

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

**до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

ТЕМА РОБОТИ:

**Підвищення надійності режимів роботи електричних мереж шляхом
впровадження нового варіанту розрахунку нелінійних навантажень**

Виконав: студент групи ЗЕЕМ-21ск

Максим ДУБРАВСЬКИЙ

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Ірина КАСАТКІНА

Нормо контролер _____ к.т.н., доц. Ірина КАСАТКІНА

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг 2024 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ДУБРАВСЬКИЙ Максим Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Підвищення надійності режимів роботи електричних мереж шляхом впровадження нового варіанту розрахунку нелінійних навантажень

1. Термін подання студентом роботи: 10 червня 2024 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є розробка оптимальної системи електропостачання Криворізького олійного заводу з моделюванням нелінійних навантажень і врахуванням технічних та технологічних особливостей виробництва
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Загальні відомості про підприємство; II. Розрахунок електропостачання підприємства; III. Аналіз та моделювання нелінійних навантажень в мережах до 1000 В.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Генеральний план підприємства; II. Однолінійна схема електропостачання підприємства; III. Розрахунково – монтажна таблиця електропостачання цеху; IV. Аналіз та моделювання нелінійних навантажень.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ірина КАСАТКІНА		
II	Ірина КАСАТКІНА		
III	Ірина КАСАТКІНА		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Короткий опис технологічного процесу	10.05.24
2	Відомості про електричні навантаження	12.05.24
3	Розрахунок схеми електропостачання цеху	17.05.24
4	Вибір комутаційно-захисної апаратури	19.05.24
5	Вибір і розміщення центрального розподільного пункту	24.05.24
6	Розрахунок навантажень підприємства	28.05.24
7	Вибір схеми та основних елементів заводської мережі	31.05.24
8	Моделювання неленійних навантажень	04.06.24
9	Моделювання та розрахунок струмів і напруг	07.06.24

Дата видання завдання 29.04.2024 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Максим ДУБРАВСЬКИЙ
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ірина КАСАТКІНА
(Ім'я, прізвище)

Зміст

Вступ.....	5
Розділ 1. Загальні відомості про підприємство	9
1.1. Короткий опис технологічного процесу	9
1.2. Відомості про електричні навантаження	11
Таблиця 1. 2 – Відомості про електричні навантаження цеху	13
Розділ 2. Розрахунок електропостачання підприємства	15
2.1. Розрахунок схеми електропостачання цеху	15
2.2. Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі	20
2.3. Вибір і розміщення центрального розподільного пункту.....	25
2.4. Розрахунок навантажень підприємства	29
2.5. Вибір схеми та основних елементів заводської мережі	41
Розділ 3. Аналіз та моделювання нелінійних навантажень в мережах до 1000 В	55
3.1. Моделювання нелінійних навантажень	55
3.2. Моделювання та розрахунок струмів і напруг мереж НН з нелінійними навантаженнями	61
Висновки	64

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	К.
мн.	Арк.	Лист	опис	Дата		

Вступ

Актуальність роботи. Системи електропостачання є важливою складовою будь якого підприємства.

Слід зазначити що від надійності та безпечності систем електропостачання залежить ефективність роботи сучасних виробничих підприємств.

Системи електропостачання забезпечують неперервність роботи підприємства та вирішують питання живлення виробничих потужностей основних механізмів.

У залежності від категорії споживачі розділяються на групи щодо безперервності електропостачання.

Більшість виробничих потужностей сучасних підприємств що не відносять до вироблення та перерозподілу електричної енергії відносять до другої категорії споживачів.

При живленні від системи електропостачання подальший розподіл та генерація потужностей проходить у середині підприємства та базується на законній основі та виробничих нормативах.

Специфікою енергопостачання можна виділити систему зовнішньої оцінки якості та відношення до внутрішнього розподілу та відповідного балансу енергії.

Внутрішній розподіл електричної енергії забезпечується апаратами та пристроями комутації.

Силові трансформатори забезпечують відповідні відношення до номінальних параметрів обслуговуваного обладнання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	К.
мн.	Арк.	Лист	опис	Дата		

Важливою складовою у забезпеченні якості споживання та розподілу електричної енергії від системи електропостачання до кінцевого споживача є правильний вибір силового обладнання, розрахунок та вибір кабельної продукції та комутуючих апаратів.

Вибір обладнання залежить від навантаження споживачів та режимів їх роботи.

Кабельні лінії мають забезпечити безаварійне живлення споживачів в усіх режимах роботи.

Електричні апарати мають здійснювати відповідний розподіл та керування потоками електричної енергії та забезпечувати захист виробничого обладнання та кабельних ліній [7, 8].

Якість електричної енергії залежить від показників які її забезпечують у відповідних межах.

Це важливе питання що відображає значимість тих процесів що протікають у електричній установці.

Відповідно до режимів роботи важливим питанням є також вид та значення навантаження усередині системи електроспоживання технологічних установок.

Слід зазначити що більшість виробничих потужностей створює умови при яких характер діючого навантаження може бути у вигляді нелінійних функцій.

Це обумовлено тим фактом що система розподілу електричної енергії може мати різну кількість споживачів що створюють неузгодженість режимів роботи.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	К.
мн.	Арк.	Лист	опис	Дата		

Тому у роботі при вивчені такого важливого питання для енергетики України як якість електричної енергії [9] розглядаються саме нелінійні функції навантаження [10].

Отже вдосконалення методів зменшення впливу нелінійності навантаження на якість енергетичних процесів систем живлення та споживання електричної енергії є складним та відповідальним завданням сучасної енергетики.

Можна зазначити що визначені функції нелінійностей можна оптимізувати.

Для цього розраховані параметри системи електропостачання відносимо до діючих навантажень враховуючи втрати у відповідних елементах.

Врахування параметрів електричної системи дозволяє зробити перерахунок математичних функцій що буде враховувати нелінійність навантажень споживачів.

Для точності визначення параметрів електричних систем застосовуються як прямі так і зворотні методи.

Вектори зворотної послідовності що отримано на базі розробленої моделі системи електропостачання можна використовувати як базові складові математичних функцій щодо визначення ступені нелінійності навантаження.

Оптимізація системи електропостачання базується на підвищенні надійності та забезпеченні безперебійності живлення електричних установок в усіх режимах його роботи.

Робота проводиться на базі прикладу схеми мережі електроспоживання, що забезпечує живлення промислового підприємства з різною завантаженістю мережі та незбалансованістю джерела живлення та

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	К.
мн.	Арк.	Лист	опис	Дата		

навантаження відповідно до вузлів розподілу електричної енергії, параметрів мережі та електричного обладнання що використовується у системі електропостачання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	К.
мн.	Арк.	Лист	опис	Дата		

Розділ 1. Загальні відомості про підприємство

1.1. Короткий опис технологічного процесу

Розглянемо роботу сучасного виробничого підприємства з різними типами електричного навантаження промислового підприємства у відповідних точках приєднання електричних приймачів до джерел живлення системи електропостачання.

Систему електропостачання забезпечує живлення підприємства від джерел генерування.

Основні технологічні процеси відповідно до їх роботи відносяться до установок другої категорії.

Розглянемо основні параметри розглядаємої енергетичної системи промислового підприємства:

- система електропостачання;
- система вентилявання;
- система підігрівання;
- система кондиціонування;
- система теплопостачання;
- система водопостачання;
- система водовідведення.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01				
<i>Зм.З</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Пі</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	ДубравськийМА					Розділ 1	<i>Лім.</i>	<i>ЛистАр</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевірів</i>	Касаткіна І.В.							109	6
<i>Реценз.</i>									
<i>Н. Контр.</i>	Касаткіна І.В.						КНУ ЗЕЕМ-21ск		
<i>Затвердив</i>	ПересунькоІ.І.								

До основних напрямків підприємницької діяльності може бути віднесено:

- виробництво;
- переробка;
- фасування;
- транспортування.

Виробнича діяльність підприємства має узгоджуватись з енергетичними системами та періодами їх функціонування відповідно до режимів роботи та категорії споживачів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.2. Відомості про електричні навантаження

Складемо схему електричних навантажень.

Рисунок 1.1 – Генплан комбінату

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Таблиця 1. 1 – Відомості про електричні навантаження підприємства

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Рисунок 1.2 – План відсіювального цеху

Таблиця 1. 2 – Відомості про електричні навантаження цеху

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Обираємо комутаційне та силове обладнання відповідно до параметрів та рекомендацій [1-9].

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Розділ 2. Розрахунок електропостачання підприємства

2.1. Розрахунок схеми електропостачання цеху

Відповідно до навантаження мережі складемо схему живлення та електропостачання.

Рисунок 2.1 – Застосування радіальної схеми живлення для електропостачання цеху відсіювання

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	Розділ 2	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розробив</i>	ДубравськийМА						16	40
<i>Перевірів</i>	Касаткіна І.В.							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>	Касаткіна І.В.							
<i>Затвердив</i>	Пересунько І.І.					КНУ ЗЕЕМ-21ск		

Розрахунок схеми електропостачання виконуємо у відповідності до встановленої потужності електроприймачів.

$$P_P = P_H, \quad Q_P = P_H \cdot \operatorname{tg}\varphi_H; \quad (2.1)$$

де P_H - це номінальна активна потужність ЕП, кВт;

$\operatorname{tg}\varphi_H$ - номінальний коефіцієнт реактивної потужності.

Відповідно до режиму роботи:

$$P_H = P_{\text{пасп.}} \cdot \sqrt{T_{\text{ПВ.пасп.}}}; \quad (2.2)$$

де $P_{\text{пасп.}}$, $T_{\text{ПВ.пасп.}}$ - номінальні значення, що визначаються за паспортом, потужність і відносна тривалість повторного ввімкнення відповідно, кВт, с.

Тоді для мережі:

$$P_P = K_P \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}; \quad (2.3)$$

$$Q_P = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg}\varphi_{Ci}, & \text{при } n_e \leq 10, \\ \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg}\varphi_{Ci}, & \text{при } n_e > 10; \end{cases} \quad (2.4)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

На шинопроводі:

$$P_P = K_P \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} ;$$

$$Q_P = K_P \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{Ci} ; \quad (2.5)$$

де n_e - ефективне число ЕП;

K_P - коефіцієнт розрахункового максимуму активної потужності;

$\operatorname{tg} \varphi_C$ - усереднені значення $\operatorname{tg} \varphi$ для даного типу ЕП.

Значення K_P можна визначити із [6, таблиці 1, 2].

Отримаємо:

$$P_C = K_B \cdot P_H ; \quad Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (2.6)$$

Розрахуємо коефіцієнти:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}} ; \quad (2.7)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2} ; \quad (2.8)$$

Тоді уточнене значення:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} ; \quad (2.9)$$

А струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}. \quad (2.10)$$

де U_H – номінальна напруга, кВ.

На шинопроводі:

$$K_{В.ШРА-1} = \frac{17,33}{48,3} = 0,36,$$

$$n_{eШРА-1} = \frac{48,3^2}{188,79} = 12 \text{ (шт.)},$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Уточнені данні:

$$P_{P.ШРА-1} = 1,05 \cdot 17,33 = 18,19 \text{ (кВт)},$$

$$Q_{P.ШРА-1} = 15,44 \text{ (квар)},$$

$$S_{P.ШРА-1} = \sqrt{18,19^2 + 14,55^2} = 23,86 \text{ (кВА)},$$

$$I_{P.ШРА-1} = \frac{S_{P.ШРА-1}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{23,86 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 36,26 \text{ (А)}.$$

Таблиця 2.1 - Електричні навантаження живлячої мережі цеху

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2.2. Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі

Виконаємо розрахунок захисного обладнання.

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \cdot I_p; \quad (2.11)$$

$$I_{с.в} = K_n \cdot I_{п}. \quad (2.12)$$

$$I_{н.ВІДК} \geq I_{К.мак}^{(3)}. \quad (2.13)$$

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

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

I_m - розрахунковий струм окремого електроприймача;

K_n - коефіцієнт надійності відстроювання струмової відсічки;

$K_{відс}$ - коефіцієнт, що визначається з умов надійності відстроювання захисту від перевантажень і його неспрацювання при пуску або само запуску;

$I_{п}$ - піковий (пусковий) струм.

Розрахункові значення:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta}; \quad (2.14)$$

$$I_p = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,7 \cdot 0,8} = 21,7 \text{ (A)}.$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Пускові значення:

$$I_p = \begin{cases} 5 \cdot I_p & \text{— для АД з КЗ ротором чи СД;} \\ 2,5 \cdot I_p & \text{— для АД з ФР;} \\ 3 \cdot I_p & \text{— для ДПС та зварювальних Т – рив;} \end{cases} \quad (2.15)$$

$$I_n = 5 \cdot I_p = 5 \cdot 21,7 = 108,5 \text{ (А)}.$$

Оберемо комутаційне обладнання за розрахунковими значеннями виходячи з умови:

$$I_{н.розчп} \geq 1,1 \cdot 21,7 = 23,9 \text{ (А)};$$

$$I_{с.відс} \geq 1,5 \cdot 108,5 = 162,7 \text{ (А)}.$$

Відповідно до отриманих значень струмів оберемо автоматичний вимикач EB100/3L 25A 3р з тепловими і електромагнітними розчіплювачами, що має номінальний струм вимикача 25 А, та номінальний струмом розчіплювача 25 А і струмом спрацювання відсічки 200 А.

$$I_p = 84,29 \text{ (А)}.$$

За значенням розрахункового струму визначимо пікове навантаження у системі електропостачання:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$I_{\Pi} = I_p - K_B \cdot I_{н.макс} + I_{п.макс}; \quad (2.16)$$

де $I_{н.макс}$, $I_{п.макс}$ – номінальний та піковий струми для електроприймача групи з найбільшим пусковим струмом;

K_B - коефіцієнт використання для найбільш потужного електроприймача.

$$I_{\Pi} = 84,29 - 0,4 \cdot 21,7 + 108,5 = 184,11 \text{ (A)}.$$

Отже остаточно:

$$I_{н.розчип} \geq 1,1 \cdot 84,3 = 92,7 \text{ (A)};$$

$$I_{с.відс} \geq 1,5 \cdot 184,11 = 276,2 \text{ (A)}.$$

Для провідників:

$$I_{доп} \geq \begin{cases} I_p & \text{для нормальних приміщень,} \\ 1,25 \cdot I_p & \text{для вибухонебезпечних приміщень.} \end{cases} \quad (2.17)$$

Оберемо кабель марки АВВГ Для лінії ТП – ГРП, прокладений у землі з перерізом 4(1x50) та допустимим струмом $I_{доп} = 136 > I_p = 84,3 \text{ А}$.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot R_{\text{ПІТ}} + Q_p \cdot X_{\text{ПІТ}}}{U_H} \cdot 1; \quad (2.18)$$

Відповідно до розрахункових даних та обраного обладнання втрати у елементах енергосистеми складатимуть:

$$\Delta U_{\text{ТП-РПІ}} \text{ ГРП} = \frac{41,35 \cdot 0,208 + 36,99 \cdot 0,063}{380} \cdot 85 = 3,9 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{\text{ГРП-ШРА1}} = \frac{25,22 \cdot 0,769 + 21,55 \cdot 1,2 \cdot 0,066}{380} \cdot 10 = 1 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{\text{ТП-ШРА1}} = \Delta U_{\text{ТП-ГРП}} + \Delta U_{\text{ГРП-ШРА}} = 3,9 + 1 = 4,9 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{\% \text{ТП-ШРА1}} = \frac{4,9}{380} \cdot 100\% = 1,3\% ; \quad (2.19)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Таблиця 2.2 – Розподіл захисної апаратури та провідників для цехової мережі

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

2.3. Вибір і розміщення центрального розподільного пункту

Напруга мережі живлення:

$$U_{\text{п}} = 1000 / \sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_{\text{р}}}} \text{ (кВ);} \quad (2.20)$$

де L – довжина лінії, км

$P_{\text{р}}$ – розрахункова активна потужність,

N – кількість ліній електропередачі, шт.

Уточнимо:

$$U_{\text{п}} = 1000 / \sqrt{\frac{500}{0,8} + \frac{2500}{1269}} = 39,9 \text{ (кВ);} \quad (2.21)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 2.3 - Розрахунок капітальних вкладень

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 2.4 - Розрахуємо щорічні витрати на технічне обслуговування, ремонт, амортизацію та вартість втрат

Розрахуємо витрати:

$$З_1 = 0,1 \cdot K_1 + B_1 = 0,1 \cdot 1986,56 + 725,24 = 923,896 \text{ (тис.грн.);} \quad (2.22)$$

$$З_2 = 0,1 \cdot K_2 + B_2 = 0,1 \cdot 4322,08 + 856,44 = 1288,648 \text{ (тис.грн.);} \quad (2.23)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Тоді строк окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_1 - K_2}{B_2 - B_1} = \frac{4322,08 - 1986,56}{856,44 - 725,24} = 10,08 \quad (2.24)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

2.4. Розрахунок навантажень підприємства

Розрахуємо енергетичний баланс системи електропостачання промислового підприємства:

$$P_C = K_{\Pi} \cdot P_H; \quad Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg}\varphi; \quad (2.25)$$

З урахуванням завантаженості:

$$P_O = P_{\text{ПІТ.О}} \cdot K_{\text{ПО}} \cdot K_{\text{ПРА}} \cdot F; \quad (2.26)$$

$$Q_O = P_O \cdot \operatorname{tg}\phi_O; \quad (2.27)$$

де $P_{\text{ПІТ.О}}$ - питома густина освітлювального навантаження знаходиться в межах : 0,011-0,022 в залежності від приміщення;

$K_{\text{ПО}}$ - коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

$K_{\text{ПРА}}$ - коефіцієнт втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі з;

F - площа цеху, м².

$$K_{\text{ПО}} = \begin{cases} 0,95 - \text{великі виробничі приміщення;} \\ 0,8 - \text{порівняно невеликі виробничі приміщення;} \\ 0,6 - \text{склади, підстанції;} \\ 1,0 - \text{аварійне освітлення.} \end{cases} \quad (2.28)$$

$$K_{\text{ПРА}} = \begin{cases} 1,1 - \text{ДРЛ;} \\ 1,2 - \text{люмінесцентні - стартерні;} \\ 1,3 - 1,35 - \text{люмінесцентні - безстартерні.} \end{cases} \quad (2.29)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Отже остаточно:

$$P_P = P_C + P_O; \quad Q_P = Q_C + Q_O; \quad (2.30)$$

Тоді пікове навантаження:

$$P_{P\Sigma} = K_O \left(\sum_{i=1}^N P_{Pi} + P_{PЦi} + P_{P3} \right) + P_{O\Sigma}; \quad Q_{P\Sigma} = K_O \left(\sum_{i=1}^N Q_{Pi} + Q_{PЦi} + Q_{P3} \right); \quad (2.31)$$

де P_{Pi} , Q_{Pi} - розрахункові максимальні навантаження ТП або цехів, кВт, квар;

N - число ТП або цехів;

$P_{PЦi}$, $Q_{PЦi}$ - розрахункове максимальне навантаження загальноцехових ЕП високої напруги 10(6) кВ, які приєднані безпосередньо до РП 10(6) кВ, кВт, квар;

K_O - коефіцієнт одночасності максимумів навантаження визначається з [1];

$P_{P\Sigma}$, $Q_{P\Sigma}$ - розрахункові максимальні навантаження загальнозаводських ЕП і цехових трансформаторних підстанцій, приєднаних безпосередньо до ГПП, кВт, квар.

Загальне навантаження визначимо як:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{P\Sigma} = \sqrt{P_{P\Sigma}^2 + Q_{P\Sigma}^2}; \quad (2.32)$$

За прикладом:

$$P_C = K_{\Pi} \cdot P_H = 0,35 \cdot 450 = 157,5 \text{ (кВт)},$$

$$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg}\varphi = 157,5 \cdot 0,75 = 118,13 \text{ (кВТ)},$$

$$P_O = 0,016 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 6000 = 84,48 \text{ (кВт)},$$

$$P_p = 84,48 + 157,5 = 241,98 \text{ (кВт)},$$

$$Q_p = 118,13 \text{ (кВТ)},$$

$$S_p = \sqrt{241,98^2 + 118,13^2} = 269,27 \text{ (кВА)}.$$

Для підприємства у цілому:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n S_{Pi} = 6861,65; \quad (2.33)$$

Відповідно до загальної площі:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n F_i = 93798; \quad (2.34)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Отже у середньому будемо мати:

$$S_{\text{ПИТ}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{6861,65}{96798} = 0,07 \text{ (кВА/м}^2\text{)}; (2.35)$$

$$S_{\text{НОМ.Т}} = \begin{cases} 630, 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А} & \text{якщо } S_{\text{ПИТ}} < 0,2 \text{ кВ}\cdot\text{А/м}^2, \\ 1600 \text{ кВ}\cdot\text{А} & \text{якщо } S_{\text{ПИТ}} = 0,2 \div 0,3 \text{ кВ}\cdot\text{А/м}^2, \\ 2500 \text{ кВ}\cdot\text{А} & \text{якщо } S_{\text{ПИТ}} = 0,3 \div 0,4 \text{ кВ}\cdot\text{А/м}^2. \end{cases} \quad (2.36)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Таблиця 2.5 – Розрахунок електричних навантажень підприємства

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Тоді кількість трансформаторів:

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{6861,65}{2 \cdot 1000 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 3,9 \div 4,1. (2.37)$$

де $k_3 = 0,8 \div 0,85$ - коефіцієнт завантаження споживачів II – III категорії трансформаторів двотрансформаторної підстанції.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Таблиця 2.7 - Номінальні данні трансформаторів

Визначимо місце встановлення цехових ТП за формулами:

$$X_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}, \quad Y_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}; \quad (2.38)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 2.8– Результати розрахунку координат розміщення ЕП

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Таблиця 2.9 – Координати розміщення цехових ТП

Оптимальне вирішення:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi \cdot m_P}}; \quad (2.39)$$

Тоді:

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot P_{Oi}}{P_{Pi}}; \quad (2.40)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 2.10 – Дані для побудови картограми навантажень

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Загальні значення:

$$\sum_{i=1}^{26} P_{Mi} = 3991,12 \text{ кВт}, \quad \sum_{i=1}^{26} P_{Mi} \cdot X_i = 2191732,24 \text{ кВт м}, \quad \sum_{i=1}^{26} P_{Mi} \cdot Y_i = 1363754,38 \text{ кВт м},$$

$$X_0 = \frac{2191732,24}{3991,12} = 549 \text{ (м)},$$

$$Y_0 = \frac{1363754,38}{3991,12} = 342 \text{ (м)}.$$

Рисунок 2.2 – Генеральний план підприємства

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5. Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

Розглянемо аварійні режими роботи електричної системи відповідно до розрахованих навантажень:

$$I_p = \frac{S_{p\Sigma}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{6861,65}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 198 \text{ (А)}, (2.41)$$

$$I_{\max} = \frac{S_{p\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{6861,65}{\sqrt{3} \cdot 10} = 396 \text{ (А)}, (2.42)$$

Як правило живлячу лінію виконують трижильним кабелем з ізоляцією із зшитого поліетилену з алюмінієвими жилами типу 2(АПвЭБВ-10), що має переріз $3 \times 120 \text{ мм}^2$ також зазначають допустимий струм $I_{\text{ДОП}} = 2 \cdot 232 = 464 \text{ А}$ [3]. Кабель прокладено у землі в трубі.

$$396 \text{ (А)} < 2 \cdot 232 = 464 \text{ (А)},$$

Представимо лінійні навантаження:

$$U_{\text{НОМ.В}} \geq U_{\text{НОМ. мережі}}, \quad (2.43)$$

$$I_{\text{НОМ.В}} \geq I_{\text{Ж}}^a. \quad (2.44)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибираємо вакуумні вимикачі ВБЭМ-10-20/630 з метою встановлення на стороні 10 кВ. Номінальний струм вимикачів $I_{\text{ном.в}} = 630 \text{ А}$ для всіх приєднань.

Таблиця 2.11 – Вибір високовольтних вимикачів і перерізу провідників

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.3 - Однолінійна схема електропостачання підприємства

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Представимо розрахункову схему:

Рисунок 2.4 - Розрахункова схема і схема заміщення для розрахунку струмів КЗ

Струм:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ (A)}, \quad (2.45)$$

Опір системи:

$$X_C = \frac{S_{\delta}}{S_K} = \frac{1000}{200} = 5, \quad (2.46)$$

Загальний:

$$X_{\Sigma} = X_C = 5, \quad (2.47)$$

Складова струму:

$$I_{\text{ПО}} = \frac{E_C}{X_{\Sigma}} \cdot I_{\delta} = \frac{1}{5} \cdot 55 = 11 \text{ (кА)}, \quad (2.48)$$

Періодична складова струму:

$$I_{\text{Пт.С}} = I_{\text{ПО}} = 11 \text{ (кА)}, \quad (2.49)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аперіодична складова струму:

$$R_e \approx 0,1 \cdot X_C = 0,1 \cdot 5 = 0,5 , \quad (2.50)$$

$$R_{\Sigma} = R_e = 0,5 , \quad (2.51)$$

Постійна часу:

$$T_{ac} = \frac{X_{\Sigma}}{\omega \cdot R_{\Sigma}} = \frac{X_{\Sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_{\Sigma}} = \frac{5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,5} = 0,032 \text{ (с)}, (2.52)$$

Тоді:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{в.в.} = 0,01 + 0,055 = 0,065 \text{ (с)}, (2.53)$$

де $t_{pz.min}$ - мінімальний час спрацювання реле захисту;

$t_{в.в.}$ - власний час відключення вимикача (до моменту розходження головних контактів).

Аперіодична складова струму:

$$i_{ат.С} = \sqrt{2} \cdot I_{ПЮ} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_{ac}}} = \sqrt{2} \cdot 11 \cdot e^{\frac{0,065}{0,032}} = 2,04 \text{ (кА)}, (2.54)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ударні струми:

$$i_{\text{уд.с}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО}} \cdot \left(1 + e^{-\frac{\tau}{T_{\text{ас}}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 11 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,065}{0,032}} \right) = 17,6 \text{ (кА)}, (2.55)$$

Захисне відключення:

$$t_{\text{від}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{нВ}} = 0,5 + 0,1 = 0,6 \text{ (с)}, \quad (2.56)$$

Імпульс струму:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{ПО}}^2 \cdot t_{\text{від}} + T_{\text{ас}} = 11^2 \cdot 0,6 + 0,032 = 76,5 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}. (2.57)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.12 – Порівняльні дані вимикачів

Перевіримо умови експлуатації:

$$S \geq S_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T} \cdot 10^3, \quad (2.58)$$

де $C_T = 92 \text{ А} \cdot \text{с}^{0,5} / \text{мм}^2$ - термічний коефіцієнт для алюмінієвого кабелю з паперовою ізоляцією при напрузі 6 кВ.

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{76,5}}{92} \cdot 10^3 = 144,4 (\text{мм}^2).$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді затвердимо схему електропостачання.

Рисунок 2.5 – Схема електропостачання ШРА-1

Номінальні параметри:

$$t_r = \frac{U_{ВН}}{U_{НН}} = \frac{10}{0,4} = 25; \quad (2.59)$$

Розрахункові параметри:

$$Z_c = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_K} \cdot \frac{1}{t_r^2} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot \frac{1}{25^2} = 1,693 \text{ (МОм)}. (2.60)$$

де C - коефіцієнт напруги;

U_n – номінальна напруга системи в точці з'єднання з мережею;

I_K – початкова сила струму КЗ.

Уточнені значення:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X_c = 0,955 \cdot Z_c = 0,955 \cdot 1,693 = 1,62 \text{ (МОм)}; (2.61)$$

$$R_c = 0,1 \cdot X_c = 0,1 \cdot 1,62 = 0,162 \text{ (МОм)}. (2.62)$$

Опір трансформатору:

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} = \sqrt{1,1^2 + 5,4^2} = 5,511 \text{ (МОм)}. (2.63)$$

Опір лінії електропередач:

$$R_{L1} = r_{\text{пит}} \cdot L_1 \cdot \frac{1}{t_r^2} = 0,256 \cdot 2000 \cdot \frac{1}{15^2} = 2,27 \text{ (МОм)};$$

$$X_{L1} = x_{\text{пит}} \cdot L_1 \cdot \frac{1}{t_r^2} = 0,063 \cdot 2000 \cdot \frac{1}{15^2} = 0,56 \text{ (МОм)}.$$

Струми короткого замикання:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}. (2.64)$$

де Z_{Σ} - загальний повний опір елементів цехової мережі до точки КЗ.

- для точки К1:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Струми трифазного короткого замикання:

$$I_{K.max.C}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 5,511} = 41,85 \text{ (кА)},$$

Струми максимального короткого замикання:

$$I_{K.max}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 21,06} = 10,6 \text{ (кА)}. \quad (2.65)$$

Визначимо кабельні лінії:

$$t_{ВІДК} = t_{C.B.} + t_D + T_a = 0,1 + 0,01 + 0,03 = 0,14 \text{ (с)}; (2.66)$$

$$S_{min} = \frac{I_{K.max}^{(3)} \sqrt{t_{ВІДК}}}{C_T} \cdot 10^3 = \frac{41,85 \sqrt{0,14}}{92} \cdot 10^3 = 145,9 \text{ (мм}^2\text{)}. (2.67)$$

Струми однофазного короткого замикання:

$$I_{к2}^{(1)} = \frac{U_{\phi.ном}}{\frac{Z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-n} \cdot 1}; \quad (2.68)$$

де $Z_{\Sigma}^{(1)}$ мОм – повний опір силового трансформатора струмам

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

однофазного КЗ;

$Z_{\text{ф-н}}$ - питомий опір петлі фаза-ноль;

l – відстань до місця КЗ.

Розрахункові струми однофазного короткого замикання:

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma}^{(1)} &= \sqrt{2 \cdot R_T + R_{0T} + 3 \cdot R_{\text{ПЕР}}^2 + 2 \cdot X_T + X_{0T}^2} = \\ &= \sqrt{2 \cdot 1,1 + 1,1 + 3 \cdot 3,8^2 + 2 \cdot 5,4 + 5,4^2} = 21,95 \text{ (МОм)}, \end{aligned} \quad (2.69)$$

$$I_{\text{KR2}}^{(1)} = \frac{220}{\frac{21,95}{3} + 0,64 \cdot 85} = 3,33 \text{ (кА)},$$

Струми однофазного короткого замикання:

$$\begin{aligned} Z_T^{(1)} &= \sqrt{2 \cdot R_T + R_{0T} + 2 \cdot X_T + X_{0T}^2} = \\ &= \sqrt{2 \cdot 1,1 + 1,1 + 2 \cdot 5,4 + 5,4^2} = 16,42 \text{ (МОм)}, \end{aligned} \quad (2.70)$$

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = \frac{220}{\frac{16,42}{3} + 0,64 \cdot 85 + 2,22 \cdot 5,5} = 3,12 \text{ (кА)},$$

Перевірка:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$I_{H.P03Ч} \leq \frac{I_K^{(1)}}{3} . \quad (2.71)$$

Отже:

$$I_{H.P03Ч} = 125 \text{ (A)} \leq \frac{I_{KR2}^{(1)}}{3} = \frac{3499}{3} = 1175 \text{ (A)},$$

Тоді:

$$I_{H.P03Ч} = 40 \text{ (A)} \leq \frac{I_{KR2}^{(1)}}{3} = \frac{3050}{3} = 1016 \text{ (A)}.$$

УМОВИ:

$$\begin{cases} I_{c.B1} > (1,3..1,5)I_{c.B2}, \\ t_{c.B1} = t_{c.B2} + \Delta t. \end{cases} \quad (2.72)$$

Перевірка:

$$I_{c.B1} = 700 \text{ (A)} > (1,3..1,5)200 = 260...300 \text{ (A)},$$

Перевіримо селективність роботи захисту системи електропостачання підприємства.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Рисунок 2.6 – Карта селективності захисту

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Розділ 3. Аналіз та моделювання нелінійних навантажень в мережах до 1000 В

3.1. Моделювання нелінійних навантажень

Відповідно до розглянутої системи електричного живлення промислового підприємства можна бачити що система живлення має розгалужену структуру.

Слід зазначити що рівні енергоспоживання відповідно до представленої структури є доволі неоднозначні за рівнем енергоспоживання її окремих елементів.

Рисунок 3.1 - Трифазна мостова схема випрямляча з ємнісним фільтром

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01							
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	Розділ 3				<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>	
<i>Розробив</i>		Дубравський МА							56	9		
<i>Перевірів</i>		Касаткіна І.В.							КНУ ЗЕЕМ-21ск			
<i>Реценз.</i>												
<i>Н. Контр.</i>		Касаткіна І.В.										
<i>Затвердив</i>		Пересунько І.І.										

Розглянемо аналітичні залежності у відповідності до представленої схеми живлення.

$$u_A(t) = U\sqrt{2} \sin(\omega t); u_B(t) = U\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}); \quad (3.7)$$

$$u_C(t) = U\sqrt{2} \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}),$$

де $\omega=314$ - кутова частота;

t - час;

$U=220$ В - діюче значення фазної напруги.

Врахуємо перетворення системи.

$$u_d(t) = \rho_A(t) \times u_A(t) + \rho_B(t) \times u_B(t) + \rho_C(t) \times u_C(t); \quad (3.8)$$

$$i_A(t) = \rho_A(t) \times i_d(t); i_B(t) = \rho_B(t) \times i_d(t); i_C(t) = \rho_C(t) \times i_d(t); \quad (3.9)$$

де $\rho_A(t)$, $\rho_B(t)$, $\rho_C(t)$ – комутаційні функції трифазного випрямляча.

Представимо комутаційну функцію у вигляді графіку.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Рисунок 3.2 - Комутаційна функція для фази *A* трьохфазного випрямляча

Виразимо представлену функцію аналітичною залежністю.

$$\begin{aligned}\rho_A(t) &= 0,5 \operatorname{sign} \left(\cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \right) - 0,5 \operatorname{sign} \left(\cos \left(\omega t \frac{2\pi}{3} \right) \right); \\ \rho_B(t) &= 0,5 \operatorname{sign} \left(\cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \right) - 0,5 \operatorname{sign} \cos \omega t ; \\ \rho_C(t) &= 0,5 \operatorname{sign} \cos \omega t - 0,5 \operatorname{sign} \left(\cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \right);\end{aligned}\tag{3.10}$$

Представимо графіки вихідної величини залежності.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.3 - Випрямлена напруга на виході трифазного випрямляча

Тоді:

$$u_d(t) = 220\sqrt{2} (1,625 + 0,125 \times \cos 6\omega t) . \quad (3.11)$$

Рішення рівняння представимо у вигляді виразу:

$$i_d(t) = i_{\phi} t + i_n t = C_{\phi} \frac{du_d(t)}{dt} + \frac{u_d(t)}{R_n} .$$

Запишемо:

$$i_d(t) = -C_{\phi} \times 220\sqrt{2} \times 0,125 \times 6\omega \times \sin 6\omega t + \frac{220\sqrt{2}(1,625 + 0,125 \cos 6\omega t)}{R_n} . \quad (3.12)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді для миттєвих значень:

$$i_A(t) = \rho_A \cdot t \times i_d \cdot t = \rho_A \cdot t \left[C_\phi \frac{du_d \cdot t}{dt} + \frac{u_d \cdot t}{R_H} \right];$$

$$i_B(t) = \rho_B \cdot t \times i_d \cdot t = \rho_B \cdot t \left[C_\phi \frac{du_d \cdot t}{dt} + \frac{u_d \cdot t}{R_H} \right];$$

$$i_C(t) = \rho_C \cdot t \times i_d \cdot t = \rho_C \cdot t \left[C_\phi \frac{du_d \cdot t}{dt} + \frac{u_d \cdot t}{R_H} \right].$$

Отримаємо графіки:

Рисунок 3.4 - Фазний струм на вході трифазного випрямляча

Проведемо апроксимацію отриманих результатів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

$$i_A(t) = 4,92 \times \cos \omega t + 3,62 \times \sin \omega t - 2,08 \times \cos 5\omega t + 5,08 \times \sin 5\omega t - 1,61 \times \cos 7\omega t - 5,01 \times \sin 7\omega t. \quad (3.13)$$

Рисунок 3.5 - Однофазний випрямляч, включений паралельно активно-індуктивному навантаженню

Такий вигляд матиме уточнена схема електричного навантаження.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Моделювання та розрахунок струмів і напруг мереж НН з нелінійними навантаженнями

Моделювання розглянутої електричної системи зробимо на основі схеми заміщення електричного навантаження.

Рисунок 3.6 - Схема заміщення мережі НН

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Відповідний коефіцієнт:

$$K_{I(n)}=I_{(n)}/I_{(l)} \quad (K_{U(n)}=U_{(n)}/U_{(l)}),$$

При спотворенні:

$$K_I = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \frac{I_{(n)}^2}{I_{(l)}^2}},$$

Несинусоїдальність:

$$K_U = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \frac{U_{(n)}^2}{U_{(l)}^2}},$$

де $I_{(l)}$, $I_{(n)}$, $U_{(l)}$, $U_{(n)}$ – діючі значення складових основної частоти і n -х гармонійних складових струмів і напруг відповідно.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Рисунок 3.7 - Залежності коефіцієнтів спотворення синусоїдальності кривої K_U і n -ої гармонійної складової $K_{U(n)}$ напруги від величини частки випрямного навантаження

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Висновки

Системи електропостачання є важливою складовою будь якого підприємства.

Слід зазначити що від надійності та безпечності систем електропостачання залежить ефективність роботи сучасних виробничих підприємств.

Системи електропостачання забезпечують неперервність роботи підприємства та вирішують питання живлення виробничих потужностей основних механізмів.

У залежності від категорії споживачі розділяються на групи щодо безперервності електропостачання.

Більшість виробничих потужностей сучасних підприємств що не відносять до вироблення та перерозподілу електричної енергії відносять до другої категорії споживачів.

При живленні від системи електропостачання подальший розподіл та генерація потужностей проходить у середині підприємства та базується на законній основі та виробничих нормативах.

Специфікою енергопостачання можна виділити систему зовнішньої оцінки якості та відношення до внутрішнього розподілу та відповідного балансу енергії.

Внутрішній розподіл електричної енергії забезпечується апаратами та пристроями комутації.

Силові трансформатори забезпечують відповідні відношення до номінальних параметрів обслуговуваного обладнання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливою складовою у забезпеченні якості споживання та розподілу електричної енергії від системи електропостачання до кінцевого споживача є правильний вибір силового обладнання, розрахунок та вибір кабельної продукції та комутуючих апаратів.

Вибір обладнання залежить від навантаження споживачів та режимів їх роботи.

Кабельні лінії мають забезпечити безаварійне живлення споживачів в усіх режимах роботи.

Електричні апарати мають здійснювати відповідний розподіл та керування потоками електричної енергії та забезпечувати захист виробничого обладнання та кабельних ліній [7, 8].

Якість електричної енергії залежить від показників які її забезпечують у відповідних межах.

Це важливе питання що відображає значимість тих процесів що протікають у електричній установці.

Відповідно до режимів роботи важливим питанням є також вид та значення навантаження усередині системи електроспоживання технологічних установок.

Слід зазначити що більшість виробничих потужностей створює умови при яких характер діючого навантаження може бути у вигляді нелінійних функцій.

Це обумовлено тим фактом що система розподілу електричної енергії може мати різну кількість споживачів що створюють неузгодженість режимів роботи.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому у роботі при вивчені такого важливого питання для енергетики України як якість електричної енергії [9] розглядаються саме нелінійні функції навантаження [10].

Отже вдосконалення методів зменшення впливу нелінійності навантаження на якість енергетичних процесів систем живлення та споживання електричної енергії є складним та відповідальним завданням сучасної енергетики.

Можна зазначити що визначені функції нелінійностей можна оптимізувати.

Для цього розраховані параметри системи електропостачання відносимо до діючих навантажень враховуючи втрати у відповідних елементах.

Врахування параметрів електричної системи дозволяє зробити перерахунок математичних функцій що буде враховувати нелінійність навантажень споживачів.

Для точності визначення параметрів електричних систем застосовуються як прямі так і зворотні методи.

Вектори зворотної послідовності що отримано на базі розробленої моделі системи електропостачання можна використовувати як базові складові математичних функцій щодо визначення ступені нелінійності навантаження.

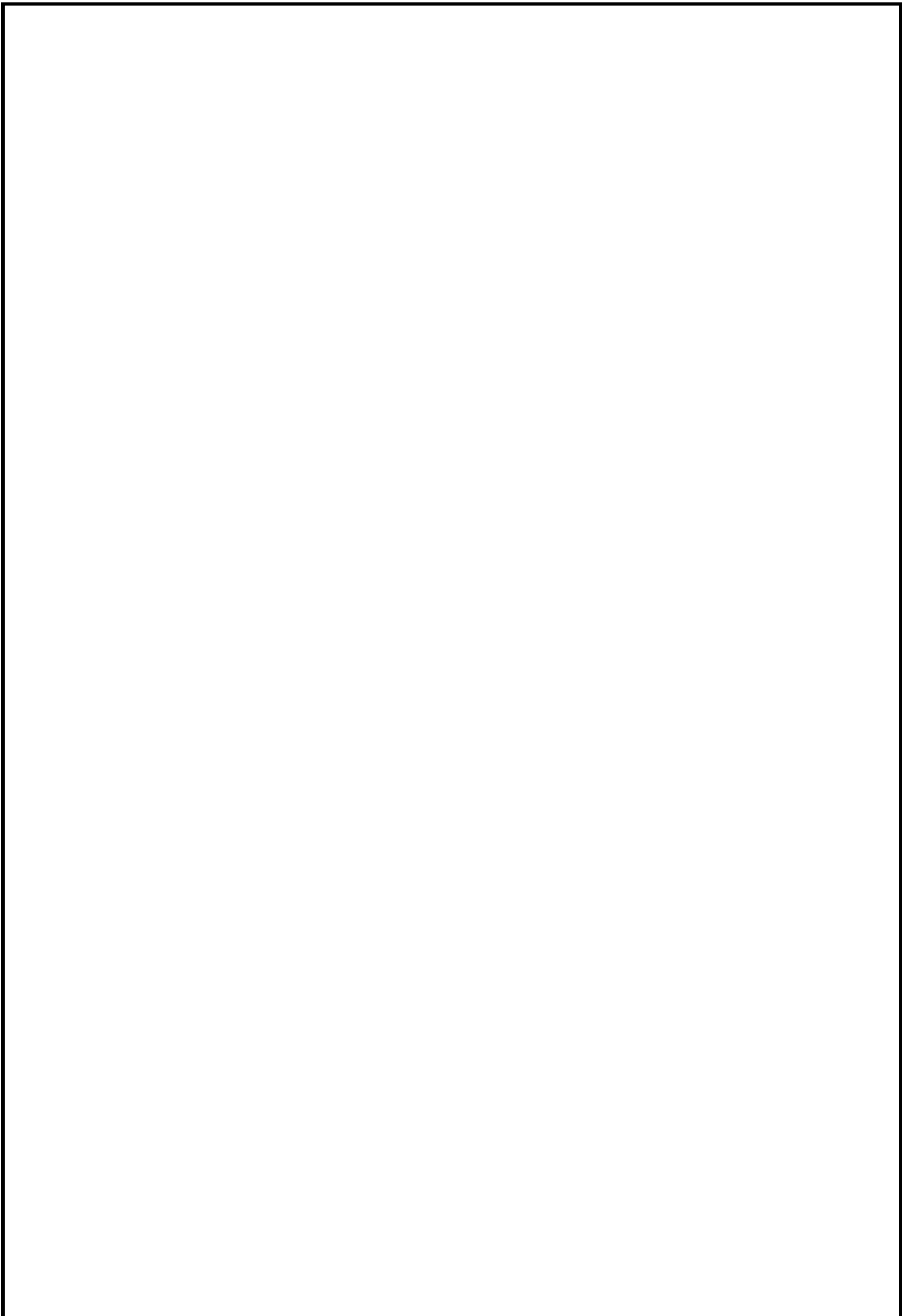
Оптимізація системи електропостачання базується на підвищенні надійності та забезпеченні безперебійності живлення електричних установок в усіх режимах його роботи.

Робота проводиться на базі прикладу схеми мережі електроспоживання, що забезпечує живлення промислового підприємства з різною завантаженістю мережі та незбалансованістю джерела живлення та

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаження відповідно до вузлів розподілу електричної енергії, параметрів мережі та електричного обладнання що використовується у системі електропостачання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	Арк.
						67
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.305-01	
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		