та відповідала сучасним стандартам енергоефективності. Процес проєктування системи електропостачання є комплексним завданням, що базується на глибокому аналізі технологічних споживачів, їхнього просторового розташування та режимів роботи.

Основою для проєктування системи є детальний аналіз внутрішньої структури підприємства. Завод включає низку різномірних за характером навантаження підрозділів: основні виробничі цехи, допоміжні служби, станцію стисненого повітря, об'єкти хімічних покриттів та теплогенераторну інфраструктуру. Кожна група споживачів має свої специфічні вимоги до надійності живлення (категорійності) та параметрів якості напруги. У зв'язку з цим, першочерговим етапом роботи є математичне визначення силових та освітлювальних навантажень за класичними та уточненими методиками, що дозволяє уникнути як штучного завищення потужності обладнання, так і його перевантаження в процесі експлуатації.

Сучасний підхід до інженерного проєктування вимагає не лише технічної бездоганності рішень, але й їхнього жорсткого економічного

обґрунтування. Оптимізація топології електричних мереж здійснюється шляхом геометричного визначення центру електричних навантажень, що є базою для раціонального розміщення головної розподільної підстанції підприємства. Питання вибору схеми зовнішнього живлення, рівнів напруги, кількості та потужності трансформаторних підстанцій вирішуються шляхом багатоваріантного техніко-економічного аналізу, де критерієм істини виступає мінімум приведених річних витрат при забезпеченні нормативних показників надійності.

Особливе місце у проєкті посідає проблема забезпечення якості електроенергії та електромагнітної сумісності в умовах інтенсивного насичення сучасних підприємств мікропроцесорною технікою та чутливими системами керування. У зв'язку з цим, окрема увага в роботі приділена дослідженню природи імпульсних перешкод в електричних мережах та розробці інноваційних методів захисту елементів вторинної комутації від деструктивних електромагнітних впливів.

Метою роботи є комплексна розробка оптимальної, надійної та економічно ефективної системи зовнішнього та внутрішнього електропостачання заводу по виробництву пневмонасосів з урахуванням сучасних тенденцій автоматизації та цифровізації енергетичних об'єктів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі завдання:

1. Аналіз технологічного процесу підприємства та класифікація електроприймачів за категоріями надійності.
2. Розрахунок очікуваних електричних навантажень силового та освітлювального устаткування.
3. Просторова оптимізація мережі шляхом знаходження центру навантажень підприємства та вибору місця розташування центрального розподільного пункту.
4. Техніко-економічне обґрунтування та вибір раціональної схеми зовнішнього живлення.

5. Розробка системи компенсації реактивної потужності для підвищення енергоефективності мереж.

6. Розрахунок режимів короткого замикання для вибору та перевірки комутаційного і захисного обладнання за умовами термічної та динамічної стійкості.

7. Дослідження електромагнітної обстановки на підприємстві та обґрунтування комплексу заходів щодо захисту систем автоматизації від імпульсних перешкод.

1. Електричні навантаження (параметри електроспоживання)

Оцінка електричних потужностей є фундаментальним етапом проектування будь-якої системи енергозабезпечення. Головна ціль цього процесу — точно визначити обсяги електроенергії, які будуть споживатися різноманітним устаткуванням та інфраструктурними об'єктами на підприємстві. Усі розрахунки базуються на класичних методиках, проте для забезпечення додаткового запасу надійності [1, 2].

1.1. Електричні силові навантаження в мережах підприємства до 1000В

Розрахункове активне навантаження:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_M \quad (1.1)$$

P_{cm} - середньозмінне активне навантаження;

K_M - коефіцієнт максимуму навантаження.

Груповий коефіцієнт використання:

$$K_u = \frac{\sum_1^n P_{cm}}{\sum_1^n P_n} \quad (1.2)$$

Ефективне число електроприймачів в групі (чи вузлі) n_e визначається:

$$n_e = \frac{2 \sum P_n}{P_{n.max}} \quad (1.3)$$

Для даної групи приймачів чи вузла навантаження:

$$Q_p = Q_{cm} \quad (1.4)$$

- при $n_e > 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cm} \quad (1.5)$$

- при $n_e \leq 10$;

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.6)$$

Повна розрахункова потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (1.7)$$

Для прикладу розрахунку (виробничий цех №1).

$$m = \frac{P_{н. \max}}{P_{н. \min}} = \frac{82}{4} = 20,5$$

$$P_{cm} = P_{сум} K_u = 2267 \cdot 0.466 = 1057 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \operatorname{tg} \varphi = 1057 \cdot 0.29 = 311 \text{ кВар}$$

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{н. \max}} = \frac{2 \cdot 2267}{82} = 22$$

Користуючись [1 та 2] знаходимо коефіцієнт максимуму - Км. Для зазначених умов роботи він становить Км=1,2.

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m = 1057 \cdot 1.2 = 1269 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{cm} = 311 \text{ кВар (так як } n_e > 10);$$

Аналогічно проводимо розрахунок також для інших цехів й підрозділів заводу, як показано вище, результати у таблиці 1.1.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл 1.1. Розрахунок низьковольтних електричних навантажень підприємства

Назва підрозділу (Обладнання)	n	P _н сум, кВт	K _и	P _{ср} , кВт	cosφ	tgφ	Q _{ср} , кВар	п _е	K _м	P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА
Виробничий цех №1	119	2267	0,466	1078,14	0,96	0,294	317,53	22	1,2	1294,38	317,22	1332,63
Виробничий цех №2	93	990	0,21	212,16	0,72	0,974	206,55	88	1,13	239,74	206,55	316,48
Виробничий цех №3	106	1544	0,221	348,02	1,029	0,7	358,02	100	1,12	389,78	358,03	529,27
Автомобільний парк	8	67	0,257	14,28	0,813	0,78	17,56	8	1,8	31,62	14,28	34,69
Столярна майстерня	18	111	0,271	30,72	0,939	0,73	28,87	18	1,38	42,43	28,87	51,29
Цех хімічних покриттів	22	670	0,442	302,33	0,62	1,261	381,28	22	1,2	362,77	381,24	526,25
Сховище деревини	5	55	0,2	10,20	0,66	1,138	12,24	5	2,42	24,68	12,24	27,55
Їдальня підприємства	25	520	0,35	185,64	0,61	1,299	241,13	25	1,23	228,38	241,13	332,10
Станція стисненого повітря	5	400	0,6	183,60	0,8	0,75	201,96	5	1,4	342,72	201,96	397,80
Теплогенераторна станція	14	1092	0,598	665,75	0,81	0,725	482,97	9	1,29	858,82	531,22	1009,86

Майданчик збору брухту	5	50	0,2	10,20	0,65	1,155	12,24	5	2,41	24,58	12,24	27,46
Насосна станція конденсату	5	50	0,5	25,50	0,81	0,724	18,46	5	1,58	40,29	20,31	45,12
ВСЬОГО ПО ЗАВОДУ	402	7816	0,39	3130,38	0,81	0,717	2244,00	58	1,13	3537,36	2244,00	4189,04

Освітлювальні навантаження

Встановлена потужність освітлювальних приймачів підприємства, (кВт):

$$P_y = p_0 F \cdot 10^{-3} \quad (1.8)$$

Розрахункове освітлювальне навантаження:

$$P_{p.осв} = K_n P_y \quad (1.9)$$

K_n - коефіцієнт попиту.

K_p - залежить також від типу світильників, які обираються нами до встановлення на підприємстві.

Приклад розрахунку (виробничий цех №1):

$$F = 5400 \text{ м}^2$$

$$P_0 = 19 \text{ Вт / м}^2$$

$$P_y = F \cdot P_0 \cdot 10^{-3} = 5400 \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 102,6 \text{ кВт}$$

$$P_p = K_n K_1 P_y = 0.9 \cdot 1.0 \cdot 102.6 = 92.3 \text{ кВт}$$

Результати розрахунків для залишившихся цехів аналогічні до показаного та зведені у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 Освітлювальні навантаження

Найменування підрозділу	F,м2	P ₀ ,Вт/м2	P _y , кВт	K _c	K ₁	tgφ	P _p , кВт	Q _p , квар
Виробничий цех №1	5400	19	104,65	0,90	1,00	1,73	94,15	162,89
Виробничий цех №2	6300	19	122,09	0,90	1,00	1,73	109,85	190,13
Виробничий цех №3	4200	19	81,40	0,90	1,00	1,73	73,24	126,68
Автомобільний парк	900	14	12,85	0,80	1,00	1,73	10,30	17,75
Столярна майстерня	450	17	7,80	0,90	1,00	1,73	7,04	12,14
Цех хімічних покриттів	650	19	12,60	0,90	1,00	1,73	11,32	19,58
Сховище деревини	850	9	7,80	0,60	1,00	1,73	4,69	8,06
Станція стисненого повітря	650	10	6,63	0,70	1,00	1,73	4,69	8,06
Теплогенераторна станція	780	10	7,96	0,70	1,00	1,73	5,61	9,59
Майданчик збору брухту	310	9	2,85	0,60	1,00	1,73	1,73	2,96
Насосна станція конденсату	260	9	2,39	0,70	1,00	1,73	1,63	2,86
Територія заводу	73000	0,4	29,78	0,70	1,00	1,73	20,81	36,11
Всього по заводу							345,07	597,01

1.3. Електричні силові навантаження в мережі підприємства вище 1000В

Цей розрахунок виконується відповідно до рекомендацій літературних джерел [3, 4, 5]. При цьому обов'язковим моментом є факт врахування втрат потужності у силових трансформаторах.

$$\Delta P = n(\Delta P_x + \Delta P_K K_3^2) \quad (1.10)$$

$$\Delta Q = n\left(\frac{I_x}{100} S_H + \frac{U_K}{100} S_H K_3^2\right) \quad (1.11)$$

де n – кількість трансформаторів;

$\Delta P_x, \Delta P_k$ – втрати відповідно х.х і к.з., %;

K_z – коефіцієнт завантаження трансформаторів;

Кінцеві результати розрахунків силових та освітлювальних електричних навантажень у мережах напругою вищими за 1000 В наведено у таблиці 1.3.

Табл. 1.3 Розрахунок високовольтних електричних навантажень підприємства

Найменування вузла / підрозділу	п	Рн сум, кВт	Ки	Середн. Рср, кВт	cosφ	tgφ	Середн. Qср, кВар	пе	Км	Розр. Рр, кВт	Розр. Qр, кВар	Sp, кВА
ТП 1, 2												
Виробничий цех №1 (Силове)	119	2252	0,466	1071,00	0,96	0,294	315,18	22	1,2	1294,38	317,22	-
Освітлювальне	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93,84	163,20	-
Освітлення території	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,50	44,88	-
Втрати в тр-рах (3х630 кВА)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,40	35,70	-
Комп. Пристрої 0,4 кВ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-295,80	-
Всього на шинах 10 кВ ТП 1, 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1434,12	265,20	1458,43
ТП 3												
Виробничий цех №2 (Силове)	93	990	0,21	211,14	0,72	0,974	213,18	88	1,13	239,70	207,06	-
Освітлювальне	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110,16	189,72	-
<i>Всього по цеху №2</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<i>349,86</i>	<i>396,78</i>	-
Столярна майстерня (Силове)	18	110	0,27	30,60	0,94	0,73	28,56	18	1,38	42,43	28,87	-
Освітлювальне	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,14	12,24	-
<i>Всього по майстерні</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<i>49,57</i>	<i>41,11</i>	-
Сховище деревини (Силове)	5	50	0,20	12,24	0,66	1,14	10,20	5	2,42	24,48	13,26	-
Освітлювальне	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,10	8,16	-
<i>Всього по сховищу</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<i>29,58</i>	<i>21,42</i>	-
Майданчик збору брухту (Силове)	5	50	0,20	12,24	0,65	1,15	10,20	5	2,41	24,58	12,24	-
Освітлювальне	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,73	2,96	-

<i>Всього по майданчику</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,32	15,20	-
Цех хімічних покриттів (Силове)	22	670	0,44	301,92	0,62	1,26	379,44	22	1,20	362,10	381,48	-
Освітлювальне	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,22	19,38	-
<i>Всього по цеху</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	373,32	400,86	-
Всього по ТП 3 (Силове)	143	1870	0,30	566,10	0,66	1,14	643,62	67	1,12	634,03	643,62	-
Всього по ТП 3 (Освітлювальне)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	135,35	232,56	-
Всього по ТП 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	769,39	876,18	1166,04
Втрати в тр-рах (2х630 кВА)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,34	79,56	-
Комп. Пристрої 0,4 кВ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-220,32	-
Всього на шинах 10 кВ ТП 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	786,73	655,86	1024,25
ТП 4												
Виробничий цех №3 (Силове)	106	1544	0,22	358,02	1,03	0,70	347,82	100	1,12	389,64	358,02	-
Освітлювальне	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73,44	126,48	-
<i>Всього по цеху №3</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	463,08	484,50	-
Станція стисненого повітря (Силове)	5	400	0,60	244,80	0,80	0,75	183,60	5	1,40	342,72	201,96	-
Освітлювальне	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,69	8,06	-
<i>Всього по станції</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	347,41	210,02	-
Всього по ТП 4 (Силове)	111	1944	0,30	592,62	0,74	0,91	541,62	39	1,20	711,14	541,62	-
Всього по ТП 4 (Освітлювальне)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83,64	142,80	-
Всього по ТП 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	794,78	684,42	1048,87
Втрати в тр-рах (2х630 кВА)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,28	67,32	-
Комп. Пристрої 0,4 кВ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-220,32	-
Всього на шинах 10 кВ ТП 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	809,06	531,42	967,98

ТП 5												
Теплогенераторна станція (Силове)	14	1092	0,60	666,06	0,81	0,72	482,46	9	1,29	858,84	531,42	-
Освітлювальне	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,61	9,59	-
<i>Всього по станції</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<i>864,45</i>	<i>541,01</i>	-
Автопарк (Силове)	8	65	0,26	17,34	0,81	0,78	14,28	8	1,80	31,62	14,28	-
Освітлювальне	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,20	17,34	-
<i>Всього по автопарку</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<i>41,82</i>	<i>31,62</i>	-
Насосна станція конденсату (Сил.)	5	50	0,50	18,36	0,81	0,72	25,50	5	1,58	39,78	20,40	-
Освітлювальне	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,63	2,86	-
<i>Всього по станції</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<i>41,41</i>	<i>23,26</i>	-
Всього по ТП 5 (Силове)	27	1207	0,58	515,10	0,81	0,73	708,90	10	1,24	879,04	515,10	-
Всього по ТП 5 (Освітлювальне)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,40	32,64	-
Всього по ТП 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	899,44	547,74	1053,09
Втрати в тр-рах (2х630 кВА)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,30	69,36	-
Комп. Пристрої 0,4 кВ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-220,32	-
Всього на шинах 10 кВ ТП 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	914,74	396,78	997,08
ВСЬОГО ПО ЗАВОДУ												
Силове	402	7816	0,42	3063,06	0,74	0,91	3362,94	63	1,13	3800,11	1849,26	4225,86
Освітлювальне	-	-	-	-	-	-	-	-	-	367,20	635,46	-
Всього	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4167,31	2484,72	-
Втрати в трансформаторах (9х630)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	68,34	309,06	-
Комп. Пристрої 0,4 кВ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-957,78	-
Всього ПО ЗАВОДУ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4235,65	1836,00	-
Комп. Пристрої 10 кВ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1224,00	-
Всього на шинах 10 кВ ЦРП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4235,65	612,00	4279,92

1.4. Графіки електричних навантажень

Споживану активну й реактивну електричну енергію в умовах проектування можливо визначити наступними виразами:

$$W_z = \sum P_i T_i \quad (1.12)$$

$$V_z = \sum Q_i T_i \quad (1.13)$$

Час годин використання максимального навантаження та час найбільших втрат:

$$T_{\max} = \frac{\sqrt{W_z^2 + Q_z^2}}{P_P} \quad (1.14)$$

$$\tau = (0.124 + \frac{T_{\max}}{10^4})^2 \cdot 8760 \quad (1.15)$$

Програма для побудови річного графіку за тривалістю			
Робочі дні:			
Зимові	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:		Кількість днів робочих:
	Wг= 9462684		зимою 147
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:		літом 105
Літні	Vг= 1581567,12		
	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:		Кількість днів вихідних:
	Wг= 6644778,525		зимою 65
Вихідні дні:	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:		літом 48
	Vг= 960237,18		
	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:		
Зимові	Wг= 1858106,25		
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:		
	Vг= 171054		
Літні	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:		
	Wг= 1166319		
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:		
Vг= 107369,28			
Час використання максимального навантаження, год:			
Tм = 4519,43755			
Час максимальних втрат, год:			
τм = 2905,79019			

Графіки навантажень представлені на рис. 1.1. – 1.5.



Рис.1.1. Витрата активної потужності в робочий день



Рис.1.2. Витрата активної потужності у вихідний день



Рис.1.3. Витрата реактивної потужності в робочий день



Рис.1.4. Витрата реактивної потужності у вихідний день



Рис.1.5. Річний графік споживання за тривалістю

2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (ЦРП)

Картограма навантажень слугує інструментом для візуалізації розподілу енергоспоживання на генеральному плані заводу. Вона дозволяє визначити оптимальне місце для встановлення Центральної розподільчої підстанції (ЦРП).

Значення радіуса кола визначається за формулою площі кола (2.1).

Кут сектора – освітлювальне навантаження (формула 2.4) пропорційний відношенню потужності освітлення до повного навантаження цеху.

Координати центру електричних навантажень підприємства (X,Y).

$$P_i = \pi R_i^2 m \quad (2.1)$$

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}} \quad (2.2)$$

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.3)$$

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{\pi R_i^2} \quad (2.4)$$

Приклад. Виробничий цех №1

$$R = \sqrt{\frac{P}{\pi * m}} = \sqrt{\frac{P_{Pocс} + P_{Pcил}}{\pi * m}} = \sqrt{\frac{1269 + 92}{3,14 * 0,3}} = 38,44$$

$$\alpha = \frac{P_{Pocс} * 360^0}{\pi * R^2} = \frac{92 * 360^0}{3,14 * 38^2} = 7^0$$

Підсумок розрахунків заносимо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1. Дані для побудови картограми навантажень та розрахунку ЦЕН

№п/п	Назва підрозділу	m	Pp осс	Pp сил	Pp сил + Pp осс	R	α	Xi	Yi	Pi * Xi	Pi * Yi
1	Виробничий цех №1	0,4	94	1294	1388	33	10	17	8	23596	11104
2	Виробничий цех №2	0,4	110	316	426	18	37	12	8	5112	3408
3	Виробничий цех №3	0,4	73	529	602	22	17	17	12	10234	7224
4	Автомобільний парк	0,4	10	35	45	6	32	13	14	585	630
5	Столярна майстерня	0,4	7	51	58	7	17	9	6	522	348
6	Цех хімічних покриттів	0,4	11	526	537	21	3	14	10	7518	5370
7	Сховище деревини	0,4	4	27	31	5	19	8	6	248	186
8	Ідальня підприємства	0,4	4	332	336	16	2	13	11	4368	3696
9	Станція стисненого повітря	0,4	5,0	398	403	18	2	13	13	5239	5239
9	Теплогенераторна станція	0,4	2,0	1010	1012	28	0	13	13	13156	13156
10	Майданчик збору брухту	0,4	2,0	27	29	5	10	15	7	435	203
11	Насосна станція конденсату	0,4	2,0	45	47	6	6	12	12	564	564

$$X_0 = 14,57 \text{ см}$$

$$Y_0 = 10,40 \text{ см}$$

3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства

У даній роботі можливим джерелом електрозабезпечення підприємства з розрахунковим навантаженням є п/ст енергосистеми - з двома трансформаторами потужністю 10 МВ·А 35/10 кВ. Відстань між підстанцією і заводом $L = 2,6$ км.

Тобто порівнюватимемо 2 схеми зовнішнього електропостачання

а) з напругою 35 кВ; б). з напругою 10 кВ.

Приведені витрати:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{\text{втр.і}} + Y_i \quad (3.1)$$

де E_n - коефіцієнт нормативний, 1/рік;

K_i - капітальні підсумкові витрати у нашу схему, тис. грн.;

C_i - поточні витрати, тис.грн./рік;

$C_{\text{втр.і}}$ - вартість втрат електричної енергії, тис.грн./рік;

Y_i - ймовірнісний збиток від переривів в електропостачанні об'єкту, тис.грн/рік.

$$C_i = C_{ai} + C_{ei} \quad (3.2)$$

$$C_{\text{втр}} = c_0 \Delta W \quad (3.3)$$

де C_0 - вартість втрат однієї кВт·год електроенергії, (грн.)

ΔW - втрати електричної енергії в повітряних та кабельних лініях електропередач, кВт·год;

$$\Delta W = \Delta P_{\text{лкм}} I_{\Sigma}^2 K_3^2 \tau \quad (3.4)$$

де $\Delta P_{1KM} - l_{\Sigma} - K_3 - \tau$ – відповідно питомі втрати активної потужності на 1 км довжини; сумарна довжина ліній електропередачі, км; коефіцієнт завантаження зазначених ліній; кількість годин максимальних річних втрат.

Втрати електричної енергії в трансформаторах:

$$\Delta W = \Delta P_x t + \Delta P_K K_3^2 \tau \quad (3.5)$$

Збитки визначаються наступним чином:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (3.6)$$

де λ_i – параметр потоку відмов одного із елементів дослідної системи електропостачання застосованих у проєктуванні, 1/рік;

n - кількість застосованих елементів у колі схеми.

Середній час відновлення однієї лінії (годин) (ланцюга схеми):

$$T_{\epsilon} = \frac{\sum \lambda_i T_{\epsilon i}}{\lambda} \quad (3.7)$$

Загальна методика [6] розрахунку найекономічнішого варіанту. На її основі здійснюється техніко-економічне зрівняння 2-х варіантів схем зовнішнього електропостачання

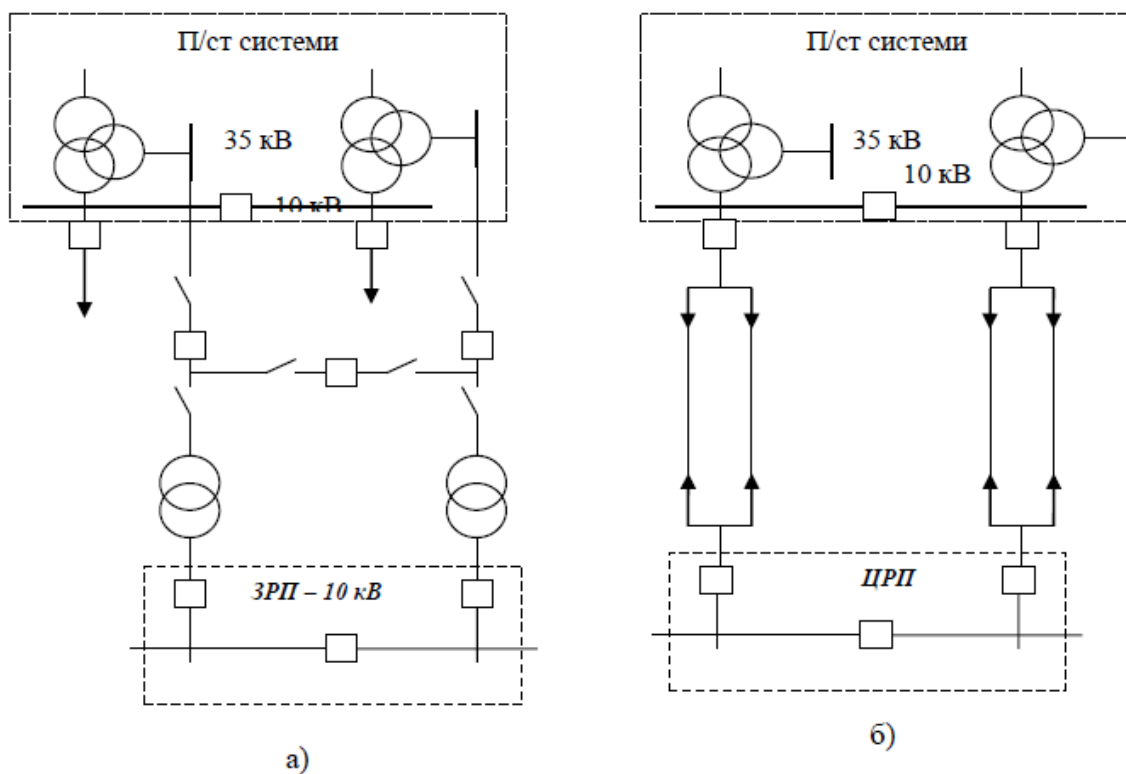


Рис. 3.1. Можливі варіанти схеми зовнішнього електропостачання заводу

Розрахунки по I варіанту

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
1	ЛЕП 35 кВ на з/б опорах	км	2,6	964	2506,4
	ВРП 35 кВ	шт.	1	500	500
	2 x ТМН-1600/35	шт.	2	8500	17000
Всього					20006,4

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

№ вар	Назва елемента схеми	К _ж , тис.грн.	Р _{аж} , %	С _{аж} , тис.грн.	Р _{эж} , %	С _{эж} , тис.грн.	С _ж , тис.грн.
1	ЛЕП 35 кВ на з/б опорах	2506,4	5	125,32	5	125,32	250,64
	ВРП 35 кВ	500	15	75	5	25	100
	2 x ТМН-1600/35	17000	15	2550	5	850	3400
Всього							3750,64

Розрахунок збитку від перерви електропостачання

$$U = U_0 P_{cp} T_a = 26 \cdot 2,18 \cdot 0,01935 = 1,1$$

Розрахунки по II варіанту

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
2	КЛ 10 кВ	км	5,2	1400	7280
	Траншея	км.	2,6	25	65
	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	157	314
Всього					7659

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

№ вар	Назва елемента схеми	К _ж , тис.грн.	Р _{аж} , %	С _{аж} , тис.грн.	Р _{эж} , %	С _{эж} , тис.грн.	С _ж , тис.грн.
2	КЛ 10 кВ	7280	5	364	5	364	728
	Траншея	65	5	3,25	5	3,25	6,5
	Шафи КРП серії КУ-10	314	15	47,1	5	15,7	62,8
Всього							797,3

Розрахунок збитку від перерви електропостачання

$$U = U_0 P_{cp} T_a = 21 \cdot 2,18 \cdot 0,01071 = 0,49$$

Результати наведених вище розрахунків заносимо у таблицю № 3.5.

Таблиця 3.5. Техніко – економічні показники розглянутих схем

Показники схеми	Варіанти (тис. грн)	
	I	II
Капітальні вкладення	20006,4	7659
Поточні витрати	3750,64	797,3
Вартість втрат електроенергії	2021,89	2151,85
Збиток	1,1	0,49
Приведені витрати	8174,398	3868,72

4. Компенсация реактивной мощности

Навантаження на стороні 0.4 кВ:

$$P_H = 3537 \text{ кВт}$$

$$Q_H = 2244 \text{ квар}$$

Сумарне навантаження по заводу:

$$P_p = P_H + \Delta P_{тр} = 3537 + 68 = 3605 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_H + \Delta Q_{тр} = 2244 + 309 = 2553 \text{ квар}$$

$$\text{де } \Delta P_{тр} = 68 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{тр} = 309 \text{ квар}$$

Реактивна потужність, яка передається від енергосистеми:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi_z = 3605 \cdot 0,15 = 540 \text{ квар}$$

Реактивна потужність, яку треба скомпенсувати:

$$Q_{ку} = Q_p - Q_e = 2553 - 540 = 2013 \text{ квар}$$

Визначення мінімальної кількості трансформаторів:

$$N_0 = \frac{3468 + 338}{0,7 \cdot 630} = 8,6$$

Приймаємо $N_0 = 9$ тр-рів

						Арк.

Надалі розглядаються варіанти при кількості тр-рів
 $N = N_0, N = N_0 + 1, N = N_0 + 2$

1-й Варіант $N = N_0 = 9$ тр-рів

Реактивна потужність, передавана із мережі 10 кВ до мережі до 1 кВ при встановленні мінімальної кількості N трансформаторів:

$$Q_n = \sqrt{(N \cdot K_z \cdot S_{ном})^2 - P_n^2} = \sqrt{(9 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 3806^2} = 1676 \text{квар}$$

$$Q_{KH} = Q_H - Q_1 = 2612 - 1677 = 935 \text{квар}$$

Потужність КП на стороні напругою 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_H - Q_{KH} - Q_{\Sigma} = 2612 - 936 - 486 = 1190 \text{квар}$$

Розрахунок 2-х інших варіантів $N = N_0 + 1$ та $N = N_0 + 2$ виконується аналогічно.

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$З = (89,88 + 56,84 + 0) \cdot 0,12 + (4,2 + 2,97 + 5,9) \cdot 5,217 \cdot 2939 \cdot 10^{-3} = 193,94 \text{тис.грн.}$$

Результати зазначених розрахунків надано у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Баланс реактивної потужності

Показники	Одиниця виміру	Варіант		
		1	2	3
Потужність КП в мережі 0,4 кВ	квар	935	65	0
Потужність КП в мережі 10 кВ	квар	1180	2065	2123
Споживання реактивної потужності із системи	квар	485	485	485
Всього за умовою балансу	квар	2613	2613	2613
Затрати на компенсацію	Тис.грн.	193,94	249,36	322,69

Найбільш доцільним виявився 1-й варіант (9 трансформаторів)

Таблиця 4.2. Вибір місця розташування тп потужності батарей конденсаторів
на стороні 0,4 кВ

№ ТП	К-сть тр-рів	S _н , кВА	Тип КП	К-сть КП	Q _Σ , квар	Місце встановлення КП
ТП 1,2	3	630,0	УКН-0,38-108У3 УКН-0,38-75У3	2 1	216,0 75,0	ТП 1 Шини 0,4 кВ ТП 2 Шини 0,4 кВ
ТП 3	2	630,0	УКН-0,38-108У3	2	216,0	ТП 3 Шини 0,4 кВ
ТП 4	2	630,0	УКН-0,38-108У3	2	216,0	ТП 4 Шини 0,4 кВ
ТП 5	2	630,0	УКН-0,38-108У3	2	216,0	ТП 5 Шини 0,4 кВ
			УКЛН-10-600 У3	2	1200,0	Шини 10 кВ ЦРП

5. Трансформаторні підстанції

На промислових об'єктах система внутрішнього електропостачання може реалізовуватися із застосуванням як одностансформаторних, так і двотрансформаторних цехових підстанцій. Остаточний вибір конфігурації визначається характером електричних навантажень, категорією надійності споживачів, безперервністю технологічного процесу та економічною доцільністю впровадження резервування.

Одностансформаторні підстанції відзначаються простішою конструкцією, меншими капітальними витратами та нижчими експлуатаційними затратами. Їх доцільно застосовувати на підприємствах із помірними навантаженнями або там, де допускаються короткочасні перерви електропостачання на час переключення живлення. Такі підстанції часто використовують для забезпечення електроенергією споживачів III категорії, а також окремих споживачів II категорії за наявності централізованого резерву трансформаторної потужності на підприємстві.

На великих промислових підприємствах, де передбачено резервні трансформатори або можливість оперативного перепідключення навантаження, одностансформаторні підстанції можуть забезпечувати живлення навіть відповідальних електроприймачів. У випадках, коли частка навантаження споживачів I категорії є відносно невеликою та не перевищує приблизно 15–20 % номінальної потужності трансформатора, допускається використання схем резервування на стороні низької напруги. Для цього застосовують автоматичний ввід резерву (АВР), який забезпечує швидке переключення живлення на резервне джерело у разі аварійного відключення основного трансформатора.

Двотрансформаторні підстанції, у свою чергу, характеризуються підвищеним рівнем надійності та гнучкістю експлуатації. Вони широко використовуються на підприємствах із безперервним виробничим циклом, де навіть короткочасне знеструмлення може призвести до значних матеріальних

втрат, пошкодження обладнання або порушення технологічного процесу. За нормального режиму роботи навантаження між трансформаторами розподіляється рівномірно, а у разі виходу одного агрегату з ладу інший забезпечує живлення найбільш відповідальних споживачів.

Крім забезпечення резервування, застосування двох трансформаторів дозволяє зменшити втрати електроенергії при змінному графіку навантажень, підвищити ремонтпридатність системи та створити умови для подальшого розвитку підприємства без суттєвої реконструкції мережі. Таким чином, вибір типу цехової підстанції повинен базуватися не лише на величині навантаження, а й на комплексному аналізі надійності електропостачання, перспектив росту виробництва та економічної ефективності експлуатації електроустановки.

Вибір цехових КТП здійснюємо у вигляді таблиці (див. табл. 5.1)

Таблиця 5.1. Вибір цехових трансформаторних підстанцій

№ТП	Sp, кВА	Sном, кВА	N	Марка трансф.	Kз	Kз.ав.	Тип КТП	Місце розташуван ня
1,2	1458	630,0	3	ТМ- 630/10	0,76	1,14	вбудована	Виробничий цех №1
3	1166	630,0	2	ТМ- 630/10	0,79	1,6відкл III кат.	вбудована	Виробничий цех №2
4	1048	630,0	2	ТМ- 630/10	0,75	1,47 відкл III кат.	прибудова на	Виробничий цех №3
5	997	630,0	2	ТМ- 630/10	0,77	1,55 відкл III кат.	прибудова на	Теплогенера торна

*Обрана потужність цехових КТП ще обов'язково має перевіряється щодо їх аварійного перевантаження

$$S_{доп} = 1,4 S_{ном} \geq S_{ав} \quad (5.1)$$

6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань

Проектування надійних електроенергетичних систем обов'язково базується на детальному аналізі струмів короткого замикання (КЗ). Метою таких обчислень є виявлення граничних значень аварійних струмів, що можуть виникнути в мережі. Ці дані є критично важливими для комплектування системи адекватною комутаційною та захисною апаратурою (автоматичними вимикачами, реле, запобіжниками тощо). Їх коректний вибір гарантує миттєву локалізацію пошкодженої ділянки, мінімізує ризики руйнування обладнання та забезпечує загальну безпеку експлуатації.

У межах цієї кваліфікаційної роботи передбачено розрахунок таких ключових параметрів:

початкового значення періодичної складової струму КЗ, що знаходиться за таким виразом:

$$I_{п0} = I'' = \frac{E''}{\sqrt{3} \cdot X_{PE3}}, \quad (6.1)$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}} \right), \quad (6.2)$$

$$T_a = \frac{X_{PE3}}{\omega I''_{PE3}}, \quad (6.3)$$

де

Розрахунок виконуємо на комп'ютерній техніці на прикладній програмі TKZ-RS, яка дозволяє точно визначити струми КЗ як на стороні 10 кВ так і на шинах 0,4 кВ кожної з КТП.

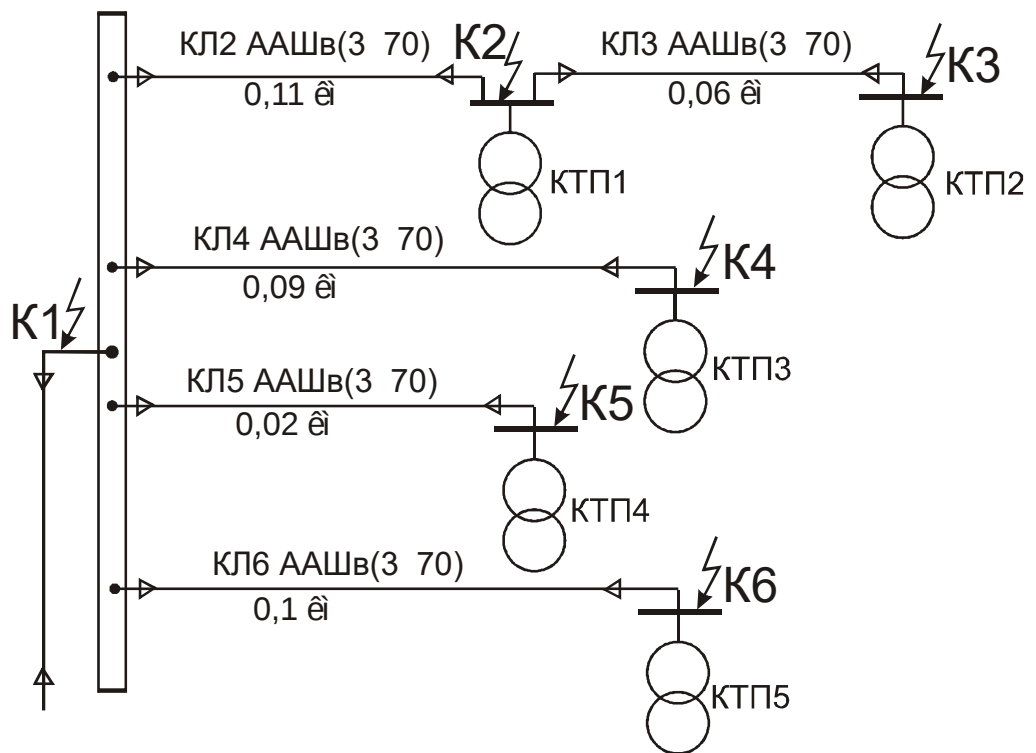


Рис.6.1. Розрахункова схема електричної мережі

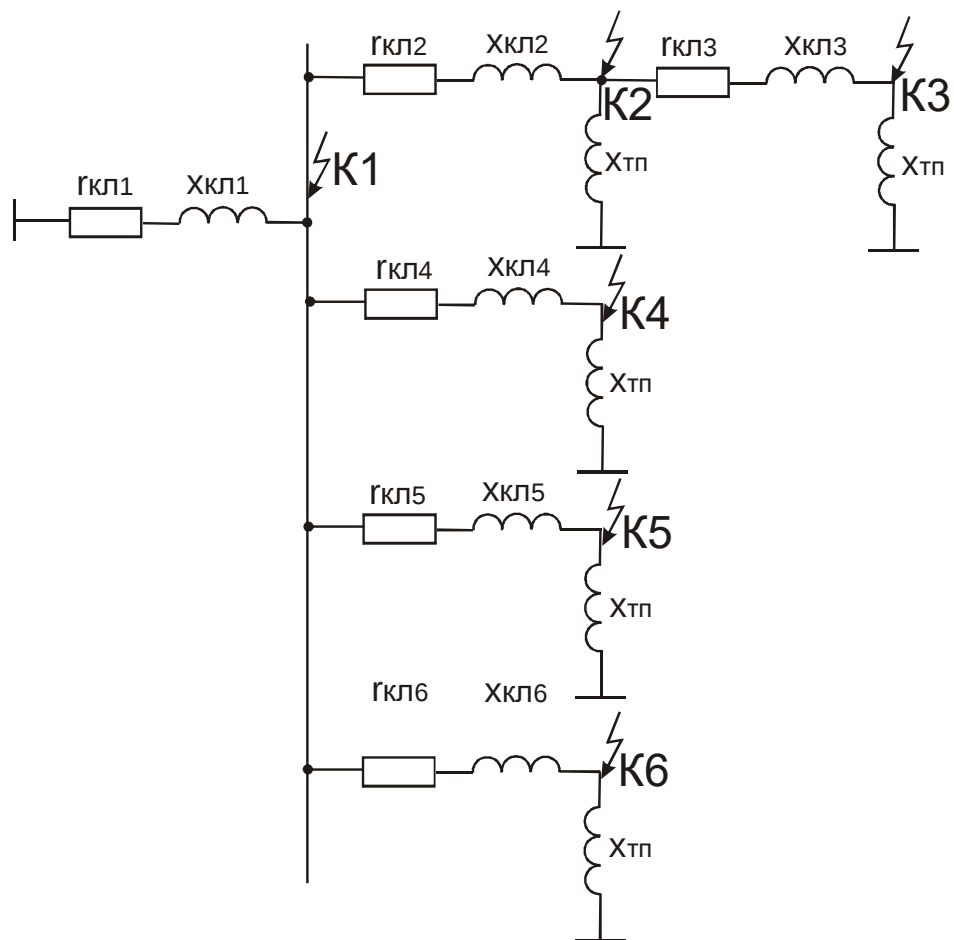


Рис.6.2. Схема заміщення електричної мережі

Табл. 6.1. Струми КЗ в максимальному режимі

N п/п	Начало	Конец	Z трассы (к Un ВН) [Ом]	I кз 3-фазн. [кА]	I кз удар. [кА]
1	0	1	0.1432	6.4805	15.1151
2	1	ЦРП	0.5923	4.4692	7.6115
3	ЦРП	ТП1	0.6633	4.2688	7.0746
-	НН	ТП1	0.0052	15.9987	30.7219
4	ТП1	ТП2	0.7035	4.1670	6.8160
-	НН	ТП2	0.0052	15.9460	30.5348
5	ЦРП	ТП3	0.6499	4.3040	7.1658
-	НН	ТП3	0.0052	16.0166	30.7844
6	ЦРП	ТП4	0.6056	4.4316	7.5071
-	НН	ТП4	0.0041	16.0786	31.0064
7	ЦРП	ТП5	0.6561	4.2863	7.1201
-	НН	ТП5	0.0052	16.0075	30.7532

Табл. 6.2. Струми КЗ в мінімальному режимі

N п/п	Начало	Конец	Z трассы (к Un ВН) [Ом]	I кз 3-фазн. [кА]	I кз 2-фазн. [кА]
1	0	1	0.1154	6.1754	5.3483
2	1	ЦРП	0.5686	4.2587	3.6882
3	ЦРП	ТП1	0.6396	4.0672	3.5225
-	НН	ТП1	0.0052	15.2081	13.1704
4	ТП1	ТП2	0.6777	3.9697	3.4379
-	НН	ТП2	0.0052	15.1576	13.1268
5	ЦРП	ТП3	0.6242	4.1009	3.5515
-	НН	ТП3	0.0041	15.2247	13.1850
6	ЦРП	ТП4	0.5820	4.2228	3.6571
-	НН	ТП4	0.0041	15.2840	13.2363
7	ЦРП	ТП5	0.6304	4.0841	3.5369
-	НН	ТП5	0.0052		

6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Вибираємо переріз та марку жил кабелів згідно [10] за економічною щільністю струму.

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} \quad (6.4)$$

де $j_{ек}=1,4 \text{ А/мм}^2$

Перевіряємо кабелі за наступними умовами:

$$1. I_{роб.форс.} \leq I_{доп} \quad (6.5)$$

$$2. F_{min} \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C} \quad (6.6)$$

$$C=91 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$$

Приклад (розрахунок для КЛ-4).

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1004}{\sqrt{3} \cdot 10} = 58 \text{ А}$$

$$F = \frac{58}{1,4} = 42 \text{ мм}^2$$

Обраний кабель ААШв-10 (3×70), у котрого $I_{доп}=165,00 \text{ А}$.

Перевірка за умовами:

$$1) 58 < 165;$$

$$2) F_{min} = \frac{\sqrt{4300^2 \cdot 1,575}}{91} = 59,4 \text{ мм}^2, \text{ тобто } 70 > 59,4$$

Таким чином, даний обраний кабель задовольняє усім умовам.

Щодо результатів розрахунку – див. таблиця 6.3.

Табл. 6.3. Вибір кабельних ліній 10 кВ заводу

№ КЛ	Sp, кВА	Ip, А	Переріз, мм ²	Кількість КЛ	Марка кабелю	Призначення
КЛ-2	1430,0	83,1	70,0	2	ААШВ(3×70)	Магістраль ЦРП-КТП1
КЛ-3	495,0	29,2	70,0	1	ААШВ(3×70)	Лінія КТП1-КТП2
КЛ-4	1004,0	58,1	70	2	ААШВ(3×70)	Лінія ЦРП-КТП3
КЛ-5	977,0	56,2	70	2	ААШВ(3×70)	Лінія ЦРП-КТП4
КЛ-6	949,0	55,1	70	2	ААШВ(3×70)	Лінія ЦРП-КТП5

6.3. Вибір електрообладнання

Вибір комутаційних апаратів (вимикачів)

Вибір вимикачів виконується згідно наступних параметрів:

Напруги
$$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{ном}} \quad (6.7)$$

Струму
$$I_{\text{ном}} \leq I_{\text{ном}}; I_{\text{роб.форс}} \leq I_{\text{ном}} \quad (6.8)$$

$$I_{\text{н.т}} \leq I_{\text{відк.ном}} \quad (6.9)$$

Здатності на відключення
$$i_{\text{а.т}} \leq i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} * I_{\text{відк.ном}} * (1 + \beta_{\text{н}}) \quad (6.10)$$

Ударним струмом
$$i_{\text{у}} \leq i_{\text{вкл}}; I_{\text{н.о.}} \leq I_{\text{вкл}} \quad (6.11)$$

Термічною стійкістю
$$B_{\text{к}} \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}} \quad (6.12)$$

На ЦРП заводу, приймаємо до застосування комірки розподільчі КУ-10Ц, які випускаються у комплекті з вимикачами вакуумного типу ВР-1.

Щодо результатів розрахунку – див. таблицю 6.4.

Табл. 6.4. Вибір вимикачів 10 кВ

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10,0 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10,0 кВ
242,1 А	$I_{роб\,форс} \leq I_{ном}$	630,0 А
4,46 кА	$I_K \leq I_{динс}$	20,0 кА
7,88 кА	$i_y \leq 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{динс}$	51,0 кА
4,46 кА	$I_{нт} \leq I_{ном\,відкл}$	20,0 кА
$\sqrt{2} \cdot 4,3 + 3,43 = 7,39 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{ном\,т} + i_{ат} \leq \sqrt{2} \cdot I_{ном\,відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,25) = 35,26 \text{ кА}$
$4,3^2 (0,03 + 1,5 + 0,045) = 29 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вибір трансформаторів власних потреб (ТВП)

Оптимальне комплектування системи власних потреб (ВП) трансформаторним обладнанням вимагає комплексного аналізу техніко-економічних та експлуатаційних критеріїв. Процес вибору базується на таких ключових аспектах:

1. Навантажувальна здатність (потужність). Обрана потужність агрегатів має гарантовано покривати енергетичні потреби всіх підключених струмоприймачів незалежно від поточного стану системи (штатний, ремонтний чи післяаварійний режим). При цьому обов'язково враховуються розрахункові коефіцієнти попиту та одночасності роботи, а також закладається експлуатаційний запас.

2. Відповідність класів напруги. Номінали первинної та вторинної обмоток повинні строго корелювати з характеристиками живильного джерела та місцевої мережі ВП (як правило, це стандартні значення 0,4 кВ або 0,69 кВ).

3. Топологія та резервування. Для гарантування безперебійного живлення критично важливих вузлів інфраструктури застосовується схема з

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двома або більше трансформаторними одиницями. Це забезпечує стовідсоткове взаєморезервування у разі виходу з ладу одного з апаратів.

4. Стійкість до перехідних процесів. Обладнання має бути розраховане на стабільне функціонування під час тривалих і пікових навантажень, а також безболісно витримувати термічні та динамічні впливи від струмів короткого замикання і пускових струмів потужної моторної тяги.

5. Експлуатаційний ресурс і надійність. До трансформаторів висуваються жорсткі вимоги щодо якості ізоляції, ремонтпридатності, довговічності та повної відповідності чинним стандартам безпеки.

Комплексний підхід до розрахунку та вибору ТВП є запорукою створення стійкої, безпечної та рентабельної інфраструктури для безперебійного живлення допоміжних систем енергооб'єкта.

Розрахункове навантаження ТВП:

$$S_{розр} = K_C \cdot \sqrt{(P_{встр}^2 + Q_{встр}^2)}, \quad (6.16)$$

$K_C = 0,80$ - коефіцієнт попиту

Також є інша умова вибору потужності ТВП:

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} \quad (6.17)$$

Споживачі власних потреб споживають наступну потужність:

$$S_{розр} = K_C \cdot \sqrt{(P_{встр}^2 + Q_{встр}^2)} = 0,8 \cdot \sqrt{17^2 + 0^2} = 16 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} = \frac{16}{1,4} = 11,4 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

Обираємо для ЦРП трансформатори ВП ТМЗ – 25/10 із наступними параметрами:

$$S_{\text{НОМ}} = 25,0 \text{ кВА}, U_{\text{ВН}} = 10 \text{ кВ}, U_{\text{НН}} = 0,4 \text{ кВ},$$

$$K_3 = \frac{S_{\text{роз}}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{16}{25} = 0,64.$$

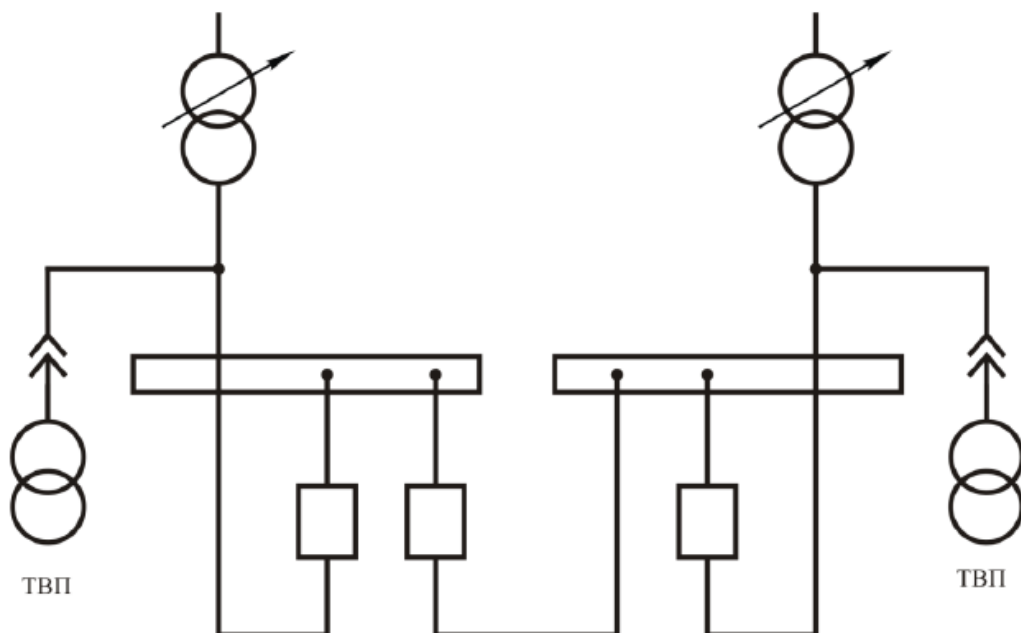


Рис. 6.3. Схема під'єднання ТВП на ЦРП підприємства

7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ РОБОТИ КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТА ЗАПОБІГАННЯ ІМПУЛЬСНИМ ПЕРЕШКОДАМ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

7.1. Джерела та механізми виникнення імпульсних перешкод

Імпульсні перешкоди є критичним фактором, що впливає на надійність роботи ланцюгів вторинної комутації. Вони генеруються внаслідок різноманітних збурень, які відбуваються у первинних високовольтних ланцюгах. До головних причин таких збурень відносять:

- Виникнення коротких замикань (КЗ) на землю безпосередньо у високовольтних мережах.
- Процеси комутації, що здійснюються за допомогою роз'єднувачів, короткозамикачів та високовольтних вимикачів.
- Спрацьовування розрядників, призначених для захисту від перенапруг.

Під час цих комутацій або замикань на землю ініціюється потужний перехідний процес. Фізика цього процесу полягає у швидкому розряді електричних ємностей високовольтного обладнання та збірних шин безпосередньо на землю. Як наслідок, через заземлювач починає протікати інтенсивний імпульсний струм високої частоти. Це призводить до раптового та небезпечного підйому потенціалу як на самому заземлювальному пристрої обладнання, так і в епіцентрі короткого замикання. Надалі цей підвищений потенціал, хоча і з певним коефіцієнтом ослаблення, поширюється через кабельні лінії зв'язку. Зрештою, він потрапляє на входні клеми чутливих пристроїв систем релейного захисту та комплексів технологічного управління, створюючи загрозу їх хибного спрацьовування або пошкодження.

7.2. Методологія імітаційних випробувань та вимірювань

Для того, щоб достовірно оцінити масштаби та характеристики імпульсних перешкод, на об'єктах проводяться спеціалізовані імітаційні випробування.

Процедура імітації струму КЗ:

- Для генерування високочастотної складової струму застосовується генератор високочастотних імпульсів (ГВЧІ).
- Схема підключення передбачає приєднання одного виходу генератора до заземлюючого провідника того обладнання, від якого відходять кабелі до систем автоматики, релейного захисту та управління.
- Другий вихід ГВЧІ заземлюється на значній відстані — не менше 50 метрів від досліджуваного обладнання.
- У контур заземлення подається тестовий сигнал у вигляді коливального загасаючого імпульсу. Його параметри: амплітуда струму становить до 10 А, декремент коливаний знаходиться в межах 3-5, а частота генерації встановлюється на рівнях 0,5, 1,0 та 2,0 МГц.

Реєстрація параметрів:

- Під час подачі тестового імпульсу проводиться фіксація рівнів перешкод безпосередньо на вводах апаратури систем технологічного управління.
- Паралельно фіксується імпульсний потенціал самого заземлювального пристрою та визначається його імпульсний опір.
- Для забезпечення точності, вимірювання потенціалу здійснюється відносно опорної точки, яка віднесена мінімум на 50 метрів від місця інжекції струму, у напрямку, протилежному до точки заземлення ГВЧІ.

Особливості розподілу потенціалу: Високочастотний характер струму спричиняє вкрай нерівномірний розподіл електричного потенціалу по площі заземлюючого пристрою. Динаміка спадання цього потенціалу при віддаленні від точки введення струму безпосередньо залежить від характеристик ґрунту: чим нижчий його питомий опір, тим стрімкіше зменшується напруга. Навіть за умов високого питомого опору ґрунту

(наприклад, 500 Ом·м), на відстані 50 метрів потенціал знижується більш ніж у 10 разів порівняно з точкою вводу.

Оскільки в реальних умовах експлуатації частотний спектр імпульсних перешкод є дуже широким (від десятків кілогерц до десятків мегагерц) , тестування на трьох стандартизованих частотах дає змогу побудувати графік або встановити математичну залежність інтенсивності перешкоди від частоти збурення.

7.3. Розрахункова оцінка реальних струмів та напруг

Отримані під час імітації низькострумові (до 10 А) результати є базисом для визначення впливу реальних струмів КЗ. Реальний високочастотний струм вираховується через аналіз перехідних процесів на шинах розподільних пристроїв під час комутацій чи замикань.

Для наближеної оцінки використовують метод екстраполяції: виміряну напругу масштабують, множачи її на спеціальний коефіцієнт перерахунку. Формула для розрахунку:

$$K_{пер} = I_{реал} / I_{измер} \quad (7.1)$$

Де:

$I_{реал}$ — фактичний (реальний) струм, що стікає з обладнання в контур заземлення при однофазному КЗ або комутаціях.

$I_{измер}$ — тестовий струм, інжектований генератором ГВЧІ під час вимірювань.

Довідкові значення максимальних та найбільш вірогідних струмів при комутаціях для різних класів напруг (110 кВ, 150 кВ, 330 кВ, 750 кВ) та кількості фідерів зведено у Таблицю 7.1.

Табл. 7.1 Струми I_{real} при 1-х коротких замиканнях п/ст
різних класів напруг, кА

	Номінальна напруга, кВ									
	110		150				330		750	
Кількість фідерів	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4
Струм КЗ на підстанціях з розрядниками й ОПН	0,49	1,8	0,96	3,9	1,16	6,3	2,76	11,1	4,74	19,1
Максимальний струм при комутаційних процесах	0,226		0,451		0,771		1,451		2,451	
Найбільш вірогідне значення струму при комутаційних процесах	0,036		0,091		0,230		0,501		0,851	

У випадках, коли на працюючому об'єкті технічно неможливо провести вимірювання безпосередньо на клеммах апаратури релейного захисту та автоматики (РЗА), експериментальні дані доповнюють аналітичними розрахунками. У таких ситуаціях розраховують синфазні напруги на вході терміналів РЗА, використовуючи еквівалентну схему заміщення. Ця схема (Рис. 7.1) враховує:

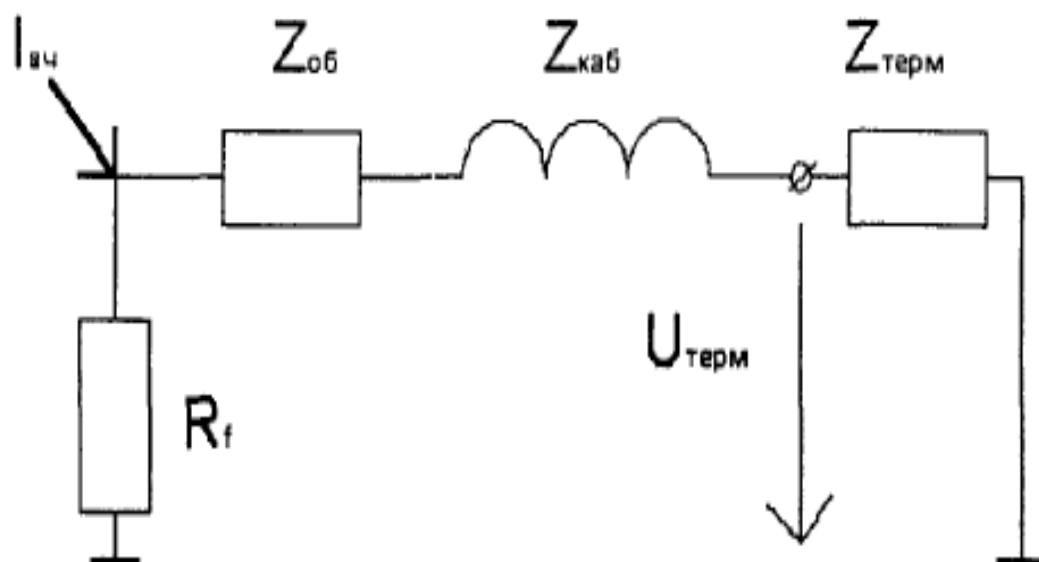


Рис. 7.1. Схема заміщення щодо розрахунку синфазної напруги при 1-му короткому на шинах об'єкту

$I_{вч}$ — високочастотну складову струму КЗ.

$Z_{об}$ — вхідний опір обладнання відносно землі.

R_f — імпульсний опір заземлення конкретного апарату.

$Z_{каб}$ — комплексний опір контрольного кабелю.

$Z_{терм}$ — вхідний опір самого терміналу.

7.4. Електромагнітні (польові) перешкоди та екранування

Крім кондуктивних наведень по землі, імпульсні струми створюють потужні електромагнітні поля, які індукують перешкоди у вторинних кабелях. Найбільш екстремальні рівні польових перешкод фіксуються під час КЗ на шинах високої напруги.

Для оцінки цих впливів визначають найнебезпечніші сценарії комутацій та розраховують їх наслідки. На об'єкті прокладають контрольний провід паралельно трасі вторинних кабелів і підключають ГВЧІ для імітації комутаційних процесів. Завдяки цьому визначається фактичний коефіцієнт екранування кабелів. Результати натурних вимірів під час реальних комутацій обов'язково порівнюються з розрахунковими моделями; у разі виявлення розбіжностей розрахункова модель коригується.

Слід розуміти, що на апаратуру управління діє комплексна перешкода: сума стрибка потенціалу землі та наведення від електромагнітного поля. Зазвичай один із цих факторів домінує. Тому їх імітацію часто проводять роздільно, але якщо амплітуди цих складових співмірні, їх потрібно генерувати одночасно.

7.5. Захист від впливу блискавки

Прямий удар блискавки несе мультиплікативну загрозу об'єкту:

- Створення інтенсивних польових наведень на контрольні кабелі та вплив магнітних полів на електроніку.

- Термічне руйнування заземлюючих контурів, оболонок та екранів кабелів.
- Виникнення зворотних перекриттів з потенціалу землі безпосередньо на кабельні жили.

Розрахунок польових наведень від блискавки базується на стандартах МЕК 1312-1. Для розрахунку розподілу потенціалу використовують струм з амплітудою $I_M=100$ кА та фронтом $t_{фр}=10$ мкс. Для визначення наведених напруг на кабелях застосовують більш "крутий" імпульс: $I_M=25$ кА з фронтом $t_{фр}=0,25$ мкс. Оцінку наведень можна здійснити, розглядаючи канал блискавки як випромінювач, використовуючи формулу потужності дипольної антени:

$$P = \frac{(I \cdot l \cdot \omega)^2}{12\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot c^3} \quad (7.2)$$

де I – амплітуда величини струму;

l – довжина вибраної антени;

ω – кутова частота;

ε_0 – константа електрична;

c – швидкість світла.

Еквівалентна кутова частота струму блискавки обчислюється як:

$$\omega \approx \frac{\pi}{2 \cdot \tau} \quad (7.3)$$

(де τ — час наростання струму).

Для мінімізації наведень використовуються екрановані кабелі, металеві коробки та канали. Принцип їх роботи полягає в тому, що зовнішнє магнітне поле наводить в екрані струм, який генерує власне поле, що компенсує початкове зовнішнє збурення. Оскільки удар блискавки має спектр з частотою близько 1 МГц (довжина хвилі $\lambda=300$ м), а довжина кабелів зазвичай менша за це значення ($l < \lambda$), струм екрану замикається не лише по

екрану, а й через заземлювачі на його кінцях та ґрунт. Коефіцієнт екранування ($k \geq 1$) у такому разі розраховується за формулою:

$$k = \frac{R_G + R_3 + j\omega L_3}{Z_t l + j\omega L_g} \quad (7.4)$$

де враховуються опір ґрунту (R_G), активний опір (R_3) та індуктивність (L_3) екрану, погонний передавальний опір ($Z_t = (R_3 + j\omega L_t)/l$) та індуктивність заземлюючих провідників ($L_t = M_{13} - L_3$). Залежності ефективності екранування для мідних екранів, сталевих коробів та залізобетонних каналів наведено на Рис. 7.2.

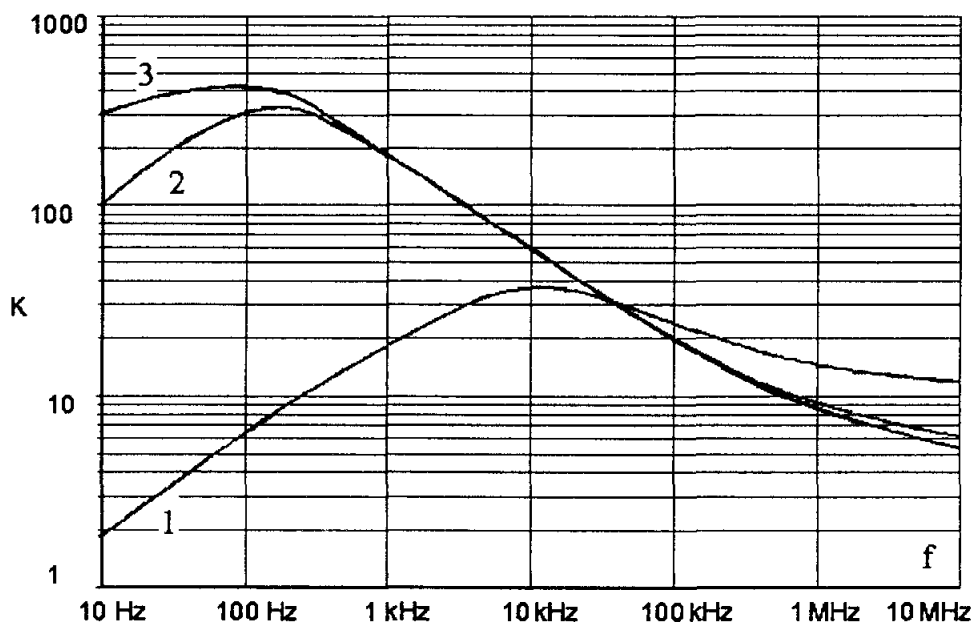


Рис. 7.2. Криві розрахункових коефіцієнтів екранування
1- кабель; 2-короб; 3-кабельний канал

7.6. Вплив радіочастотних та промислових електромагнітних полів

Для забезпечення надійності проводиться моніторинг електромагнітної обстановки у різних частотних діапазонах.

Радіочастотний діапазон (1-1000 МГц):

- Джерелом перешкод можуть бути переносні або стаціонарні радіостанції персоналу об'єкта.
- Вивчається залежність поля від дистанції до антени та екрануючий ефект стін будівель і металевих шаф обладнання.
- Вимірювання виконують селективними вольтметрами або спектроаналізаторами.
- Для діапазону 26-300 МГц використовують біконічні антени (вертикальна поляризація) та дипольні антени (горизонтальна поляризація) з хвильовим опором 50 Ом.
- Критичною вимогою є узгодження тракту: коефіцієнт стоячої хвилі напруги (КСХН) має бути меншим або дорівнювати 3.

Поля промислової частоти (50 Гц):

- Вимірювання здійснюють приладами типу ІПМ-50/200/400 (з комплекту КЗ-1) у нормальних робочих режимах вздовж трас прокладки кабелів та біля стійок апаратури.
- Для аварійних режимів (однофазне КЗ на шинах) напруженість поля розраховують за формулою:

$$H = I_{\text{кз}} / 2\pi r \quad (7.5)$$

де r – відстань до струмоведучих шин

- Магнітне поле від реакторів розраховується складнішою залежністю, що враховує радіус реактора, струм, кількість витків та відстань до точки заміру:

$$H = \frac{I \cdot n}{2} \frac{r^2}{(r^2 + x^2)^{1.5}} \quad (7.6)$$

7.7. Контроль якості живлення та фінальна оцінка стійкості

Окремим класом є перешкоди, що проникають через ланцюги живлення низької напруги.

- У колах постійного струму фіксують змінну складову (пульсації), радіочастотні наведення та імпульси від роботи реле, контакторів, електромагнітів і автоматів.

- У колах змінного струму аналізують гармонійний склад напруги (коефіцієнт синусоїдальності) та імпульсні завади від комутацій вимикачами.

Дослідження поділяються на короткочасні (вимірювання під час примусового спрацьовування обладнання, силових вимикачів, перевірки захистів) та довготривалі. Довготривала реєстрація виконується за допомогою аналізаторів якості електроенергії протягом щонайменше одного тижня для виявлення всього спектру характеристик перешкод. Особлива увага фокусується на випадках, коли приводи вимикачів та чутлива апаратура РЗА живляться від спільної системи шин постійного струму.

Таким чином Результатом усього комплексу вимірювань та математичного моделювання є складання детального зведеного протоколу. У ньому зафіксовані реальні рівні електромагнітних збурень порівнюються з нормативними випробувальними (допустимими) значеннями для кабелів вторинної комутації та мікропроцесорних пристроїв. Тільки на базі цього порівняння формується остаточний висновок щодо здатності систем автоматизованого управління надійно функціонувати в умовах впливу зовнішніх електромагнітних перешкод.

Але сьогодення вимагає більш конструктивних рішень даної проблеми. Одним із них є наступне. Цифрова підстанція як метод боротьби з перешкодами

Традиційні методи захисту, такі як екранування кабелів та оптимізація заземлення, спрямовані на мінімізацію впливу перешкод, що вже виникли. Проте перехід до архітектури «цифрової підстанції» (згідно зі стандартом ІЕС 61850) дозволяє змінити саму природу передачі сигналів, усуваючи фізичне середовище, в якому ці перешкоди поширюються.

1. Волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ)

Найбільш радикальним і ефективним методом захисту від електромагнітних польових наведень та стрибків потенціалу землі є повна заміна мідних контрольних кабелів на волоконно-оптичні.

- *Діелектрична природа:* Оптичне волокно виготовляється з діелектрика (скла або пластику), тому воно абсолютно несприйнятливим до впливу зовнішніх магнітних та електричних полів, які виникають при коротких замиканнях або ударах блискавки.

- *Відсутність гальванічного зв'язку:* Використання оптичних каналів повністю розриває гальванічний зв'язок між високовольтним обладнанням на розподільчому пристрої та терміналами РЗА в загальнопідстанційному пункті керування. Це унеможливує затікання імпульсних струмів на входи пристроїв через кабельні жили.

- *Надійність передачі:* На відміну від екранованих кабелів, ефективність яких залежить від частоти та якості заземлення екрана, ВОЛЗ зберігають стабільність характеристик у всьому діапазоні частот — від промислової частоти до гігагерцових радіозавад.

2. Архітектура «Шини процесу» (Process Bus)

Впровадження концепції цифрової підстанції передбачає винесення пристроїв оцифрування сигналів безпосередньо до первинного обладнання.

- *Пристрої сполучення з об'єктом (Merging Units):* Ці блоки встановлюються в безпосередній близькості до трансформаторів струму та напруги. Вони перетворюють аналогові сигнали в цифрові пакети даних (Sampled Values) безпосередньо «біля датчика».

- *Мінімізація довжини аналогових кіл:* Завдяки оцифруванню в місці виникнення сигналу, довжина вразливих аналогових мідних провідників скорочується з сотень метрів до кількох одиниць, що пропорційно знижує імовірність наведення імпульсних перешкод.

- *Цифрова передача:* Далі інформація передається по оптичній «шині процесу». Навіть за умови екстремальних комутаційних процесів на

шинах високої напруги, дані в оптичному форматі залишаються захищеними від спотворень.

3. Ізоляція інтелектуальних електронних пристроїв (IED)

Сучасна архітектура дозволяє фізично віддалити чутливу мікропроцесорну техніку від зон з найвищою напруженістю електромагнітного поля.

- *Локалізація перешкод:* Оскільки всі польові збурення та стрибки потенціалу «зупиняються» на рівні польових пристроїв (Merging Units), центральні термінали РЗА та системи керування працюють в електромагнітно «чистому» середовищі.

- *Стійкість до імпульсів живлення:* У цифрових архітектурах легше реалізувати розділене живлення для польового та щитового обладнання, що запобігає поширенню кондуктивних завад через мережу оперативного постійного струму при спрацьовуванні потужних приводів вимикачів.

Таким чином перехід на цифрові технології передачі даних по ВОЛЗ та впровадження стандарту IEC 61850 є найперспективнішим шляхом розвитку електричних мереж. Це не просто доповнює існуючі системи захисту, а створює принципово новий рівень електромагнітної сумісності, де проблема імпульсних перешкод у кабельних лініях вирішується шляхом повної відмови від металевих провідників у вторинних ланцюгах.

Висновки по розділу

На основі аналізу представленого матеріалу можна зробити такі загальні висновки щодо оцінки та запобігання імпульсним перешкодам в електричних мережах:

- **Невідворотність та небезпека перешкод:** Імпульсні перешкоди є закономірним наслідком перехідних процесів, таких як короткі замикання, оперативні комутації високовольного обладнання та удари блискавки. Ці збурення становлять серйозну загрозу для надійності функціонування

чутливих мікропроцесорних пристроїв релейного захисту та систем автоматизованого управління.

- **Багатоканальність впливу:** небезпечні напруги проникають до вторинного обладнання двома основними шляхами. Перший шлях — кондуктивний, зумовлений стіканням струмів високої частоти через заземлювач та різким підйомом потенціалу на контурі заземлення. Другий шлях — індуктивний (польовий), що виникає внаслідок наведення перешкод у контрольних кабелях потужними електромагнітними полями.

- **Необхідність комплексного підходу до оцінки:** Оскільки реальні умови на об'єктах є складними, для точного визначення рівнів перешкод застосовується комбінований метод. Він включає проведення натурних імітаційних випробувань (зокрема, з використанням генераторів високочастотних імпульсів), вимірювання електромагнітного фону (радіочастотного та промислової частоти) та обов'язкове математичне моделювання екстремальних ситуацій.

- **Критична роль екранування:** Використання екранованих кабелів, сталевих коробів та кабельних каналів зі сталеною арматурою є одним із найдієвіших методів зниження впливу електромагнітних полів (особливо при ударах блискавки). Ефективність захисту залежить від того, наскільки правильно організовано заземлення екранів для замикання індукованих струмів.

- **Важливість моніторингу кіл живлення:** Крім зовнішніх високовольтних факторів, суттєвим джерелом збурень є самі кола оперативного живлення. Комутації автоматичних вимикачів, робота електромагнітних приводів та спрацьовування реле генерують власні імпульсні та гармонійні перешкоди, що вимагає тривалого моніторингу якості електроенергії.

- **Головна мета досліджень:** Кінцевим і найважливішим етапом оцінки є порівняння зафіксованих та розрахованих рівнів електромагнітних збурень із нормативними випробувальними значеннями (допустимими

рівнями стійкості) для конкретної апаратури. Лише на основі цього порівняння можна зробити обґрунтований висновок про реальну електромагнітну сумісність та здатність систем управління безвідмовно працювати в умовах підстанції.

ВИСНОВКИ

У ході виконання даного проєкту було успішно вирішено комплекс інженерних та техніко-економічних завдань, спрямованих на створення ефективної системи електропостачання промислового підприємства машинобудівного профілю. Результати проведеної роботи дозволяють зробити такі узагальнені висновки:

- Застосування класичних та сучасних аналітичних методів розрахунку електричних навантажень дозволило отримати об'єктивну математичну модель енергоспоживання підприємства. Це забезпечило базу для точного підбору параметрів силового обладнання, виключаючи надлишкові інвестиції в надмірну потужність та гарантуючи стабільну роботу системи в пікових режимах.

- Використання графоаналітичних методів для визначення центру електричних навантажень підтвердило свою високу ефективність при проєктуванні генеральних планів промислових об'єктів. Локалізація головного вузла розподілу енергії у безпосередній близькості до центру споживання дозволяє досягти раціонального розподілу потоків потужності, суттєво знизити капітальні витрати на прокладання магістральних мереж та мінімізувати втрати енергії в елементах системи.

- Проведене техніко-економічне порівняння альтернативних варіантів побудови системи зовнішнього живлення продемонструвало, що вибір оптимального класу напруги та конфігурації мережі повинен базуватися на комплексному балансі між першочерговими капіталовкладеннями та подальшими експлуатаційними витратами. Прийняте в роботі рішення повністю задовольняє критерію економічної привабливості при збереженні необхідного рівня надійності розподілу енергії.

- Інтеграція засобів компенсації реактивної потужності у внутрішньозаводські мережі дозволяє оптимізувати режими роботи трансформаторного обладнання та покращити пропускну здатність ліній

живлення. Розрахунки аварійних режимів та струмів короткого замикання підтвердили правильність обраних підходів до вибору апаратури захисту, що гарантує локалізацію пошкоджень та живучість системи електропостачання в цілому.

- Аналіз електромагнітної сумісності в межах об'єкта виявив, що традиційні пасивні методи захисту від імпульсних перешкод (такі як екранування) є необхідним, але недостатнім заходом в умовах високої цифровізації промисловості. Зроблено висновок, що найбільш перспективним напрямком розвитку систем захисту вторинної комутації є системна перебудова інформаційної архітектури енергооб'єктів. Перехід на цифрові технології обміну даними (зокрема, використання волоконно-оптичних ліній та сучасних міжнародних стандартів автоматизації) дозволяє повністю ліквідувати гальванічний зв'язок у колах керування, забезпечуючи абсолютну стійкість систем релейного захисту та автоматики до будь-яких типів зовнішніх та внутрішніх електромагнітних збурень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П.Г., Зінзура В.В., Гарасьова Н.Ю., Котиш А.І., Величко Т.В.]; – М.-во освіти і науки України, Центральноукр. Нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ПП «Ексклюзив –Систем», 2021. – 209 с.
2. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник –Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010. – 408 с.
3. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П. Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
4. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
5. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. - Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 386 с.
6. Надійність електроенергетичних систем: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.В. Казанський. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 67 с.
7. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В. Навчальний посібник. Видавець Лисенко В.Ф., м.Кропивницький, 2020р. – 272 с.
8. Черемісін М. М., Мороз О. М., Єгоров О. Б., Швець С. В. Перехідні процеси в системах електропостачання: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець. — Харків: ТОВ "В справі", 2016. — 260 с.
9. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – 533 с.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.

11. Рой В. Ф. Конспект лекцій із дисципліни «Електромагнітна сумісність у системах електроспоживання» (для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання магістерської програми за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / В. Ф. Рой ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 114 с.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		