

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроенергетики

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ І. Л. Лебединський

_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання» на тему: «Розрахунок параметрів електричної мережі промислового підприємства з урахуванням вищих гармонічних спотворень»

Здобувача групи ЕТ-01 Сергієнко Станіслав Віталійович

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Сергієнко Станіслав Віталійович

Керівник доцент кафедри ЕЕ, к.т.н. І. М. Дяговченко

Сумський державний університет

Факультет ЕЛІТ Кафедра електроенергетики

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри електроенергетики

_____ І.Л. Лебединський

“ ___ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Сергієнка Станіслава Віталійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розрахунок параметрів електричної мережі промислового підприємства з урахуванням вищих гармонічних спотворень» затверджена наказом по університету № _____ від _____

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 01.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: методичні вказівки, навчальні підручники.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити):

Вступ

Розрахунок мережі промислового підприємства.

Вибір перерізу провідників.

Вибір електричних апаратів.

Покращення електричної мережі промислового підприємства.

Охорона праці.

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

Схема мережі підприємства.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Розрахунок мережі промислового підприємства	02.04—10.04	
2	Вибір перерізу провідників	12.04—17.04	
3	Розрахунок струмів короткого замикання	19.04—29.04	
4	Вибір електричних апаратів	01.05—14.05	
5	Покращення електричної мережі промислового підприємства	16.05—26.05	
6	Охорона праці	28.05—01.06	

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

РЕФЕРАТ

Назва: Розрахунок параметрів електричної мережі промислового підприємства з урахуванням вищих гармонічних спотворень.

Автор: Сергієнко Станіслав Віталійович.

Ключові слова:

електричний двигун, електрична мережа, гармоніка, частотно-регулювальний привод, силовий трансформатор, споживач електроенергії, фільтр гармонік;

electric motor, electric network, harmonics, frequency-regulating drive, power transformer, consumer of electricity, harmonics filter.

Бібліографічний опис: Сергієнко С.В. Розрахунок параметрів електричної мережі промислового підприємства з урахуванням вищих гармонічних спотворень: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / С.В. Сергієнко; керівник І.М. Дяговченко. - Суми: СумДУ, 2024. - 62 с.

Короткий огляд (реферат): в даній роботі проведений розрахунок електричної мережі підприємства, обрано кабелі, силові трансформатори, автоматичні вимикачі та вакуумний вимикач; додавання фільтрів гармонік для покращення якості електричної мережі.

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Зміст.....	4
Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. Розрахунок мережі промислового підприємства	8
1.1. Вибір початкового обладнання.....	8
1.2. Розрахунок реактивних потужностей навантаження.....	10
1.3. Розрахунок повних потужностей навантаження.....	10
1.4. Розрахунок струмів у кабельних лініях	11
1.5. Розрахунок пускових струмів електродвигунів	12
1.6. Розрахунок пікових струмів.....	12
1.7. Вибір трансформатора 10/0.4 кВ	13
1.8. Вибір трансформатора 35/10 кВ	13
РОЗДІЛ 2. Вибір перерізу провідників	15
2.1. Вибір перерізу кабельних ліній наругою 0.4 кВ	15
2.1.1. Розрахунок спільних параметрів	15
2.1.2. Вибір перерізу для першої кабельної лінії.....	15
2.1.3. Вибір перерізу для другої кабельної лінії.....	16
2.1.4. Вибір перерізу для третьої кабельної лінії.....	17
2.1.5. Вибір перерізу для четвертої кабельної лінії	18
2.1.6. Вибір перерізу для п'ятої кабельної лінії	19
2.1.7. Вибір перерізу для шостої кабельної лінії.....	20
2.1.8. Вибір перерізу для сьомої кабельної лінії	20
2.1.9. Вибір перерізу для восьмої кабельної лінії.....	21
2.2. Вибір перерізу кабельної лінії наругою 10 кВ	22
РОЗДІЛ 3. Розрахунок струмів короткого замикання	24
3.1. Розрахунок струмів трифазного короткого замикання в електричній мережі напругою 0.4 кВ.....	24
3.1.1. Розрахунок спільних параметрів	24

					<i>БР 20520190 ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Сергієнко С.В.			Лім.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Дяговченко І.М.			4	62	
Н. Контр.					<i>СумДУ ЕТ-01</i>		
Затверд.		Лебединський І.Л.					

Розрахунок параметрів електричної мережі промислового підприємства з урахуванням вищих гармонічних спотворень

3.1.2. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на першій кабельній лінії.....	24
3.1.3. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на другій кабельній лінії.....	25
3.1.4. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на третій кабельній лінії.....	26
3.1.5. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на четвертій кабельній лінії.....	26
3.1.6. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на п'ятій кабельній лінії.....	27
3.1.7. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на шостій кабельній лінії.....	28
3.1.8. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на сьомій кабельній лінії.....	29
3.1.9. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на восьмій кабельній лінії.....	29
3.2. Розрахунок струмів однофазного короткого замикання	30
3.2.1. Розрахунок спільних параметрів	30
3.2.2. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на першій кабельній лінії.....	30
3.2.3. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на другій кабельній лінії.....	31
3.2.4. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на третій кабельній лінії.....	31
3.2.5. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на четвертій кабельній лінії	32
3.2.6. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на п'ятій кабельній лінії.....	32
3.2.7. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на шостій кабельній лінії.....	32
3.2.8. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на сьомій кабельній лінії.....	33
3.2.9. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на восьмій кабельній лінії.....	33

3.3. Розрахунок струму короткого замикання на ділянці 10 кВ	34
РОЗДІЛ 4. Вибір електричних апаратів	35
4.1. Вибір електричних апаратів в електричній мережі напругою 0.4 кВ	35
4.1.1. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 1	35
4.1.2. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 2	36
4.1.3. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 3	38
4.1.4. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 4	39
4.1.5. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 5	41
4.1.6. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 6	43
4.1.7. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 7	44
4.1.8. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 8	46
4.2. Вибір високовольтного вимикача.....	47
РОЗДІЛ 5. Покращення електричної мережі промислового підприємства.....	49
5.1. Збірка схеми та опис результатів.....	49
5.2. Розгляд способів покращення схеми електричної мережі підприємства	52
РОЗДІЛ 6. Охорона праці	56
6.1. Характеристика об'єкту та умови його експлуатації.....	56
6.2. Обслуговування та продовження терміну служби електродвигунів.....	57
6.3. Заземлення	58
6.4. Вентиляція	59
6.5. Освітлення.....	59
Висновок	61
Список використаної літератури	62

					<i>БР 20520190 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

ВСТУП

В сучасному світі коли є багато електричних приладів, ще й додатково створюються нові, для їх надійної роботи та довшого терміну служби, потрібно забезпечити їх якісною електричною енергією.

Зараз є багато промислових підприємств, які використовують різні електричні двигуни, електричні прилади та апарати, тим самим вони можуть спотворюють електричну мережу. Ця спотворена електрична енергія шкідлива не тільки для цього ж підприємства, а й для інших споживачів. Тому важливо виявити та вирішити цю проблему. Є декілька способів, вони будуть розглядатися далі в самій роботі.

Для наглядного прикладу буде створено та пораховано електричну мережу промислового підприємства з використанням частотно-регулювальних приводів, вибір кабелів та електричних апаратів. Потім для зменшення спотворень електроенергії в мережі буде додано декілька фільтрів гармонік та порівняння цих мереж.

					<i>БР 20520190 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТА

1.1. Вибір початкового обладнання

Спочатку потрібно вибрати навантаження, перша кабельна лінія буде навантажена лише активною потужністю, всі інші (2-8) це електродвигуни, табл.1. Перед кожним електродвигуном буде розміщений частотно-регулювальний привод (ЧРП).

Таблиця 1 – Вибрані навантаження на кабельні лінії 1-8

№	Навантаження	$P_{ном}$, кВ	$\cos\varphi$	$k_{пуск}$
1	Лінійне навантаження	100	1	—
2	Електродвигуни з ЧРП	200	0.77	6.9
3	Електродвигуни з ЧРП	200	0.77	6.9
4	Електродвигуни з ЧРП	200	0.77	6.9
5	Електродвигуни з ЧРП	110	0.85	6.6
6	Електродвигуни з ЧРП	75	0.88	6.8
7	Електродвигуни з ЧРП	75	0.88	6.8
8	Електродвигуни з ЧРП	250	0.83	6.7

Далі потрібно створити приблизну схему підприємства, заздалегідь вибравши бажану напругу на частоту, рисунок 1.

					<i>БР 20520190 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Сергієнко С.В.</i>			<i>Розрахунок параметрів електричної мережі промислового підприємства з урахуванням вищих гармонічних спотворень</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Дяговченко І.М.</i>					8	62
<i>Н. Контр.</i>					<i>СумДУ ЕТ-01</i>			
<i>Затверд.</i>		<i>Лебединський І.Л.</i>						

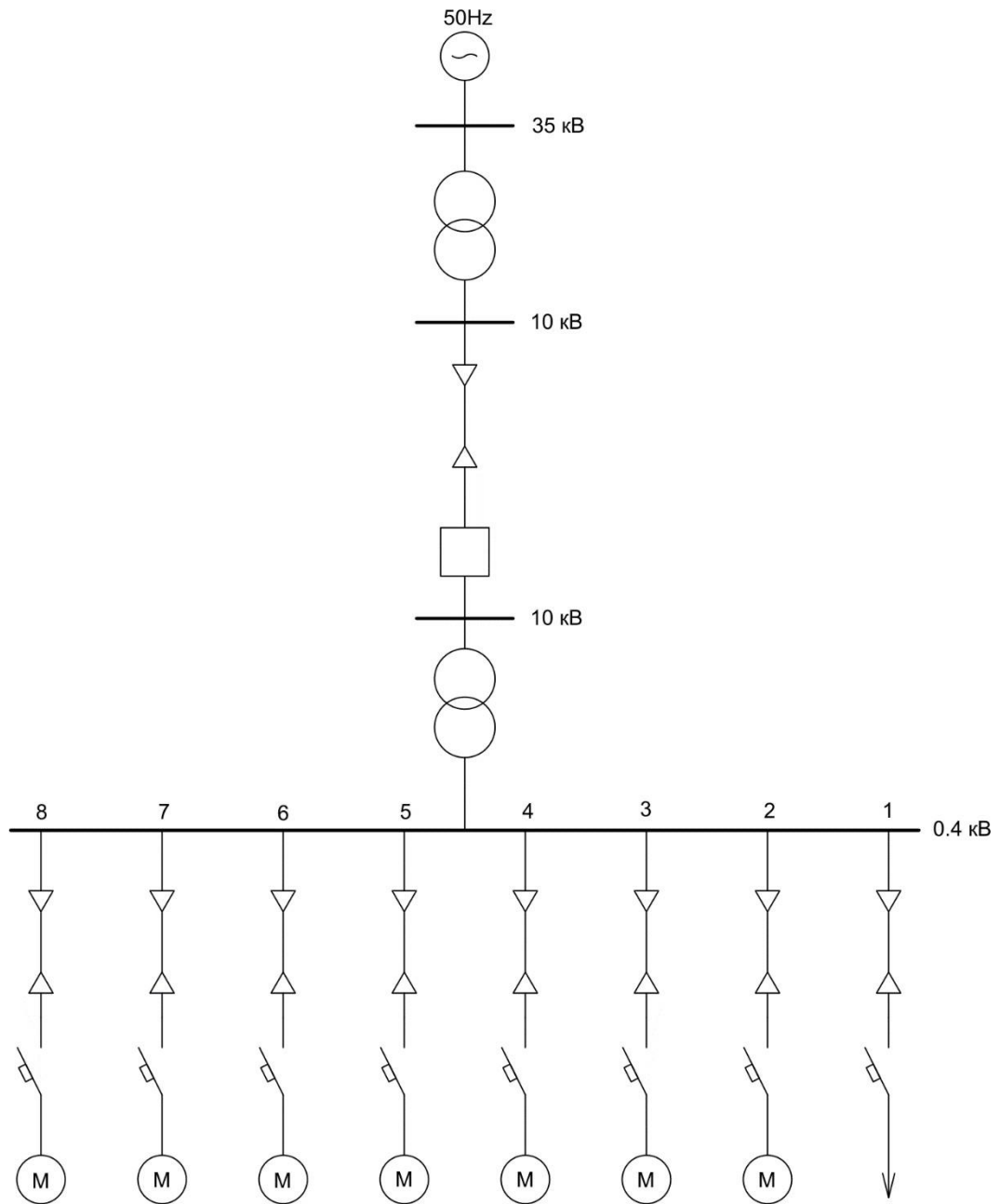


Рисунок 1 – Попередньо вибрана схема промислового підприємства

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1.2. Розрахунок реактивних потужностей навантаження

Розраховуємо реактивні потужності.

$$Q_1 = P_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 100 \cdot 0 = 0 \text{ кВАр}$$

$$Q_2 = P_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 = 200 \cdot 0.83 = 166 \text{ кВАр}$$

$$Q_3 = P_3 \cdot \operatorname{tg} \varphi_3 = 200 \cdot 0.83 = 166 \text{ кВАр}$$

$$Q_4 = P_4 \cdot \operatorname{tg} \varphi_4 = 200 \cdot 0.83 = 166 \text{ кВАр}$$

$$Q_5 = P_5 \cdot \operatorname{tg} \varphi_5 = 110 \cdot 0.62 = 68.2 \text{ кВАр}$$

$$Q_6 = P_6 \cdot \operatorname{tg} \varphi_6 = 75 \cdot 0.54 = 40.5 \text{ кВАр}$$

$$Q_7 = P_7 \cdot \operatorname{tg} \varphi_7 = 75 \cdot 0.54 = 40.5 \text{ кВАр}$$

$$Q_8 = P_8 \cdot \operatorname{tg} \varphi_8 = 250 \cdot 0.67 = 167.5 \text{ кВАр}$$

1.3. Розрахунок повних потужностей навантаження

Розраховуємо повні потужності.

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{100^2 + 0^2} = 100 \text{ кВА}$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{200^2 + 166^2} = 259.91 \text{ кВА}$$

$$S_3 = \sqrt{P_3^2 + Q_3^2} = \sqrt{200^2 + 166^2} = 259.91 \text{ кВА}$$

$$S_4 = \sqrt{P_4^2 + Q_4^2} = \sqrt{200^2 + 166^2} = 259.91 \text{ кВА}$$

$$S_5 = \sqrt{P_5^2 + Q_5^2} = \sqrt{110^2 + 68.2^2} = 129.42 \text{ кВА}$$

$$S_6 = \sqrt{P_6^2 + Q_6^2} = \sqrt{75^2 + 40.5^2} = 85.23 \text{ кВА}$$

$$S_7 = \sqrt{P_7^2 + Q_7^2} = \sqrt{75^2 + 40.5^2} = 85.23 \text{ кВА}$$

					<i>БР 20520190 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

$$S_8 = \sqrt{P_8^2 + Q_8^2} = \sqrt{250^2 + 167.5^2} = 300.92 \text{ кВА}$$

Таблиця 2 – Визначення розрахункових навантажень

№	$\cos\varphi / \text{tg}\varphi$	Результати рохрахунків		
		P , кВт	Q , кВАр	S , кВА
1	1 / 0	100	0	100
2	0.77 / 0.83	200	166	259.91
3	0.77 / 0.83	200	166	259.91
4	0.77 / 0.83	200	166	259.91
5	0.85 / 0.62	110	68.2	129.42
6	0.88 / 0.54	75	40.5	85.23
7	0.88 / 0.54	75	40.5	85.23
8	0.83 / 0.67	250	167.5	300.92
Усього		1210	814.7	1481

1.4. Розрахунок струмів у кабельних лініях

Для кабельних ліній 0.4 кВ:

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi_1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 1} = 151.93 \text{ А}$$

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi_2} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.77} = 394.63 \text{ А}$$

$$I_3 = \frac{P_3}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi_3} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.77} = 394.63 \text{ А}$$

$$I_4 = \frac{P_4}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi_4} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.77} = 394.63 \text{ А}$$

$$I_5 = \frac{P_5}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi_5} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.85} = 196.62 \text{ А}$$

$$I_6 = \frac{P_6}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi_6} = \frac{75}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.88} = 129.48 \text{ А}$$

$$I_7 = \frac{P_7}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi_7} = \frac{75}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.88} = 129.48 \text{ A}$$

$$I_8 = \frac{P_8}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi_8} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.83} = 457.63 \text{ A}$$

Для кабельної лінії 10 кВ:

$$I = \frac{S_{\text{зар}}}{\sqrt{3} \cdot U_B} = \frac{1481}{\sqrt{3} \cdot 10} = 85.48 \text{ A}$$

1.5. Розрахунок пускових струмів електродвигунів

Номінальні струми електродвигунів дорівнюють струмам відповідної кабельної лінії, тобто $I_{2\text{ном.макс}} = I_2$, і так далі.

Пускові струми ЕД визначаються так:

$$I_{2\text{пуск}} = k_{2\text{пуск}} \cdot I_{2\text{ном.макс}} = 6.9 \cdot 394.63 = 2723 \text{ A}$$

$$I_{3\text{пуск}} = k_{3\text{пуск}} \cdot I_{3\text{ном.макс}} = 6.9 \cdot 394.63 = 2723 \text{ A}$$

$$I_{4\text{пуск}} = k_{4\text{пуск}} \cdot I_{4\text{ном.макс}} = 6.9 \cdot 394.63 = 2723 \text{ A}$$

$$I_{5\text{пуск}} = k_{5\text{пуск}} \cdot I_{5\text{ном.макс}} = 6.6 \cdot 196.62 = 1298 \text{ A}$$

$$I_{6\text{пуск}} = k_{6\text{пуск}} \cdot I_{6\text{ном.макс}} = 6.8 \cdot 129.48 = 880.5 \text{ A}$$

$$I_{7\text{пуск}} = k_{7\text{пуск}} \cdot I_{7\text{ном.макс}} = 6.8 \cdot 129.48 = 880.5 \text{ A}$$

$$I_{8\text{пуск}} = k_{8\text{пуск}} \cdot I_{8\text{ном.макс}} = 6.7 \cdot 457.63 = 3066 \text{ A}$$

1.6. Розрахунок пікових струмів

Пікові струми визначаються так:

$$I_{2\text{пік}} = I_{2\text{пуск}} + (I_2 - k \cdot I_{2\text{ном.макс}}) = 2723 + (394.6 - 0.2 \cdot 394.6) = 3039 \text{ A}$$

$$I_{3\text{пік}} = I_{3\text{пуск}} + (I_3 - k \cdot I_{3\text{ном.макс}}) = 2723 + (394.6 - 0.2 \cdot 394.6) = 3039 \text{ A}$$

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

$$I_{4\text{пiк}} = I_{4\text{пуск}} + (I_4 - k \cdot I_{4\text{ном.макс}}) = 2723 + (394.6 - 0.2 \cdot 394.6) = 3039 \text{ A}$$

$$I_{5\text{пiк}} = I_{5\text{пуск}} + (I_5 - k \cdot I_{5\text{ном.макс}}) = 1298 + (196.6 - 0.2 \cdot 196.6) = 1455 \text{ A}$$

$$I_{6\text{пiк}} = I_{6\text{пуск}} + (I_6 - k \cdot I_{6\text{ном.макс}}) = 880.5 + (129.4 - 0.2 \cdot 129.4) = 984.1 \text{ A}$$

$$I_{7\text{пiк}} = I_{7\text{пуск}} + (I_7 - k \cdot I_{7\text{ном.макс}}) = 880.5 + (129.4 - 0.2 \cdot 129.4) = 984.1 \text{ A}$$

$$I_{8\text{пiк}} = I_{8\text{пуск}} + (I_8 - k \cdot I_{8\text{ном.макс}}) = 3066 + (457.6 - 0.2 \cdot 457.6) = 3432 \text{ A}$$

1.7. Вибір трансформатора 10/0.4 кВ

Вибираємо трансформатор типу ТМ-1600-10/0.4

Коефіцієнт завантаження визначається так:

$$k_3 = \frac{S_{\text{заг}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{1481}{1600} = 0.92 ,$$

де $S_{\text{заг}}$ – загальна потужність всіх навантажень; $S_{\text{ном}}$ – номінальна потужність трансформатора.

Таблиця 3 – Каталогні дані трансформатора ТМ 1600-10/0.4

Тип трансформатора	$S_{\text{ном}}$ кВ·А	Каталожні дані					
		$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		$U_K, \%$	$\Delta P_K, \text{кВт}$	$\Delta P_X, \text{кВт}$	$I_X, \%$
		ВН	НН				
ТМ-1600-10/0.4	1600	10	0.4	5.5	16.5	3.3	1.3

1.8. Вибір трансформатора 35/10 кВ

Вибираємо трансформатор типу ТМ-4000-35/10.5

Коефіцієнт завантаження визначається так:

$$k_3 = \frac{S_{\text{заг}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{1481}{4000} = 0.37$$

					БР 20520190 ПЗ			Арк.
								13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

Нехай до трансформатора ТМ-4000-35/10.5 буде підключений ще один споживач з потужність 1500 кВА, тому

$$k_3 = \frac{S_{\text{заг}} + S_{\text{спож}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{1481 + 1500}{4000} = 0.74$$

Таблиця 4 – Каталожні дані трансформатора ТМ-4000-35/10.5

Тип трансформатора	$S_{\text{НОМ}}$ кВ·А	Каталожні дані					
		$U_{\text{НОМ}}$ обмоток, кВ		U_K , %	ΔP_K , кВт	ΔP_X , кВт	I_X , %
		ВН	НН				
ТМ-4000-35/10.5	4000	35	10.5	7.5	33.5	6.7	1

РОЗДІЛ 2. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ

2.1. Вибір перерізу кабельних ліній наругою 0.4 кВ

2.1.1. Розрахунок спільних параметрів

Температура навколишнього середовища $T_{\text{сер}} = 20$ °С. Для кабелю з гумовою термостійкою ізоляцією нормована тривало допустима температура жили $T_{\text{ж.н}} = 65$ °С [4], нормована температура середовища при прокладці в землі $T_{\text{сер.н}} = 15$ °С. Тоді поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища:

$$K_{\text{сер}} = \sqrt{\frac{T_{\text{ж.н}} - T_{\text{сер}}}{T_{\text{ж.н}} - T_{\text{сер.н}}}} = \sqrt{\frac{65 - 20}{65 - 15}} = 0.94$$

Поправковий коефіцієнт на вид ґрунту(нормальні ґрунт і пісок вологістю 7-9%):

$$K_{\text{попр}} = 1$$

2.1.2. Вибір перерізу для першої кабельної лінії

Розрахунковий струм першої кабельної лінії, $I_1 = 151.93$ А. Обираємо кабель з поперечним перерізом $S_1 = 95$ мм² та допустимим струмом $I_{\text{доп1}} = 255$ А.

Поправковий коефіцієнт на кількість паралельно прокладених кабелів:

$$K_{\text{пр1}} = 1$$

Допустимий струм для кабеля з врахуванням умов прокладання та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається так:

$$I'_{\text{доп1}} = K_{\text{сер}} \cdot K_{\text{пр1}} \cdot K_{\text{попр}} \cdot I_{\text{доп1}} = 0.95 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 255 = 241.91 \text{ А}$$

Таким чином $I'_{\text{доп1}} = 241.91 \text{ А} > I_1 = 151.93 \text{ А}$. Умова виконується.

Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести перевірку за умов допустимої втрати напруги.

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Питомі опори кабелю з стандартним перерізом струмопровідної жили $S_1 = 95 \text{ мм}^2$: $r_{п1} = 0.329 \text{ мОм/м}$, $x_{п1} = 0.081 \text{ мОм/м}$. Тоді активний і реактивний опори кабелю обчислюються так:

$$R_{кб1} = r_{п1} \cdot l_{кб1} = 0.329 \cdot 175 \cdot 10^{-3} = 0.058 \text{ Ом}$$

$$X_{кб1} = x_{п1} \cdot l_{кб1} = 0.081 \cdot 175 \cdot 10^{-3} = 0.014 \text{ Ом}$$

Втрата напруги в кабелі визначається так:

$$\Delta U_{кб1} = \frac{P_1 \cdot R_{кб1} + Q_1 \cdot X_{кб1}}{10 \cdot U_{\text{НОМ}}^2} = \frac{100 \cdot 0.058 + 0 \cdot 0.014}{10 \cdot 0.38^2} = 3.98 \%$$

Оскільки величина втрати напруги в кабелі не перевищує допустимої (5 %), то переріз кабелю вибраний правильно.

Таким чином, вибираємо трижильний кабель АВВГ(3×95).

2.1.3. Вибір перерізу для другої кабельної лінії

Розрахунковий струм другої кабельної лінії, $I_2 = 394.63 \text{ А}$. Обираємо два кабелю з поперечним перерізом $S_2 = 95 \text{ мм}^2$ та допустимим струмом $I_{\text{доп2}} = 255 \text{ А}$.

Поправковий коефіцієнт на кількість паралельно прокладених кабелів:

$$K_{пр2} = 0.92$$

Допустимий струм для кабелю з врахуванням умов прокладання та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається так:

$$I'_{\text{доп2}} = K_{\text{сер}} \cdot K_{пр2} \cdot K_{\text{попр}} \cdot I_{\text{доп2}} = 0.95 \cdot 0.92 \cdot 1 \cdot (2 \cdot 255) = 445.12 \text{ А}$$

Таким чином $I'_{\text{доп2}} = 445.12 \text{ А} > I_2 = 394.63 \text{ А}$. Умова виконується.

Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести перевірку за умов допустимої втрати напруги.

Питомі опори кабелю з стандартним перерізом струмопровідної жили $S_2 = 95 \text{ мм}^2$: $r_{п2} = 0.329 \text{ мОм/м}$, $x_{п2} = 0.081 \text{ мОм/м}$. Тоді загальні активні і реактивні опори кабелів обчислюються так:

$$R_{кб2} = \frac{r_{п2} \cdot l_{кб2}}{2} = \frac{0.329 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.016 \text{ Ом}$$

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X_{к62} = \frac{x_{п2} \cdot l_{к62}}{2} = \frac{0.081 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.004 \text{ Ом}$$

Втрата напруги в кабелі визначається так:

$$\Delta U_{к62} = \frac{P_2 \cdot R_{к62} + Q_2 \cdot X_{к62}}{10 \cdot U_{ном}^2} = \frac{200 \cdot 0.016 + 166 \cdot 0.004}{10 \cdot 0.38^2} = 2.74 \%$$

Оскільки величина втрати напруги в кабелі не перевищує допустимої (5 %), то переріз кабелю вибраний правильно.

Таким чином, вибираємо два трижильних кабелі АВВГ(2×3×95).

2.1.4. Вибір перерізу для третьої кабельної лінії

Розрахунковий струм третьої кабельної лінії, $I_3 = 394.63 \text{ А}$. Обираємо два кабелю з поперечним перерізом $S_3 = 95 \text{ мм}^2$ та допустимим струмом $I_{доп3} = 255 \text{ А}$.

Поправковий коефіцієнт на кількість паралельно прокладених кабелів:

$$K_{пр3} = 0.92$$

Допустимий струм для кабелю з врахуванням умов прокладання та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається так:

$$I'_{доп3} = K_{сер} \cdot K_{пр3} \cdot K_{попр} \cdot I_{доп3} = 0.95 \cdot 0.92 \cdot 1 \cdot (2 \cdot 255) = 445.12 \text{ А}$$

Таким чином $I'_{доп3} = 445.12 \text{ А} > I_3 = 394.63 \text{ А}$. Умова виконується.

Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести перевірку за умов допустимої втрати напруги.

Питомі опори кабелю з стандартним перерізом струмопровідної жили $S_3 = 95 \text{ мм}^2$: $r_{п3} = 0.329 \text{ мОм/м}$, $x_{п3} = 0.081 \text{ мОм/м}$. Тоді загальні активні і реактивні опори кабелів обчислюються так:

$$R_{к63} = \frac{r_{п3} \cdot l_{к63}}{2} = \frac{0.329 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.016 \text{ Ом}$$

$$X_{к63} = \frac{x_{п3} \cdot l_{к63}}{2} = \frac{0.081 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.004 \text{ Ом}$$

Втрата напруги в кабелі визначається так:

										Арк.
										17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 20520190 ПЗ					

$$\Delta U_{\text{кб3}} = \frac{P_3 \cdot R_{\text{кб3}} + Q_3 \cdot X_{\text{кб3}}}{10 \cdot U^2_{\text{ном}}} = \frac{200 \cdot 0.016 + 166 \cdot 0.004}{10 \cdot 0.38^2} = 2.74 \%$$

Оскільки величина втрати напруги в кабелі не перевищує допустимої (5 %), то переріз кабелю вибраний правильно.

Таким чином, вибираємо два трижильних кабелі АВВГ(2×3×95).

2.1.5. Вибір перерізу для четвертої кабельної лінії

Розрахунковий струм четвертої кабельної лінії, $I_4 = 394.63$ А. Обираємо два кабелі з поперечним перерізом $S_4 = 95$ мм² та допустимим струмом $I_{\text{доп4}} = 255$ А.

Поправковий коефіцієнт на кількість паралельно прокладених кабелів:

$$K_{\text{пр4}} = 0.92$$

Допустимий струм для кабелю з врахуванням умов прокладання та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається так:

$$I'_{\text{доп4}} = K_{\text{сер}} \cdot K_{\text{пр4}} \cdot K_{\text{попр}} \cdot I_{\text{доп4}} = 0.95 \cdot 0.92 \cdot 1 \cdot (2 \cdot 255) = 445.12 \text{ А}$$

Таким чином $I'_{\text{доп4}} = 445.12 \text{ А} > I_4 = 394.63 \text{ А}$. Умова виконується.

Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести перевірку за умов допустимої втрати напруги.

Питомі опори кабелю з стандартним перерізом струмопровідної жили $S_4 = 95$ мм²: $r_{\text{п4}} = 0.329$ мОм/м, $x_{\text{п4}} = 0.081$ мОм/м. Тоді загальні активні і реактивні опори кабелів обчислюються так:

$$R_{\text{кб4}} = \frac{r_{\text{п4}} \cdot l_{\text{кб4}}}{2} = \frac{0.329 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.016 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{кб4}} = \frac{x_{\text{п4}} \cdot l_{\text{кб4}}}{2} = \frac{0.081 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.004 \text{ Ом}$$

Втрата напруги в кабелі визначається так:

$$\Delta U_{\text{кб4}} = \frac{P_4 \cdot R_{\text{кб4}} + Q_4 \cdot X_{\text{кб4}}}{10 \cdot U^2_{\text{ном}}} = \frac{200 \cdot 0.016 + 166 \cdot 0.004}{10 \cdot 0.38^2} = 2.74 \%$$

Оскільки величина втрати напруги в кабелі не перевищує допустимої (5 %), то переріз кабелю вибраний правильно.

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, вибираємо два трижильних кабелі АВВГ(2×3×95).

2.1.6. Вибір перерізу для п'ятої кабельної лінії

Розрахунковий струм п'ятої кабельної лінії, $I_5 = 196.62$ А. Обираємо кабель з поперечним перерізом $S_5 = 95$ мм² та допустимим струмом $I_{\text{доп}5} = 255$ А.

Поправковий коефіцієнт на кількість паралельно прокладених кабелів:

$$K_{\text{пр}5} = 1$$

Допустимий струм для кабелю з врахуванням умов прокладання та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається так:

$$I'_{\text{доп}5} = K_{\text{сер}} \cdot K_{\text{пр}5} \cdot K_{\text{попр}} \cdot I_{\text{доп}5} = 0.95 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 255 = 241.91 \text{ А}$$

Таким чином $I'_{\text{доп}5} = 241.91 \text{ А} > I_5 = 196.62 \text{ А}$. Умова виконується.

Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести перевірку за умов допустимої втрати напруги.

Питомі опори кабелю з стандартним перерізом струмопровідної жили $S_5 = 95$ мм²: $r_{\text{п}5} = 0.329$ мОм/м, $x_{\text{п}5} = 0.081$ мОм/м. Тоді активний і реактивний опори кабелю обчислюються так:

$$R_{\text{к}65} = r_{\text{п}5} \cdot l_{\text{к}65} = 0.329 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 0.049 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{к}65} = x_{\text{п}5} \cdot l_{\text{к}65} = 0.081 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 0.012 \text{ Ом}$$

Втрата напруги в кабелі визначається так:

$$\Delta U_{\text{к}65} = \frac{P_5 \cdot R_{\text{к}65} + Q_5 \cdot X_{\text{к}65}}{10 \cdot U^2_{\text{ном}}} = \frac{110 \cdot 0.049 + 68.2 \cdot 0.012}{10 \cdot 0.38^2} = 4.33 \%$$

Оскільки величина втрати напруги в кабелі не перевищує допустимої (5 %), то переріз кабелю вибраний правильно.

Таким чином, вибираємо трижильний кабель АВВГ(3×95).

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2.1.7. Вибір перерізу для шостої кабельної лінії

Розрахунковий струм шостої кабельної лінії, $I_6 = 129.48$ А. Обираємо кабель з поперечним перерізом $S_6 = 120$ мм² та допустимим струмом $I_{\text{доп}6} = 295$ А.

Поправковий коефіцієнт на кількість паралельно прокладених кабелів:

$$K_{\text{пр}6} = 1$$

Допустимий струм для кабеля з врахуванням умов прокладання та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається так:

$$I'_{\text{доп}6} = K_{\text{сер}} \cdot K_{\text{пр}6} \cdot K_{\text{попр}} \cdot I_{\text{доп}6} = 0.95 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 295 = 279.86 \text{ А}$$

Таким чином $I'_{\text{доп}6} = 279.86 \text{ А} > I_6 = 129.48 \text{ А}$. Умова виконується.

Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести перевірку за умов допустимої втрати напруги.

Питомі опори кабелю з стандартним перерізом струмопровідної жили $S_6 = 120$ мм²: $r_{\text{п}6} = 0.261$ мОм/м, $x_{\text{п}6} = 0.08$ мОм/м. Тоді активний і реактивний опори кабелю обчислюються так:

$$R_{\text{к}66} = r_{\text{п}6} \cdot l_{\text{к}66} = 0.261 \cdot 250 \cdot 10^{-3} = 0.065 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{к}66} = x_{\text{п}6} \cdot l_{\text{к}66} = 0.08 \cdot 250 \cdot 10^{-3} = 0.02 \text{ Ом}$$

Втрата напруги в кабелі визначається так:

$$\Delta U_{\text{к}66} = \frac{P_6 \cdot R_{\text{к}66} + Q_6 \cdot X_{\text{к}66}}{10 \cdot U^2_{\text{ном}}} = \frac{75 \cdot 0.065 + 40.5 \cdot 0.02}{10 \cdot 0.38^2} = 3.95 \%$$

Оскільки величина втрати напруги в кабелі не перевищує допустимої (5 %), то переріз кабелю вибраний правильно.

Таким чином, вибираємо трижильний кабель АВВГ(3×120).

2.1.8. Вибір перерізу для сьомої кабельної лінії

Розрахунковий струм сьомої кабельної лінії, $I_7 = 129.48$ А. Обираємо кабель з поперечним перерізом $S_7 = 95$ мм² та допустимим струмом $I_{\text{доп}7} = 255$ А.

Поправковий коефіцієнт на кількість паралельно прокладених кабелів:

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{пр7} = 1$$

Допустимий струм для кабелю з врахуванням умов прокладання та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається так:

$$I'_{доп7} = K_{сер} \cdot K_{пр7} \cdot K_{попр} \cdot I_{доп7} = 0.95 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 255 = 241.91 \text{ А}$$

Таким чином $I'_{доп7} = 241.91 \text{ А} > I_7 = 129.48 \text{ А}$. Умова виконується.

Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести перевірку за умов допустимої втрати напруги.

Питомі опори кабелю з стандартним перерізом струмопровідної жили $S_7 = 95 \text{ мм}^2$: $r_{п7} = 0.329 \text{ мОм/м}$, $x_{п7} = 0.081 \text{ мОм/м}$. Тоді активний і реактивний опори кабелю обчислюються так:

$$R_{к67} = r_{п7} \cdot l_{к67} = 0.329 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 0.041 \text{ Ом}$$

$$X_{к67} = x_{п7} \cdot l_{к67} = 0.081 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 0.01 \text{ Ом}$$

Втрата напруги в кабелі визначається так:

$$\Delta U_{к67} = \frac{P_7 \cdot R_{к67} + Q_7 \cdot X_{к67}}{10 \cdot U_{ном}^2} = \frac{75 \cdot 0.041 + 40.5 \cdot 0.01}{10 \cdot 0.38^2} = 2.42 \%$$

Оскільки величина втрати напруги в кабелі не перевищує допустимої (5 %), то переріз кабелю вибраний правильно.

Таким чином, вибираємо трижильний кабель АВВГ(3×95).

2.1.9. Вибір перерізу для восьмої кабельної лінії

Розрахунковий струм восьмої кабельної лінії, $I_8 = 457.63 \text{ А}$. Обираємо два кабелю з поперечним перерізом $S_8 = 150 \text{ мм}^2$ та допустимим струмом $I_{доп8} = 335 \text{ А}$.

Поправковий коефіцієнт на кількість паралельно прокладених кабелів:

$$K_{пр8} = 0.92$$

Допустимий струм для кабелю з врахуванням умов прокладання та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається так:

$$I'_{доп8} = K_{сер} \cdot K_{пр8} \cdot K_{попр} \cdot I_{доп8} = 0.95 \cdot 0.92 \cdot 1 \cdot (2 \cdot 335) = 584.76 \text{ А}$$

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином $I'_{\text{доп}8} = 584.76 \text{ А} > I_8 = 457.63 \text{ А}$. Умова виконується.

Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести перевірку за умов допустимої втрати напруги.

Питомі опори кабелю з стандартним перерізом струмопровідної жили $S_8 = 150 \text{ мм}^2$: $r_{\text{п}8} = 0.208 \text{ мОм/м}$, $x_{\text{п}8} = 0.079 \text{ мОм/м}$. Тоді загальні активні і реактивні опори кабелів обчислюються так:

$$R_{\text{к}68} = \frac{r_{\text{п}8} \cdot l_{\text{к}68}}{2} = \frac{0.208 \cdot 125 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.013 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{к}68} = \frac{x_{\text{п}8} \cdot l_{\text{к}68}}{2} = \frac{0.079 \cdot 125 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.004 \text{ Ом}$$

Втрата напруги в кабелі визначається так:

$$\Delta U_{\text{к}68} = \frac{P_8 \cdot R_{\text{к}68} + Q_8 \cdot X_{\text{к}68}}{10 \cdot U_{\text{НОМ}}^2} = \frac{250 \cdot 0.013 + 167.5 \cdot 0.004}{10 \cdot 0.38^2} = 2.82 \%$$

Оскільки величина втрати напруги в кабелі не перевищує допустимої (5 %), то переріз кабелю вибраний правильно.

Таким чином, вибираємо два трижильних кабелі АВВГ(2×3×150).

2.2. Вибір перерізу кабельної лінії наругою 10 кВ

При виборі перерізу кабелю, який живить трансформатор 10/0.4 кВ, приймається номінальний первинний струм трансформатора, який визначається так:

$$I_{\text{НОМ.Т}} = \frac{S_{\text{НОМ.Т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ.Т}}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 92.37 \text{ А,}$$

де $S_{\text{НОМ.Т}}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_{\text{НОМ.Т}}$ – номінальна первинна напруга трансформатора, кВ.

Для кабелів з алюмінієвими жилами та гумовою ізоляцією економічна густина струму $J_{\text{ек}} = 1.7 \text{ А/мм}^2$. Економічно вигідний переріз кабелю в нормальному режимі роботи:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{НОМ.Т}}}{J_{\text{ек}}} = \frac{92.37}{1.7} = 54.33 \text{ мм}^2$$

									Арк.
									22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Вибирається найближчий стандартний переріз кабелю $S = 50 \text{ мм}^2$.

$$I_{\text{доп}} = 175 \text{ А} > I = 85.48 \text{ А}$$

Для кабелів з алюмінієвими суцільними жилами і гумовою ізоляцією при напрузі 10 кВ приймається температурний коефіцієнт $C = 78 \text{ Ас}^{1/2}/\text{мм}^2$. Дійсний час вимикання КЗ приймається $t = 0.2 \text{ с}$.

Найменший переріз кабелю, який є термостійким до струмів КЗ, визначається так:

$$S_{\text{мін}} = \frac{I_{\text{к}} \cdot \sqrt{t}}{C} = \frac{2.76 \cdot \sqrt{0.2}}{78} = 15.82 \text{ мм}^2$$

Таким чином, $S = 50 \text{ мм}^2 > S_{\text{мін}} = 15.82 \text{ мм}^2$, вибраний раніше переріз кабелю підходить. Остаточо вибираємо кабель АВВГ(3×50).

Результати вибраних раніше кабелів для ліній напругою 0.4 та 10 кВ заносимо в таблицю 5.

Таблиця 5 – Результат вибору кабелів

№	Довжина, м	Напруга на ділянці, кВ	Струм, А	Вибраний кабель	Тривало допустимий струм, А
1	175	0.4	151.93	АВВГ(3×95)	255
2	100	0.4	394.63	АВВГ(2×3×95)	2×255 (510)
3	100	0.4	394.63	АВВГ(2×3×95)	2×255 (510)
4	100	0.4	394.63	АВВГ(2×3×95)	2×255 (510)
5	150	0.4	196.62	АВВГ(3×95)	255
6	250	0.4	129.48	АВВГ(3×120)	295
7	200	0.4	129.48	АВВГ(3×95)	255
8	125	0.4	457.63	АВВГ(2×3×150)	2×335 (670)
9	2000	10	85.48	АВВГ(3×50)	175

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

3.1. Розрахунок струмів трифазного короткого замикання в електричній мережі напругою 0.4 кВ

3.1.1. Розрахунок спільних параметрів

Базисна напруга ступеня в електричній мережі напругою до 1 кВ

$$U_{\text{ном.сер.НН}} = 1.05 \cdot U_{\text{ном.НН}} = 1.05 \cdot 380 = 400 \text{ В}$$

Індуктивний опір системи, який приведений до ступеня НН, визначається так:

$$X_c = \frac{U_6^2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot S_k} = \frac{400^2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 500} = 0.185 \text{ мОм}$$

Для трансформатора ТМ-1600-10/0.4 приймаються втрати 16.5 кВт, напруга КЗ $u_k = 5.5 \%$. Активний та індуктивний опори прямої послідовності трансформатора, які приведені до ступеня НН, визначаються так:

$$R_T = \frac{P_{\text{к.ном}} \cdot U_{\text{ном.сер.НН}}^2 \cdot 10^6}{S_{\text{ном.т}}^2} = \frac{16.5 \cdot 0.4^2 \cdot 10^6}{1600^2} = 1.03 \text{ мОм}$$

$$X_T = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{\text{к.ном}}}{S_{\text{ном.т}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}^2 \cdot 10^4}{S_{\text{ном.т}}}$$
$$= \sqrt{5.5^2 - \left(\frac{100 \cdot 16.5}{1600} \right)^2} \cdot \frac{0.4^2 \cdot 10^4}{1600} = 5.4 \text{ мОм}$$

Приблизний опір контактів приймається $R_k = 20 \text{ мОм}$

3.1.2. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на першій кабельній лінії

Для кабельної лінії напругою до 1 кВ з однаковим перерізом питомі опори такі: $r_{\text{пл}} = 0.329 \text{ мОм/м}$, $x_{\text{пл}} = 0.081 \text{ мОм/м}$. Довжина кабелю $l_{\text{кбл}} = 175 \text{ м}$. Активний та індуктивний опори кабельної лінії 1 визначаються так:

									Арк.
									24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$R_{к61} = r_{п1} \cdot l_{к61} = 0.329 \cdot 175 = 57.57 \text{ мОм}$$

$$X_{к61} = x_{п1} \cdot l_{к61} = 0.081 \cdot 175 = 14.17 \text{ мОм}$$

Для автомата ВА51-35 приймається $R_{a1} = 1.1 \text{ мОм}$; $X_{a1} = 0.5 \text{ мОм}$.

Сумарні опори визначаються так:

$$R_{\Sigma 1} = R_{к61} + R_T + R_{a1} + R_K = 57.57 + 1.03 + 1.1 + 20 = 79.7 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma 1} = X_c + X_{к61} + X_T + X_{a1} = 0.185 + 14.17 + 5.4 + 0.5 = 20.26 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma 1} = \sqrt{R_{\Sigma 1}^2 + X_{\Sigma 1}^2} = \sqrt{79.7^2 + 20.26^2} = 82.24 \text{ мОм}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається так:

$$I_{к}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 82.24} = 2.8 \text{ кА}$$

3.1.3. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на другій кабельній лінії

Для кабельної лінії напругою до 1 кВ з однаковим перерізом питомі опори такі: $r_{п2} = 0.329 \text{ мОм/м}$, $x_{п2} = 0.081 \text{ мОм/м}$. Довжина кабелю $l_{к62} = 100 \text{ м}$. Активний та індуктивний опори кабельної лінії 2 визначаються так:

$$R_{к62} = \frac{r_{п2} \cdot l_{к62}}{2} = \frac{0.329 \cdot 100}{2} = 16.45 \text{ мОм}$$

$$X_{к62} = \frac{x_{п2} \cdot l_{к62}}{2} = \frac{0.081 \cdot 100}{2} = 4.05 \text{ мОм}$$

Для автомата ВА51-39 приймається $R_{a2} = 0.41 \text{ мОм}$; $X_{a2} = 0.13 \text{ мОм}$.

Сумарні опори визначаються так:

$$R_{\Sigma 2} = R_{к62} + R_T + R_{a2} + R_K = 16.45 + 1.03 + 0.41 + 20 = 37.89 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma 2} = X_c + X_{к62} + X_T + X_{a2} = 0.185 + 4.05 + 5.4 + 0.13 = 9.76 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma 2} = \sqrt{R_{\Sigma 2}^2 + X_{\Sigma 2}^2} = \sqrt{37.89^2 + 9.76^2} = 39.13 \text{ мОм}$$

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається так:

$$I_{2к}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 39.13} = 5.9 \text{ кА}$$

3.1.4. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на третій кабельній лінії

Для кабельної лінії напругою до 1 кВ з однаковим перерізом питомі опори такі: $r_{п3} = 0.329$ мОм/м, $x_{п3} = 0.081$ мОм/м. Довжина кабелю $l_{к63} = 100$ м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії 3 визначаються так:

$$R_{к63} = \frac{r_{п3} \cdot l_{к63}}{2} = \frac{0.329 \cdot 100}{2} = 16.45 \text{ мОм}$$

$$X_{к63} = \frac{x_{п3} \cdot l_{к63}}{2} = \frac{0.081 \cdot 100}{2} = 4.05 \text{ мОм}$$

Для автомата ВА51-39 приймається $R_{а3} = 0.41$ мОм; $X_{а3} = 0.13$ мОм.

Сумарні опори визначаються так:

$$R_{\Sigma 3} = R_{к63} + R_{Т} + R_{а3} + R_{к} = 16.45 + 1.03 + 0.41 + 20 = 37.89 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma 3} = X_{с} + X_{к63} + X_{Т} + X_{а3} = 0.185 + 4.05 + 5.4 + 0.13 = 9.76 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma 3} = \sqrt{R_{\Sigma 3}^2 + X_{\Sigma 3}^2} = \sqrt{37.89^2 + 9.76^2} = 39.13 \text{ мОм}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається так:

$$I_{3к}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 39.13} = 5.9 \text{ кА}$$

3.1.5. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на четвертій кабельній лінії

Для кабельної лінії напругою до 1 кВ з однаковим перерізом питомі опори такі: $r_{п4} = 0.329$ мОм/м, $x_{п4} = 0.081$ мОм/м. Довжина кабелю

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$l_{к64} = 100$ м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії 4 визначаються так:

$$R_{к64} = \frac{r_{п4} \cdot l_{к64}}{2} = \frac{0.329 \cdot 100}{2} = 16.45 \text{ мОм}$$

$$X_{к64} = \frac{x_{п4} \cdot l_{к64}}{2} = \frac{0.081 \cdot 100}{2} = 4.05 \text{ мОм}$$

Для автомата ВА51-39 приймається $R_{а4} = 0.41$ мОм; $X_{а4} = 0.13$ мОм.

Сумарні опори визначаються так:

$$R_{\Sigma 4} = R_{к64} + R_T + R_{а4} + R_K = 16.45 + 1.03 + 0.41 + 20 = 37.89 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma 4} = X_c + X_{к64} + X_T + X_{а4} = 0.185 + 4.05 + 5.4 + 0.13 = 9.76 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma 4} = \sqrt{R_{\Sigma 4}^2 + X_{\Sigma 4}^2} = \sqrt{37.89^2 + 9.76^2} = 39.13 \text{ мОм}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається так:

$$I_{4к}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 4}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 39.13} = 5.9 \text{ кА}$$

3.1.6. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на п'ятій кабельній лінії

Для кабельної лінії напругою до 1 кВ з однаковим перерізом питомі опори такі: $r_{п5} = 0.329$ мОм/м, $x_{п5} = 0.081$ мОм/м. Довжина кабелю $l_{к65} = 150$ м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії 5 визначаються так:

$$R_{к65} = r_{п5} \cdot l_{к65} = 0.329 \cdot 150 = 49.35 \text{ мОм}$$

$$X_{к65} = x_{п5} \cdot l_{к65} = 0.081 \cdot 150 = 12.15 \text{ мОм}$$

Для автомата ВА51-35 приймається $R_{а5} = 1.1$ мОм; $X_{а5} = 0.5$ мОм.

Сумарні опори визначаються так:

$$R_{\Sigma 5} = R_{к65} + R_T + R_{а5} + R_K = 49.35 + 1.03 + 1.1 + 20 = 71.48 \text{ мОм}$$

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X_{\Sigma 5} = X_c + X_{к65} + X_T + X_{a5} = 0.185 + 12.15 + 5.4 + 0.5 = 17.46 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma 5} = \sqrt{R_{\Sigma 5}^2 + X_{\Sigma 5}^2} = \sqrt{71.48^2 + 17.46^2} = 73.58 \text{ мОм}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається так:

$$I_{5к}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 5}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 73.58} = 3.13 \text{ кА}$$

3.1.7. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на шостій кабельній лінії

Для кабельної лінії напругою до 1 кВ з однаковим перерізом питомі опори такі: $r_{п6} = 0.261 \text{ мОм/м}$, $x_{п6} = 0.08 \text{ мОм/м}$. Довжина кабелю $l_{к66} = 250 \text{ м}$. Активний та індуктивний опори кабельної лінії б визначаються так:

$$R_{к66} = r_{п6} \cdot l_{к66} = 0.261 \cdot 250 = 65.25 \text{ мОм}$$

$$X_{к66} = x_{п6} \cdot l_{к66} = 0.08 \cdot 250 = 20 \text{ мОм}$$

Для автомата QF6 (ВА51-35) приймається $R_{a6} = 1.1 \text{ мОм}$;
 $X_{a6} = 0.5 \text{ мОм}$.

Сумарні опори визначаються так:

$$R_{\Sigma 6} = R_{к66} + R_T + R_{a6} + R_k = 65.25 + 1.03 + 1.1 + 20 = 87.38 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma 6} = X_c + X_{к66} + X_T + X_{a6} = 0.185 + 20 + 5.4 + 0.5 = 26.08 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma 6} = \sqrt{R_{\Sigma 6}^2 + X_{\Sigma 6}^2} = \sqrt{87.38^2 + 26.08^2} = 91.19 \text{ мОм}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається так:

$$I_{6к}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 6}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 91.19} = 2.53 \text{ кА}$$

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.8. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на сьомій кабельній лінії

Для кабельної лінії напругою до 1 кВ з однаковим перерізом питомі опори такі: $r_{п7} = 0.329$ мОм/м, $x_{п7} = 0.081$ мОм/м. Довжина кабелю $l_{к67} = 200$ м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії 7 визначаються так:

$$R_{к67} = r_{п7} \cdot l_{к67} = 0.329 \cdot 200 = 65.8 \text{ мОм}$$

$$X_{к67} = x_{п7} \cdot l_{к67} = 0.081 \cdot 200 = 16.2 \text{ мОм}$$

Для автомата ВА51-35 приймається $R_{а7} = 1.1$ мОм; $X_{а7} = 0.5$ мОм.

Сумарні опори визначаються так:

$$R_{\Sigma 7} = R_{к67} + R_T + R_{а7} + R_k = 65.8 + 1.03 + 1.1 + 20 = 87.93 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma 7} = X_c + X_{к67} + X_T + X_{а7} = 0.185 + 16.2 + 5.4 + 0.5 = 22.28 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma 7} = \sqrt{R_{\Sigma 7}^2 + X_{\Sigma 7}^2} = \sqrt{87.93^2 + 22.28^2} = 90.71 \text{ мОм}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається так:

$$I_{7к}^{(3)} = \frac{U_{ном.сер.НН}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 7}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 90.71} = 2.54 \text{ кА}$$

3.1.9. Розрахунок струму трифазного короткого замикання на восьмій кабельній лінії

Для кабельної лінії напругою до 1 кВ з однаковим перерізом питомі опори такі: $r_{п8} = 0.208$ мОм/м, $x_{п8} = 0.079$ мОм/м. Довжина кабелю $l_{к68} = 125$ м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії 8 визначаються так:

$$R_{к68} = \frac{r_{п8} \cdot l_{к68}}{2} = \frac{0.208 \cdot 125}{2} = 13 \text{ мОм}$$

$$X_{к68} = \frac{x_{п8} \cdot l_{к68}}{2} = \frac{0.079 \cdot 125}{2} = 4.93 \text{ мОм}$$

Для автомата ВА51-39 приймається $R_{а8} = 0.41$ мОм; $X_{а8} = 0.13$ мОм.

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Сумарні опори визначаються так:

$$R_{\Sigma 8} = R_{к68} + R_{Т} + R_{a8} + R_{к} = 13 + 1.03 + 0.41 + 20 = 34.44 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma 8} = X_{с} + X_{к68} + X_{Т} + X_{a8} = 0.185 + 4.93 + 5.4 + 0.13 = 10.65 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma 8} = \sqrt{R_{\Sigma 8}^2 + X_{\Sigma 8}^2} = \sqrt{34.44^2 + 10.65^2} = 36.05 \text{ мОм}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається так:

$$I_{8к}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 8}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 36.05} = 6.4 \text{ кА}$$

3.2. Розрахунок струмів однофазного короткого замикання

3.2.1. Розрахунок спільних параметрів

Повний опір знижувального трансформатора струмам однофазного КЗ, визначається як:

$$Z_{Т}^{(1)} = \sqrt{(R_{1Т} + R_{2Т} + R_{0Т})^2 + (X_{1Т} + X_{2Т} + X_{0Т})^2} \\ = \sqrt{(1.1 + 1.1 + 1.1)^2 + (5.4 + 5.4 + 5.4)^2} = 16.53 \text{ мОм},$$

де $R_{1Т}$ і $X_{1Т}$ – активний та індуктивний опори трансформатора струмам прямої послідовності, мОм;

$R_{2Т} = R_{1Т}$ і $X_{2Т} = X_{1Т}$ – те саме зворотної послідовності, мОм;

$R_{0Т}$ і $X_{0Т}$ те саме нульової послідовності, мОм.

3.2.2. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на першій кабельній лінії

Повний питомий опір $z_{п.пт}$ ланцюга “фаза - нуль” для трижильного кабелю з алюмінієвими жилами такий: $z_{п.пт.к61} = 0.78 \text{ мОм/м}$;

Повний опір визначається так:

$$Z_{пт.1} = z_{п.пт.к61} \cdot l_{к61} = 0.78 \cdot 175 = 136.5 \text{ мОм}$$

Струм однофазного металевого КЗ визначається так:

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{1к}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{(1)}{Z_{\frac{T}{3}} + Z_{пт.1}} = \frac{220}{\frac{16.53}{3} + 136.5}} = 1.54 \text{ кА}$$

3.2.3. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на другій кабельній лінії

Повний питомий опір $z_{п.пт}$ ланцюга “фаза - нуль” для трижильного кабелю з алюмінієвими жилами такий: $z_{п.пт.к62} = 0.78 \text{ мОм/м}$;

Повний опір визначається так:

$$Z_{пт.2} = \frac{z_{п.пт.к62} \cdot l_{к62}}{2} = \frac{0.78 \cdot 100}{2} = 39 \text{ мОм}$$

Струм однофазного металевого КЗ визначається так:

$$I_{2к}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{(1)}{Z_{\frac{T}{3}} + Z_{пт.2}} = \frac{220}{\frac{16.53}{3} + 39}} = 4.94 \text{ кА}$$

3.2.4. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на третій кабельній лінії

Повний питомий опір $z_{п.пт}$ ланцюга “фаза - нуль” для трижильного кабелю з алюмінієвими жилами такий: $z_{п.пт.к63} = 0.78 \text{ мОм/м}$;

Повний опір визначається так:

$$Z_{пт.3} = \frac{z_{п.пт.к63} \cdot l_{к63}}{2} = \frac{0.78 \cdot 100}{2} = 39 \text{ мОм}$$

Струм однофазного металевого КЗ визначається так:

$$I_{3к}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{(1)}{Z_{\frac{T}{3}} + Z_{пт.3}} = \frac{220}{\frac{16.53}{3} + 39}} = 4.94 \text{ кА}$$

3.2.5. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на четвертій кабельній лінії

Повний питомий опір $z_{п.пт}$ ланцюга “фаза - нуль” для трижильного кабелю з алюмінієвими жилами такий: $z_{п.пт.к64} = 0.78$ мОм/м;

Повний опір визначається так:

$$Z_{пт.4} = \frac{z_{п.пт.к64} \cdot l_{к64}}{2} = \frac{0.78 \cdot 100}{2} = 39 \text{ мОм}$$

Струм однофазного металевого КЗ визначається так:

$$I_{4к}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{г}^{(1)}}{3} + Z_{пт.4}} = \frac{220}{\frac{16.53}{3} + 39} = 4.94 \text{ кА}$$

3.2.6. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на п'ятій кабельній лінії

Повний питомий опір $z_{п.пт}$ ланцюга “фаза - нуль” для трижильного кабелю з алюмінієвими жилами такий: $z_{п.пт.к65} = 0.78$ мОм/м;

Повний опір визначається так:

$$Z_{пт.5} = z_{п.пт.к65} \cdot l_{к65} = 0.78 \cdot 150 = 117 \text{ мОм}$$

Струм однофазного металевого КЗ визначається так:

$$I_{5к}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{г}^{(1)}}{3} + Z_{пт.5}} = \frac{220}{\frac{16.53}{3} + 117} = 1.79 \text{ кА}$$

3.2.7. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на шостій кабельній лінії

Повний питомий опір $z_{п.пт}$ ланцюга “фаза - нуль” для трижильного кабелю з алюмінієвими жилами такий: $z_{п.пт.к66} = 0.62$ мОм/м;

Повний опір визначається так:

$$Z_{пт.6} = z_{п.пт.к66} \cdot l_{к66} = 0.62 \cdot 250 = 155 \text{ мОм}$$

Струм однофазного металевого КЗ визначається так:

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{6к}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{(1)}{3} Z_{\tau} + Z_{пт.6}} = \frac{220}{\frac{16.53}{3} + 155} = 1.37 \text{ кА}$$

3.2.8. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на сьомій кабельній лінії

Повний питомий опір $z_{п.пт}$ ланцюга “фаза - нуль” для трижильного кабелю з алюмінієвими жилами такий: $z_{п.пт.к67} = 0.78 \text{ мОм/м}$;

Повний опір визначається так:

$$Z_{пт.7} = z_{п.пт.к67} \cdot l_{к67} = 0.78 \cdot 200 = 156 \text{ мОм}$$

Струм однофазного металевого КЗ визначається так:

$$I_{7к}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{(1)}{3} Z_{\tau} + Z_{пт.7}} = \frac{220}{\frac{16.53}{3} + 156} = 1.36 \text{ кА}$$

3.2.9. Розрахунок струму однофазного короткого замикання на восьмій кабельній лінії

Повний питомий опір $z_{п.пт}$ ланцюга “фаза - нуль” для трижильного кабелю з алюмінієвими жилами такий: $z_{п.пт.к68} = 0.52 \text{ мОм/м}$;

Повний опір визначається так:

$$Z_{пт.8} = \frac{z_{п.пт.к68} \cdot l_{к68}}{2} = \frac{0.52 \cdot 100}{2} = 32.5 \text{ мОм}$$

Струм однофазного металевого КЗ визначається так:

$$I_{8к}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{(1)}{3} Z_{\tau} + Z_{пт.8}} = \frac{220}{\frac{16.53}{3} + 32.5} = 5.78 \text{ кА}$$

3.3. Розрахунок струму короткого замикання на ділянці 10 кВ

Розрахунок струму КЗ виконується в іменованих одиницях:

- опір кабельної лінії:

$$X_{л} = 0.085 \cdot 2 = 0.17 \text{ Ом}$$

- опір трансформатора ТМ-4000-35/10.5 згідно каталожних даних:

$$X_{Т} = 23 \text{ Ом}$$

- опір системи:

$$X_{с} = \frac{U_{ВН}^2}{S_{с}} = \frac{35^2}{500} = 2.45 \text{ Ом}$$

Періодична складова струму КЗ на стороні 10 кВ:

$$I_{к} = \frac{U_{ВН}}{\sqrt{3} \cdot (X_{л} + X_{Т} + X_{с})} \cdot \frac{U_{ВН}}{U_{НН}} = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot (0.17 + 23 + 2.45)} \cdot \frac{35}{10} = 2.76 \text{ кА}$$

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

РОЗДІЛ 4. ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

4.1. Вибір електричних апаратів в електричній мережі напругою 0.4 кВ

4.1.1. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 1

Вибирається автомат **ВА51-35** [1] струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами.

Номінальна напруга автомата вибирається як:

$$660 \text{ В} > 380 \text{ В}$$

Номінальний струм автомата ВА51-35:

$$I_{\text{ном.а}} = 250 \text{ А} > I_1 = 151.93 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-35 номінальні струми теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ такі: 100; 125; 160; 200 і 250 А. Тоді номінальний струм теплового розчеплювача:

$$I_{\text{ном.т.р}} = 160 \text{ А} > I_1 = 151.93 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-35 кратність струму спрацювання (уставки) теплового розчеплювача $I_{\text{у.т.р}}$ до номінального струму теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ ($I_{\text{у.т.р}}/I_{\text{ном.т.р}}$) становить 1.25. Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача:

$$I_{\text{у.т.р}} = 1.25 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = 1.25 \cdot 160 = 200 \text{ А}$$

$$I_{\text{у.т.р}} = 200 \text{ А} > 1.1 \cdot 151.93 = 167.12 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-35 у разі наявності теплового розчеплювача відношення струму спрацювання відсічки $I_{\text{с.в}}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{\text{у.е.р}}$) до номінального струму теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ ($I_{\text{с.в}}/I_{\text{ном.т.р}}$) становить 12. Таким чином, струм спрацювання відсічки (електромагнітного розчеплювача):

$$I_{\text{с.в}} = I_{\text{у.е.р}} = 12 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = 12 \cdot 160 = 1920 \text{ А}$$

Піковий струм $I_{\text{пшк}} = I_1 = 151.93 \text{ А}$

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{y.e.p} = 1920 \text{ A} > 1.25 \cdot 151.93 = 189.9 \text{ A}$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ лінійним автоматом береться струм трифазного КЗ, $I_{лк}^{(3)} = 2.8 \text{ кА}$. Для автоматів ВА51-35 $I_{ном.в.а} = 22 \text{ кА}$

$$22 \text{ кА} > 2.8 \text{ кА}$$

Для перевірки чутливості захисту струм однофазного КЗ $I_{лк}^{(1)} = 1.54 \text{ кА}$

$$1.25 \cdot 1.92 = 2.4 \text{ кА} > I_{лк}^{(1)} = 1.54 \text{ кА}$$

Остаточню вибираємо автомат ВА51-35 з такими параметрами:

$U_{ном.а} = 660 \text{ В}$; $I_{ном.а} = 250 \text{ А}$; $I_{ном.т.р} = 160 \text{ А}$; $I_{y.т.р} = 200 \text{ А}$; $I_{y.e.p} = 1920 \text{ А}$; $I_{ном.в.а} = 22 \text{ кА}$. Каталожні та розрахункові дані цього автомата типу ВА51-35 наводяться в таблиці 6.

Таблиця 6 – Каталожні та розрахункові дані автомата ВА51-35

Умови вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{ном.а} \geq U_{ном.м}$	660 В	380 В
$I_{ном.а} \geq I_1$	250 А	151.93 А
$I_{ном.т.р} \geq I_1$	160 А	151.93 А
$I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$	250 А	160 А
$I_{y.т.р} \geq 1.1 \cdot I_1$	$1.25 \cdot 160 = 200 \text{ А}$	$1.1 \cdot 151.93 = 167.12 \text{ А}$
$I_{y.e.p} \geq 1.25 \cdot I_{пик}$	$12 \cdot 160 = 1920 \text{ А}$	$1.25 \cdot 151.93 = 189.9 \text{ А}$
$I_{ном.в.а} \geq I_{п.о} = I_{лк}^{(3)}$	22 кА	2.8 кА
$1.25 \cdot I_{y.e.p} \leq I_{лк}^{(1)}$	$1.25 \cdot 1.92 = 2.4 \text{ кА}$	1.54 кА

4.1.2. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 2

Вибирається автомат **ВА51-39** [1] струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами.

Номинальна напруга автомата вибирається як:

$$660 \text{ В} > 380 \text{ В}$$

Номинальний струм автомата ВА51-39:

$$I_{ном.а} = 630 \text{ А} > I_2 = 394.63 \text{ А}$$

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для автомату ВА51-39 номінальні струми теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ такі: 400; 500 і 630 А. Тоді номінальний струм теплового розчеплювача:

$$I_{\text{ном.т.р}} = 400 \text{ А} > I_2 = 394.63 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-39 кратність струму спрацювання (уставки) теплового розчеплювача $I_{\text{у.т.р}}$ до номінального струму теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ ($I_{\text{у.т.р}}/I_{\text{ном.т.р}}$) становить 1.25 . Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача:

$$I_{\text{у.т.р}} = 1.25 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = 1.25 \cdot 400 = 500 \text{ А}$$

$$I_{\text{у.т.р}} = 500 \text{ А} > 1.1 \cdot 394.62 = 434.09 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-39 у разі наявності теплового розчеплювача відношення струму спрацювання відсічки $I_{\text{с.в}}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{\text{у.е.р}}$) до номінального струму теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ ($I_{\text{с.в}}/I_{\text{ном.т.р}}$) становить 10. Таким чином, струм спрацювання відсічки (електромагнітного розчеплювача):

$$I_{\text{с.в}} = I_{\text{у.е.р}} = 10 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = 10 \cdot 400 = 4000 \text{ А}$$

Піковий струм $I_{2\text{пik}} = 3039 \text{ А}$

$$I_{\text{у.е.р}} = 4000 \text{ А} > 1.25 \cdot 3039 = 3798 \text{ А}$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ лінійним автоматом береться струм трифазного КЗ, $I_{2\text{к}}^{(3)} = 5.9 \text{ кА}$. Для автоматів ВА51-39 $I_{\text{ном.в.а}} = 40 \text{ кА}$

$$40 \text{ кА} > 5.9 \text{ кА}$$

Для перевірки чутливості захисту струм однофазного КЗ $I_{2\text{к}}^{(1)} = 4.94 \text{ кА}$

$$1.25 \cdot 4 = 5 \text{ кА} > I_{2\text{к}}^{(1)} = 4.94 \text{ кА}$$

Остаточню вибираємо автомат ВА51-39 з такими параметрами:

$U_{\text{ном.а}} = 660 \text{ В}$; $I_{\text{ном.а}} = 630 \text{ А}$; $I_{\text{ном.т.р}} = 400 \text{ А}$; $I_{\text{у.т.р}} = 500 \text{ А}$; $I_{\text{у.е.р}} = 4000 \text{ А}$;
 $I_{\text{ном.в.а}} = 40 \text{ кА}$. Каталожні та розрахункові дані цього автомата типу ВА51-39 наводяться в таблиці 7.

					<i>БР 20520190 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		37

Таблиця 7 – Каталогні та розрахункові дані автомата ВА51-39

Умови вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.м}}$	660 В	380 В
$I_{\text{ном.а}} \geq I_2$	630 А	394.63 А
$I_{\text{ном.т.р}} \geq I_2$	400 А	394.63 А
$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}$	630 А	400 А
$I_{\text{у.т.р}} \geq 1.1 \cdot I_2$	$1.25 \cdot 400 = 500 \text{ А}$	$1.1 \cdot 394.6 = 434.09 \text{ А}$
$I_{\text{у.е.р}} \geq 1.25 \cdot I_{2\text{пik}}$	$10 \cdot 400 = 4000 \text{ А}$	$1.25 \cdot 3039 = 3798 \text{ А}$
$I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{\text{п.о}} = I_{2к}^{(3)}$	40 кА	5.9 кА
$1.25 \cdot I_{\text{у.е.р}} \leq I_{2к}^{(1)}$	$1.25 \cdot 4 = 5 \text{ кА}$	4.94 кА

4.1.3. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 3

Вибирається автомат **ВА51-39** [1] струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами.

Номінальна напруга автомата вибирається як:

$$660 \text{ В} > 380 \text{ В}$$

Номінальний струм автомата ВА51-39:

$$I_{\text{ном.а}} = 630 \text{ А} > I_3 = 394.63 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-39 номінальні струми теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ такі: 400; 500 і 630 А. Тоді номінальний струм теплового розчеплювача:

$$I_{\text{ном.т.р}} = 400 \text{ А} > I_3 = 394.63 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-39 кратність струму спрацювання (уставки) теплового розчеплювача $I_{\text{у.т.р}}$ до номінального струму теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ ($I_{\text{у.т.р}}/I_{\text{ном.т.р}}$) становить 1.25. Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача

$$I_{\text{у.т.р}} = 1.25 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = 1.25 \cdot 400 = 500 \text{ А}$$

$$I_{\text{у.т.р}} = 500 \text{ А} > 1.1 \cdot 394.62 = 434.09 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-39 у разі наявності теплового розчеплювача відношення струму спрацювання відсічки $I_{\text{с.в}}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{\text{у.е.р}}$) до номінального струму теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$

$(I_{с.в}/I_{ном.т.р})$ становить 10. Таким чином, струм спрацьовування відсічки (електромагнітного розчеплювача):

$$I_{с.в} = I_{у.е.р} = 10 \cdot I_{ном.т.р} = 10 \cdot 400 = 4000 \text{ А}$$

Піковий струм $I_{зпик} = 3039 \text{ А}$

$$I_{у.е.р} = 4000 \text{ А} > 1.25 \cdot 3039 = 3798 \text{ А}$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ лінійним автоматом береться струм трифазного КЗ, $I_{зк}^{(3)} = 5.9 \text{ кА}$. Для автоматів ВА51-39 $I_{ном.в.а} = 40 \text{ кА}$

$$40 \text{ кА} > 5.9 \text{ кА}$$

Для перевірки чутливості захисту струм однофазного КЗ $I_{зк}^{(1)} = 4.94 \text{ кА}$

$$1.25 \cdot 4 = 5 \text{ кА} > I_{зк}^{(1)} = 4.94 \text{ кА}$$

Остаточно вибираємо автомат ВА51-39 з такими параметрами:

$U_{ном.а} = 660 \text{ В}$; $I_{ном.а} = 630 \text{ А}$; $I_{ном.т.р} = 400 \text{ А}$; $I_{у.т.р} = 500 \text{ А}$; $I_{у.е.р} = 4000 \text{ А}$; $I_{ном.в.а} = 40 \text{ кА}$. Каталожні та розрахункові дані цього автомата типу ВА51-39 наводяться в таблиці 8.

Таблиця 8 – Каталожні та розрахункові дані автомата ВА51-39

Умови вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{ном.а} \geq U_{ном.м}$	660 В	380 В
$I_{ном.а} \geq I_3$	630 А	394.63 А
$I_{ном.т.р} \geq I_3$	400 А	394.63 А
$I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$	630 А	400 А
$I_{у.т.р} \geq 1.1 \cdot I_3$	$1.25 \cdot 400 = 500 \text{ А}$	$1.1 \cdot 394.6 = 434.09 \text{ А}$
$I_{у.е.р} \geq 1.25 \cdot I_{зпик}$	$10 \cdot 400 = 4000 \text{ А}$	$1.25 \cdot 3039 = 3798 \text{ А}$
$I_{ном.в.а} \geq I_{п.о} = I_{зк}^{(3)}$	40 кА	5.9 кА
$1.25 \cdot I_{у.е.р} \leq I_{зк}^{(1)}$	$1.25 \cdot 4 = 5 \text{ кА}$	4.94 кА

4.1.4. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 4

Вибирається автомат **ВА51-39** [1] струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами.

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Номинальна напруга автомата вибирається як:

$$660 \text{ В} > 380 \text{ В}$$

Номинальний струм автомата ВА51-39:

$$I_{\text{ном.а}} = 630 \text{ А} > I_4 = 394.63 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-39 номінальні струми теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ такі: 400; 500 і 630 А. Тоді номінальний струм теплового розчеплювача:

$$I_{\text{ном.т.р}} = 400 \text{ А} > I_4 = 394.63 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-39 кратність струму спрацювання (уставки) теплового розчеплювача $I_{\text{у.т.р}}$ до номінального струму теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ ($I_{\text{у.т.р}}/I_{\text{ном.т.р}}$) становить 1.25. Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача:

$$I_{\text{у.т.р}} = 1.25 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = 1.25 \cdot 400 = 500 \text{ А}$$

$$I_{\text{у.т.р}} = 500 \text{ А} > 1.1 \cdot 394.62 = 434.09 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-39 у разі наявності теплового розчеплювача відношення струму спрацювання відсічки $I_{\text{с.в}}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{\text{у.е.р}}$) до номінального струму теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ ($I_{\text{с.в}}/I_{\text{ном.т.р}}$) становить 10. Таким чином, струм спрацювання відсічки (електромагнітного розчеплювача):

$$I_{\text{с.в}} = I_{\text{у.е.р}} = 10 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = 10 \cdot 400 = 4000 \text{ А}$$

Піковий струм $I_{4\text{пик}} = 3039 \text{ А}$

$$I_{\text{у.е.р}} = 4000 \text{ А} > 1.25 \cdot 3039 = 3798 \text{ А}$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ лінійним автоматом береться струм трифазного КЗ, $I_{4\text{к}}^{(3)} = 5.9 \text{ кА}$. Для автоматів ВА51-39 $I_{\text{ном.в.а}} = 40 \text{ кА}$

$$40 \text{ кА} > 5.9 \text{ кА}$$

Для перевірки чутливості захисту струм однофазного КЗ $I_{4\text{к}}^{(1)} = 4.94 \text{ кА}$

$$1.25 \cdot 4 = 5 \text{ кА} > I_{4\text{к}}^{(1)} = 4.94 \text{ кА}$$

Остаточно вибираємо автомат ВА51-39 з такими параметрами:

$$U_{\text{ном.а}} = 660 \text{ В}; I_{\text{ном.а}} = 630 \text{ А}; I_{\text{ном.т.р}} = 400 \text{ А}; I_{\text{у.т.р}} = 500 \text{ А}; I_{\text{у.е.р}} = 4000 \text{ А};$$

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$I_{\text{ном.в.а}} = 40$ кА. Каталожні та розрахункові дані цього автомата типу ВА51-39 наводяться в таблиці 9.

Таблиця 9 – Каталожні та розрахункові дані автомата ВА51-39

Умови вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.м}}$	660 В	380 В
$I_{\text{ном.а}} \geq I_4$	630 А	394.63 А
$I_{\text{ном.т.р}} \geq I_4$	400 А	394.63 А
$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}$	630 А	400 А
$I_{\text{у.т.р}} \geq 1.1 \cdot I_4$	$1.25 \cdot 400 = 500$ А	$1.1 \cdot 394.6 = 434.09$ А
$I_{\text{у.е.р}} \geq 1.25 \cdot I_{4\text{пik}}$	$10 \cdot 400 = 4000$ А	$1.25 \cdot 3039 = 3798$ А
$I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{\text{п.о}} = I_{4\text{к}}^{(3)}$	40 кА	5.9 кА
$1.25 \cdot I_{\text{у.е.р}} \leq I_{4\text{к}}^{(1)}$	$1.25 \cdot 4 = 5$ кА	4.94 кА

4.1.5. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 5

Вибирається автомат **ВА51-35** [1] струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами.

Номінальна напруга автомата вибирається як:

$$660 \text{ В} > 380 \text{ В}$$

Номінальний струм автомата ВА51-35:

$$I_{\text{ном.а}} = 250 \text{ А} > I_5 = 196.62 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-35 номінальні струми теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ такі: 100; 125; 160; 200 і 250 А. Тоді номінальний струм теплового розчеплювача:

$$I_{\text{ном.т.р}} = 200 \text{ А} > I_5 = 196.62 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-35 кратність струму спрацювання (уставки) теплового розчеплювача $I_{\text{у.т.р}}$ до номінального струму теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ ($I_{\text{у.т.р}}/I_{\text{ном.т.р}}$) становить 1.25. Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача:

$$I_{\text{у.т.р}} = 1.25 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = 1.25 \cdot 200 = 250 \text{ А}$$

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{y.t.p} = 250 \text{ A} > 1.1 \cdot 196.62 = 216.28 \text{ A}$$

Для автомату ВА51-35 у разі наявності теплового розчеплювача відношення струму спрацювання відсічки $I_{c.в}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{y.e.p}$) до номінального струму теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ ($I_{c.в}/I_{ном.т.р}$) становить 12. Таким чином, струм спрацювання відсічки (електромагнітного розчеплювача):

$$I_{c.в} = I_{y.e.p} = 12 \cdot I_{ном.т.р} = 12 \cdot 200 = 2400 \text{ A}$$

$$\text{Піковий струм } I_{5\text{пik}} = 1455 \text{ A}$$

$$I_{y.e.p} = 2400 \text{ A} > 1.25 \cdot 1455 = 1819 \text{ A}$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ лінійним автоматом береться струм трифазного КЗ, $I_{5к}^{(3)} = 3.13 \text{ кА}$. Для автоматів ВА51-35 $I_{ном.в.а} = 22 \text{ кА}$

$$22 \text{ кА} > 3.13 \text{ кА}$$

Для перевірки чутливості захисту струм однофазного КЗ $I_{5к}^{(1)} = 1.79 \text{ кА}$

$$1.25 \cdot 2.4 = 3 \text{ кА} > I_{5к}^{(1)} = 1.79 \text{ кА}$$

Остаточню вибираємо автомат ВА51-35 з такими параметрами:

$U_{ном.а} = 660 \text{ В}$; $I_{ном.а} = 250 \text{ А}$; $I_{ном.т.р} = 200 \text{ А}$; $I_{y.t.p} = 250 \text{ А}$; $I_{y.e.p} = 2400 \text{ А}$; $I_{ном.в.а} = 22 \text{ кА}$. Каталожні та розрахункові дані цього автомата типу ВА51-35 наводяться в таблиці 10.

Таблиця 10 – Каталожні та розрахункові дані автомата ВА51-35

Умови вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{ном.а} \geq U_{ном.м}$	660 В	380 В
$I_{ном.а} \geq I_5$	250 А	196.62 А
$I_{ном.т.р} \geq I_5$	200 А	196.62 А
$I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$	250 А	200 А
$I_{y.t.p} \geq 1.1 \cdot I_5$	$1.25 \cdot 200 = 250 \text{ А}$	$1.1 \cdot 196.62 = 216.28 \text{ А}$
$I_{y.e.p} \geq 1.25 \cdot I_{5\text{пik}}$	$12 \cdot 200 = 2400 \text{ А}$	$1.25 \cdot 1455 = 1819 \text{ А}$
$I_{ном.в.а} \geq I_{п.о} = I_{5к}^{(3)}$	22 кА	3.13 кА
$1.25 \cdot I_{y.e.p} \leq I_{5к}^{(1)}$	$1.25 \cdot 2.4 = 3 \text{ кА}$	1.79 кА

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1.6. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 6

Вибирається автомат **ВА51-35** [1] струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами.

Номінальна напруга автомата вибирається як:

$$660 \text{ В} > 380 \text{ В}$$

Номінальний струм автомата ВА51-35:

$$I_{\text{ном.а}} = 250 \text{ А} > I_6 = 129.48 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-35 номінальні струми теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ такі: 100; 125; 160; 200 і 250 А. Тоді номінальний струм теплового розчеплювача:

$$I_{\text{ном.т.р}} = 160 \text{ А} > I_6 = 129.48 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-35 кратність струму спрацювання (уставки) теплового розчеплювача $I_{\text{у.т.р}}$ до номінального струму теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ ($I_{\text{у.т.р}}/I_{\text{ном.т.р}}$) становить 1.25. Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача:

$$I_{\text{у.т.р}} = 1.25 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = 1.25 \cdot 160 = 200 \text{ А}$$

$$I_{\text{у.т.р}} = 200 \text{ А} > 1.1 \cdot 129.48 = 142.43 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-35 у разі наявності теплового розчеплювача відношення струму спрацювання відсічки $I_{\text{с.в}}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{\text{у.е.р}}$) до номінального струму теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ ($I_{\text{с.в}}/I_{\text{ном.т.р}}$) становить 12. Таким чином, струм спрацювання відсічки (електромагнітного розчеплювача):

$$I_{\text{с.в}} = I_{\text{у.е.р}} = 12 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = 12 \cdot 160 = 1920 \text{ А}$$

Піковий струм $I_{\text{бпик}} = 984.12 \text{ А}$

$$I_{\text{у.е.р}} = 1920 \text{ А} > 1.25 \cdot 984.12 = 1230 \text{ А}$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ лінійним автоматом береться струм трифазного КЗ, $I_{\text{бк}}^{(3)} = 2.53 \text{ кА}$. Для автоматів ВА51-35 $I_{\text{ном.в.а}} = 22 \text{ кА}$

$$22 \text{ кА} > 2.53 \text{ кА}$$

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для перевірки чутливості захисту струм однофазного КЗ $I_{6к}^{(1)} = 1.37 \text{ кА}$

$$1.25 \cdot 1.92 = 2.4 \text{ кА} > I_{6к}^{(1)} = 1.37 \text{ кА}$$

Остаточню вибираємо автомат ВА51-35 з такими параметрами:

$U_{\text{ном.а}} = 660 \text{ В}$; $I_{\text{ном.а}} = 250 \text{ А}$; $I_{\text{ном.т.р}} = 160 \text{ А}$; $I_{\text{у.т.р}} = 200 \text{ А}$; $I_{\text{у.е.р}} = 1920 \text{ А}$;
 $I_{\text{ном.в.а}} = 22 \text{ кА}$. Каталожні та розрахункові дані цього автомата типу ВА51-35 наводяться в таблиці 11.

Таблиця 11 – Каталожні та розрахункові дані автомата ВА51-35

Умови вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.м}}$	660 В	380 В
$I_{\text{ном.а}} \geq I_6$	250 А	129.48 А
$I_{\text{ном.т.р}} \geq I_6$	160 А	129.48 А
$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}$	250 А	160 А
$I_{\text{у.т.р}} \geq 1.1 \cdot I_6$	$1.25 \cdot 160 = 200 \text{ А}$	$1.1 \cdot 129.48 = 142.43 \text{ А}$
$I_{\text{у.е.р}} \geq 1.25 \cdot I_{6\text{пик}}$	$12 \cdot 160 = 1920 \text{ А}$	$1.25 \cdot 984.12 = 1230 \text{ А}$
$I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{\text{п.о}} = I_{6к}^{(3)}$	22 кА	2.53 кА
$1.25 \cdot I_{\text{у.е.р}} \leq I_{6к}^{(1)}$	$1.25 \cdot 1.92 = 2.4 \text{ кА}$	1.37 кА

4.1.7. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 7

Вибирається автомат **ВА51-35** [1] струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами.

Номінальна напруга автомата вибирається як:

$$660 \text{ В} > 380 \text{ В}$$

Номінальний струм автомата ВА51-35:

$$I_{\text{ном.а}} = 250 \text{ А} > I_7 = 129.48 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-35 номінальні струми теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ такі: 100; 125; 160; 200 і 250 А. Тоді номінальний струм теплового розчеплювача:

$$I_{\text{ном.т.р}} = 160 \text{ А} > I_7 = 129.48 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-35 кратність струму спрацювання (уставки) теплового розчеплювача $I_{у.т.р}$ до номінального струму теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ ($I_{у.т.р}/I_{ном.т.р}$) становить 1.25 . Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача:

$$I_{у.т.р} = 1.25 \cdot I_{ном.т.р} = 1.25 \cdot 160 = 200 \text{ А}$$

$$I_{у.т.р} = 200 \text{ А} > 1.1 \cdot 129.48 = 142.43 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-35 у разі наявності теплового розчеплювача відношення струму спрацювання відсічки $I_{с.в}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{у.е.р}$) до номінального струму теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ ($I_{с.в}/I_{ном.т.р}$) становить 12. Таким чином, струм спрацювання відсічки (електромагнітного розчеплювача):

$$I_{с.в} = I_{у.е.р} = 12 \cdot I_{ном.т.р} = 12 \cdot 160 = 1920 \text{ А}$$

Піковий струм $I_{7\text{пик}} = 984.12 \text{ А}$

$$I_{у.е.р} = 1920 \text{ А} > 1.25 \cdot 984.12 = 1230 \text{ А}$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ лінійним автоматом береться струм трифазного КЗ, $I_{7к}^{(3)} = 2.54 \text{ кА}$. Для автоматів ВА51-35 $I_{ном.в.а} = 22 \text{ кА}$

$$22 \text{ кА} > 2.54 \text{ кА}$$

Для перевірки чутливості захисту струм однофазного КЗ $I_{7к}^{(1)} = 1.36 \text{ кА}$

$$1.25 \cdot 1.92 = 2.4 \text{ кА} > I_{7к}^{(1)} = 1.36 \text{ кА}$$

Остаточню вибираємо автомат ВА51-35 з такими параметрами:

$U_{ном.а} = 660 \text{ В}$; $I_{ном.а} = 250 \text{ А}$; $I_{ном.т.р} = 160 \text{ А}$; $I_{у.т.р} = 200 \text{ А}$; $I_{у.е.р} = 1920 \text{ А}$; $I_{ном.в.а} = 22 \text{ кА}$. Каталожні та розрахункові дані цього автомата типу ВА51-35 наводяться в таблиці 12.

Таблиця 12 – Каталожні та розрахункові дані автомата ВА51-35

Умови вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{ном.а} \geq U_{ном.м}$	660 В	380 В
$I_{ном.а} \geq I_7$	250 А	129.48 А
$I_{ном.т.р} \geq I_7$	160 А	129.48 А

Продовження таблиці 12

$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}$	250 А	160 А
$I_{\text{у.т.р}} \geq 1.1 \cdot I_7$	$1.25 \cdot 160 = 200 \text{ А}$	$1.1 \cdot 129.48 = 142.43 \text{ А}$
$I_{\text{у.е.р}} \geq 1.25 \cdot I_{7\text{пik}}$	$12 \cdot 160 = 1920 \text{ А}$	$1.25 \cdot 984.12 = 1230 \text{ А}$
$I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{\text{п.о}} = I_{7\text{к}}^{(3)}$	22 кА	2.54 кА
$1.25 \cdot I_{\text{у.е.р}} \leq I_{7\text{к}}^{(1)}$	$1.25 \cdot 1.92 = 2.4 \text{ кА}$	1.36 кА

4.1.8. Вибір автоматичного вимикача для кабельної лінії 8

Вибирається автомат **ВА51-39** [1] струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами.

Номінальна напруга автомата вибирається як:

$$660 \text{ В} > 380 \text{ В}$$

Номінальний струм автомата ВА51-39:

$$I_{\text{ном.а}} = 630 \text{ А} > I_8 = 457.63 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-39 номінальні струми теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ такі: 400; 500 і 630 А. Тоді номінальний струм теплового розчеплювача:

$$I_{\text{ном.т.р}} = 500 \text{ А} > I_8 = 457.63 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-39 кратність струму спрацювання (уставки) теплового розчеплювача $I_{\text{у.т.р}}$ до номінального струму теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ ($I_{\text{у.т.р}}/I_{\text{ном.т.р}}$) становить 1.25. Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача:

$$I_{\text{у.т.р}} = 1.25 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = 1.25 \cdot 500 = 625 \text{ А}$$

$$I_{\text{у.т.р}} = 625 \text{ А} > 1.1 \cdot 457.63 = 503.39 \text{ А}$$

Для автомату ВА51-39 у разі наявності теплового розчеплювача відношення струму спрацювання відсічки $I_{\text{с.в}}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{\text{у.е.р}}$) до номінального струму теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ ($I_{\text{с.в}}/I_{\text{ном.т.р}}$) становить 10. Таким чином, струм спрацювання відсічки (електромагнітного розчеплювача):

$$I_{\text{с.в}} = I_{\text{у.е.р}} = 10 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = 10 \cdot 500 = 5000 \text{ А}$$

Піковий струм $I_{8\text{пik}} = 3432 \text{ А}$

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{y.e.p} = 5000 \text{ A} > 1.25 \cdot 3432 = 4290 \text{ A}$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ лінійним автоматом береться струм трифазного КЗ, $I_{8к}^{(3)} = 6.4 \text{ кА}$. Для автоматів ВА51-39 $I_{ном.в.а} = 40 \text{ кА}$

$$40 \text{ кА} > 6.4 \text{ кА}$$

Для перевірки чутливості захисту струм однофазного КЗ $I_{8к}^{(1)} = 5.78 \text{ кА}$

$$1.25 \cdot 5 = 6.25 \text{ кА} > I_{8к}^{(1)} = 5.78 \text{ кА}$$

Остаточню вибираємо автомат ВА51-39 з такими параметрами:

$U_{ном.а} = 660 \text{ В}$; $I_{ном.а} = 630 \text{ А}$; $I_{ном.т.р} = 500 \text{ А}$; $I_{у.т.р} = 625 \text{ А}$; $I_{у.е.р} = 5000 \text{ А}$; $I_{ном.в.а} = 40 \text{ кА}$. Каталожні та розрахункові дані цього автомата типу ВА51-39 наводяться в таблиці 13.

Таблиця 13 – Каталожні та розрахункові дані автомата ВА51-39

Умови вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{ном.а} \geq U_{ном.м}$	660 В	380 В
$I_{ном.а} \geq I_8$	630 А	457.63 А
$I_{ном.т.р} \geq I_8$	500 А	457.63 А
$I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$	630 А	500 А
$I_{у.т.р} \geq 1.1 \cdot I_8$	$1.25 \cdot 500 = 625 \text{ А}$	$1.1 \cdot 457.63 = 503.39 \text{ А}$
$I_{у.е.р} \geq 1.25 \cdot I_{8пик}$	$10 \cdot 500 = 5000 \text{ А}$	$1.25 \cdot 3432 = 4290 \text{ А}$
$I_{ном.в.а} \geq I_{п.о} = I_{8к}^{(3)}$	40 кА	6.4 кА
$1.25 \cdot I_{у.е.р} \leq I_{8к}^{(1)}$	$1.25 \cdot 5 = 6.25 \text{ кА}$	5.78 кА

4.2. Вибір високовольтного вимикача

Вибирається вакуумний вимикач ВР1 [2], [6].

Номинальна напруга вимикача вибирається як:

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}$$

Номинальний струм вимикача ВР1:

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{ном.е.а}} = 630 \text{ А} > I = 85.48 \text{ А}$$

При вимиканні повинна виконуватись умова:

$$I_{\text{ном.вимик}} = 25 \text{ кА} \geq I_{\text{к}} = 2.76 \text{ кА}$$

Струм електродинамічної стійкості:

$$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА} \geq i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 1.608 \cdot I_{\text{к}} = \sqrt{2} \cdot 1.608 \cdot 2.76 = 6.27 \text{ кА}$$

Термічна стійкість:

$$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 52^2 \cdot 2 = 5408 \text{ кА}^2\text{с} \geq I_{\text{к}}^2 t_{\text{к}} = 2.76^2 \cdot 0.2 = 1.52 \text{ кА}^2\text{с}$$

Таблиця 14 – Каталожні та розрахункові дані вакуумного вимикача ВР1

Умови вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{\text{ном.е.а}} \geq U_{\text{ном.м}}$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{ном.е.а}} \geq I$	630 А	85.48 А
$I_{\text{ном.вимик}} \geq I_{\text{к}}$	25 кА	2.76 кА
$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	52 кА	6.27 кА
$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq I_{\text{к}}^2 t_{\text{к}}$	$52^2 \cdot 2 = 5408 \text{ кА}^2\text{с}$	$1.52 \text{ кА}^2\text{с}$

При виборі даних автоматів та вимикача, всі умови виконуються, отже вибір виконано правильно.

РОЗДІЛ 5. ПОКРАЩЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

5.1. Збірка схеми та опис результатів.

Тепер коли вибрані трансформатори, кабелі та комутаційні апарати для електричної мережі, можна зібрати схему даного підприємства.

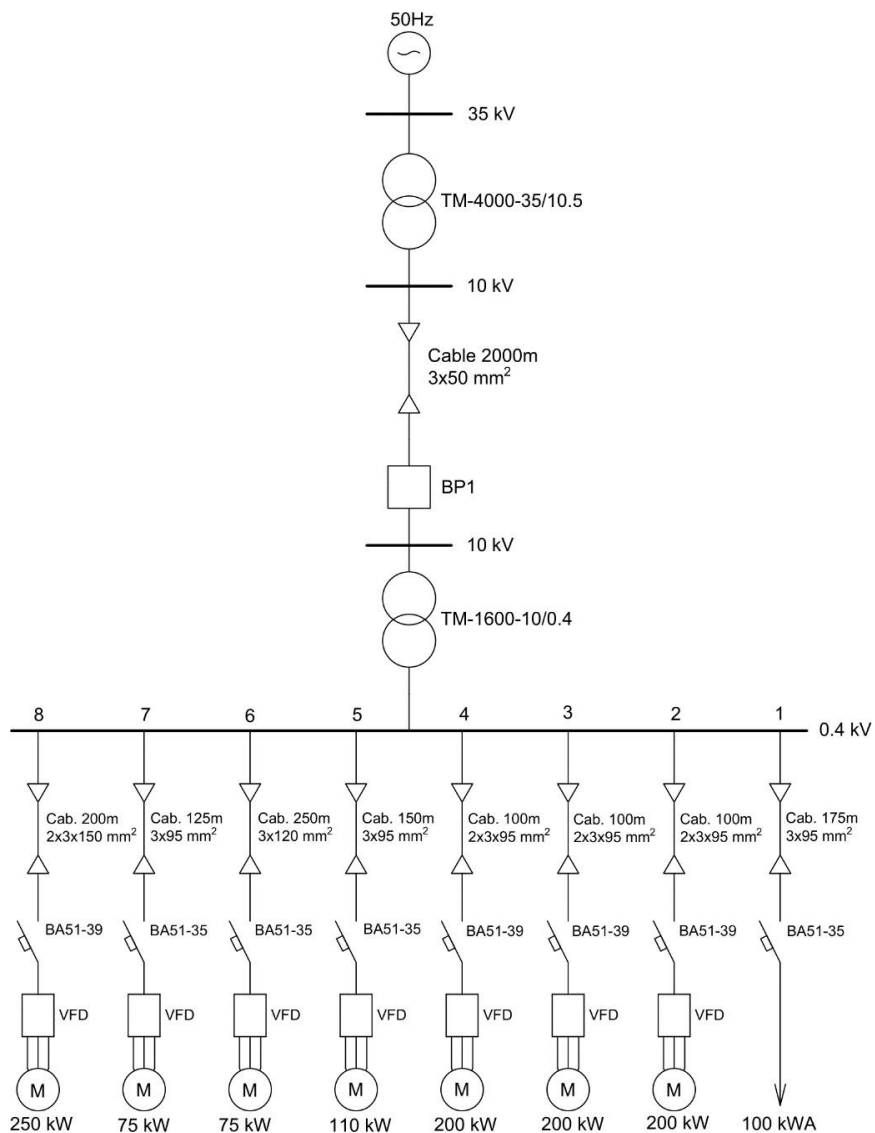


Рисунок 2 – Схема електричної мережі промислового підприємства

					<i>БР 20520190 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Було виконано дослідження впливу вищих гармонік на електричну мережу в програмному забезпеченні SOLV від компанії Mirus, яка дозволяє для схеми електропостачання розрахувати струми, потужності та коефіцієнт гармонічних спотворень за напругою (VTHD%) та струмом (ITHD%). На рисунку 3 показано результати моделювання системи електропостачання промислового підприємства в програмі SOLV.

Шестиперіодні частотно-регульовальні приводи, які розташовані перед електричними двигунами 2-8 необхідні для регулювання їхньої, але є джерелами шкідливих для електричної мережі вищих гармонік.

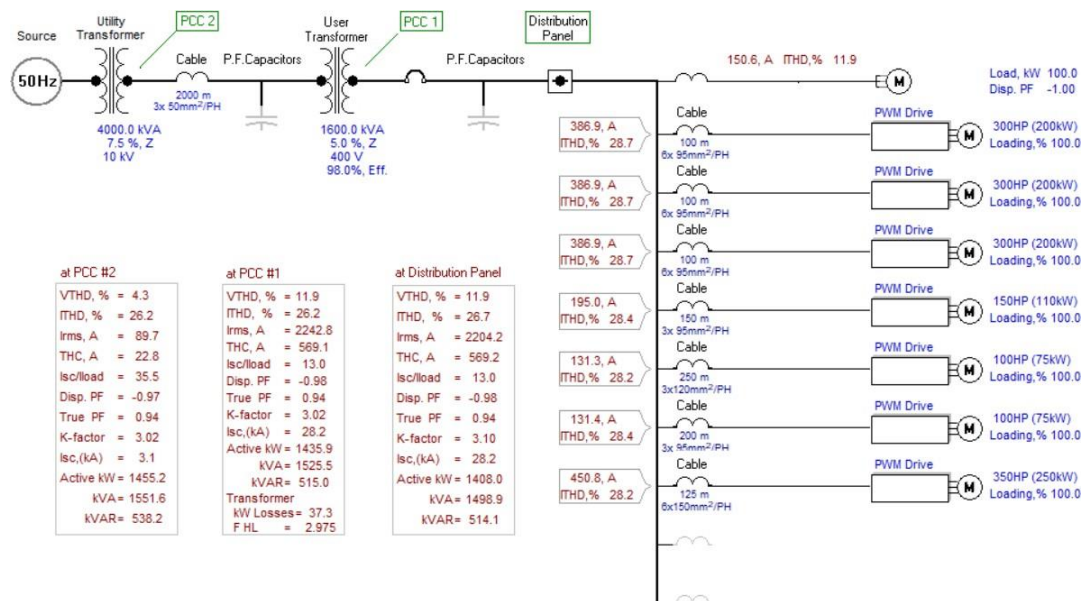


Рисунок 3 – Схема електричної мережі підприємства та її розрахунок в програмі SOLV

Також в програмі SOLV можна подивитись на форми сигналів напруги та струму, рисунок 4. Видно, що на деяких ділянках викривлення синусоїд дуже сильне, як наслідок може бути збільшення втрат в електричних машинах, вібрації обладнання та порушення роботи автоматики захисту.

Нижче на рисунку 4, видно наявні вищі гармоніки, які можуть спричинити:

- перегрів та руйнування нульових робочих провідників;
- неправильне спрацювання автоматичних вимикачів;

- прискорене старіння ізоляції проводів та кабелів;
- додаткові втрати в силових трансформаторах;
- спотворення форми синусоїди напруги живлення.

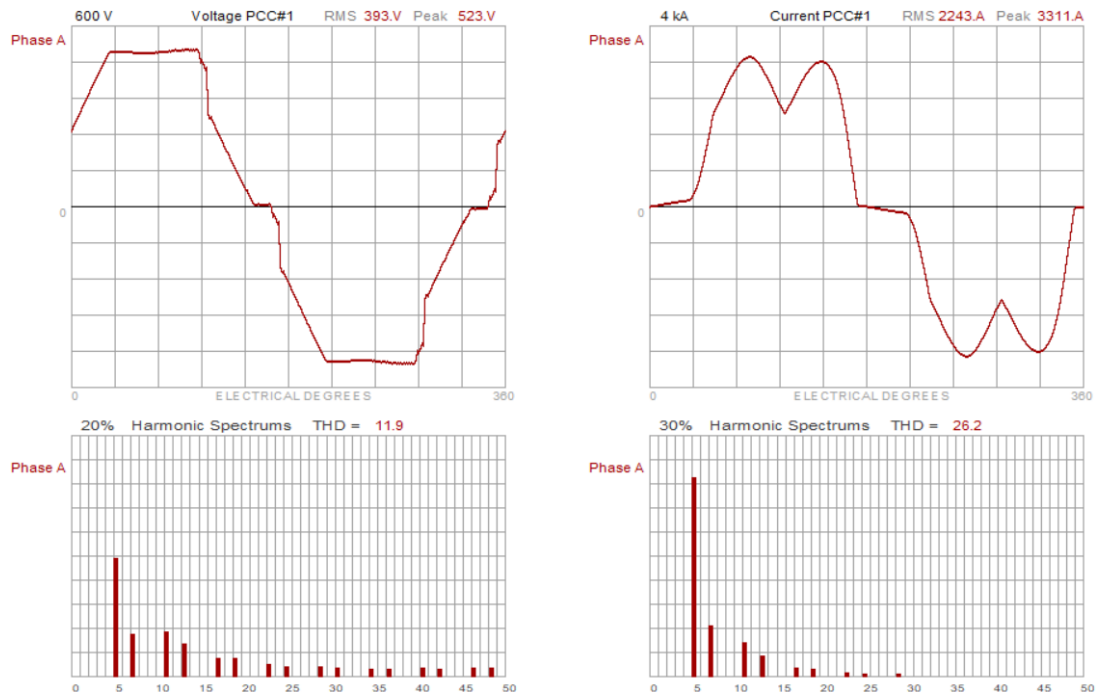


Рисунок 4 – Синусоїди напруги та струму виміряні на трансформаторі ТМ-1600-10/0.4 в програмі SOLV

На рисунку 5 показані наявні вищі гармоніки та допустимі їхні кількості у відсотках відповідно до стандарту EN50160 2010 (аналог ДСТУ EN50160 2014). Бачимо, що на ділянці напругою 0.4 кВ спільні гармоніки та 5, 11, 13 вищі за норму, тому потрібно це виправити.

Nominal Voltage of Supply Network	Harmonic Order	PCC #1			PCC #2		
		Limit	Calculated	Pass/Fail	Limit	Calculated	Pass/Fail
Voltage Distortion (%)		400 V			10 kV		
	Total (2-40)	8.0	11.8	FAIL	8.0	4.3	PASS
	Total (2-50)	8.0	11.9	FAIL	8.0	4.3	PASS
	2	2.0	0.0	PASS	2.0	0.0	PASS
	3	5.0	0.0	PASS	5.0	0.0	PASS
	4	1.0	0.0	PASS	1.0	0.0	PASS
	5	6.0	9.9	FAIL	6.0	3.5	PASS
	6	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	7	5.0	3.6	PASS	5.0	1.3	PASS
	8	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	9	1.5	0.0	PASS	1.5	0.0	PASS
	10	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	11	3.5	3.7	FAIL	3.5	1.3	PASS
	12	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	13	3.0	2.7	PASS	3.0	1.0	PASS
	14	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	15	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	16	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	17	2.0	1.5	PASS	2.0	0.5	PASS
	18	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	19	1.5	1.6	FAIL	1.5	0.6	PASS
	20	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	21	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	22	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	23	1.5	1.1	PASS	1.5	0.4	PASS
	24	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
25	1.5	0.8	PASS	1.5	0.3	PASS	

Рисунок 5 – Перевірка мережі по стандарту EN50160 2010 в програмі SOLV

Отже основними проблемами використання частотно-регулювальних приводів є додаткові втрати електроенергії, спотворення синусоїди напруги та збільшення струмів.

5.2. Розгляд способів покращення схеми електричної мережі підприємства

Перший спосіб, це замінити деякі кабелі на наступні більші поперечні перерізи, щоб вони витримували більші струми ніж розраховані, спричинені вищими гармоніками. При цьому спотворення електричної мережі залишиться, та вона не відповідатиме стандарту EN50160 2014 (ДСТУ EN50160 2014).

Другий спосіб, це встановлення фільтрів гармонік [3] перед деякими частотно-регулювальними приводами.

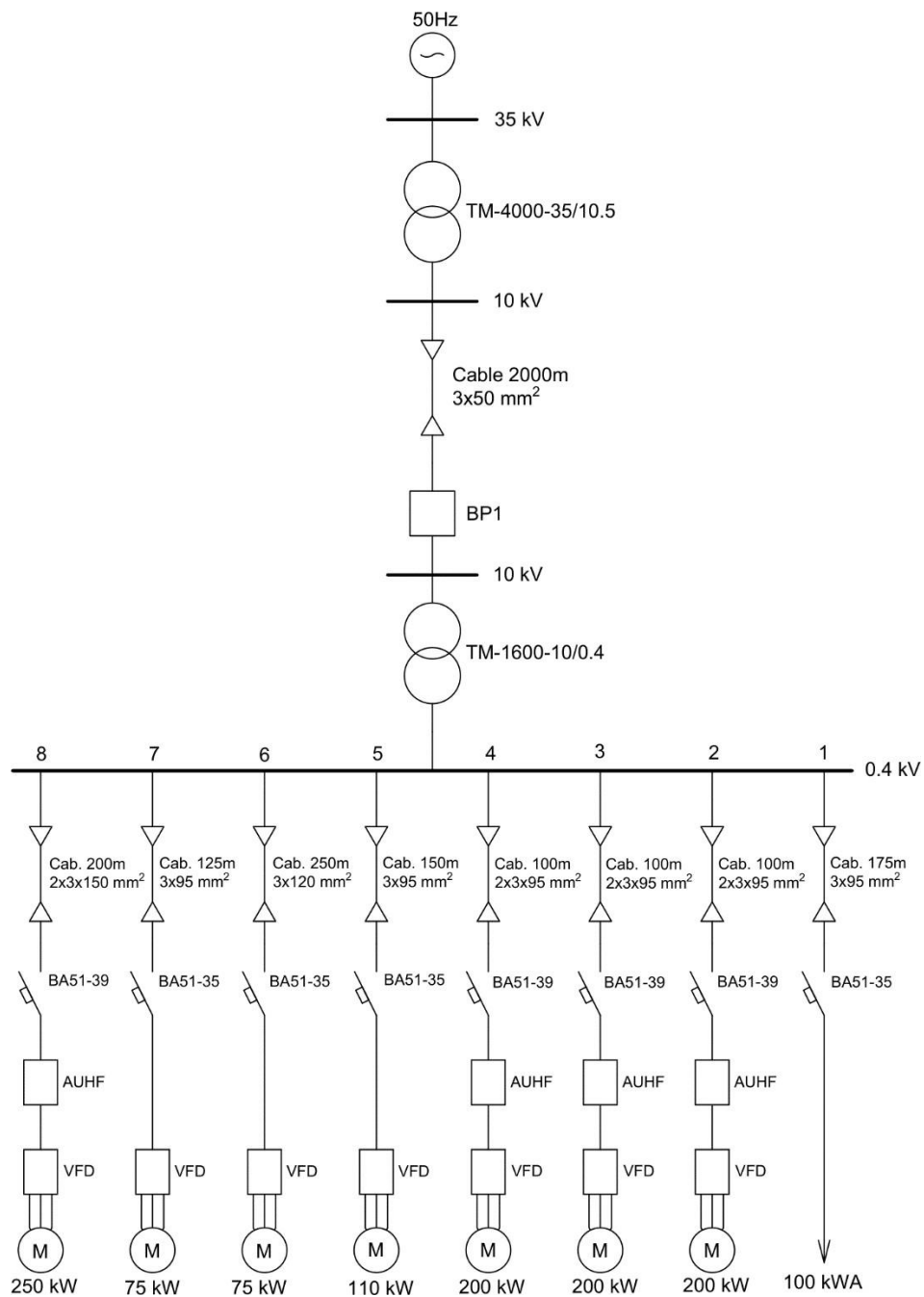


Рисунок 6 – Встановлення фільтрів вищих гармонік перед частотно-регульовальними приводами 2, 3, 4 та 8

Якщо порівняти результати розрахунку схеми в програмі SOLV, це рисунки 3 та 7, то можна побачити такі зміни:

- струми в кабельних лініях 2, 3, 4 та 8 зменшились, але в кабельних лініях 5, 6 та 7 навпаки струми збільшились;
- значно зменшилась реактивна потужність, відповідно трохи зменшилась повна потужність;

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

- зменшилися втрати та спотворення напруги, тому синусоїда виглядає більш адекватно, рисунок 8.

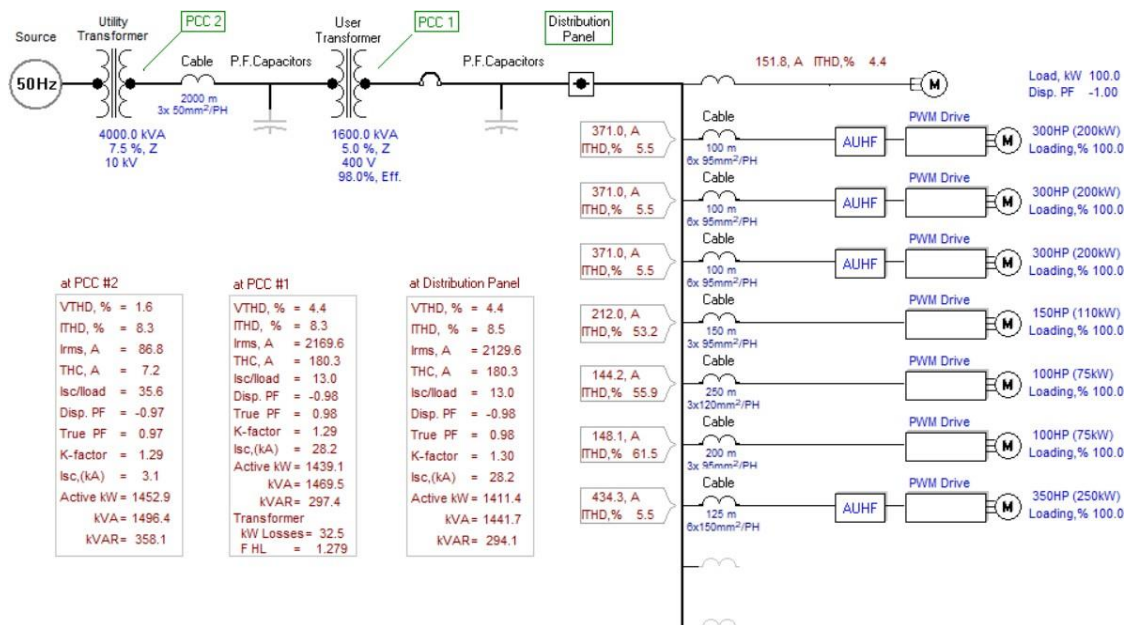


Рисунок 7 – Заміна в схемі частотно-регулювальних приводів 2, 3, 4 та 8 на фільтри гармонік в програмі SOLV

На рисунку 9 можна побачити, що тепер перевірка удосконаленої мережі по стандарту EN50160 2010 проходить. Всі кабелі витримують струми розраховані в програмі SOLV.

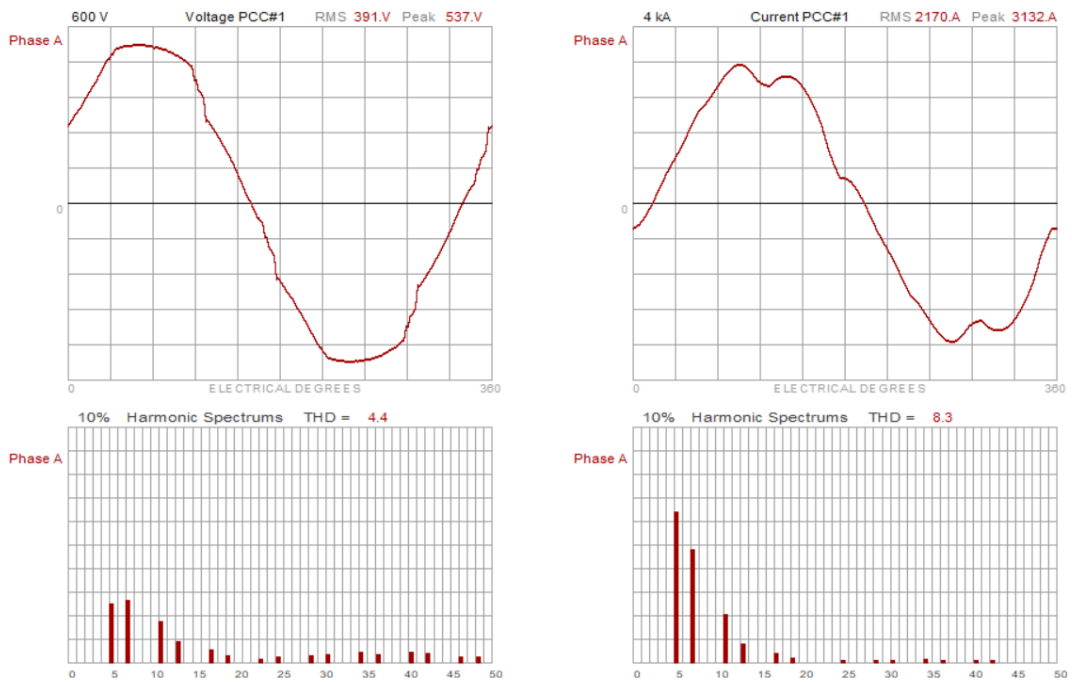


Рисунок 8 – Синусоїди напруги та струму виміряні на трансформаторі ТМ-1600-10/0.4 покращеної мережі в програмі SOLV

Nominal Voltage of Supply Network	Harmonic Order	PCC #1 400 V			PCC #2 10 kV		
		Limit	Calculated	Pass/Fail	Limit	Calculated	Pass/Fail
Voltage Distortion (%)	Total (2-40)	8.0	4.3	PASS	8.0	1.6	PASS
	Total (2-50)	8.0	4.4	PASS	8.0	1.6	PASS
	2	2.0	0.0	PASS	2.0	0.0	PASS
	3	5.0	0.0	PASS	5.0	0.0	PASS
	4	1.0	0.0	PASS	1.0	0.0	PASS
	5	6.0	2.5	PASS	6.0	0.9	PASS
	6	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	7	5.0	2.7	PASS	5.0	1.0	PASS
	8	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	9	1.5	0.0	PASS	1.5	0.0	PASS
	10	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	11	3.5	1.8	PASS	3.5	0.6	PASS
	12	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	13	3.0	0.9	PASS	3.0	0.3	PASS
	14	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	15	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	16	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	17	2.0	0.6	PASS	2.0	0.2	PASS
	18	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	19	1.5	0.3	PASS	1.5	0.1	PASS
	20	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	21	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	22	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
	23	1.5	0.2	PASS	1.5	0.1	PASS
	24	0.5	0.0	PASS	0.5	0.0	PASS
25	1.5	0.3	PASS	1.5	0.1	PASS	

Рисунок 9 – Перевірка покращеної мережі по стандарту EN50160 2010 в програмі SOLV

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1. Характеристика об'єкту та умови його експлуатації

Дипломна робота виконувалась на базі промислового підприємства, в якому використовуються електродвигуни. Призначення даного підприємства виготовлення продукції.

Електродвигуни вважаються одними з найпоширеніших пристроїв для конвертації електричної енергії в механічну на промислових підприємствах. Однак, при їх використанні, існує ризик травматизму та потенційних небезпек.

Огляд потенційних ризиків

Перед початком роботи з електродвигунами необхідно ретельно оцінити потенційні ризики. Деякі з них включають:

- електричний удар: неправильне підключення або обслуговування електродвигунів може призвести до електричного удару, що може мати серйозні наслідки для працівників;

- травми через рухомі частини: рухомі частини електродвигунів, такі як вали, ремені або ланцюги, можуть стати причиною травматичних подій, якщо на них неналежно реагувати;

- небезпека пожежі: неправильне використання або перегрів електродвигунів може призвести до загоряння, що може спричинити серйозні матеріальні збитки та загрозу життю.

Заходи безпеки

Для запобігання потенційним небезпекам, пов'язаним з електродвигунами, необхідно дотримуватися наступних заходів безпеки:

- навчання та інструктаж: всі працівники, які мають стикається з електродвигунами, повинні пройти навчання та інструктаж з питань безпеки(це включає в себе правильне включення та відключення, процедури екстреного відключення та поведінку у випадку аварії);

- регулярна перевірка та обслуговування: електродвигуни повинні періодично перевірятися та обслуговуватися кваліфікованим персоналом(це допоможе запобігти виникненню непередбачених ситуацій та забезпечити безпечну роботу);

					<i>БР 20520190 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Сергієнко С.В.</i>			<i>Розрахунок параметрів електричної мережі промислового підприємства з урахуванням вищих гармонічних спотворень</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Дяговченко І.М.</i>					56	62
<i>Н. Контр.</i>						<i>СумДУ ЕТ-01</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Лебединський І.Л.</i>						

- використання захисного обладнання: працівники, що працюють з електродвигунами, повинні мати відповідне захисне обладнання, таке як рукавички, окуляри та захисний одяг;

- системи аварійного відключення: електродвигуни повинні бути обладнані системами аварійного відключення, які дозволяють швидко вимкнути їх у випадку аварії чи надзвичайної ситуації;

- маркування та ідентифікація: всі електродвигуни повинні бути чітко позначені та ідентифіковані, щоб працівники могли швидко знайти необхідні пристрої та обладнання.

Дотримання правил та процедур безпеки при роботі з електродвигунами є важливим аспектом забезпечення безпеки праці на промисловому підприємстві. Працівники повинні бути належно навчені та підготовлені для роботи з цим обладнанням, а управління повинно активно сприяти створенню безпечної робочої атмосфери. Тільки таким чином можна забезпечити ефективну та безпечну експлуатацію електродвигунів на промисловому підприємстві.

6.2. Обслуговування та продовження терміну служби електродвигунів

Як і будь-яке обладнання, електродвигуни потребують регулярного обслуговування та заміни деяких деталей для підтримання нормальної роботи та продовження їх терміну служби.

Один з найважливіших аспектів ефективності електродвигунів – це регулярне обслуговування. Це включає в себе проведення робіт з чистки, змащення та перевірки роботи всіх компонентів. Важливо слідкувати за температурою електродвигуна, перевіряти його електричний стан та контролювати частоту обертання. Регулярне обслуговування дозволяє виявити потенційні проблеми, що можуть призвести до аварій, та запобігти їх виникненню.

Окрім обслуговування, важливим аспектом ефективності електродвигунів є продовження їх терміну служби. Це можливо завдяки правильному вибору деталей, встановленню захисних пристроїв та систем контролю. Наприклад, використання якісних підшипників, установка системи охолодження та автоматичних вимикачів може значно збільшити тривалість роботи електродвигуна без збоїв. Також важливо використовувати ефективні

					<i>БР 20520190 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57

системи ізоляції та забезпечувати належну вентиляцію у приміщенні, де знаходиться електродвигун.

Основні заходи безпеки під час обслуговування електродвигунів:

- одяг та взуття: працюйте в головному уборі та застебнутому спецодязі; використовуйте діелектричне взуття або гумові килимки для захисту від електричного струму.

- уникайте контакту з електричними частинами: не торкайтеся одночасно до струмовідних частин двох полюсів або струмовідних і заземлених частин; остерігайтеся захвату частинами машин, що обертаються.

- правильне розміщення та підключення: розміщуйте електродвигун на рівному надійному майданчику; підключення повинен здійснювати кваліфікований електрик; використовуйте подовжувачі та кабелі високої якості, без пошкоджень і порізів.

- експлуатація та перевірка: здійснюйте експлуатацію відповідно до технічної документації та рекомендацій виробника; перед пуском перевірте стан електропроводки та споживачів.

6.3. Заземлення

Заземлення на промисловому підприємстві - це життєво важлива складова безпеки і ефективності всього виробничого процесу. Ось чому воно так важливе:

- *захист від електричного удару*: правильно заземлені системи дозволяють ефективно відводити надлишковий струм у землю, уникаючи небезпечних ситуацій для працівників та обладнання.

- *захист від перенапруг*: заземлення допомагає захистити обладнання від пошкоджень, які можуть виникнути внаслідок перенапруг, спричинених блискавкою або іншими факторами.

- *захист від статичної електрики*: на промислових підприємствах може накопичуватися статична електрика, що може стати причиною не лише дискомфорту для працівників, але і пошкодження обладнання. Заземлення допомагає відводити цей надлишковий заряд.

- *ефективність обладнання*: правильно заземлені системи зменшують ризик виникнення несправностей та збільшують тривалість служби обладнання.

- *відповідність нормативам і стандартам безпеки*: в багатьох країнах існують строгі нормативи та стандарти, які вимагають належного заземлення

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на промислових підприємствах. Дотримання цих вимог є ключовим аспектом безпечної експлуатації.

- *зменшення ризику пожежі*: правильне заземлення може допомогти уникнути перегріву обладнання та електричних систем, що може призвести до пожежі.

В цілому, заземлення на промисловому підприємстві - це не просто вимога безпеки, але і стратегічно важлива складова у забезпеченні безперебійної та безпечної роботи усієї системи.

6.4. Вентиляція

Вентиляція приміщень з електродвигунами є критично важливою з точки зору безпеки, комфорту та ефективності.

Електродвигуни можуть нагріватися під час роботи, тому погана вентиляція може призвести до перегріву, що збільшує ризик пожежі. Вентиляція допомагає відвести тепло та забезпечити нормальну роботу обладнання. Також електродвигуни можуть виділяти пил, олію та інші шкідливі речовини. Вентиляція допомагає видалити ці забруднення з приміщення.

Правильна вентиляція зменшує знос та продовжує термін служби електродвигунів, допомагає уникнути конденсації та корозії.

Вентиляція забезпечує свіже повітря, що покращує концентрацію та продуктивність працівників. Відсутність вентиляції може призвести до втоми та зниження робочої ефективності.

Загалом, вентиляція є необхідною для забезпечення безпеки, комфорту та ефективності в приміщеннях з електродвигунами.

6.5. Освітлення

Освітлення на промисловому підприємстві повинно бути ретельно сплановане і відповідати ряду вимог для забезпечення безпеки, зручності та ефективності робочого процесу. Основні аспекти, які слід врахувати при плануванні освітлення на промисловому об'єкті:

- *якість освітлення*: освітлення повинно бути достатньо яскравим, рівномірним і без блисків. Це важливо для забезпечення безпечної робочої обстановки і підвищення продуктивності працівників;

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- *енергоефективність*: використання енергоефективних світлодіодних (LED) світильників може допомогти зменшити енергоспоживання і знизити витрати на електроенергію;

- *специфічні потреби робочого процесу*: наприклад, у виробничих процесах, де потрібна детальна візуалізація, можуть бути необхідні світильники з високою кольоровою віддачею (CRI). У той же час, у процесах, де присутні агресивні середовища, можуть бути потрібні спеціальні протизапалювальні світильники;

- *безпека*: освітлення повинно відповідати всім нормативам безпеки, включаючи захист від короткого замикання, перевантаження та електричного удару. Також слід уникати нагрівання світильників до високих температур;

- *управління освітленням*: використання систем автоматизації для управління освітленням може допомогти знизити витрати на електроенергію шляхом регулювання яскравості світла в залежності від потреби;

- *сумісність з виробничим обладнанням*: освітлення повинно бути спроектоване з урахуванням розміщення обладнання та машин, щоб уникнути тіней і забезпечити належну видимість під час роботи.

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

В результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра, було спроектовано електричну мережу промислового підприємства та проведено її удосконалення шляхом фільтрування вищих гармонічних спотворень і, як наслідок, покращення якості електричної енергії.

На початку роботи було вибрано навантаження, виконано розрахунок мережі та пікових струмів. Далі обрано силові трансформатори та визначені коефіцієнти завантаження.

На другому етапі роботи було обрано переріз кабельних ліній напругою 0.4 кВ та 10 кВ. В розрахунках застосовувались спеціальні коефіцієнти для точного підбору потрібного перерізу.

На третьому етапі було виконано розрахунок струмів короткого замикання. Розраховувались трифазні та однофазні струми КЗ, а результати були використані в наступних етапах.

Четвертий етап – це вибір електричних апаратів. Для отримання вихідних даних для цього етапу попередньо провели розрахунки струмів КЗ та пікові струми. Були обрані автоматичні вимикачі для кабельних ліній на стороні 0.4 кВ та вакуумний вимикач на стороні 10 кВ.

В п'ятому розділі в програмі SOLV була змодельована схема електричної мережі підприємства, що складається з вибраних розрахунковим шляхом компонентів. Програма SOLV була використана, зокрема, для визначення рівня вищих гармонік та тестування заходів та засобів для зменшення негативного впливу вищих гармонік. Результати моделювання показали, що вміст гармонік є високими, та схема не відповідає стандарту ДСТУ EN50160-2014 (аналог EN50160-2010). Тому для вирішення цього було запропоновано два варіанти: Другий варіант, на мою думку, в рази краще, тому обрав його. Додав перед деякими частотно-регульовальними приводами фільтри гармонік. Значно покращилась синусоїда напруги, так як зменшились вищі гармоніки, та схема почала відповідати стандарту EN50160 2010.

Виконавши всі попередні розділи в який було розраховано різні параметри електричної мережі підприємства, обрав певну кількість обладнання, удосконалив схему. Тому потрібно перевіряти створені схеми електричних мереж на наявність вищих гармонік, які створюються від певних електричних приладів.

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД “Університетська книга”, 2007. – 280 с.
2. Вибір високовольтного вимикача [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
http://www.rzva.ua/ua/produkcija/komutaciini-aparati_1472639412/vakuumni-vimikachi-10-kv_1472639305/vr1_1472639255.htm
3. Вибір фільтрів гармонік [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.mirusinternational.com/lineator.php>
4. Методичні вказівки до проведення практичних занять з курсу “Електричні станції і підстанції” зі спеціальності 6.000008 “Енергоменеджмент” профілізації “Електроенергетичні системи” / Укладачі: Д.В.Муриков, І.Л.Лебединський, П.О.Василега. – Суми: Вид-во СумДУ, 2005.- 93 с.
5. Розділ з охорони праці в дипломних роботах: Рекомендації до виконання [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 136 «Металургія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О.Г. Левченко, Г.В. Демчук. – Електронні текстові дані (1 файл: 90,9 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 16 с.
6. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / [Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В.]; М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.
7. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового да дипломного проектування / Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. – Київ, 2013. – 424 с.

					БР 20520190 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62