

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ П. Пешков
“__” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**

на тему:

Розроблення системи електропостачання цукрового заводу **Development of a power supply system for a sugar**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ21-Зск
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ В. Циганенко
«__» _____ 2024 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Р. Телюта
«__» _____ 2024 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма

«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ П. Плешков

«_____» _____ 2024 р.

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

Цинаненку Владиславу Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи

Розроблення системи електропостачання цукрового заводу

Development of a power supply system for a sugar plant

2. Керівник роботи

Телюта Руслан Васильович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 12.06.2024 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є розробка системи електропостачання заводу з виготовлення техніки сільськогосподарського призначення. Завдання: дати коротку характеристику електротехнологічного процесу заводу. Розрахунок силових електричних навантажень. Побудова графіків електричних навантажень заводу з переробки насіннєвого продукту. Побудова картограм електричних навантажень. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання. Режими реактивної потужності системи електропостачання. Вибір кількості та потужності трансформаторів. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання. Вимірювання режимних параметрів системи електропостачання. Спеціальний розділ. Висновки. Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>Гарасьова Н.Ю., доцент</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Видача завдання</i>	<i>08.05.24</i>	
2	<i>Вступ</i>	<i>09.05.24</i>	
3	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	<i>10.05.24</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>15.05.24</i>	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання</i>	<i>18.05.24</i>	
6	<i>Вибір кількості, потужності та місця розташування трансформаторів</i>	<i>22.05.24</i>	
7	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>25.05.24</i>	
8	<i>Розрахунок струмів короткого замикання</i>	<i>29.05.24</i>	
9	<i>Вибір обладнання електропостачання</i>	<i>31.05.24</i>	
10	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>05.06.24</i>	
11	<i>Висновки</i>	<i>10.06.24</i>	
12	<i>Список літератури</i>	<i>10.06.24</i>	
13	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>11.06.24</i>	
14	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>12.06.24</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 20__ р.

Підпис керівника

_____ (прізвище, ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 20__ р.

Підпис здобувача

_____ (прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 87 с.; 30 рис.; 28 табл.; 10 джерел

Циганенко В.І. Розроблення системи електропостачання цукрового заводу. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Бакалаврська робота присвячена створенню сучасної системи електропостачання для цукрового заводу, яка відповідає критеріям економічності та надійності. З цією метою проведено техніко-економічні розрахунки електричних навантажень, режимів реактивної потужності та струмів короткого замикання. Здійснено вибір оптимальних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання, трансформаторних підстанцій, конденсаторних установок, струмопроводів і високовольного обладнання. Особлива увага приділялася впровадженню енергоефективних технологій і сучасних методів управління енергоспоживанням, що сприяють зниженню енергетичних втрат і підвищенню загальної ефективності системи.

На основі аналізу роботи центрифуги визначено вимоги до електродвигуна, перевірено його потужність та розраховано додаткові параметри. Дослідження показали, що використання перетворювача частоти знижує споживання електроенергії, ефективність роботи центрифуги, а пуск за допомогою перетворювача частоти є найефективнішим методом запуску.

Ключові слова: електричні навантаження, електричний двигун, центрифуга, імітаційна модель, скалярне регулювання замкнутої системи управління, перетворювач частоти.

ABSTRACT

Qualification work: 87 p.; 30 Fig.; 28 tables; 10 sources

Tsyhanenko V.I. Development of a power supply system for a sugar plant. – Manuscript.

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2023.

The bachelor's thesis is devoted to the creation of a modern power supply system for a sugar factory that meets the criteria of economy and reliability. For this purpose, technical and economic calculations of electrical loads, reactive power modes and short-circuit currents were carried out. The selection of optimal schemes for external and internal power supply, transformer substations, capacitor units, power lines and high-voltage equipment was made. Special attention was paid to the implementation of energy-efficient technologies and modern methods of energy consumption management, which contribute to reducing energy losses and increasing the overall efficiency of the system.

Based on the analysis of the operation of the centrifuge, the requirements for the electric motor were determined, its power was checked and additional parameters were calculated. Studies have shown that using a frequency converter reduces power consumption, centrifuge efficiency, and that variable frequency starting is the most efficient starting method.

Key words: electric loads, electric motor, centrifuge, simulation model, scalar regulation of a closed control system, frequency converter.

Зміст

	Стор.
Вступ.....	7
1. Електричні навантаження цукрового заводу	8
1.1 Визначення електронавантажень цукрового заводу в електромережах до 1000 В	8
1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень цукрового заводу	11
1.3 Розрахунок електронавантажень цукрового заводу в електромережах вище 1000 В	12
1.4 Графіки електричних навантажень цукрового заводу	21
2. Побудова картограми електричних навантажень цукрового заводу ..	26
3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання цукрового заводу	29
3.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання цукрового заводу	29
3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання цукрового заводу	33
4. Режим реактивної потужності системи електропостачання цукрового заводу	35
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності на цукровому заводі....	35
4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на цукрового заводу	37
5. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на цукровому заводі	41
6. Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного електрообладнання цукрового заводу.....	42

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Розроблення системи електропостачання цукрового заводу					Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Циганенко В.І.										
Перевірів		Телюта Р.В.									5	86
										ЦНТУ гр. ЕЕ21-Зск		
Н. Контр.												
Затвердив		Плещков П.Г.										

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в електросистемі цукрового заводу.....	42
6.2. Вибір високовольтних кабелів для цукрового заводу.....	51
6.3. Вибір електричних апаратів високої напруги цукрового заводу	53
6.4. Вибір трансформаторів струму і напруги цукрового заводу.....	57
7. Спеціальний розділ. Підвищення ефективності роботи електропривода центрифуги.....	61
7.1. Аналіз сучасного стану проблеми і задачі дослідження.....	61
7.2 Розрахунок математичної моделі електродвигуна	61
7.3 Моделювання. Дослідження перехідних процесів моделі електродвигуна при різних способах покращення його робочих характеристик	67
7.3.1 Побудова графіків перехідних процесів і механічної характеристики електродвигуна	67
7.3.2 Розрахунок параметрів моделі двигуна і побудова графіків перехідних процесів при регулюванні частоти обертання зміною напруга на обмотці статора	69
7.3.3 Розрахунок параметрів моделі двигуна і побудова графіків перехідних процесів при регулюванні частоти обертання зміною частоти живлячої напруги	71
7.4. Системи скалярного управління.....	73
7.4.1 Загальні відомості	73
7.4.2 Синтез і аналіз розімкненої системи скалярного керування	74
7.4.3 Синтез і аналіз замкнутої системи скалярного управління	78
7.5. Вибір перетворювача	81
7.6 Висновки	83
Висновки	85
Список використаних джерел	86

Вступ

Система електропостачання цукрового заводу сама по собі повинна забезпечувати ефективне електричне та енергетичне постачання на промисловому підприємстві.

До ключових аспектів можна віднести:

- по-перше, правильність розрахунку потужності та планування кількості енергії за рахунок забезпечення економічності і надійності системи постачання електричної енергії;
- по-друге, енергосистема повинна бути відносно безпечною і забезпечувати необхідний рівень якості електроенергії;
- по-третє, ефективність монтажу та експлуатації для враховувати під час проектування електросистеми;
- по-четверте, можливість розширення системи електропостачання при збільшенні енергоспоживання, без значних внесень в існуючому варіанті проект.

Тому метою бакалаврської роботи буде розробка системи електропостачання цукрового заводу.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні електротехнічні завдання:

1. Розрахунок ел. навантажень для цукрового заводу.
2. Розрахунок картограми ел. навант для цукрового заводу.
3. Знаходження найкращого варіанту схеми зовнішн. та внутрішн. електропостачання для цукрового заводу.
4. Режим реактивної потужн. цукрового заводу.
5. Визначення кількості та номінальної потужності трансформаторів, що задіяні в системі електропостачання цукрового заводу.
6. Розрахунок значень струмів к. з. на цукровому заводі та вибір захасної апаратури та устаткування.
7. Розробка спеціального питання роботи.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1. Електричні навантаження цукрового заводу

Для визначення електричних навантажень приймачів цукрового заводу можна використовувати навчальні матеріали, що використані для виконання кваліфікаційного проекту [1], в залежності від об'єктів, умов та потреб споживачів даного підприємства..

1.1 Визначення електронавантажень цукрового заводу в електромережах до 1000 В

Середнє навантаження споживачів цукрового заводу та їх потужність становить:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{сум}} K_{\text{н}} = 1572 \cdot 0,497 = 781,28 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \operatorname{tg} \varphi = 781,28 \cdot 0,83 = 651,52 \text{ кВар}.$$

Ефективне кількість ел.приймачів по цукровому заводу

$$n_{\text{е}} = \frac{2 \sum P_{\text{н}}}{P_{\text{н.макс}}} = \frac{2 \cdot 1572}{55} = 57$$

Знаходимо необхідне значення коефіцієнта m:

$$m = \frac{P_{\text{н.макс}}}{P_{\text{н.мін}}} = \frac{15}{1} = 15.$$

Коефіцієнт $K_{\text{м}}$ знаходимо за даними [1] і складає $K_{\text{м}} = 1,45$.

Розрахункові складові навантаження $P_{\text{р}}$ і $Q_{\text{р}}$ мають знач.:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{см}} K_{\text{м}} = 781,28 \cdot 1,14 = 890,08 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{см}} = 691,61 \text{ кВар}.$$

Розрахункове значення максимум навантаження заводу

$$Sp = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2} = \sqrt{59,98^2 + 36,22^2} = 70,07 \text{ кВА}$$

Розрахунок навантажень по цукровому заводі до 1 кВ зведені до табл. 1.1.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Таблиця 1.1. Розрахунок ел. навантажень до 1 кВ цукрового заводу

№	Назва приміщень цукрового заводу	Кіл. приймачів	Потужність, кВт		m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну, кВт		п _{еф}	K _м	Розрахункова потужність,кВт		
			1-го	Σ сум					P _{ср}	Q _{ср}			P _p	Q _p	S _p
1.	Відстійники	4	3,0	28,0	3,7	0,61	0,84	0,65	16,81	10,85	4,0	1,53	25,65	11,93	28,29
2.	Склад сухого жому	5	5,5	33,5	1,41	0,51	0,68	1,08	16,75	18,06	5,0	1,59	26,63	19,87	33,23
3.	Склад цукру номер один	8	5,5	50,0	1,41	0,49	0,71	0,99	24,51	24,3	8,0	1,44	35,41	26,73	44,36
4.	Склад цукру номер два	28	1,8	217,0	12,8	0,43	0,69	1,05	93,31	97,88	19	1,31	121,92	97,88	156,35
5.	Насосна котельні	14	3,0	91,0	14,0	0,7	0,86	0,59	63,71	37,8	4,0	1,37	87,17	41,58	96,58
6.	Цех сушіння жому	59	2,0	1414,2	40,0	0,72	0,85	0,62	1018,22	631,04	35	1,09	1107,92	631,04	1275,03
7.	Цех будівельний	8	2,0	21,5	3,7	0,49	0,8	0,75	10,53	7,9	6,0	1,54	16,17	8,69	18,36
8.	Склад цукру номер три	5	5,5	33,5	1,4	0,5	0,68	1,08	16,75	18,06	5,0	1,59	26,63	19,87	33,23
9.	Склад цукру номер чотири	4	5,5	28,0	1,4	0,56	0,68	1,08	15,68	16,91	4,0	1,59	24,94	18,61	31,11
10.	Склад цукру номер п'ять	32	1,1	256,0	20,0	0,43	0,69	1,05	110,08	115,47	23	1,27	140,31	115,47	181,71
11.	Цех електрозабезпечення	17	2,0	321,0	18,0	0,45	0,76	0,86	144,45	123,53	17	1,31	189,45	123,53	226,17
12.	Котельня заводська	9	1,0	135,0	30,0	0,62	0,72	0,96	83,71	80,67	9,0	1,29	107,89	88,74	139,7
13.	Склад палива	9	7,5	169,0	4,0	0,42	0,79	0,78	70,98	55,09	9,0	1,49	105,81	60,61	121,93
14.	ТЕЦ	38	3,0	1559,5	41,7	0,68	0,82	0,71	1060,46	740,21	25	1,13	1195,94	740,21	1406,48
15.	Компресорна	11	4,0	610,0	31,2	0,73	0,89	0,51	445,3	228,13	10	1,17	522,57	250,94	579,7
16.	Вапняне відділення	8	10,0	145,0	3,0	0,56	0,88	0,54	81,21	43,83	8,0	1,37	111,3	48,21	121,29
17.	Майстерня	17	3,0	107,0	5,0	0,19	0,61	1,33	20,33	27,11	14	1,71	34,71	27,11	44,04
18.	Цех пакувальний	11	1,1	28,6	5,0	0,61	0,75	0,88	17,16	15,13	10	1,29	22,11	16,64	27,66

Зм.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

9

Арк.

Продовження таблиці 1.1.

№	Назва електроприймачів заводу	Кіл. заводських споживачів	Потужність, кВт		m	K _в	cosφ	tgφ	Навантаження за зміну, кВт		п _{еф}	K _м	Розрахункова потужність заводу ,кВт		
			1-го	Σ сум					Р _{ср}	Q _{ср}			Р _р	Q _р	S _р
19.	Цех продуктовый	66	2	562,3	15	0,55	0,69	1,05	309,27	324,42	37	1,15	357,14	324,42	482,49
20.	Цех очищення соку буряків	62	1,5	2598,5	70,7	0,69	0,92	0,43	1792,96	763,8	49	1,08	1943,11	763,8	2087,84
21.	Цех переробки буряків	75	3,0	1572,0	18,3	0,497	0,768	0,83	781,28	651,52	57	1,14	890,08	651,52	1103,05
22.	Станція очищення буря	13	1,5	61,5	5	0,54	0,64	1,2	33,21	39,87	13	1,29	42,87	39,87	58,54
23.	Станція миття буряків	27	3	329,0	18,3	0,51	0,67	1,11	167,79	185,91	12	1,33	223,13	185,91	290,43
24.	Насосна подачі води	6	11	123,0	2,7	0,7	0,86	0,59	86,1	51,09	6	1,28	110,05	56,2	123,57
25.	Кагатне поле заводу	6	5,0	66,0	2,8	0,6	0,7	1,02	39,6	40,4	6	1,4	55,36	44,44	70,99
	Всього	542	1	10560,1	125	0,617	0,832	0,67	6520,11	4348,98	169	1,05	6876,1	4348,98	8135,99

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень заводу

Розрахунок освітлювальних навантажень по цукровому заводу виконується згідно розробленої методики літературного джерела [1].

Результати розрахунків освітл. навантажень приміщень приведені в табл. 1.2

Таблиця 1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень по заводських при-ях

№	Найменування приміщення цукрового заводу	Площа F , m^2	P_0 , Вт/ m^2	P_v , кВт	$\cos \varphi$	K_1	K_c	$\lg \varphi$	Розрахункове навантаження приміщення заводу		
									P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1.	Відстійники заводу	300	6	1,81	0,95	1,2	0,9	0,484	2,051	0,99	2,28
2.	Склад сухого жому	1880	6	11,28	0,95	1,2	0,9	0,484	12,86	6,22	14,29
3.	Склад цукру №1	1787	6	10,72	0,95	1,2	0,9	0,484	12,22	5,91	13,57
4.	Склад цукру №2	2939	6	17,63	0,95	1,2	0,9	0,484	20,1	9,73	22,33
5.	Насосна котельні	139	12	1,67	0,95	1,2	0,9	0,484	1,9 1	0,92	2,11
6.	Цех сушіння жому	704	16	11,26	0,95	1,2	0,9	0,484	12,84	6,21	14,26
7.	Цех будівельний	553	15	8,29	0,95	1,2	0,9	0,484	9,45	4,57	10,5
8.	Склад цукру №3	1709	6	10,25	0,95	1,2	0,9	0,484	11,68	5,65	12,97
9.	Склад цукру №4	1267	6	7,6	0,95	1,2	0,9	0,484	8,66	4,19	9,62
10.	Склад цукру №5	1798	6	10,79	0,95	1,2	0,9	0,484	12,3	5,95	13,66
11.	Цех електрозабезпечення	304	16	4,86	0,95	1,2	0,9	0,484	5,54	2,68	6,15
12.	Котельня заводу	907	11	9,98	0,95	1,2	0,9	0,484	11,38	5,51	12,64
13.	Склад палива	132	8	1,06	0,95	1,2	0,9	0,484	1,21	0,59	1,35
14.	ТЕЦ заводу	2234	10	22,34	0,95	1,2	0,9	0,484	25,47	12,33	28,3
15.	Компресорна заводу	187	12	2,24	0,95	1,2	0,9	0,484	2,55	1,23	2,83
16.	Вапняне відділення	708	13	9,21	0,95	1,2	0,9	0,484	10,49	5,08	11,66
17.	Майстерня заводу	988	15	14,82	0,95	1,2	0,9	0,484	16,89	8,17	18,76
18.	Цех пакувальний	657	16	10,51	0,95	1,2	0,9	0,484	11,98	5,81	13,31

Продовження таблиці 1.2.

№	Найменування приміщення цукрового заводу	$F, \text{ м}^2$	$P_o, \text{ Вт/м}^2$	$P_v, \text{ кВт}$	$\cos \varphi$	K_1	K_c	$\text{tg} \varphi$	Розрахункове навантаження приміщення заводу		
									$P_p, \text{ кВт}$	$Q_p, \text{ квар}$	$S_p, \text{ кВА}$
19.	Цех продуктивний	1660	17	28,22	0,95	1,2	0,9	0,484	32,17	15,57	35,74
20.	Цех очищення соку	1762	17	29,95	0,95	1,2	0,9	0,484	34,14	16,52	37,93
21.	Цех переробки буряків	1355	17	23,03	0,95	1,2	0,9	0,484	26,25	12,71	29,16
22.	Станція очищення	590	15	8,85	0,95	1,2	0,9	0,484	10,09	4,88	11,21
23.	Станція миття буряків	479	15	7,18	0,95	1,2	0,9	0,484	8,19	3,96	9,11
24.	Насосна подачі води	144	12	1,73	0,95	1,2	0,9	0,484	1,97	0,95	2,19
25.	Кагатне поле	19740	0,17	3,36	0,6	1,12	0,5	1,732	2,26	3,91	4,52
26.	Територія заводу	68540	0,1	6,85	0,6	1,12	0,5	1,732	4,61	7,97	9,21
	Всього по заводу			275,4					309,21	158,11	347,3

1.3 Розрахунок електронавантажень цукрового заводу в електромережах вище 1000 В

Для визначення електронавантаження понад 1 кВ для цукрового заводу використаємо метод, що використали у навчальному посібнику [1], а саме коефіцієнта розрахункової потужності.

Після проведення електротехнічних розрахунків результати зводимо в табл. 1.3.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Таблиця 1.3 Розрахунок електричних навантажень вище1000 В по цукровому заводу,

Найменування	К-сть ЕС	Встановлена потужність заводу, кВт			m	коєф K _в	cosφ	tgφ	Навантаження заводу		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження заводу		
		Одного		Сум.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
		min	max												
ТП1, ТП2															
Цех очищення соку															
силове:	62	1,5	106	2598,5	70,71	0,69	0,92	0,43	1792,96	763,8	49	1,08	1943,11	763,8	2087,84
освітлювальне:	29,95	34,14	16,52												
Всього:	1822,91	763,8	1977,25	780,32	2125,66										
Цех продуктовий															
силове:	66	2	30	562,3	15	0,55	0,69	1,05	309,26	324,41	37	1,15	357,13	324,41	482,48
освітлювальне:	28,22	32,17	15,57												
Всього:	337,48	324,41	389,3	339,98	516,86										
Пакувальний цех															
силове:	11	1,1	5,5	28,6	5	0,61	0,75	0,88	17,16	15,13	10	1,29	22,12	16,64	27,66
освітлювальне:	10,51	11,98	5,8												
Всього:	27,67	15,13	34,08	22,44	40,8										
Станція очищення															
силове:	13	1,5	7,5	61,5	5	0,54	0,64	1,2	33,21	39,87	13	1,29	42,87	39,87	58,54
освітлювальне:	8,85	10,09	4,88												
Всього:	42,06	39,87	52,96	44,75	69,33										
Насосна подачі води															
силове:	6	11	30	123	2,7	0,71	0,86	0,59	86,1	51,09	6	1,28	110,05	56,21	123,57
освітлювальне:	1,73	1,97	0,95												
Всього:	87,83	51,09	112,02	57,15	125,76										
Кагатне поле															
силове:	6	5	14	66	2,8	0,61	0,71	1,02	39,6	40,4	6	1,4	55,36	44,44	70,99
освітлювальне:									4,64				3,12	5,4	
Всього:									44,24	40,4			58,48	49,84	76,84

продовження таблиці 1.3

[illegible]

продовження таблиці 1.3

[illegible]

продовження таблиці 1.3

[illegible]

1.4 Графіки електричних навантажень цукрового заводу

У даному підрозділі було розраховано для цукрового заводу, параметри графіків електр. навант. Розрахунки навантаж. були виконані згідно джерела [1].

Результати розрахунків для цукрового заводу зведено в табл. 1.4.1 - 1.4.2. На рисунках 1.1 - 1.5. зображено добові графіки навантажень по періодам року.

Таблиця 1.4.1 - Вихідні дані графіків електр. навант. цукрового заводу

Доба, години	Робочий період даного заводу		Вихідний період даного заводу	
	Активна P, кВт	Реактивна Q, квар	Активна P, кВт	Реактивна Q, квар
1	45.00	82.00	38.00	80.00
2	45.00	85.00	38.00	80.00
3	45.00	80.00	38.00	80.00
4	45.00	80.00	38.00	80.00
5	50.00	82.00	38.00	80.00
6	50.00	85.00	38.00	80.00
7	80.00	78.00	38.00	80.00
8	90.00	75.00	38.00	80.00
9	100.00	100.00	27.00	75.00
10	100.00	100.00	27.00	75.00
11	90.00	75.00	27.00	75.00
12	80.00	78.00	27.00	75.00
13	90.00	75.00	27.00	75.00
14	90.00	75.00	27.00	75.00
15	100.00	80.00	27.00	75.00
16	100.00	80.00	27.00	75.00
17	90.00	75.00	27.00	75.00
18	80.00	85.00	38.00	80.00
19	60.00	75.00	38.00	80.00
20	60.00	80.00	38.00	80.00
21	50.00	80.00	38.00	80.00
22	50.00	80.00	38.00	80.00
23	50.00	80.00	38.00	80.00
24	45.00	80.00	38.00	80.00

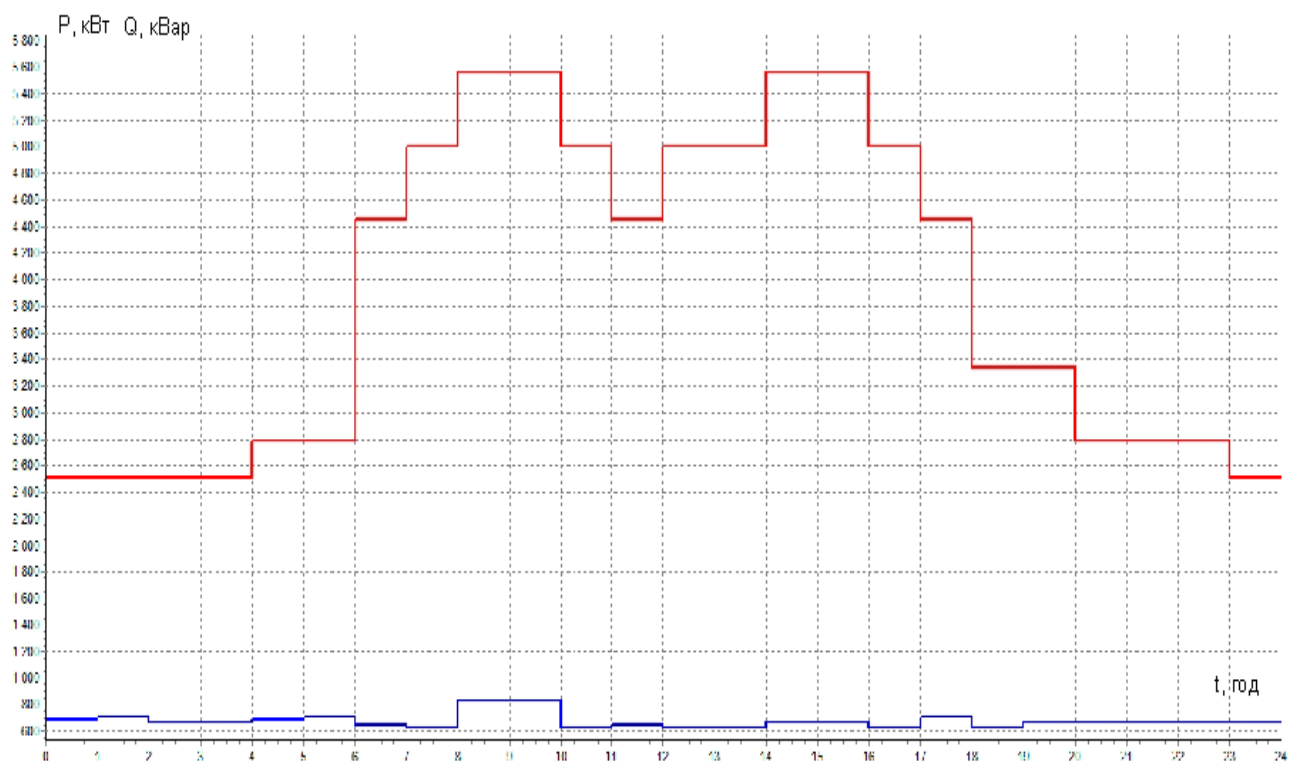


Рисунок 1.4.1. - Добовий графік навантажень цукрового заводу, для літні робочих днів

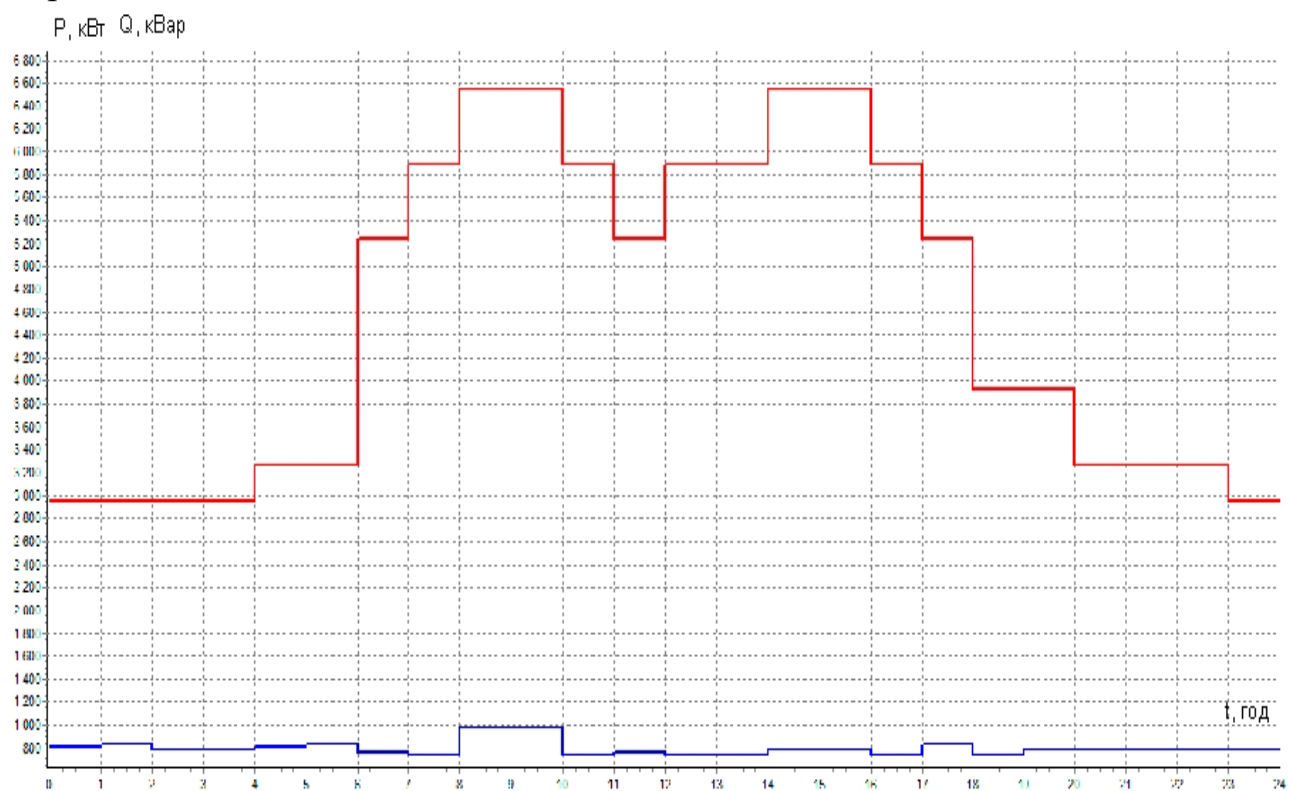


Рисунок 1.4.2. - Добовий графік навантажень цукрового заводу, для зимових робочий днів

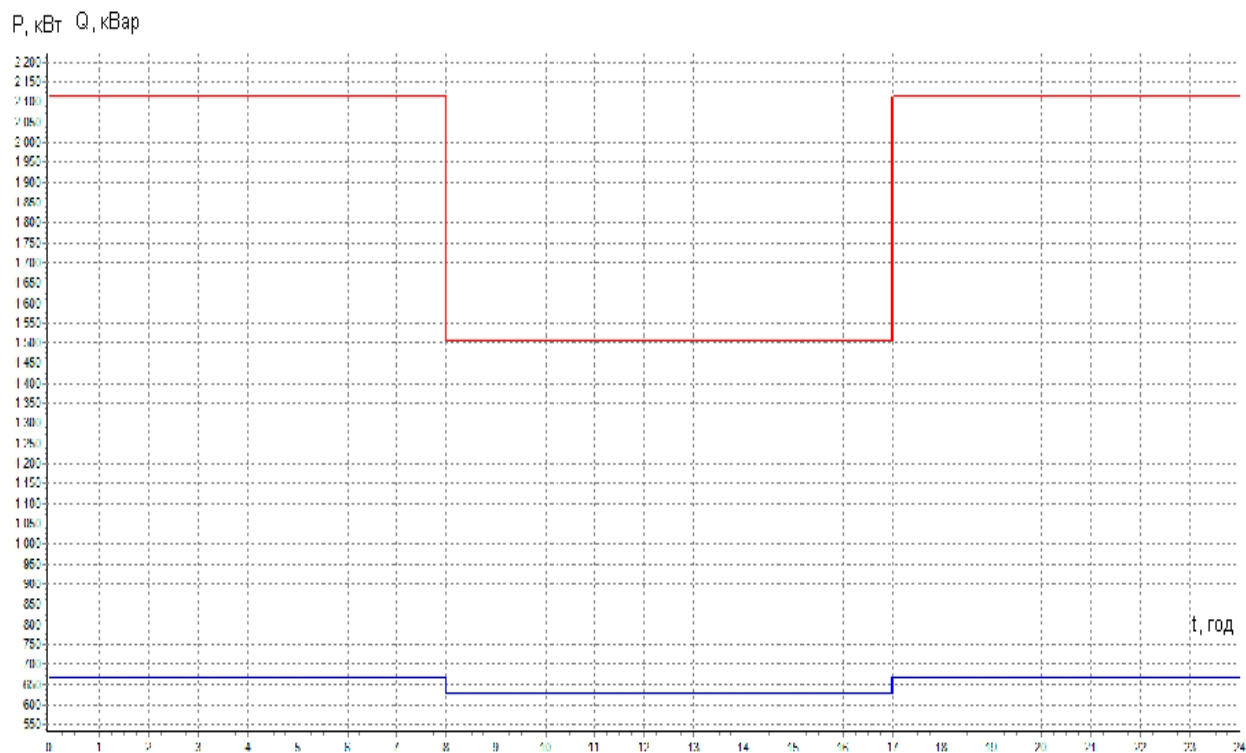


Рисунок 1.4.3. - Добовий графік навантажень цукрового заводу, для літніх вихідних днів

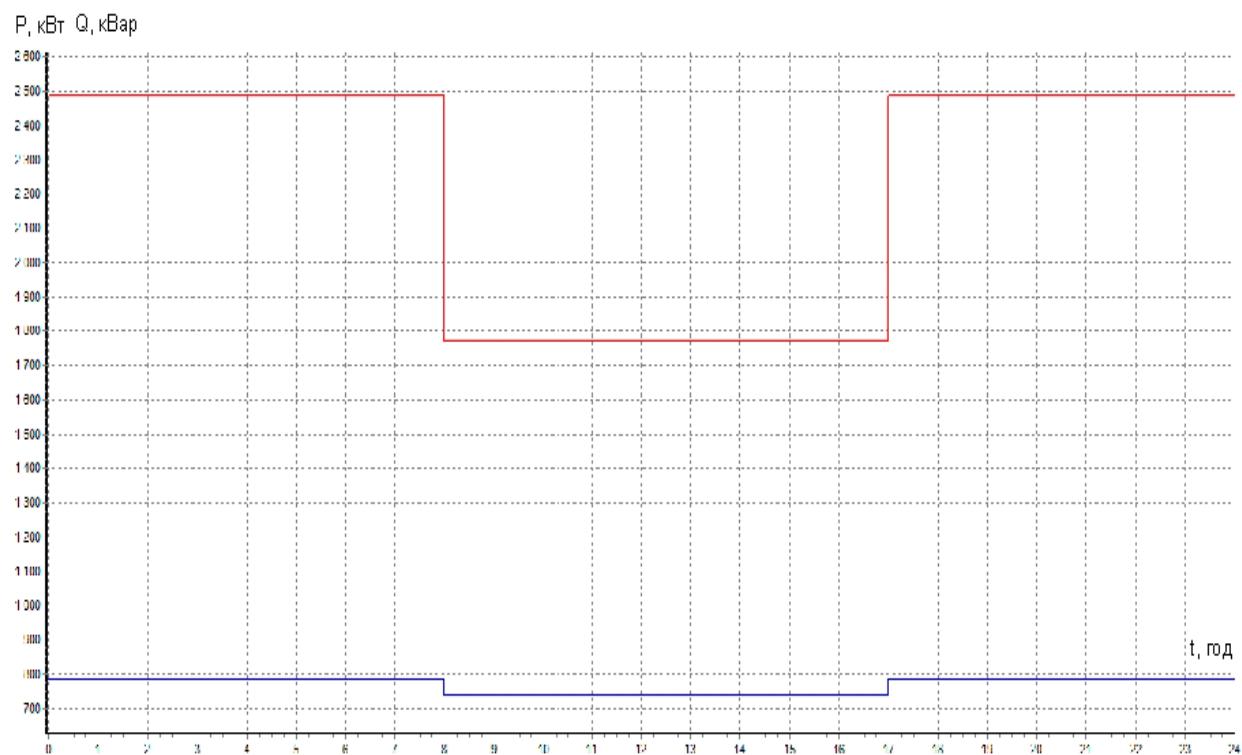


Рисунок 1.4.4. - Добовий графік навантажень цукрового заводу, для зимових вихідних днів

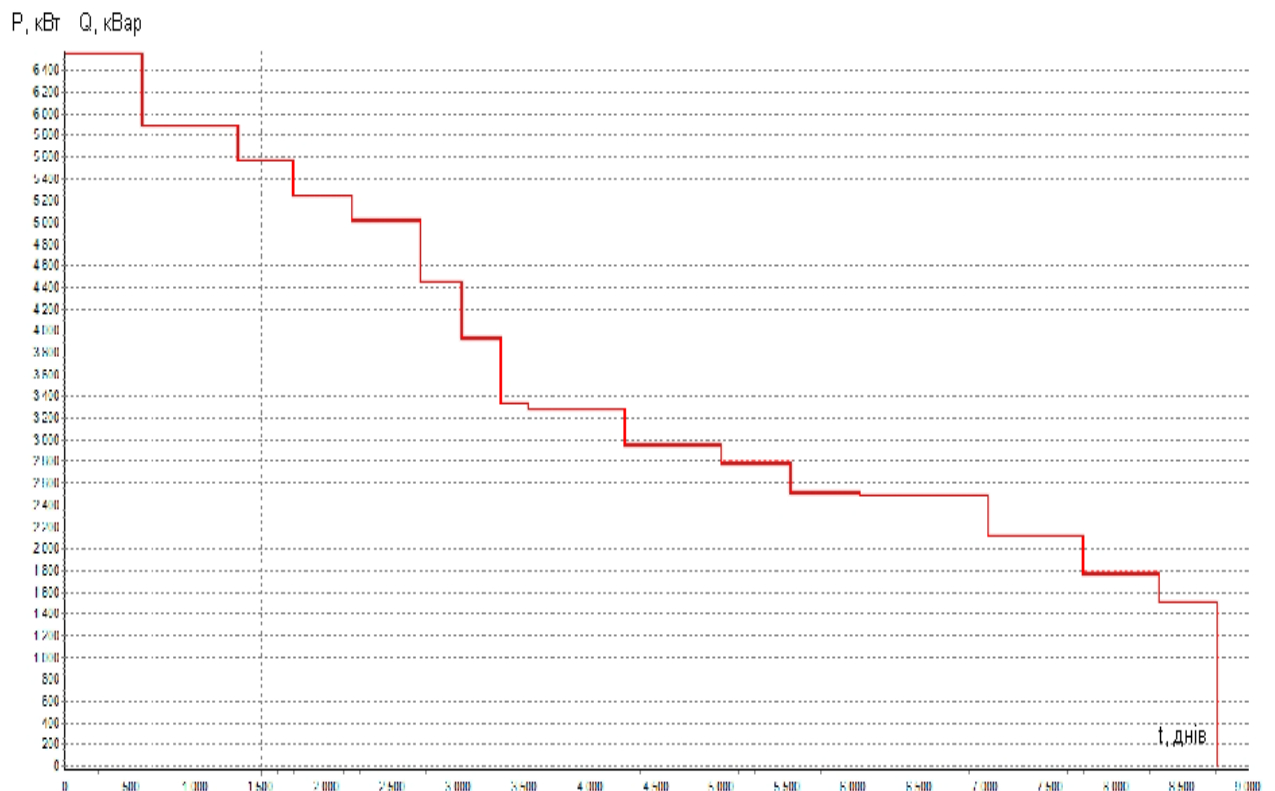


Рисунок 1.4.5. - Графік річного активного Р (по цукровому заводу)

Розрахункові величини графіків електричного навантаження цукрового заводу складають наступне:

$S_p =$	6620,57	MVA
$W_{з.р.} =$	16217481	кВт год.
$V_{з.р.} =$	2808729	кВар год.
$W_{з.в.} =$	3460080	кВт год.
$V_{з.в.} =$	1197495	кВар год.
$W_{л.р.} =$	9846270	кВт год.
$V_{л.р.} =$	7052001	кВар год.
$W_{л.в.} =$	2172096	кВт год.
$V_{л.в.} =$	751392	кВар год.
$W_p =$	31695927	кВт год.
$V_p =$	6462816	кВар год.
$T_{max} =$	4886,001	год.
$\tau =$	3287,443	год

2. Побудова картограми електричних навантажень цукрового заводу

Побудова картограми електричних навантажень цукрового заводу проводиться за методикою, що розписана у навчальному матеріалі [1].

Розрахунок картограми на прикладів для цеху продуктивний:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{\text{проект}} + P_{\text{план}}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{357,14 + 32,24}{3,14 \cdot 0,1}} \cdot 17 = 35,2 \text{ мм}$$

Освітлювальне навантаження цукрового заводу представлено сектором з центральним кутом α .

$$\alpha_i = \frac{P_{\text{освіт}} \cdot 360}{P_i} = \frac{35,2 \cdot 360}{389,31} = 29,75^\circ$$

Розрахунок параметрів для інших приміщень цукрового заводу проводиться аналогічно та зводиться в (табл. 2.1).

Координати центру електр. навант. цукрового заводу:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{2826689,67}{11092,37} = 254,83 \text{ м,}$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1323703,41}{11092,37} = 119,33 \text{ м}$$

Для інших приміщень цукрового заводу розрахунок зводимо до (табл. 2.1).

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 2.1. Дані розрахунку ЦЕН цукрового заводу та побудови КЕН.

№ п/п	Найменування приміщень цукрового заводу	$P_{P, \text{сил}},$ кВт	$P_{P, \text{осв}},$ кВт	$P_P,$ кВт	m	R, мм	α	x, м	y, м	$P \cdot x,$ кВт · м	$P \cdot y,$ кВт · м
1	Відстійники заводу	25,65	2,05	27,70	0,1	9,39	26,64	10,60	310,73	293,51	8607,21
2	Склад сухого жому	26,63	12,86	39,49	0,1	11,21	117,23	157,13	343,58	6205,09	13568,17
3	Склад цукру номер 1	35,4	12,22	47,62	0,1	12,31	92,38	77,29	235,66	3680,66	11221,90
4	Склад цукру номер 2	121,92	20,09	142,01	0,1	21,26	50,93	162,47	226,04	23072,33	32100,64
5	Насосна котельні	87,17	1,9	89,07	0,1	16,84	7,68	222,51	199,43	19819,23	17763,41
6	Цех сушіння жому	1107,92	12,84	1120,76	0,1	59,73	4,12	275,66	243,38	308944,78	272766,21
7	Цех будівельний заводу	16,17	9,45	25,62	0,1	9,03	132,79	361,08	230,07	9250,88	5894,39
8	Склад цукру номер 3	26,63	11,68	38,31	0,1	11,04	109,76	14,70	182,10	563,26	6976,28
9	Склад цукру номер 4	24,94	8,66	33,60	0,1	10,34	92,79	14,46	110,39	485,73	3709,24
10	Склад цукру номер 5	140,3	12,3	152,60	0,1	22,04	29,02	41,05	54,38	6264,65	8297,72
11	Цех електрозабезпечення	189,45	5,54	194,99	0,1	24,91	10,23	138,16	131,83	26939,20	25705,95
12	Котельня заводу	107,89	11,38	119,27	0,1	19,48	34,35	228,36	157,21	27236,64	18750,78
13	Склад палива заводу	105,81	0,11	105,92	0,1	18,36	0,37	265,22	181,61	28092,62	19235,92
14	ТЕЦ заводу	1195,94	25,47	1221,41	0,1	62,35	7,51	243,46	118,53	297362,34	144768,51
	Синхронні генератори ТЕЦ	2000	0,01	2000,00	0,1	79,79	0,00	243,46	118,53	486916,50	237051,45
15	Компресорна заводу	522,57	2,55	525,12	0,1	40,88	1,75	279,24	134,30	146633,32	70521,67

продовження таблиці 2.1

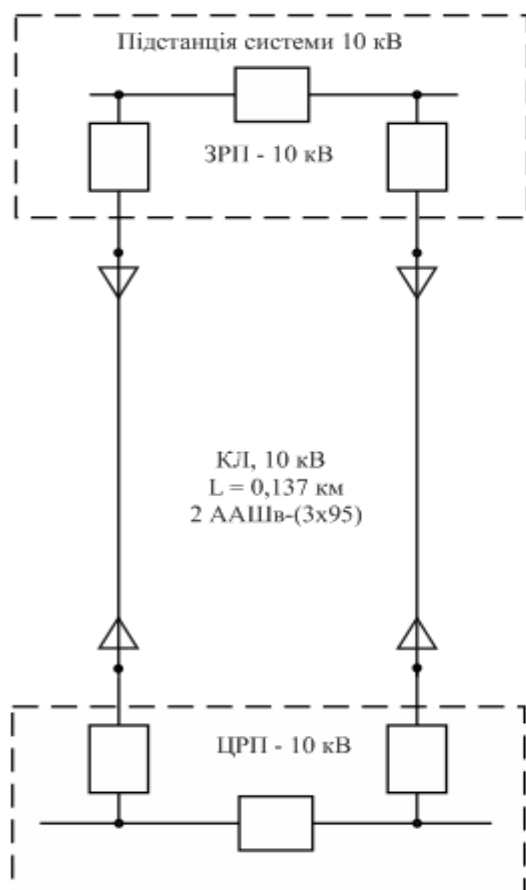
	Компресорна (АД, 10 кВ)	1260	0,01	1260,00	0,1	63,33	0,00	279,24	134,30	351839,55	169213,34
16	Вапняне відділення	111,31	10,49	121,79	0,1	19,69	31,01	312,62	105,55	38073,84	12854,67
17	Майстерня заводу	34,71	16,89	51,60	0,1	12,82	117,84	357,71	151,71	18457,98	7828,22
18	Цех пакувальний заводу	22,11	11,98	34,08	0,1	10,42	126,55	161,57	65,88	5506,18	2245,02
19	Цех продуктовий заводу	357,14	32,17	389,31	0,1	35,20	29,75	200,25	65,30	77960,67	25421,96
20	Цех очищення соку	1943,11	34,14	1977,25	0,1	79,33	6,22	257,50	65,30	509149,62	129114,50
21	Цех переробки буряків	890,08	26,25	916,33	0,1	54,01	10,31	307,94	65,79	282171,82	60287,98
22	Станція очищення	42,87	10,09	52,96	0,1	12,98	68,59	251,43	41,97	13315,50	2222,88
23	Станція миття буряків	223,13	8,19	231,32	0,1	27,14	12,75	303,26	42,30	70148,95	9785,13
24	Насосна подачі води	110,05	1,97	112,02	0,1	18,88	6,33	359,44	6,65	40264,21	745,29
25	Кагатне поле заводу	55,36	2,26	57,62	0,1	13,54	14,12	466,14	107,19	26858,73	6176,32
26	Територія заводу	0	4,6	4,60	0,1	3,83	360,00	256,93	188,84	1181,87	868,65
	Всього по заводу	10784,24	308,13	11092,37						2826689,67	1323703,41

3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання цукрового заводу

Задача даного розділу бакалаврської роботи полягає в обґрунтуванні вибору схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання цукрового заводу.

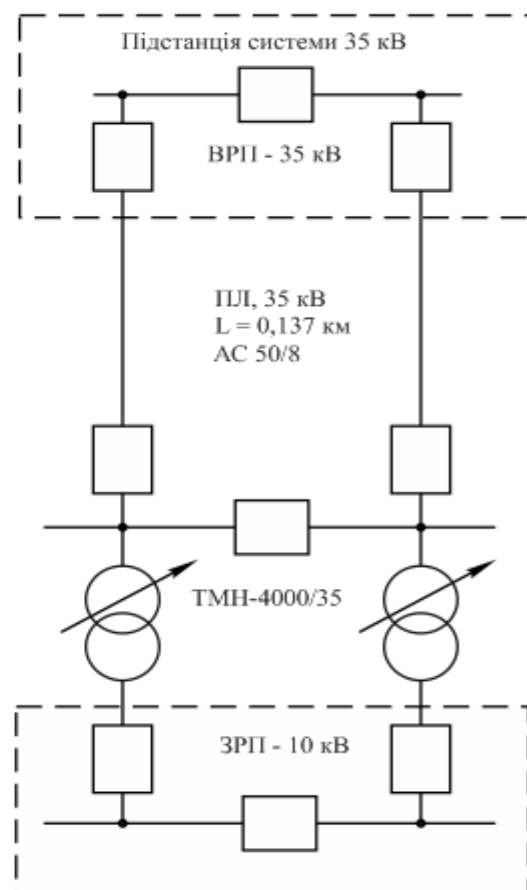
3.1. Вибір схеми зовнішнього електропостачання цукрового заводу

Використовуючи матеріал [1], проводимо техніко-економічні розрахунки нашого підприємства та порівнюємо варіанти схем електропостачання (зовнішнього) об'єкта (див. рис. 3.1).



Зовнішнє електропостачання цукрового заводу варіант на 10 кВ

а



Зовнішнє електропостачання цукрового заводу варіант на 35 кВ

б

Рисунок 3.1 Схема зовнішнього електропостачання цукрового заводу.

Вибір схеми зовнішнього електропостачання цукрового заводу проводиться згідно методики літературного джерела [1].

Згідно з завданням бакалаврської роботи, наше підприємство буде живлення від КТП 35/10 кВ, що знаходиться за 4,7 км від цукрового заводу. Тому порівнюються два запропонованих нижче варіанти схем електроживлення:

1. Схема електроживлення цукрового заводу кабелями на напругу 10 кВ.
2. Схема електроживлення цукрового заводу від ПЛ 35 кВ та ГЗП 35/10 кВ.

Перший варіант. Електропостачання цукрового заводу буде здійснюватися за допомогою кабельними лініями на 10 кВ дивитися (рис. 3.1 а).

Розрахункове значення струму для КЛ на 10 кВ:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{6220,7}{\sqrt{3} \cdot 10} = 382,25 \text{ А}$$

Обираємо до встановлення по цукровому заводу КЛ 2 х АСБ-10 (3х120).

Приймаємо КЛ, що має наступні паспортні дані заводської КЛ: $I_{доп} = 295 \text{ А}$, $\Delta P_{1\text{км}} = 54 \text{ кВт/км}$, $K_{КЛ} = 398,75 \text{ тис. грн./км}$.

Перевірка даної заводської КЛ за умовою нагріву в нормальному режимі експлуатації становить:

$$I_p = 90,51 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0,92 \cdot 295 = 271,40 \text{ А}$$

Перевірка заводської прийнятої КЛ АСБ-10 (3х120) за умовою нагріву в аварійному не бажаному режимі становить:

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 190,13 = 382,26 \text{ А} \leq K_{ан} K_n I_{доп} = 1,25 \cdot 1 \cdot 295 = 368,75 \text{ А}$$

Обрана нами кабельна лінія АСБ-10(3х120) задовольняють необхідним умовам перевірки.

Коеф. завантаження для заводської КЛ АСБ-10(3х120) становитиме в нормальному режимі наступне значення:

$$K_z = \frac{I_p}{I_{доп}} = \frac{191,13}{295} = 0,65$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Втрати потужності в обраній для живлення заводу КЛ АСБ-10(3х120) буде:

$$\Delta P_{\text{кл}} = \Delta P_{1\text{кл}} I_{\Sigma} K_s^2 = 54 \cdot 10,02 \cdot 0,4225 = 228,61 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії в обраній для живлення заводу КЛ АСБ-10(3х120):

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta P_{\Sigma} t = 228,61 \cdot 3287,55 = 751566,81 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість, для заводу втрат ел.ен. в прийнятій кабельній лінії АСБ-10(3х120):

$$C_{\text{втр}} = \Delta W_{\Sigma} C_o = 751566,81 \cdot 5,10722 \cdot 0,001 = 3838,42 \text{ тис.грн}$$

Результати проведених розрахунків капітальних вкладень цукрового заводу в зовнішню схему напругою 10 кВ живлення по варіанту № 1 (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Результати розрахунку капітальних вкладень для цукрового заводу для варіанту схеми на напругу 10 кВ по варіанту номер 1

№	Назва цукрозаводського елемента схеми	Од. виміру	Кількість	Вартість вкладень	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	10,02	398,75	3995,47
2	Траншея	км	5,01	124,5	623,74
3	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	457,8	915,6
Всього					5534,82

Розрахунок поточних витрат для цукрового заводу для представленого варіанту № 1 на напругу 10 кВ наведено в табл.3.2.

Таблиця 3.2. Результати розрахунку поточних витрат для заводу по варіанту № 1

№ з/п	Назва електричного елемента схеми	K_j , тис.грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис.грн.	P_{ej} , %	C_{aj} , тис.грн.	C_j , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	199,774	5	199,774	5	199,774	399,548
2	Траншея	623,745	5	31,1873	5	31,1873	62,3745
3	Шафи КРП серії КУ-10	915,6	15	137,34	5	45,78	183,12
Всього для варіанту схеми 1							645,042

До ланцюга схеми цукрового заводу входить електровимикач і кабельна лінія. Надійність даних елементів електричної схеми мають наступні значення:

- для вимикача на 10 кВ : $T_b = 0,45 \cdot 10^{-3}$ рік, $\lambda_a = 4 \cdot 10^{-3}$ 1/рік, $K_n = 2 \cdot 10^{-3}$ в.о.;
- для КЛ на 10 кВ: $T_b = 0,0959 \cdot 10^{-4}$ рік, $\lambda_a = 0,01096$ 1/рік, $K_n = 0,1233 \cdot 10^{-5}$.

Для 1-го ланцюга ел.схеми параметр відмов матиме значення :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,4008 = 0,4048 \text{ 1/рік}$$

Середній час на відновлення першого ланцюга КЛ становитиме:

$$T_{\varepsilon} = \frac{\sum \lambda_i T_{\varepsilon i}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,4008 \cdot 0,00000959)}{0,4008} = 0,00035168 \text{ рік}$$

Коефіцієнт планового простою для першого ланцюга заводської ел.схеми є:

$$K_n = 1,2 K_{n \max} = 1,2 \cdot 0,002 = 0,0024$$

Коефіцієнт аварійного простою для першого ланцюга заводської ел.схеми є:

$$K_a = \lambda T_{\varepsilon} = 0,4048 \cdot 0,000351681225296443 = 0,00014236056$$

Коефіцієнт планового простою для виробничої події: 1-й – плановий ремонт першого ланцюга, а 2-й – в результаті аварійного пошкодження кабелю.

$$K_{an} = 0,5 \lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 0,4048 \cdot 0,00000576 = 0,000001165824$$

Коефіцієнт аварійного простою кабельної лінії для варіанту двох ланцюгів:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = 0,0000002026653 + 2 \cdot 0,000001165824 = 0,0000023519$$

Середньорічний час аварійного простою кабельної лінії за рік:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000023519 \cdot 8760 = 0,0206$$

Очікуваний збиток цукрового заводу від аварійного недовідпуску ел.енергії:

$$U = U_0 P_{cp} T_a = 23 \cdot 3,65 \cdot 0,0206 = 1,73 \text{ тис.грн.}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Зведені витрати для варіанту номер 1 для напруги 10 кВ по цукровому заводу:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{\text{стр.і}} + Y_i =$$

$$= 0.12 \cdot 5534,82 + 645,042 + 3838,42 + 1,73 = 5149,37 \text{ тис.грн./ рік}$$

Аналогічним методом виконаємо розрахунки для обраного варіанту №2, на напругу 35 кВ, по цукровому заводу.

Для порівняння проведених розрахункових даних зводимо до розрах. табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Техніко-економічні показники 1 і 2-го варіантів схем електропостачання для цукрового заводу

Техніко-економічні показники для варіантів	Варіанти живлення цукрового заводу	
	1-й на 10 кВ	2-й на 35 кВ
Капітальні вкладення	5534,82	3099,47
Поточні витрати	645,042	546,25
Вартість втрат ел.енергії	3838,42	3517,60
Збиток	1,73	2,64
Зведені витрати	5149,3704	4438,42

З таблиці 3.3 видно, що приведені витрати за варіантом №2 на 35 кВ схеми зовнішнього електропостачання цукрового заводу є меншими в порівнянні з варіантом №1 на 10 кВ. В-аріант №2 на 35 кВ приймаємо для подальших розрахунків.

3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання цукрового заводу

Аналіз порівняння варіантів по цукровому заводу виявив, що варіант впровадження магістральної схеми електропостачання дає можливість бути більш економічним, але з боку експлуатаційної надійності варіант радіальної схеми буде значно більш надійніший. Тому, для подальшого проектування електропостачання цукрового заводу приймаємо радіальну схему розподілення електричної енергії як основну.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Електрична схема внутрішнього живлення цукрового заводу показана на рисунку 3.2.

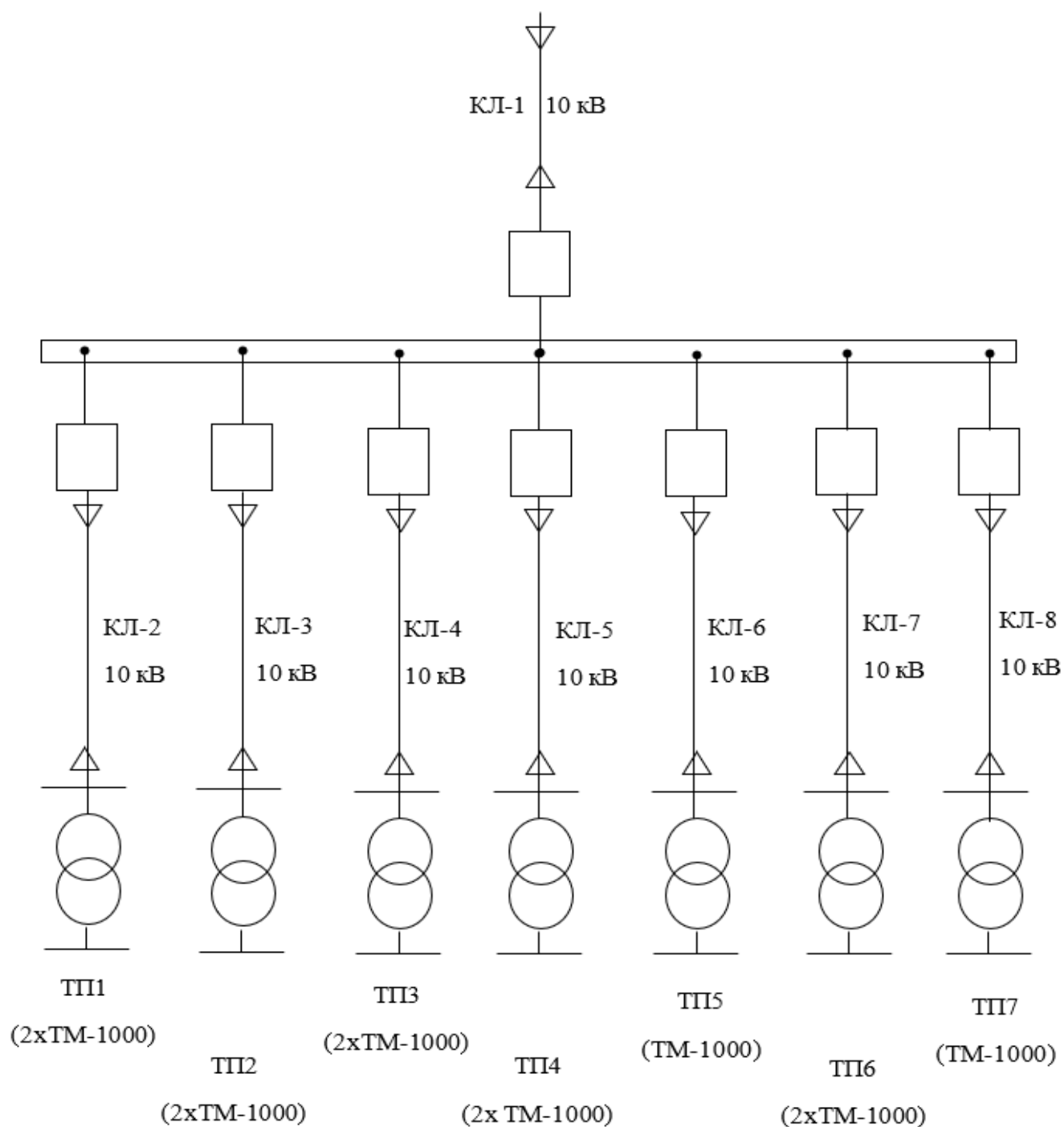


Рисунок 3.2 - Схема внутрішнього електропостачання цукрового заводу

4. Режими реактивної потужності системи електропостачання цукрового заводу

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності на цукровому заводі.

Вихідні дані по цукровому заводі для визначення балансу реактивної потужності у заводській електромережі становить наступні значення:

Сумарне низьковольтне навантаження по цукровому заводу визначається:

$$P_{\Sigma} = \sum P_{\text{ТП}} = 7764,64 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Sigma} = \sum Q_{\text{ТП}} = 4510,18 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цукрозаводських комплектних ТП будуть:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{\text{ТП}} = 101,04 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = \sum \Delta Q_{\text{ТП}} = 526,22 \text{ кВАр}$$

Сумарне високовольтне навантаження по цукровому заводу становлять:

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum \Delta P_{\text{ВН}} = 1260 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\Sigma} = \sum \Delta Q_{\text{ВН}} = 945 \text{ кВАр}$$

Номінальна реактивна потужність цукрозаводського синхр. генератора:

$$\Delta Q_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot \tan \varphi_{\text{СГ}} = 1000 \cdot 0,484 = 484 \text{ кВАр}$$

Розрахункова активна потужність цукрозаводського синхр.генератора:

$$P_{\text{СГ}} = N_{\text{СГ}} \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot K_{\text{вик}} = 2 \cdot 1000 \cdot 0,7 = 1400 \text{ кВт}$$

Номінальна реактивна потужність, що генерується від цукрозаводського СГ:

$$\Delta Q_{\text{СГ}} = P_{\text{СГ}} \cdot \tan \varphi_{\Sigma} = 1400 \cdot 0,484 = 677,6 \text{ кВАр}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Максимальна реактивна потужність генеруєтним цукрозаводським СГ:

$$\Delta Q_{\max \text{ СГ}} = \frac{\alpha_M P_{\text{СГ}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{н}}}{\eta} = \frac{1,21 \cdot 1400 \cdot 0,484}{0,9} = 911 \text{ кВАр}$$

Сумарне цукрозаводське споживання активної потужності становить:

$$P_p = P_{\text{н}} + \Delta P_m + P_{\text{в}} - P_{\text{СГ}} = 7764,64 + 101,04 + 1260 - 1400 = 7725,68 \text{ кВт},$$

Сумарне цукрозаводське споживання реактивної потужності становить:

$$Q_p = Q_{\text{н}} + \Delta Q_m + Q_{\text{в}} - Q_{\text{СД}} = 4510,18 + 526,22 + 945 - 677,6 = 5303,8 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність споживаєма цукро.заводом від ел.системи становить:

$$Q_{\text{е}} = P_p \cdot \text{tg} \phi_{\text{с}} = 7725,68 \cdot 0,15 = 1158,85 \text{ кВАр}$$

Потужність цукро.заводських компенсуючих пристроїв будуть становити:

$$Q_{\text{КП}} = Q_p - Q_{\text{е}} = 5303,8 - 1158,85 = 4144,95 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість цукро.заводських трансформаторів буде становити:

$$N_0 = \frac{P_{\text{н}}}{\beta \cdot S_{\text{НОМ}}} = \frac{7764,64}{0,7 \cdot 1000} = 11,09 \approx 12 \text{ шт.}$$

Розглянемо три варіанти з різною кільк. цукрозаводських комплектних ТП при наступних рівностей: $N_{\text{т}} = N_0$, $N_{\text{т}} = N_0 + 1$, $N_{\text{т}} = N_0 + 2$.

Кільк. цукрозаводських комплектних трансформаторів прийемо $N = N_0 = 12$ шт.
Реактивна потужність яка передана із мережі 10кВ в цукрозаводську напругою 0,4кВ:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{\text{НОМ}})^2 - (P_{\text{н}} + \Delta P_m)^2} = \\ &= \sqrt{(12 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 7764,64^2} = 3204,74 \text{ кВАр} \end{aligned}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Потужність КП монтажу в цукрозаводській електромережі напругою до 1 кВ:

$$Q_{KH} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 4510,18 - 3204,74 = 1305,44 \text{ кВАр}$$

Потужність КП монтажу в цукрозаводській електромережі 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_{KP} - Q_{KH} = 5070,4 - 1305,44 - 1158,85 = 2606,11 \text{ кВАр}$$

Розрахунок необхідної потужності КП для варіантів з кількістю цукрозаводських трансформаторів на 13 і 14 штук, виконується аналогічно чином.

Таблиця 4.1. Результати розрахунку потужності цукрозаводських КП

№ варіанту	Кількість заводських тр-торів	Q_1 , квар	Q_{KH} , кВАр	Q_{KB} , квар
1	12	3204,74	1305,44	2606,11
2	13	4745,56	0	3911,55
3	14	5979,16	0	3911,55

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на цукрового заводу

Розрахунок потужн. компенс. пристроїв, що будуть впроваджені на цукровому заводі, 0,4 кВ та 10 кВ для 3-х вар. приведено в табл. 3.2.2 – 3.4.4.

Таблиця 4.2.1 Вибір БК для цукрового заводу при кількості КТП 12 штук.

Но ме р	Кі л	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	Q_{kp} , кВАр	Кіл. та потуж. БК, шт.·кВАр	Сума Q_{BK} , кВАр	$Q_{kp}-$ Q_{bk} , кВАр	K_z	S_p , кВА
ТП 1,2	4	2585,67	1452,13	1074,39	377,74	1·150; 1·166;	316	61,74	0,71	2824,26
ТП 3	2	1214,45	992,84	696,5	296,34	2·112,5;	225	71,34	0,72	1436,82
ТП4	2	1341,96	934,24	398,93	535,31	2·225;	450	85,31	0,71	1426,65
ТП5	1	688,96	364,86	123,83	241,03	1·200;	200	41,03	0,71	708,41
ТП6	2	1232,1	780,6	664,78	115,82	1·67;	67	48,82	0,71	1423,83
ТП7	1	602,54	511,73	356,29	155,44	1·133;	133	22,44	0,71	711,681

БК на цукро заводській низьковольтній стороні на 0,4 кВ; $Q_{кн} = 1391$ кВар.

БК на цукро заводській високовольтній стороні на 10 кВ; $Q_{кв} = 2100$ квар.

Таблиця 4.2.2. Вибір БК для цукро заводу при кількості КТП 13 штук

№	К- ст ь	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп-}$ $Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
ТП 1,2	5	2585,67	1452,13	2358,88	0		0	0	0,59	2965,53
ТП 3	2	1214,45	992,84	696,5	296,34	2·112,5;	225	71,34	0,72	1436,825
ТП4	2	1341,96	934,24	398,93	535,31	2·225;	450	85,31	0,71	1426,655
ТП5	1	688,96	364,86	123,83	241,03	1·200;	200	41,03	0,71	708,41
ТП6	2	1232,1	780,6	664,78	115,82	1·67;	67	48,82	0,71	1423,831
ТП7	1	602,54	511,73	356,29	155,44	1·133;	133	22,44	0,71	711,6817

БК на цукро заводській низьковольтній стороні на 0,4 кВ; $Q_{кн} = 1075$ кВар.

БК на цукро заводській високовольтній стороні на 10 кВ; $Q_{кв} = 2700$ квар.

Таблиця 4.2.3. Вибір БК для цукро заводу при кількості КТП 14 штук

№	К- ст ь	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та пот. БК, шт.·кВАр	Сум а $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп-}$ $Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
ТП 1,2	5	2585,67	1452,13	2358,88	0		0	0	0,59	2965,53
ТП 3	3	1214,45	992,84	1713,22	0		0	0	0,52	1568,63
ТП4	2	1341,96	934,24	398,93	535,31	2·225;	450	85,31	0,71	1426,65
ТП5	1	688,96	364,86	123,83	241,03	1·200;	200	41,03	0,71	708,41
ТП6	2	1232,1	780,6	664,78	115,82	1·67;	67	48,82	0,71	1423,83
ТП7	1	602,54	511,73	356,29	155,44	1·133;	133	22,44	0,71	711,681

БК на цукро заводській низьковольтній стороні на 0,4 кВ; $Q_{кн} = 850$ кВар.

БК на цукро заводській високовольтній стороні на 10 кВ; $Q_{кв} = 3000$ квар.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Розрахунок приведених витрат на компенсацію для варіанту з кількістю цукрозаводських КТП компл. транс-ів $N_T = N_0 = 12$ штук приведено нижче.

Втрати акт. потужності в низьковольтних цукрозаводських КП (компен.прист):

$$\Delta P_{KH} = P_{ПІТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 1391 = 6,26 \text{ кВт}$$

Втрати акт. потужності в високовольтних цукрозаводських КП (компен.прис):

$$\Delta P_{KB} = P_{ПІТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 2100 = 6,3 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в комплектних цукрозаводських ТП, що викликані передачею на відстань реактивної потужності матиме значення:

$$\Delta P_{ПІ} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{7764,64^2 + 3204,74^2}{10^2} \cdot 0,07 \cdot 0,001 = 49,39 \text{ кВт}$$

звідки еквів. опір

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{8,6 \cdot 10^2}{12 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0,07 \text{ Ом}$$

Втрати активної потужності в цукрозаводських (СД) синхронних двигунах:

$$\begin{aligned} \Delta P_{CD} &= Q_{CD} \left(\frac{D_1}{Q_{ном}} + \frac{2D_2 Q_{CD}}{Q_{ном}^2 N_{CD}} \right) Q_{CD}^2 \frac{D_2}{Q_{ном}^2 N_{CD}} = \\ &= 911 \cdot \left(\frac{0,85}{484} + \frac{2 \cdot 0,75 \cdot 911}{484^2 \cdot 2} \right) + 911^2 \frac{0,75}{484^2 \cdot 2} = 5,59 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Вартість цукрозаводських КП на низьковольтній стороні 0,4 кВ:

$$\begin{aligned} K_{KH} &= \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} = \\ &= 1 \cdot 25,56 + 2 \cdot 36,504 + 1 \cdot 41,149 + 1 \cdot 44,612 + 1 \cdot 46,28 + 1 \cdot 55,314 + 2 \cdot 59,03 = 404 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

Вартість цукрозаводських КП на високовольтній стороні 10 кВ :

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KBi} \cdot K_{KBi} = 2 \cdot 69,0612 + 2 \cdot 57,5796 = 253,28 \text{ тис.грн.}$$

Вартість проектуємих цукрозаводських КТП:

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} = \\ = 5 \cdot 1348,424 + 2 \cdot 787,08 = 8316,28 \text{ тис.грн.}$$

Приведені витрати по цукрозаводу на компенсацію потужності (реактивної):

$$З = E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) = \\ = 0,12(404 + 253,28 + 8316,28) + 7,523 \cdot 3287,44(6,26 + 6,3 + 49,39 + 5,59) \cdot 10^{-3} = \\ = 2747,35 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок приведених витрат по цукровому заводу на компенсацію реактивної потужності для варіантів з кількістю комплектних трансформаторів $N_T = 13$ шт та 14 шт. проводиться аналогічно. Результати проведених розрахунків наведено до табл. 4.2.4.

Таблиця 4.2.4. Результати розрахунків загальних приведених витрат по цукровому заводу на компенсацію реактивної потужності

№ вар.	Q_{KH} , квар	ΔP_{KH} , кВт	Q_{KB} , квар	ΔP_{KB} , кВт	N_{TP} , шт.	R_{CKB} , Ом	S_{TP} , кВА	ΔP_{TP} , кВт	K_{KH} , тис. грн.	K_{KB} , тис. грн.	K_{TP} , тис. грн.	$З$, тис. грн.
1	1391	6,26	2100	6,3	12	0,07	8400	49,39	404	253,28	8316,3	2747
2	1075	4,84	2700	8,1	13	0,07	9100	57,97	0	178,9	9103,4	3006
3	850	3,83	3000	9	14	0,06	9800	57,62	0	278,43	9890,4	3101

З розрахунків видно, що витрати 1 - й варіант дає мінімальні значення приведених витрат. Тому для даного цукрового заводу ми і приймаємо для подальших розрахунків

5. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на цукровому заводі

Знаходимо загальну потужність ТП ГЗП по цукровому заводу:

$$S_{\text{тр}} = \frac{K_{1,2} S_p}{1,4(n-1)} = \frac{0,8 \cdot 6,4795}{1,4(2-1)} = 3,7 \text{ МВА}$$

Обираємо трансформатор для цукрозаводу ТМН 4000/35 з такими параметрами:

$$\Delta P_x = 6,7 \text{ кВт}; \quad \Delta P_{\text{кз}} = 33,5 \text{ кВт}; \quad U_{\text{кз}} = 7,5 \%$$

Визначаємо реальний коефіцієнт завантаження для цукрового заводу:

$$K_3 = \frac{S_p}{NS_{\text{ном}}} = \frac{6479,5}{2 \cdot 4000} = 0,8$$

Даний коефіцієнт завантаження цукрового заводу задовольняє умовам вибору трансформаторів ГЗП.

Для спрощення і наочності, вибір буде проводитись у вигляді таблиці 5.

Таблиця 5. Вибір цехових ТП цукрового заводу

№ ТП	К-сть	Марка транс-ра	$S_{\text{роз}}$, кВА	Коеф. K_3	$S_{\text{ном}} > S_p/K_1$	$S_{\text{ном}} > S_p/K_2$
ТП-1	2	ТМ-1000-10/0,4	1365,34	0,68	1264	975
ТП-2	2	ТМ-1000-10/0,4	1365,34	0,68	1264	975
ТП-3	2	ТМ-1000-10/0,4	1375,84	0,69	1274	983
ТП-4	2	ТМ-1000-10/0,4	1379,46	0,69	1277	985
ТП-5	1	ТМ-1000-10/0,4	690,75	0,69	640	493
ТП-6	2	ТМ-1000-10/0,4	1370,53	0,69	1269	979
ТП-7	1	ТМ-1000-10/0,4	681,00	0,68	631	486

6. Розрахунок струмів короткого замикання. Вибір електрообладнання цукрового заводу та силових електромереж системи постачання

Шостий розділ моєї бакал. роботи присвячений питанням визначення струмів к.з. та вибору типів ліній і високовольтного обладнання для цукрового заводу. Для вирішення поставлених задач застосуємо методику описану в джерелі [1]

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в системі живлення заводу

По розрахунковій схемі нашого заводу складають схему заміщення. Елементи схеми представлені опорами (рис. 6.1.1). Виконаємо розрахунок опорів вказаних елементів схеми системи електропостачання цукрозаводу.

Опори (активний та індуктивний), для системи електропостачання цукрозаводу:

$$X_e = \frac{U_e^2}{S_{к.з}} = \frac{37^2}{2000} = 0,07 \text{ Ом}$$

$$R_e = \frac{X_e}{25} = \frac{37^2}{25} = 0,0028 \text{ Ом}$$

Опори (активний та індуктивний) заводської ПЛ на напругу 10 кВ при обраному (кабелю ААШВ (3х120) довжиною 0,78 км):

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,249 \cdot 5,01}{1} = 1,2475 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,427 \cdot 5,01}{1} = 2,14 \text{ Ом}$$

Цукрозаводський трансф-ор ТМН-4000/35, опір приведений до сторони НН ГЗП:

$$R_m = \frac{\Delta P_k \cdot U_{ср.нам}^2}{S_{нам}^2} = \frac{33,5 \cdot 10,5^2}{4000^2} \cdot 10^3 = 0,23 \text{ Ом}$$

$$X_m = \frac{U_{к,\%} \cdot U_{ср.нам}^2}{S_{нам}} = \frac{7,5 \cdot 10,5^2}{4000^2} \cdot 10^3 = 2,07 \text{ Ом}$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	42

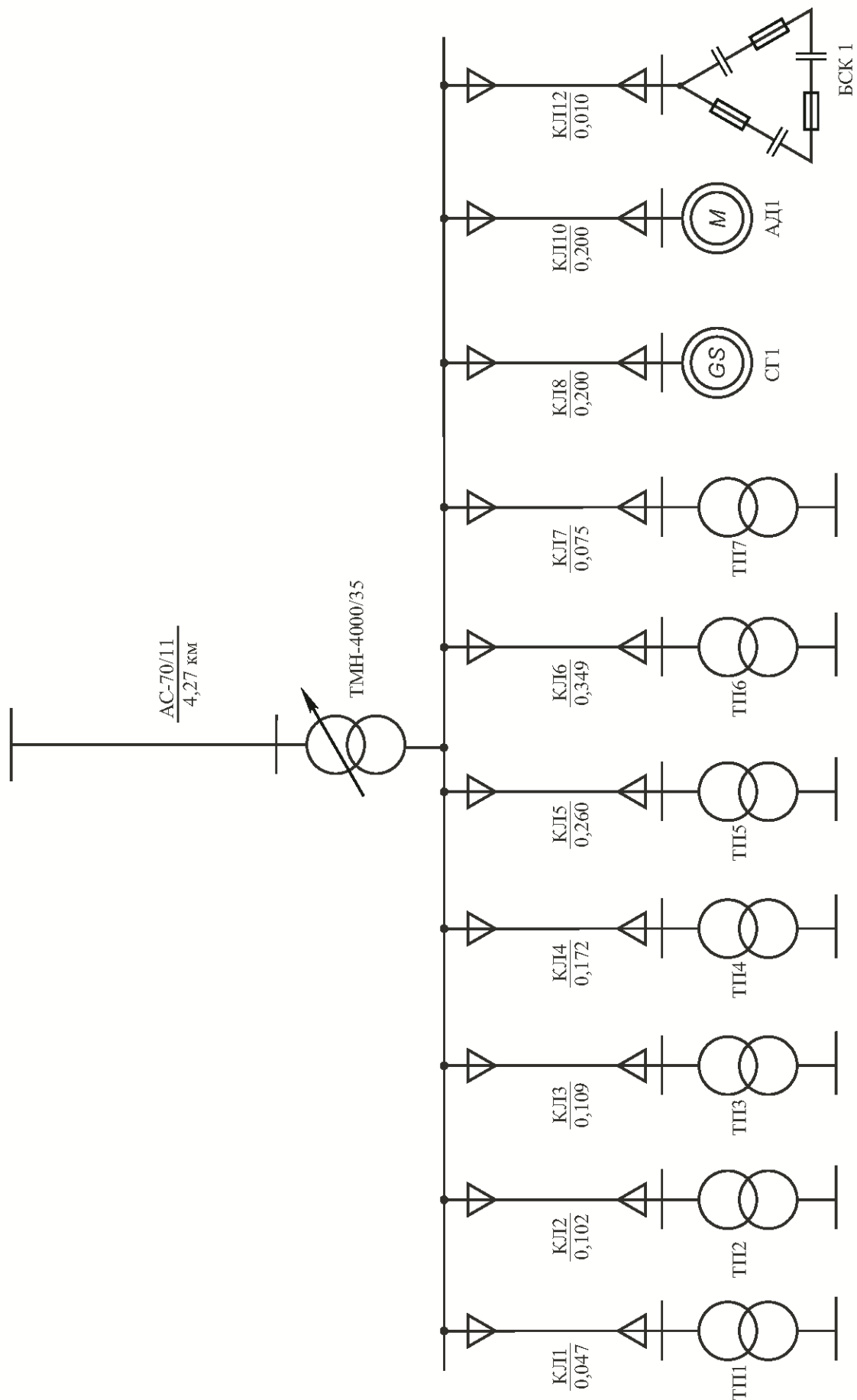


Рисунок 6.1.1 Схема заміщення для розрахунку струмів к. з.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

43

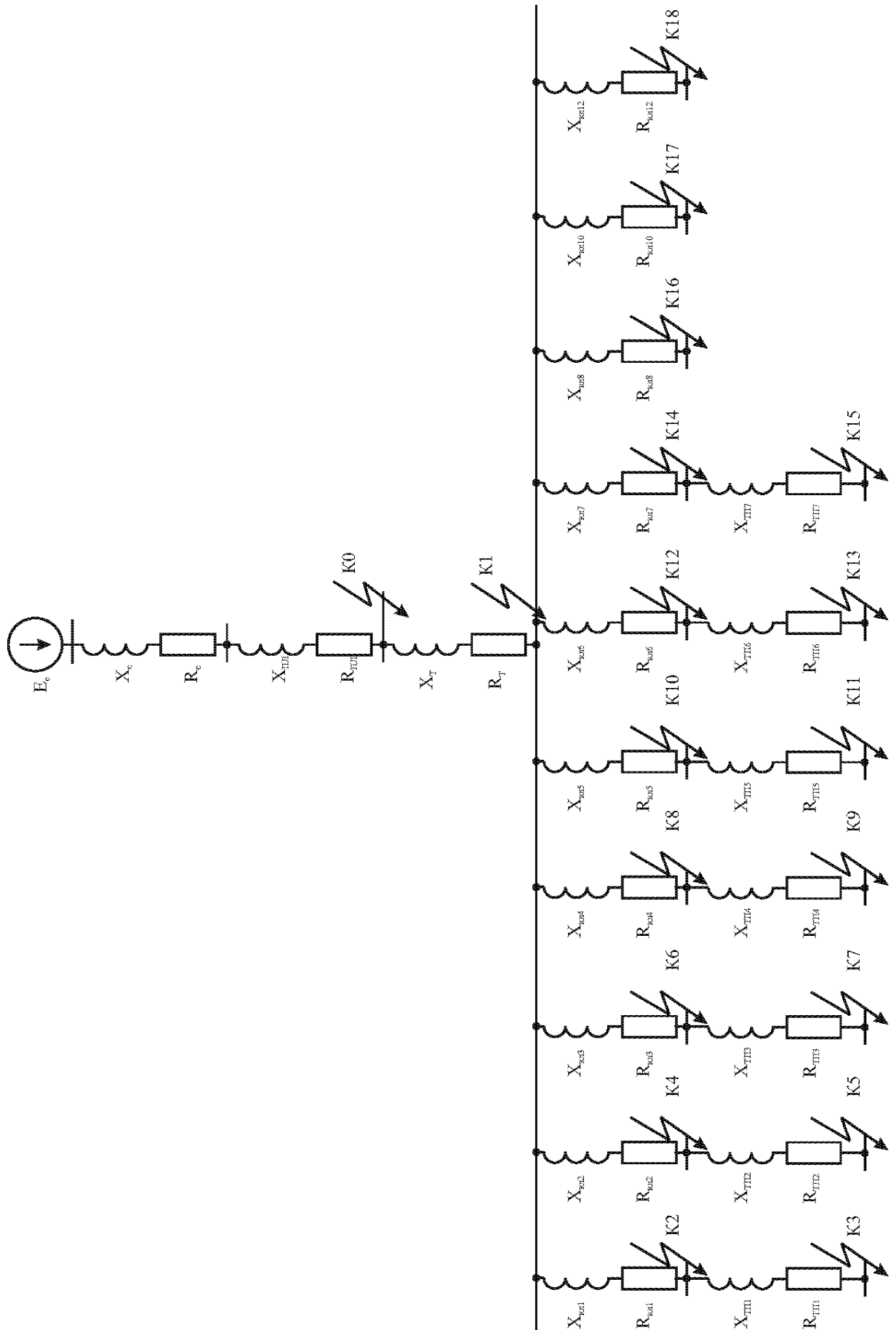


Рисунок 6.1.2. Схема заміщення мережі для розрахунку струмів к. з.

Опори для K_0 визначаються:

$$X_{K0} = X_c + X_{кл} = 0,07 + 2,14 = 2,21 \text{ Ом}$$

$$R_{K0} = R_c + R_{кл} = 0,0028 + 1,2475 = 1,2475 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K0}^2 + X_{K0}^2} = \sqrt{1,2475^2 + 2,21^2} = 2,54 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм у т. K_0 від енергосистеми :

$$I_{K0(c)}'' = \frac{U_{ср.н.м.}}{\sqrt{3} Z_{K0}} = \frac{37}{\sqrt{3} \cdot 2,54} = 8,41 \text{ кА}$$

Стала часу в т. K_0 становитиме близько:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{2,21}{314 \cdot 1,2475} = 0,0056 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в т. K_0 матиме значення близько:

$$k_{y\partial 0} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a0}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0056}} = 1,168$$

Ударний струм в т. K_0 від енергосистеми становитиме близько:

$$i_{y\partial 0(c)} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K0(c)}'' = \sqrt{2} \cdot 1,168 \cdot 8,41 = 13,89 \text{ кА}$$

Результуючий опір до т. K_0 на стороні для НН ГЗП:

$$X'_{K0} = X_{K0} \left(\frac{U_{нн}}{U_{сн}} \right)^2 = 2,21 \cdot \left(\frac{10,5}{37} \right)^2 = 0,178 \text{ Ом}$$

$$R'_{K0} = R_{K0} \left(\frac{U_{нн}}{U_{сн}} \right)^2 = 1,247 \cdot \left(\frac{10,5}{37} \right)^2 = 0,1 \text{ Ом}$$

$$Z'_{K0} = Z_{K0} \left(\frac{U_{нн}}{U_{сн}} \right)^2 = 2,54 \cdot \left(\frac{10,5}{37} \right)^2 = 0,205 \text{ Ом}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Результуючий опір до точки К₁ становитиме наступні значення:

$$X_{K1} = X'_{K0} + X_m = 0,178 + 2,07 = 2,248 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R'_{K0} + R_m = 0,1 + 0,23 = 0,33 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,33^2 + 2,248^2} = 2,272 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в т. К₁ (від енергосистеми) становитиме близько:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,272} = 2,67 \text{ кА}$$

Стала часу в т. К₁ електросистеми матиме значення близько:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{2,248}{3,14 \cdot 0,33} = 0,0217 \text{ с}$$

Ударний коеф. в т. К₁ визначається за відлним виразом:

$$k_{y\phi 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0217}} = 1,631$$

Ударний струм в т. К₁ електросистеми матиме наступне значення:

$$i_{y\phi 1(c)} = \sqrt{2} k_{y\phi} I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,631 \cdot 2,67 = 6,16 \text{ кА}$$

Струм підживлення КЗ електросистеми від СД високою напругою 10 кВ.

Номінальна повна потужність цукрозаводського СГ становитиме близько:

$$S_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\cos \varphi_{\text{ном}} \eta} = \frac{1}{0,8 \cdot 0,96} = 1,3 \text{ МВА}$$

Номінальний струм цукрозаводського СГ:

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{1,3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,071 \text{ кА}$$

Надперехідний струм в т. К₁ електросистеми (від СГ) становитиме близько:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$I''_{K1(CГ)} = n_{CГ} \frac{E_*}{x_d''} I_{ном} = 2 \cdot \frac{1,1}{0,2} \cdot 0,071 = 0,781 \text{ кА}$$

Стала часу цукрозаводського СГ:

$$T_{aCГ} = \frac{X_{CГ}}{\omega R_{CГ}} = \frac{15}{314} = 0,0478 \text{ с}$$

Ударний коеф. цукрозаводського СГ становитиме близько:

$$k_{y\partial(CГ)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a(CГ)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0478}} = 1,811$$

Ударний струм в точці К₁ електросистеми (від СГ) становитиме близько:

$$i_{y\partial(CГ)} = \sqrt{2} k_{y\partial(CГ)} I'_{K1(CГ)} = \sqrt{2} \cdot 1,811 \cdot 0,781 = 2,0 \text{ кА}$$

Знайдемо струм підживлення КЗ від цукро заводського АД на напруну 10 кВ.

Номінальна повна потужність цукрозаводського АД з КЗ:

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos \varphi_{ном} \eta} = \frac{0,63}{0,83 \cdot 0,96} 2 = 0,825 \text{ МВА}$$

Індуктивний опір цукрозаводського АД :

$$X_{АД} = \frac{1}{I_{пуск}} \cdot \frac{U_{ср.ном}^2}{S_{ном}} = \frac{10,5^2}{5,2 \cdot 0,825} = 25,7 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці К₁ електросистеми (від цукрозаводського АД):

$$I''_{K1(АД)} = n_{АД} \frac{E_* \cdot U_{ср.ном}}{\sqrt{3} X_{АД}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 10,5}{\sqrt{3} \cdot 25,7} = 0,42 \text{ кА}$$

Ударний струм в т. К₁ електросистеми (від цукрозаводського АД) визначається:

$$i_{y\partial(АД)} = \sqrt{2} k_{y\partial(АД)} I'_{K1(АД)} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 0,42 = 1,01 \text{ кА}$$

Сумарний надперехідний струм електросистемим для цукрозаводу:

$$I''_{K1} = I''_{K1(e)} + I''_{K1(CГ)} + I''_{K1(АД)} = 2,67 + 0,781 + 0,42 = 3,87 \text{ кА}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Сумарний ударний струм на цукрозаводських шинах:

$$i_{y\partial 1} = i_{y\partial 1(c)} + i_{y\partial 1(CT)} + i_{y\partial 1(AD)} = 6,16 \cdot 2 \cdot 1,01 = 9,17 \text{ кА}$$

Для подальшого визначення заводських значень струмів к.з. вибираються КЛ кабелі до цукрозаводських підстанцій та встановленого високовольтного навантаження. Проведемо вибір кабеля від шин НН ГЗП до цукрозаводської ТП-1, аналогічно і для інших заводських кабелів. Результати вибору кабельних ліній напругою на 10 кВ цукрозаводської заводської мережі будуть приведені в таблиці 8.2.1.

Розрахунковий струм кабельної лінії до цукрозаводської ТП-1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1409,275}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 40,68 \text{ А}$$

Площа попер перерізу для цукрозаводської кабельної лінії становитиме:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{40,68}{1,4} = 29,06 \text{ мм}^2$$

Тепловий імпульс, що утворюється від струму к. з. визначаємо як:

$$B_k = I_{K1}^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 3,87^2 (0,525 + 0,0217) = 8,19 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мін. переріз для обраної КЛ при умові її термічної стійкості, становитиме:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{10,15 \cdot 10^3} = 33,98 \text{ мм}^2$$

Вибираємо кабель для встановлення марки ААШВ-10(3х35) з наступними даними: $I_{доп\text{ кл}} = 80 \text{ А}$, $r_0 = 0,89 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,095 \text{ Ом/км}$.

Опори, обраної заводської КЛ, активний та індуктивний становлять:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,89 \cdot 0,27 = 0,024 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,095 \cdot 0,27 = 0,003 \text{ Ом}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Параметри інших цукрозаводських КЛ напругою U=10 кВ зведено в табл. 6.1.1.

Результуючі повний, індуктивний та активний опори мережі до т. К2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кт} = 2,248 + 0,003 = 2,251 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кт} = 0,33 + 0,024 = 0,354 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,354^2 + 2,251^2} = 2,279 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.1.1. Параметри значень цукрозаводських КЛ напругою 10 кВ

№ заводської КЛ	Довжина l, км	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	Активний R, Ом	Індуктивний X, Ом
1	0,027	0,89	0,095	0,024	0,003
2	0,036	0,89	0,095	0,032	0,003
3	0,079	0,89	0,095	0,07	0,008
4	0,018	0,89	0,095	0,016	0,002
5	0,117	0,89	0,095	0,104	0,011
6	0,184	0,89	0,095	0,164	0,017
7	0,158	0,89	0,095	0,141	0,015
8,9	0,032	0,89	0,095	0,028	0,003
10,11	0,121	0,89	0,095	0,108	0,011
12,13	0,010	0,443	0,086	0,004	0,001

Надперехідний струм електросистеми заводу в точці К₂ становитиме:

$$I_{K2}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,279} = 2,66 \text{ кА}$$

Стала часу електросистеми заводу в точці К₂ матиме значення:

$$I_{K2}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,279} = 2,66 \text{ кА}$$

Ударний коеф. електросистеми в точці К₂ визначається за відомим виразом:

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0.01}{0,0203}} = 1,611$$

Ударний струм електросистеми заводу в точці К2 матиме значення:

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,611 \cdot 2,66 = 6,06 \text{ кА}$$

Опори (активний та індуктивний) цукрозаводського комплект.ТП1 (ТМ1000/10):

$$R_{np} = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{cp,ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{8,6 \cdot 10,5^2}{1000^2} \cdot 10^3 = 0,948 \text{ Ом}$$

$$X_{np} = \frac{U_{\kappa, \%} U_{cp,ном}^2}{S_{ном}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{1000} \cdot 10 = 6,064 \text{ Ом}$$

Результуючі повний, активний, індуктивний та опори становитимуть до т. Кз:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{np}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{ен}} \right)^2 = (2,251 + 6,064) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0121 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{np}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{ен}} \right)^2 = (0,354 + 0,948) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0019 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0019^2 + 0,0121^2} = 0,0122 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм електросистеми заводу в т.і Кз матиме значення:

$$I_{K3}'' = \frac{U_{cp,ном}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0122} = 18,93 \text{ кА}$$

Стала часу в т. Кз електросистеми становитиме:

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0121}{314 \cdot 0,0019} = 0,0203 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт електросистеми заводу в т. Кз визначається за виразом:

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0203}} = 1,611$$

Ударний струм в т. Кз електросистеми заводу становитиме:

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K3}' = \sqrt{2} \cdot 1,611 \cdot 18,93 = 43,13 \text{ кА}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Струми к. з. для інших точок системи електропостачання цукрового заводу аналогічно розраховуються, та зводяться до таблиці 6.1.2.

Таблиця 6.1.2. Результати значення струмів к. з. цукрозаводської системи електропостачання

№ точки к.з.	Опір $R, \text{Ом}$	Опір $X, \text{Ом}$	Струм $I_k'', \text{кА}$	Стала $T_a, \text{с}$	Коеф k_{y0}	Струм $i_{y0}, \text{кА}$
0	1,2475	2,2100	8,41	0,0056	1,168	13,89
1	0,3300	2,2480	3,87	0,0217	1,631	9,17
2	0,3540	2,2510	2,66	0,0203	1,611	6,06
3	0,0019	0,0121	18,93	0,0203	1,611	43,13
4	0,3620	2,2510	2,66	0,0198	1,603	6,03
5	0,0019	0,0121	18,93	0,0203	1,611	43,13
6	0,4000	2,2560	2,65	0,0180	1,574	5,90
7	0,0020	0,0121	18,78	0,0193	1,596	42,39
8	0,3460	2,2500	2,66	0,0207	1,617	6,08
9	0,0019	0,0121	18,93	0,0203	1,611	43,13
10	0,4340	2,2590	2,64	0,0166	1,547	5,78
11	0,0020	0,0121	18,78	0,0193	1,596	42,39
12	0,4940	2,2650	2,62	0,0146	1,504	5,57
13	0,0021	0,0121	18,78	0,0184	1,581	41,99
14	0,4710	2,2630	2,62	0,0153	1,520	5,63
15	0,0021	0,0121	18,78	0,0184	1,581	41,99
16	0,3580	2,2510	2,66	0,0200	1,607	6,05
17	0,4380	2,2590	2,63	0,0164	1,543	5,74
18	0,3340	2,2490	2,67	0,0214	1,627	6,14

6.2. Вибір високовольтних кабелів для заводу

Проведемо вибір КЛ 10 кВ від завод. шин ГЗП до ТП1. Визначимо струм КЛ-1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{\text{ср.ном}}} = \frac{1401}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 40,44 \text{ кА}$$

Площа перерізу для даної заводської КЛ-1 при ($j_{\text{ек}}=1,4 \text{ А/мм}^2, T_{\text{max}} = 4846 \text{ год.},$).

Обираємо кабель ААШв-10(3х35) до встановлення для живлення споживачів цукрового підприємства з вставкою струмом $I_{\text{доп. кл}} = 80 \text{ А}$. Перевірка завод. КЛ за допустимим струмовим навантаж. від їх заводських споживачів становить:

$$I_p = 40,44 \text{ А} \leq K_n \cdot I_p = 0,92 \cdot 80 = 73,6 \text{ А}$$

Перевірка цукрозаводської КЛ при виборі за умови в аварій. режимі розраховують

$$I_{\text{ас}} = 80,88 \text{ А} \leq K_{\text{ан}} \cdot K'_n \cdot I_p = 1,25 \cdot 1 \cdot 80 = 100 \text{ А}$$

Тепловий імпульс на лінії електроспоживачів від можливого І к.з. становитиме:

$$B_k = I_{\text{кл}}^2 (t_{\text{п.з.мін}} + T_a) = 2,69^2 \cdot (0,525 + 0,0224) = 30,7 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мін. допустимий переріз заводської КЛ при виборі на термічну стійкість:

$$F_{\text{мін}} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{8,33 \cdot 10^3} = 30,7 \text{ кА}^2\text{с}$$

Результати розрахунків із вибору інших заводських КЛ наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Результати розрахунків цукрозаводських КЛ на 10 кВ

№ КЛ	n, шт	S _p , МВА	I _p , А	I _{p.ав.} , А	F _{ек} , мм ²	B _к , кА ² с	F _{мін} , мм ²	Марка кабеля	I _{доп} , А	K _n	K _n I _{доп} , А	K _{ан}	K' _n	K _{ан} K' _n I _{доп} , А
1	2	1409,2 75	40,68	81,36	29,06	8,19	30,44	ААШВ - 2 х (3 х 35)	80	0,92	73,6	1,25	1	100
2	2	1409,2 75	40,68	81,36	29,06	8,19	30,44	ААШВ - 2 х (3 х 35)	80	0,92	73,6	1,25	1	100
3	2	1429,9 6	41,28	82,56	29,49	8,19	30,44	ААШВ - 2 х (3 х 35)	80	0,92	73,6	1,25	1	100
4	2	1418,7 1	40,95	81,9	29,25	8,19	30,44	ААШВ - 2 х (3 х 35)	80	0,92	73,6	1,25	1	100
5	1	706,35	40,78	-	29,13	8,19	30,44	ААШВ - 1 х (3 х 35)	80	1	80	-	-	-
6	2	1422,1 8	41,05	82,1	29,32	8,19	30,44	ААШВ - 2 х (3 х 35)	80	0,92	73,6	1,25	1	100

7	1	707,59	40,85	-	29,18	8,19	30,44	ААШВ - 1 х (3 х 35)	80	1	80	-	-	-
8,9	2	1000	28,87	-	20,62	8,19	30,44	ААШВ - 2 х (3 х 35)	80	0,92	73,6	-	-	-
10, 11	2	630	18,19	-	12,99	8,19	30,44	ААШВ - 2 х (3 х 35)	80	0,92	73,6	-	-	-
12, 13	2	1150	33,2	-	23,71	8,19	30,44	ААШВ - 2 х (3 х 70)	130	0,92	119,6	-	-	-

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги для заводу

В цьому пункті, для цукрового заводу, були проведені розрахунки з вибору високовольного обладнання згідно з викладеною методикою [1].

Вибір і результат обчислень ввідного вимикача $U=35$ кВ наведено в табл.6.3.1.

Таблиця 6.3.1. Вибір вимикачів на вводі на 35 кВ

Параметри вибору ел.апарата вимикача	Умови ел.апарат вибору	Розрахунок ел.апарата вимикача
Параметр обраного нами апарата	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$35 \leq 35$
Довготривалий струм апарата, кА	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$92,38 \leq 1600$
Відключаюча здатність апарата:		
- симетричний струм, А	$I_{пл} \leq I_{відкл.ном}$	$8,41 \leq 20$
- аперіодична складова, А	$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
- повний струм, А	$\sqrt{2}I_{пл} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{номвідкл}(1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 8,41 + 0 < < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4) 11,89 39,6$
Динамічна стійкість ел. апарата:		
- симетричний струм вимик., А	$I'' \leq I_{дин.ст.}$	$8,41 \leq 52$
- ударний струм вимик., А	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$16,32 \leq 132,37$
Термічна стійкість вимикача	$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$76,08 \leq 1200$

Найменший час з моменту початку к. з., в процесі його здійснення, до моменту розходження силової контактної групи обраного електричного вимикача становитиме:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$\tau = t_{c.с} + t_{pз.мін} = 0,05 + 0,02 = 0,07 \text{ с}$$

$$\tau = t_{pз.мін} + t_{c.с} = 1 + 0,042 = 1,042 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к. з. для моменту розходження силової контактної групи високовольтного електричного апарата становитиме:

$$i_{ат} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 2,69 \cdot e^{\frac{-0,07}{0,0056}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к. з. для високовольт. ел.апарата матиме значення:

$$B_k = I''^2 (t_{c.с.} + t_{pз.маж} + T_a) = 8,41^2 \cdot (0,05 + 1,02 + 0,0056) = 76,08 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Обираємо чудовий вакуумний вимикач - ВР35НС-35-20/1600 У1.

Вибір ел.апарата, а саме секційного вимикача напругою 35 кВ проводимо аналогічно та обираємо чудовий вакуумний вимикач ВР35НС-35-20/1600 У1.

Проведемо розрах. та вибір високовольтних вимикачів на вводі напр. 10 кВ

Результати вибору високовольтного вимикача на 10 кВ наведені в табл. 6.3.3

Таблиця 6.3.3. Умови вибору високовольтного секційного вимикача на 10 кВ

Параметр обраного ел.апарата	Умови вибору ел.апарат	Розрахунок вимикача
Номінальна напруга електроапарата, В	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Номінальний довготривалий струм ел.апарата, А	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$230,94 \leq 630$
Відключаюча здатність електричного апарата:		
- симетричний струм, А	$I_{к0}'' \leq I_{дин.ст}$	$2,67 \leq 20$
- асиметрична складова, А	$i_{ат} \leq \sqrt{2} \beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
- повний струм вимикача, А	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 2,67 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,78 \leq 39,6$
Динамічна стійкість апарата:		
- симетричний струм вимик, А	$I_{пт} \leq I_{дин.ст}$	$2,67 \leq 52$
- ударний струм вимикача, А	$i_{уд} \leq 1,8 \sqrt{2} I_{дин.ст.}$	$6,16 \leq 132,37$
Термічна стійкість апарата	$B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$	$9,01 \leq 1200$

Обираємо для встановлення чудовий та відомий вакуумний вимикач моделі ВР1-10-20/630.

Аналогічно проводимо та вибираємо високовольтний секційний вимикач, для цукрозаводських ліній на 10 кВ, вимикач вакуумний моделі - ВР1-10-20/630.

Також аналогічно проводимо та вибираємо високовольтний вимикача 10 кВ на відхідних КЛ до ТП для встановлення вакуумний вимикач моделі ВР1-10-20/630.

Вибираємо вимикачі навантаження та зводимо до таблиці 6.3.4.

Таблиця 6.3.4. Результати вибору високовольтних вимикачів навантаження.

Параметр вимикачів навантаження	Умови вибору ел.апарата	Розрахунок вимикачів навантаження
Номінальна напруга апарата вим. навантаження	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,5 \leq 10,5$
Довготривалий ном. струм апарата вим. навантаження	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$0 \leq 400$
Динамічна стійкість апарата вим. навантаження:		
- симетричний струм вимикача	$I_{шт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,67 \leq 10$
- ударний струм вимикача	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$6,16 \leq 25,46$
Термічна стійкість апарата вим. навантаження	$B_k \leq I_{шт}^2 t_{шт}$	$14,41 \leq 100$

Обираємо для встановлення наступний вимикач моделі ВНР-10/400-10з.

Далі виберемо плавкі запобіжники для захисту заводських ТП від струмів к.з.

Таблиця 6.3.6. Результати вибору заводських високовольтних запобіжників 10кВ

Параметр ел.апарата запобіжника	Умова вибору ел.апарата	Розрахунок ел.апарата запобіжника
Ном. ел.апарата напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,5 \leq 10,5$
Номінальний струм п.в. ел.апарата запобіжника	$2I_{т.ном} \leq I_{п.}$	$134,68 \leq 160$
Чутливість захисту ел.апарата запобіжника	$K_u = \frac{I_{к.з.мин}}{I_{п.в}} \geq$	$\frac{2670}{160} = 16,69 \geq 3$
Відключаюча здатність ел.апарата запобіжника	$I_{к.з.}^{(3)} \leq I_{п.відк}$	$2,67 \leq 20$

Обираємо високовольтний електричний апарат для встановлення, а саме запобіжник типу ПКТ104-10-160-20УЗ.

Результати розрахунку електричного навантаження для живлення ТВП (ЦРП) по цукровому заводу наведено в табл. 6.3.7.

Таблиця 6.3.7 Результати розрахунку електричного навантаження ТВП для цукрового заводу

№ з/п	Вибрані споживачі ТВП	$P_{\text{ном}},$ кВт	$n,$ шт.	$P_{\text{сум}},$ кВт	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{уст}},$ кВт	$Q_{\text{уст}},$ квар
1	Електродвигуни обдуву	4	4	16	0,8	0,75	16	12
2	Пристрої підігріву для вимикачів	3	3	9	0,97	0,25	9	2
3	Пристрої підігріву для КРП	0,6	22	13,2	0,97	0,25	13,2	3
4	Опалення та освітлення виробничих приміщень	6	3	18	0,97	0,25	18	5
5	Освітлення зовнішнє	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
6	Споживання оперативними колами	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
Всього по навантаженню							92,2	32

Сумарне встановлене навантаження для ТВП, в системі заводу, становить:

$$S_{\text{уст}} = \sqrt{P_{\text{уст}}^2 + Q_{\text{уст}}^2} = \sqrt{92,2^2 + 32^2} = 97,6 \text{ кВА}$$

Розрахункова потужність ТВП матиме наступне значення:

$$S_p = K_c S_{\text{уст}} = 0,8 \cdot 97,6 = 78,08 \text{ кВА}$$

Обираємо до встановлення 2 заводських трансформатори для власних потреб найбільш монтуємого типу та моделі ТМ-63/10.

Коефіцієнт завантаження встановленого щитового ТВП в системі електропостачання цукрового заводу становитиме:

$$K_z = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{78,08}{2 \cdot 63} = 0,62$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					56

6.4. Вибір трансформаторів струму та напруги для заводу

В табл. 6.4.1 наведено результати розрахунку параметрів для цукрового заводу для вибору ТС, що встановлюються на високовольтних вводах 10 кВ і призначені для обліку споживання і приєднання апаратів релейного захисту .

Таблиця 6.4.1. Результати вибору ТС на вводах 10 кВ цукрозаводської електромережі.

№ з/п	Параметр пристрою ТС	Умова вибору пристрою	Розрахунок пристрою ТС
1	Номінальна напруга приср ТС	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
2	Довготривалий номінальний струм пристрою ТС	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$230,94 \leq 300$
3	Динамічна стійкість пристр.ТС	$i_{уд} \leq i_{дин} = \sqrt{2} k_{ед} I_{1ном}$	$6,16 \leq 52$
4	Термічна стійкість пристр. ТС	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$9,01 \leq 768$
5	Вторинне навантаження ТС	$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0,35 \leq 0,4$

Вторинне навантаження електро.пристрою - трансформатор струму, Ом:

$$Z_2 = Z_{прил} + R_{трое} + R_{конт}$$

Опір приладів, приєднаних до вторинних кіл електро.пристрою ТС, Ом:

$$Z_{прил} = \frac{S_{прил}}{I_{ном}^2} = \frac{4,1}{5,2^2} = 0,16$$

Обираємо для монтажу в комірках наступний трансформатор ТЛК-10/300. Його дані та характеристика нами приведено нище у табл. 6.4.2.

Таблиця 6.4.2. Трансформатор струму ТЛК-10/300.

Тип вимір. пристрою ТС	$U_{ном}$	$I_{ном}$	$I_{д.с.}$	$Z_{2ном}$	$I_{тн}$	t_n
ТЛК-10/300 У1	10	300	52	0,4	16	3

Наступні розрахунки виконані для вторинного навантаження вимірювального ТС, що змонтований на вводах 10кВ цукрозаводської електромережі, див.табл.6.4.3

Щоб струмовимірювальний пристрій працював довго і надійно необхідно виконувати наступні вимоги:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{конт}} \leq Z_{2\text{ном}}$$

Опір використаних проводів, для надійної і довготривалої роботи вимірювальних трансформаторів струму:

$$R_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - R_{\text{к}} = 0,4 - 0,16 - 0,1 = 0,14 \text{ Ом}$$

Переріз з врахуванням опору проводу становитиме наступне значення:

$$F = \frac{\rho \cdot l_{\text{пров}}}{R_{\text{пров}}} = \frac{0,0283 \cdot 20}{6} = 4,04 \text{ мм}^2$$

Обираємо до встановлення в комірці шафи стандартний контрольний провід марки АКРВГ-6.

Опір даного для встановлення контрольного кабелю АКРВГ-6 становитиме:

$$R_{\text{пров.ст.}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пров}}}{F_{\text{пр.ст}}} = \frac{0,0283 \cdot 20}{6} = 0,09 \text{ мм}^2$$

Вторинне навантаження пристрою трансформатора струму розраховується:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров.ст.}} + R_{\text{конт}} = 0,16 + 0,09 + 0,1 = 0,35 \text{ Ом}$$

Результати розрахунку та вибору параметрів вибраних електротехнічних пристроїв трансформаторів струму приведеді у наступних табл. 6.4.4. і 6.4.5.

Таблиця 6.4.4. Вибір трансформаторів струму для відхідних КЛ.

№ з/п	Параметр пристрою ТС	Умова вибору пристрою ТС	Розрахунок пристрою ТС
1	Номінальна напруга приср ТС	$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$	$10 \leq 10$
2	Довготривалий номінальний струм пристрою ТС	$I_{\text{роб.форс}} \leq I_{\text{ном}}$	$40,68 \leq 75$
3	Динамічна стійкість пристр. ТС	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}} = \sqrt{2} k_{\text{ед}} I_{1\text{ном}}$	$6,16 \leq 52$
4	Термічна стійкість пристр. ТС	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}}$	$9,01 \leq 300$
5	Вторинне навантаження ТС	$Z_2 \leq Z_{\text{ном}}$	$0,32 \leq 0,4$

Таблиця 6.4.5. Навантаження вторинне вимірювального ТС на відхідних КЛ

Назва вимірювального обладнання	Тип обладнання	Спожив. потужн., $S_{\text{прил}}$, ВА		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Е 377	0,10	-	0,10
Варметр	Д304	0,50	-	0,50
Ватметр	Д335	0,50	-	0,50
Лічильник активної енергії	Меркурій 230ART2	1,50	-	1,50
Лічильник реактивн. енергії	Меркурій 230AR	1,50	-	1,50
Всього		4,10		4,10

Таким чином вторинне навантаження для ТС становитиме наступне:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{конт}}$$

Опір вимірювальних приладів послідовно підключених до вторинних кіл ТС:

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{\text{ном}}^2} = \frac{4,1}{5^2} = 0,16$$

Обираємо для монтажу трансформатор струму модельного ряду ТЛК-10/75 У1.

Його технічні характеристики нами приведені в табл. 6.4.6.

Таблиця 6.4.6. ТС трансформатор струму типу ТЛК-10/200

Тип трансформатора струму ТС	$U_{\text{ном}}$	$I_{\text{ном}}$	$Z_{2\text{ном}}$	t_n	$I_{\text{д.с.}}$	$I_{\text{тн}}$
ТЛК-10/75 У1	10	75	0,4	3	52	10

Опір встановлених проводів, при якому значенню для вимірювального ТС працювати в заданому та необхідному класі:

$$R_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - R_{\text{к}} = 0,4 - 0,16 - 0,1 = 0,14 \text{ Ом}$$

Визначення перерізу проводів встановитиме наступне значення:

$$F = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{R_{\text{пров}}} = \frac{0,0283 \cdot 12}{0,14} = 2,43 \text{ мм}^2$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Керуючись значення розрахунку перерізу приймаємо кабель АКРВГ-2,5.

Опір контрольного кабелю КРВГ-2,5 матиме значення:

$$R_{\text{пров.ст.}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{F_{\text{пр.ст}}} = \frac{0,0283 \cdot 12}{2,5} = 0,135 \text{ Ом}$$

Вторинне навантаження для обраного ТС матиме значення:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{конт}} = 0,16 + 0,14 + 0,1 = 0,4 \text{ Ом}$$

Вибираємо для встановлення вимірювальний трансформатори напруги ТН по умовам, що детально приведені в джерелі [1].

Таблиця 6.4.7. Результати вибору вторинного навантаження для ТН

Прилад вимірювальний	Тип приладу	S, ВА	К-сть обмоток	К-сть прил.	S _{2□} , ВА
Вольтметр	Е 377	2	1	1	2
Лічильник «Альфа»	AIR-3-OL-C2-T	1,8	2	1	3,6
Ватметр	Д-335	1,5	1	1	1,5
Варметр	Д-304	2	1	1	2
Багатофункц. лічильн.	Меркурій 230ART2	3	2	8	48
Багатофункц. лічильн.	Меркурій 230AR	3	2	8	48
Всього					105,1

Приймаємо до встановлення в комірку керування два трансформатори напруги чудового модельного ряду - НАМИ-10-66-УЗ.

Даний трансформатор напруги має наступні технічні характеристиками:

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}, S_{\text{ном}} = 200 \text{ ВА}, 0,5 - \text{ клас точності}$$

7. Спеціальний розділ. Підвищення ефективності роботи електропривода центрифуги

7.1 Аналіз сучасного стану проблеми і задачі дослідження

Темпи розвитку харчової промисловості вимагають значного поліпшення конструкцій машин і апаратів, підвищення їх надійності і ефективності роботи. До переліку такого обладнання на цукровому заводі можна віднести центрифугу, як робочу машину (РМ), що служить для поділу рідин різної питомої ваги і відділення рідин від твердих тіл шляхом використання відцентрової сили.

Центрифуга - пристрій (машина або прилад), що служить для поділу сипучих тіл або рідин різної питомої ваги і відділення рідин від твердих тіл шляхом використання відцентрової сили. При обертанні в центрифугі частинки з найбільшим питомою вагою розташовуються на периферії, а частки з меншою питомою вагою - ближче до осі обертання.

Центрифуги мають свою класифікацію та різні базові моделі. Особливу увагу приділимо центрифугі ФПН (фільтруюча, підвісна, з ножовим вивантаженням осаду). Перевагою якої є безперервність процесу фільтрації і відводу продуктів центрифугування, простота конструкції, низьке питоме енергоспоживання порівняно з центрифугами періодичної дії.

7.2 Розрахунок математичної моделі електродвигуна

Центрифуга типу ФПН-1251Т-01, призначена для обробки утфеля першого продукту в цукровому виробництві, а також нульового, першого та другого продукту рафінада. [9]

Для дослідження перехідних процесів в електроприводі з асинхронним двигуном ми використовували програму MATLAB-Simulink. [10]

Для розрахунку характеристик асинхронного двигуна, як правило, користуються його математичною моделлю, яка в загальному випадку є різними

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

схемами заміщення. Найбільш простий і зручний для інженерних розрахунків асинхронного двигуна є Т-подібна схема заміщення (рис. 7.1).

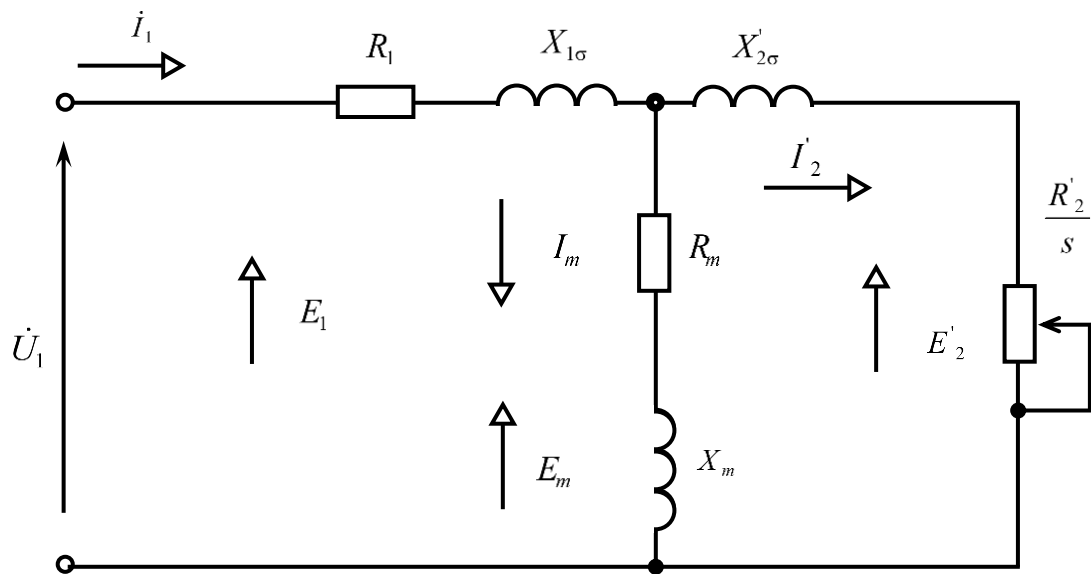


Рисунок 7.1. Т - подібна схема заміщення АД з КЗ.

На основі обраної Т-подібної схеми заміщення фази асинхронного електродвигуна з КЗ спрощена математична модель асинхронного двигуна описується такою системою рівнянь:

$$\begin{aligned}\overline{U}_S &= R_S \cdot \overline{I}_S + \frac{d\overline{\Psi}_S}{dt} + j\omega_{0el} \cdot \overline{\Psi}_S \\ \overline{U}_R &= R_R \cdot \overline{i}_R + \frac{d\overline{\Psi}_R}{dt} + j(\omega_{0el} - p_{II} \cdot \omega) \cdot \overline{\Psi}_R\end{aligned}\quad (7.1)$$

$$\overline{\Psi}_S = L_S \cdot \overline{I}_S + L_m \cdot \overline{i}_R$$

$$\overline{\Psi}_R = L_m \cdot \overline{I}_S + L_R \cdot \overline{i}_R$$

Повна індуктивність фази статора ЕД:

$$L_S = L_m + L_{1\sigma}; \quad (7.2)$$

Повна індуктивність фази ротора ЕД:

$$L_R = L_m + L_{2\sigma}; \quad (7.3)$$

Для розрахунку Т-подібної схеми заміщення скористаємося методикою викладеної в [9]. Проводимо розрахунки додаткових параметрів, електродвигуна з КЗ, для математичного моделювання.

Визначаємо фазну напругу ЕД:

$$U_{\phi} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 219,39 \text{ В} \quad (7.4)$$

За уточненою формулою Клосса визначаємо критичне ковзання ЕД з КЗ, для подальшої перевірки розрахунку запишемо:

$$S_{кр} = \frac{S_n \left[M_{кр}^* + \sqrt{M_{кр}^* + 2S_n(M_{кр}^* - 1) - 1} \right]}{1 - 2S_n(M_{кр}^* - 1)} =$$

$$\frac{0,04 \left[2,2 + \sqrt{2,2 + 2 \cdot 0,04(2,2 - 1) - 1} \right]}{1 - 2 \cdot 0,04(2,2 - 1)} = 0,14767 \quad (7.5)$$

Визначаємо потужність при заданому коеф. завантаження ЕД:

$$P_{зав} = P_H \cdot k_{зав} = 5510 \cdot 0,75 = 4132,5 \text{ Вт} \quad (7.6)$$

Визначимо синхронну частоту мережі для АД:

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_c = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1} \quad (7.7)$$

Визначаємо номінальну частоту обертання ротора АД при пром. частоті:

$$\omega_H = \frac{(1 - S_H) \cdot \omega_0}{p_H} = \frac{(1 - 0,04) \cdot 314}{3} = 100,48 \text{ с}^{-1}; \quad (7.8)$$

Визначаємо номінальний момент електродвигуна:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{5510}{100,48} = 54,8368 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (7.9)$$

Визначаємо пусковий момент двигуна :

$$M_{II} = M_H \cdot k_{II} = 54,8368 \cdot 2 = 109,67 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (7.10)$$

Визначаємо номінальний струм статора двигуна:

$$I_H = \frac{P_H}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \eta_H \cdot \cos \phi_H} = \frac{5510}{3 \cdot 219,39 \cdot 0,8 \cdot 0,85} = 12,31 \text{ А}; \quad (7.11)$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Визначаємо пусковий струм електродвигуна з КЗ:

$$I_K = I_H \cdot k_i = 12,31 \cdot 7 = 86,17 \text{ А}; \quad (7.12)$$

Визначаємо струм при зменшеному завантаженні двигуна з КЗ:

$$I_{заб} = \frac{P_H \cdot \kappa_{заб}}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \eta_{заб} \cdot \cos \phi_{заб}} = \frac{5510 \cdot 0,75}{3 \cdot 219,39 \cdot 0,855 \cdot 0,73} = 10,06 \text{ А}; \quad (7.13)$$

Визначаємо розрахункові коефіцієнти для розрахунку струму хол.ходу ЕД:

$$k_{I.br} = \frac{k_{заб} \cdot (1 - s_H)}{1 - s_H \cdot k_{заб}} = \frac{5510 \cdot 0,75}{3 \cdot 219,39 \cdot 0,855 \cdot 0,73} = 10,06; \quad (7.14)$$

$$k_{I.num} = I_{заб}^2 - (k_{I.br} \cdot I_H)^2 = 10,06^2 - (0,7423 \cdot 12,3)^2 = 17,85; \quad (7.15)$$

$$k_{I.den} = 1 - k_{I.br}^2 = 1 - 0,7423^2 = 0,449; \quad (7.16)$$

Визначаємо струм холостого ходу для ЕД:

$$I_0 = \sqrt{\frac{k_{I.num}}{k_{I.den}}} = \sqrt{\frac{17,85}{0,449}} = 6,31 \text{ А}; \quad (7.17)$$

Попереднє значення параметра жорсткості для ЕД: $\beta = 1,2$;

Визначаємо конструктивний коефіцієнт для вказаного ЕД:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_H} = \sqrt{\frac{17,85}{0,449}} = 6,31 \text{ А}; \quad (7.18)$$

Визначаємо коефіцієнти для розрахунку критичного ковзання у ЕД:

$$k_{s.br} = 1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{кр} - 1) = 1 - 2 \cdot 0,04 \cdot 1,2 \cdot (2,2 - 1) = 0,885; \quad (7.19)$$

$$k_{s.drob} = \frac{k_{кр} + \sqrt{k_{кр}^2 - k_{s.br}}}{k_{s.br}} = \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - 0,885}}{0,885} = 4,73 \quad (7.20)$$

Визначаємо критичне ковзання для вказаного ЕД:

$$s_{кр} = s_H \cdot k_{s.drob} = 0,04 \cdot 4,73 = 0,189; \quad (7.21)$$

Визначаємо активну складову частину струму ЕД:

$$I_{Ha} = I_H \cdot \cos \phi_H = 12,3 \cdot 0,8 = 9,84 \text{ А}; \quad (7.22)$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Приймаємо коеф. потужності при х.х. для ЕД в межах $\cos \varphi_0 = 0,04 - 0,1$.

Визначаємо активну складову частину струму ЕД при х.х.:

$$I_{0a} = I_0 \cdot \cos \varphi_0 = 12,3 \cdot 0,8 = 9,84 \text{ А}; \quad (7.23)$$

Проведемо розрахунок коеф для уточнення жорсткості механічної характеристики ЕД:

$$A_0 = \frac{I_{Ha} - I_{0a}}{U_\phi} = \frac{9,84 - 0,2524}{219,39} = 0,0437; \quad (7.24)$$

$$A_1 = \frac{3 \cdot U_\phi^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{кр} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 219,39^2 \cdot (1 - 0,04)}{2 \cdot 1,037 \cdot 2,2 \cdot 5510} = 5,514; \quad (7.25)$$

$$B = \frac{1}{s_H} + \frac{1}{s_\kappa} - \frac{2 \cdot A_0 \cdot A_1}{s_H} = \frac{1}{0,04} + \frac{1}{0,189} - \frac{2 \cdot 0,0437 \cdot 5,514}{0,04} = 18,19; \quad (7.26)$$

$$C = \frac{1}{s_H \cdot s_\kappa} - A_0 \cdot A_1 \cdot \left(\frac{1}{s_H^2} + \frac{1}{s_\kappa^2} \right) = \frac{1}{0,04 \cdot 0,189} - 0,0437 \cdot 5,514 \cdot \left(\frac{1}{0,04^2} + \frac{1}{0,189^2} \right) = -25,1 \quad (7.27)$$

$$D = \sqrt{B^2 - 4 \cdot C} = \sqrt{18,19^2 - 4 \cdot (-25,1)} = 20,76; \quad (7.28)$$

$$x_{\beta 1} = \frac{-B + D}{2} = \frac{-18,19 + 20,76}{2} = 1,3; \quad (7.29)$$

$$x_{\beta 2} = \frac{-B - D}{2} = \frac{-18,19 - 20,76}{2} = -19,5; \quad (7.30)$$

Приймаємо уточнену жорсткість механічної характеристики АД з КЗ (позитивне значення становить $\beta = x_\beta$).

Проводимо розрахунок опорів АД :

$$R'_R = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_\kappa} \right) \cdot C_1} = \frac{5,514}{\left(1,3 + \frac{1}{0,189} \right) \cdot 1,037} = 0,81 \text{ Ом}; \quad (7.31)$$

$$R_S = C_1 \cdot \beta \cdot R'_R = 1,037 \cdot 1,3 \cdot 0,81 = 1,1 \text{ Ом}; \quad (7.32)$$

$$R_S = C_1 \cdot \beta \cdot R'_R = 1,037 \cdot 1,3 \cdot 0,81 = 1,1 \text{ Ом}; \quad (7.33)$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

$$X_s = 0,42 \cdot X_n = 0,42 \cdot 4,14 = 1,74; \quad (7.34)$$

$$X'_R = 0,58 \cdot X_n = 0,58 \cdot 4,14 = 2,4 \text{ Ом}; \quad (.357)$$

Розрахунок ЕРС в асинхронній машині:

$$e_{11} = U_\phi \cdot \cos \phi_H - R_s \cdot I_H = 219,39 \cdot 0,8 - 1,1 \cdot 12,3 = 161,99; \quad (7.36)$$

$$e_{12} = U_\phi \cdot 0,54 - X_s \cdot I_H = 219,39 \cdot 0,54 - 1,74 \cdot 12,3 = 97,1; \quad (7.37)$$

$$E_1 = \sqrt{e_{11}^2 + e_{12}^2} = \sqrt{161,99^2 + 97,1^2} = 188,86; \quad (7.38)$$

Визначаємо опір взаємоіндукції в асинхронній машині:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{188,86}{6,31} = 29,93 \text{ Ом}; \quad (7.39)$$

Визначаємо перехідні індуктивності статора і ротора електродвигуна:

$$L_{s1} = \frac{X_s}{\omega_0} = \frac{1,74}{314} = 0,0055 \text{ Гн}; \quad (7.40)$$

$$L_{r1} = \frac{X'_R}{\omega_0} = \frac{2,4}{314} = 0,0076 \text{ Гн}; \quad (7.41)$$

Визначаємо взаємну індуктивність для статора і ротора ЕД, що приведені до статора:

$$L_m = \frac{X_m}{\omega_0} = \frac{29,93}{314} = 0,095 \text{ Гн}; \quad (7.42)$$

Визначаємо індуктивність статора і ротора ЕД:

$$L_s = \frac{X_m + X_s}{\omega_0} = \frac{1,74 + 29,93}{314} = 0,1 \text{ Гн}; \quad (7.43)$$

$$L_r = \frac{X_m + X'_R}{\omega_0} = \frac{29,93 + 2,4}{314} = 0,103 \text{ Гн}; \quad (7.44)$$

Визначаємо коефіцієнт магнітного зв'язку статора і ротора електродвигуна:

$$k_s = \frac{L_m}{L_s} = \frac{0,095}{0,1} = 0,95; \quad (7.45)$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	66

$$k_r = \frac{L_m}{L_r} = \frac{0,095}{0,103} = 0,9; \quad (7.46)$$

Визначаємо коефіцієнт розсіяння електричної машини:

$$\sigma = 1 - k_s \cdot k_r = 1 - 0,95 \cdot 0,92 = 0,12 \quad (7.47)$$

Ми виконали опис технічних характеристик центрифуги ФПН-1251Т-01, а також АД з КЗ стандартної марки АИР132S6. На основі вихідних даних ел.двигуна були виконані розрахунки параметрів ЕД такі як: номінальний момент, пусковий момент, номінальний струм статора, критичне ковзання, опір (активний статора, активний ротора, реактивний статора, реактивний ротора), опір взаємоіндукції, повна індуктивність, коеф. магнітного зв'язку, коефіцієнт розсіяння машини. Ці параметри будуть використовуватись в подальшому при побудові моделі ЕД з КЗ в програмі MATLAB.

7.3. Моделювання. Дослідження перехідних процесів моделі електродвигуна при різних способах покращення його робочих характеристик.

7.3.1 Побудова графіків перехідних процесів і механічної характеристики електродвигуна

Для побудови графіків перехідних процесів електричної машини і механічної характеристики електродвигуна з короткозамкненим ротором, необхідно побудувати модель, зображену на рисунку 7.2. де приведена схема прямого пуску двигуна і накидання навантаження.

При налаштуванні параметрів джерела треба встановити наступні електричні параметри [10]: 311.13 В – для амплітуди фазної напруги; 50 Гц – для частоти електричної мережі ; 120° – для зсуву між фазами;

При налаштуванні параметрів моделі для дослідження перехідних процесів моделі ЕД треба виставити: 3 с – час моделювання процесу; ode23tb (stiff/TR-BDF2) – вирішував поставлену задачу; 0.001 – максимальний розмір кроку.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

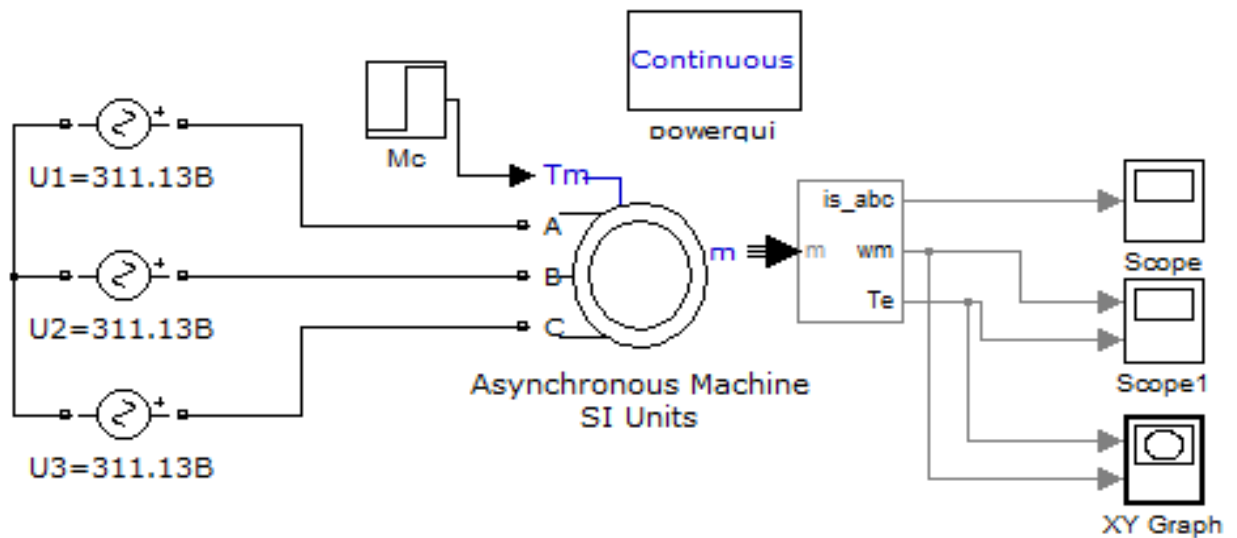


Рисунок 7.2. Схема прямого пуску електродвигуна і накидання навантаження

Після запуску електричної схеми, ми отримали наступні графіки таких характеристик, як струм, момент та кутова швидкість, що зображені на рисунку 7.3, та механічна динамічна характеристика двигуна, що зображені на рисунку 7.4.

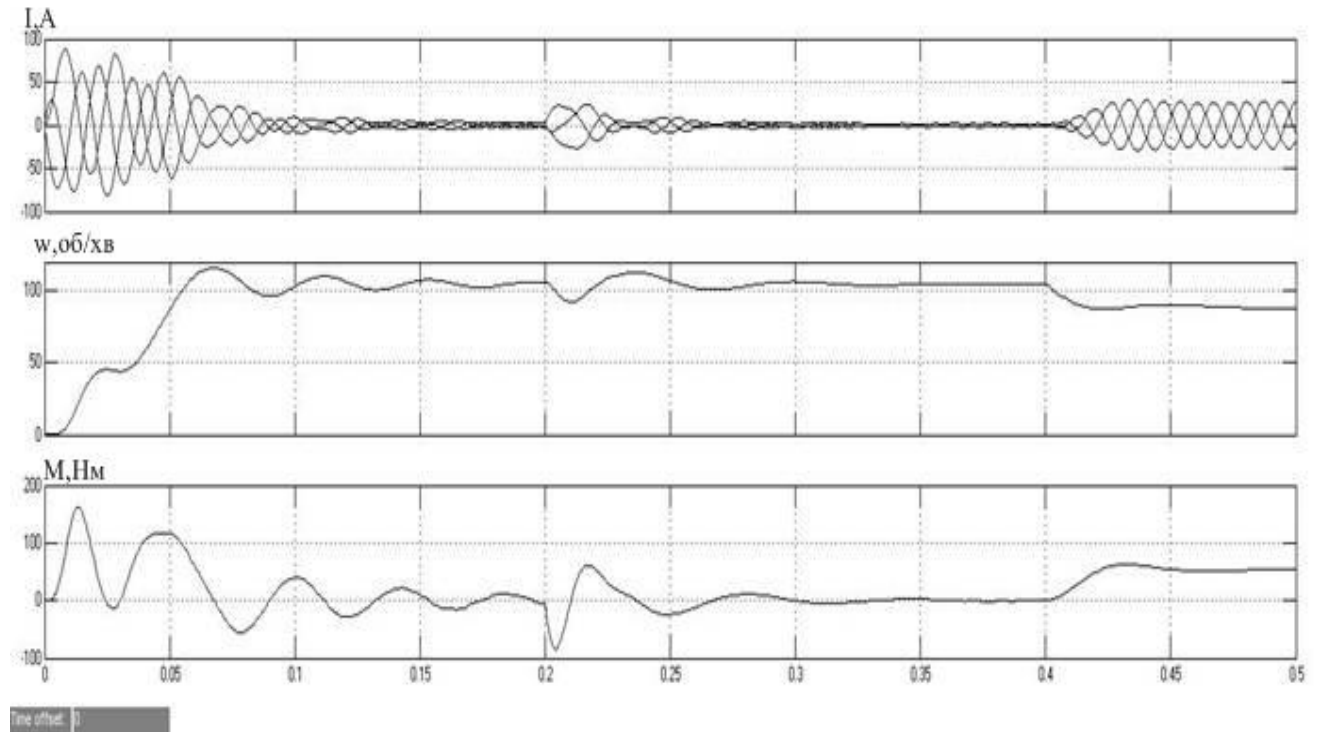


Рисунок 7.3 – Графіки струмів, кутової швидкості валу електродвигуна та його електромагнітного моменту.

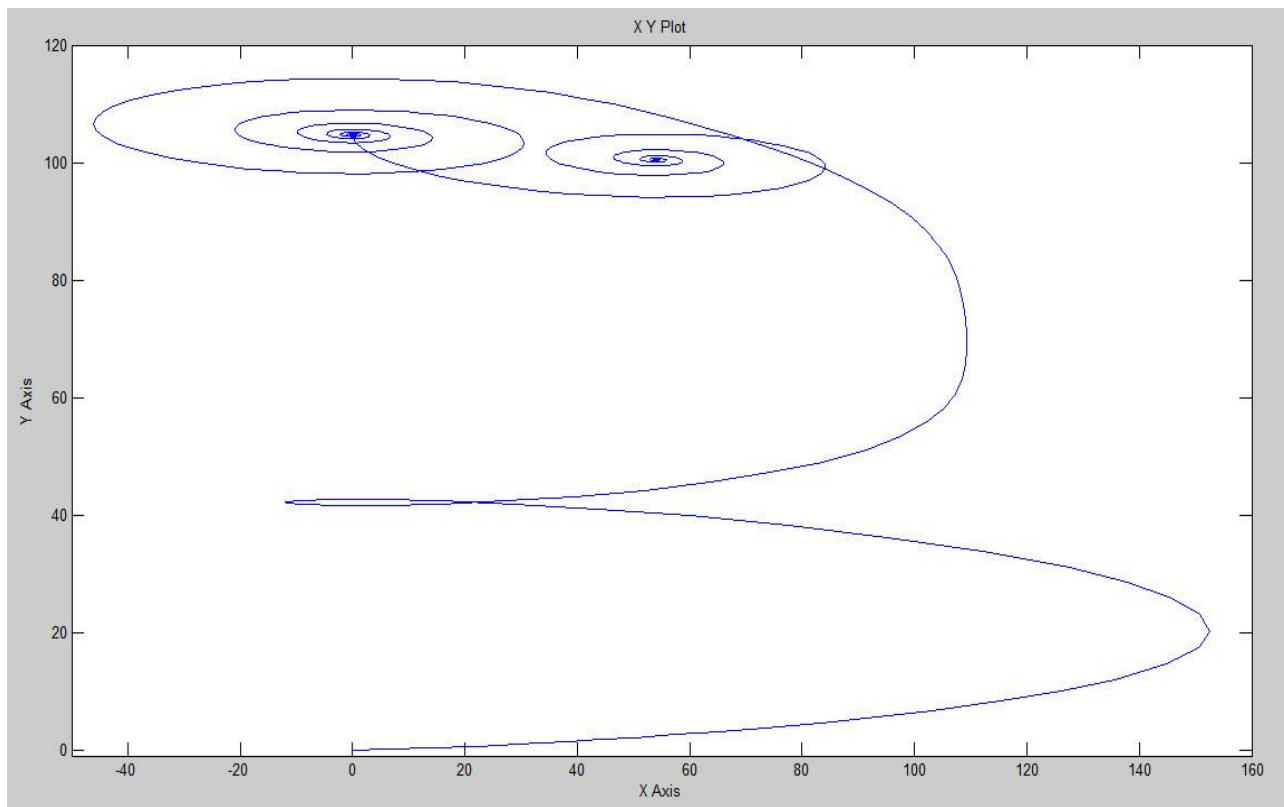


Рисунок 7.4. Механічна динамічна характеристика моделюємого ел.двигуна

Підвищення ефективності функціонування електричних двигунів можна досягти шляхом застосування різноманітних методів регулювання їх робочих параметрів. Серед основних підходів, що дозволяють оптимізувати експлуатаційні характеристики електродвигунів, варто виділити наступні:

1. Зміна частоти обертання ротора за допомогою варіювання значення частоти вхідної напруги живлення.
2. Регулювання швидкості обертання валу електродвигуна шляхом коригування величини напруги, що подається на обмотку статора
3. Застосування розімкнених систем скалярного керування, в яких регулювання швидкості обертання здійснюється без використання зворотного зв'язку за швидкістю.
4. Використання замкнутих систем скалярного управління, які передбачають наявність контуру зворотного зв'язку за швидкістю обертання ротора.

7.3.2 Розрахунок параметрів моделі двигуна і побудова графіків перехідних процесів при регулюванні частоти обертання зміною напруга на обмотці статора

Для побудови графіків перехідних процесів, що виникають в електродвигуні при регулюванні швидкості обертання зміною напруги на обмотці статора необхідно побудувати модель, зображену на рисунку 7.5.

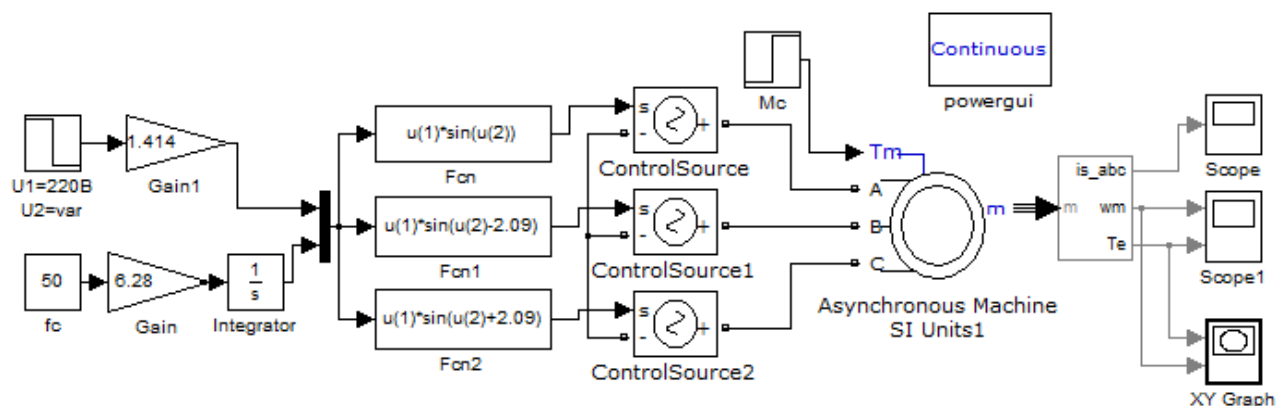


Рисунок 7.5. Модель двигуна при регулюванні частоти обертання зміною напруги живлення.

Результатом моделювання є графіки перехідних процесів кутової швидкості обертання, струму і моменту, представлені на рисунку 7.6 динамічна і механічна характеристика, представлені на рисунку 7.7.

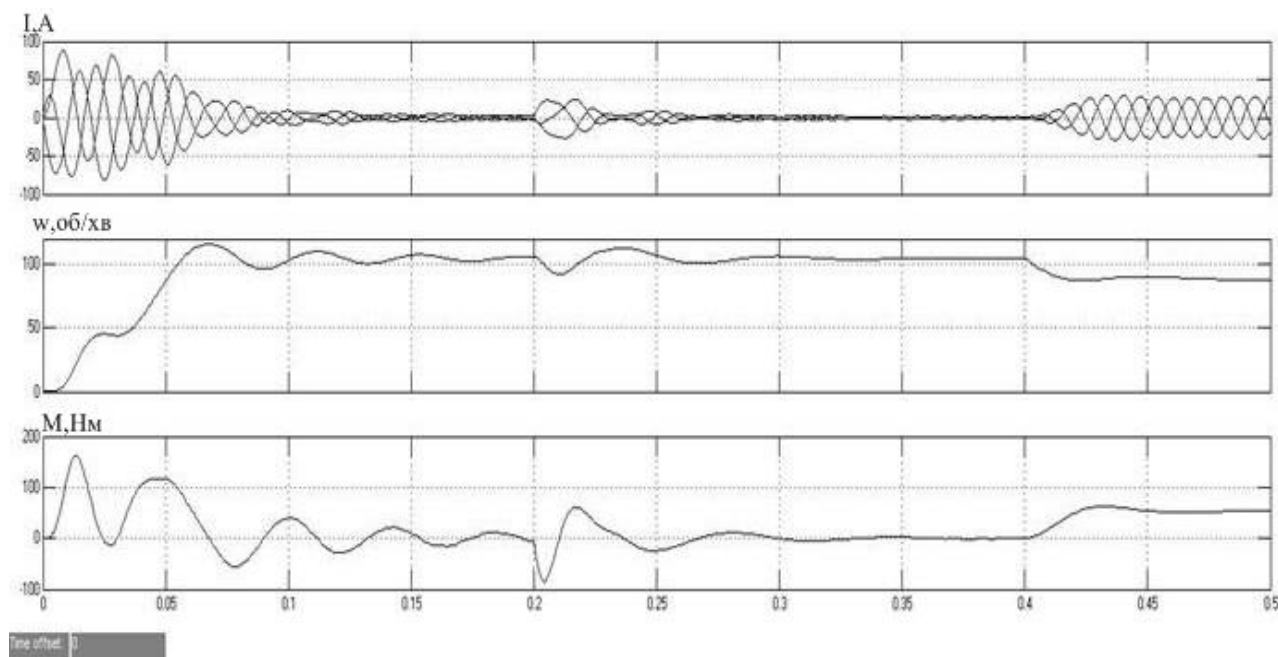


Рисунок 7.6. Графіки електромагнітного моменту, кутової швидкості валу і струмів при регулюванні частоти обертання при зміні напруги.

7.3.3 Розрахунок параметрів моделі двигуна і побудова графіків перехідних процесів при регулюванні частоти обертання зміною частоти живлячої напруги

Для моделювання цього перехідного процесу, використаємо модель із змінними, використаємо рисунок 7.5. Така модель представлена на рисунку 7.8.

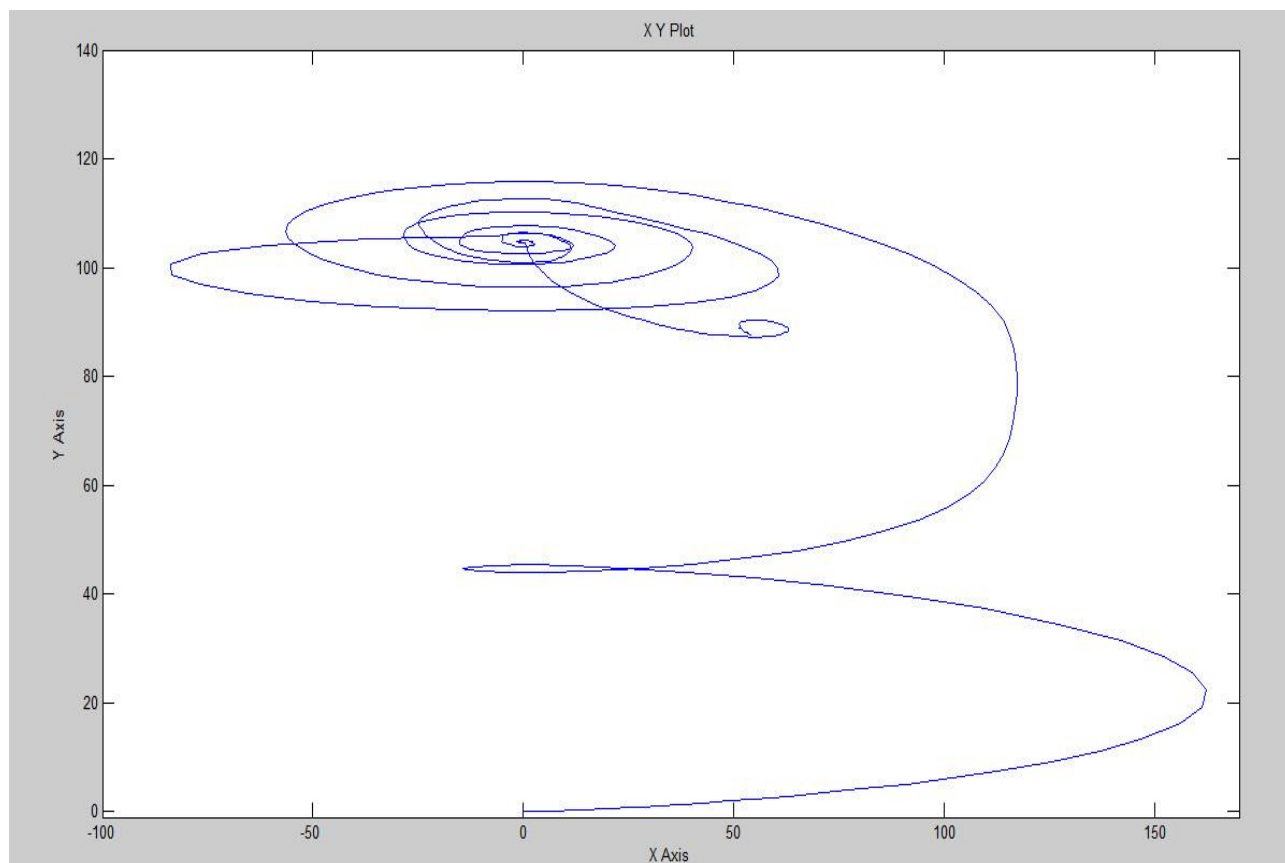


Рисунок 7.7. Механічна динамічна характеристика двигуна з врахуванням зміни напруги живлення при регулюванні частоти його обертання

Результатом моделювання являються графіки (рисунок 7.9) перехідних процесів струмів, моменту та кутової швидкості обертання валу.

На (рисунок 7.10) представлена динамічна механічна характеристика електродвигуна.

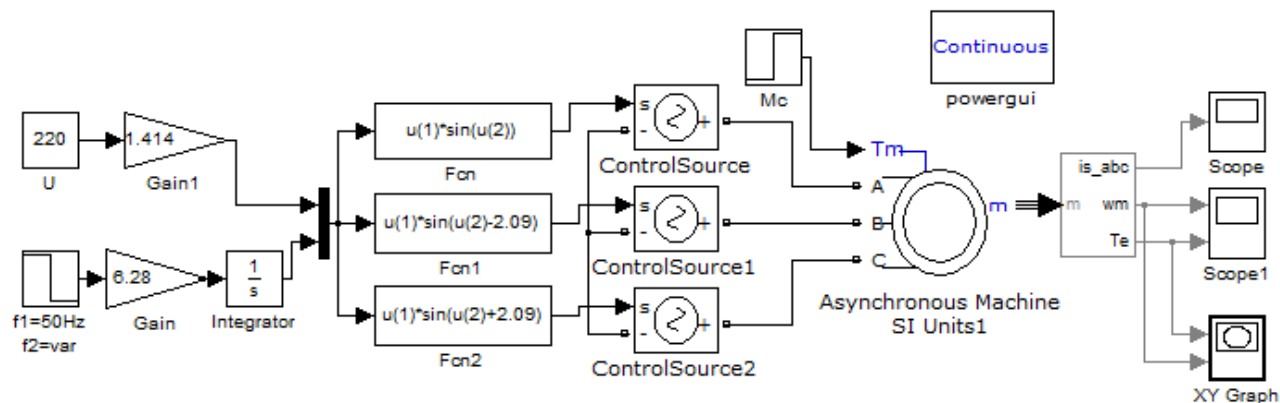


Рисунок 7.8. Модель електродвигуна при регулюванні частоти обертання за допомогою зміни частоти напруга живлення

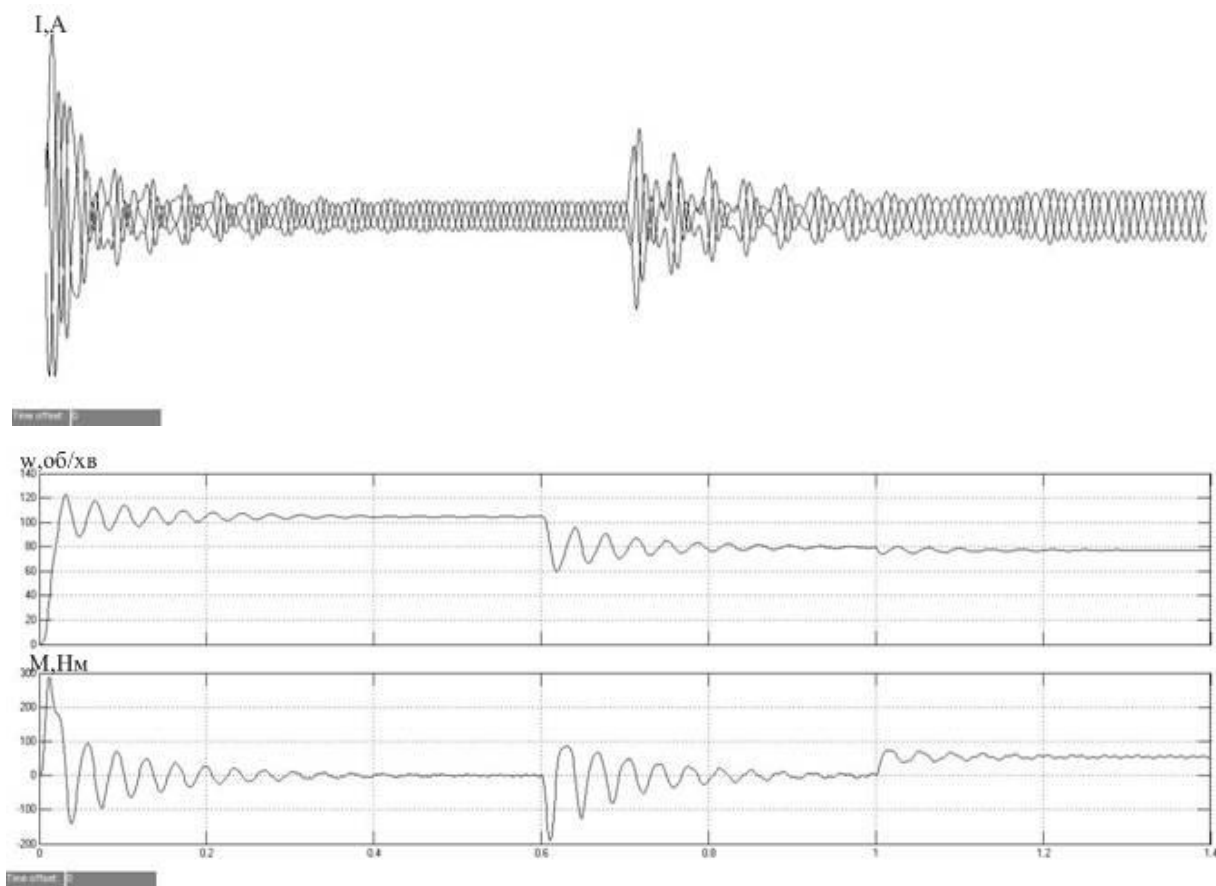


Рисунок 7.9. Графіків електромагнітного моменту, струмів та кутової швидкості валу електродвигуна, при регулюванні його частоти обертання зміною частоти напруги живлення

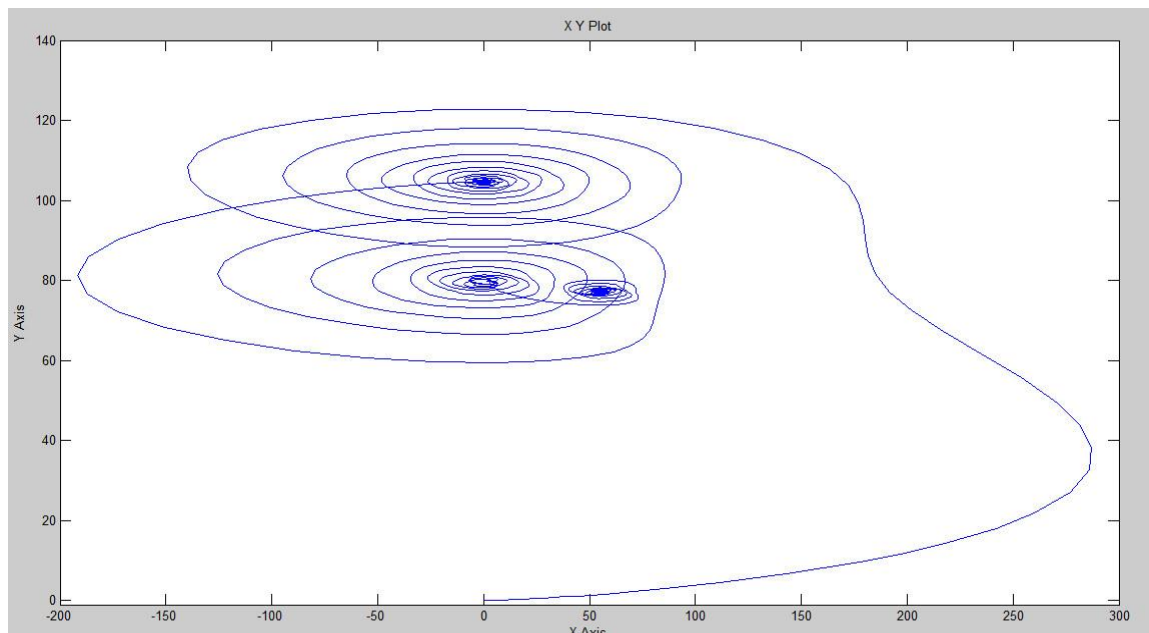


Рисунок 7.10. Динамічна механічна характеристика електродвигуна з врахуванням зміни напруги живлення при регулюванні частоти його обертання

7.4 Системи скалярного управління асинхронного електроприводу

7.4.1 Загальні відомості про системи управління

Принцип скалярного управління частотно-регульованого асинхронного електроприводу ґрунтується на регулюванні частоти та поточних значень параметрів асинхронного двигуна (напруги, магнітних потоків, потокозчеплень і струмів). Управління двигуном може здійснюватися шляхом регулювання частоти f_1 і напруги U_1 , або частоти f_1 і струму I_1 обмотки статора. Перший метод відомий як частотне управління, тоді як другий – як частотно-струмове управління. Вибір методу і принципу управління визначається сукупністю статичних, динамічних і енергетичних вимог до асинхронного електроприводу. Скалярний принцип частотного управління є найбільш поширеним в асинхронних електроприводах. Його перевагами є технічна простота виміру і регулювання змінних параметрів, а також можливість побудови розімкнених систем управління швидкістю.

Основний недолік цього принципу управління полягає в труднощах реалізації бажаних законів регулювання швидкості і моменту двигуна в

динамічних режимах, через складні електромагнітні процеси, що відбуваються в електродвигуні. Скалярне частотно-струмове управління характеризується малим критичним ковзанням і постійністю критичного моменту при постійності струму живлення і зміні частоти. Однак в розімкнених системах таке управління майже не застосовується, оскільки зі збільшенням навантаження (ковзання) магнітний потік двигуна різко знижується. Для забезпечення потрібних перевантажувальних можливостей за моментом необхідне значне перевищення номінальних значень напруги живлення і струму статора, що перевищує допустимі значення для ізоляції обмоток асинхронного електродвигуна.

Для кращого розуміння скалярного управління, варто зазначити, що воно найчастіше використовується в системах, де не потрібні високі динамічні характеристики, таких як насоси і вентилятори. Це зумовлено простотою реалізації і достатньою ефективністю для таких застосувань.

7.4.2 Синтез і аналіз розімкненої системи скалярного керування

Частотне керування асинхронним електродвигуном у розімкненій системі електроприводу (рис. 7.11) є найбільш доцільним рішенням при невисокій точності та обмеженому режимі регулювання швидкості. У таких системах перетворювач частоти (ПЧ) на базі автономного інвертора напруга формує частоту f_1 і напругу живлення U_1 АД пропорційно напруги управління u_y . Для компенсації падіння напруги у внутрішніх опорах ПЧ та можливого коливання напруги мережі живлення, у перетворювачах частоти як джерел напруги застосовуються внутрішні контури стабілізації вихідної напруги.

З нарахуванням збереження постійної перевантажувальної здатності АД за момент, функціональний перетворювач забезпечує також таке між напругою завдання частоти u_f і напругою u_u на вході ПЧ, яке компенсує падіння напруги на активну опору обмоток статора. Теоретично це описує нелінійну функцію, де зниження u_u відбувається в меншій мірі, ніж зниження u_f . Це дозволяє підтримувати постійний момент на значенні двигуна в широкій частині швидкості. Крім того, частотне управління в розімкненій системі

електроприводу дозволяє реалізувати плавний пуск і гальмування АД, обмеження струмів і моментів у перехідних режимах, а також забезпечити енергозбереження за рахунок оптимізації режимів роботи двигуна. Проте, недоліком такої системи є дисфункція зворотного зв'язку за швидкістю, що обмежує точність її регулювання.

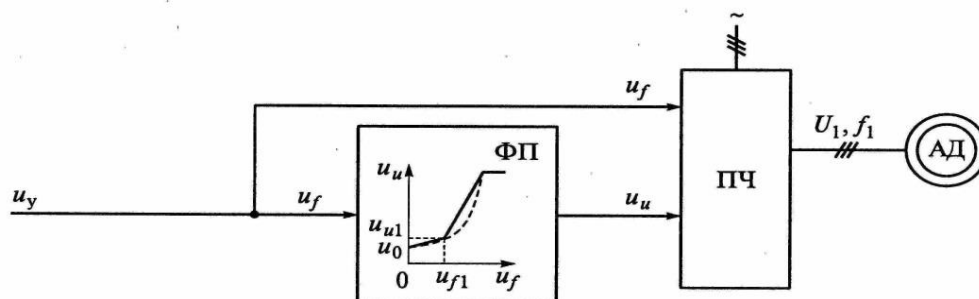


Рисунок 7.11. Схема заміщення асинхронного двигуна

У статичному режимі розімкнена система частотного регулювання (рис. 7.11) здатна підтримувати номінальну перевантажувальну здатність асинхронного двигуна (АД) при зміні частоти в розділі, що не перевищує $(8...10):1$. Проте, суттєвим недоліком такої системи управління є обмеження для змінних електроприводів, таких як моменти, струми та напруга, у випадках перевантаження, спричинених робочим механізмом, або при відхиленнях напруги мережі живлення.

Структурна схема розімкненої системи скалярного управління ПЧ-АД показана на рисунку 7.12.

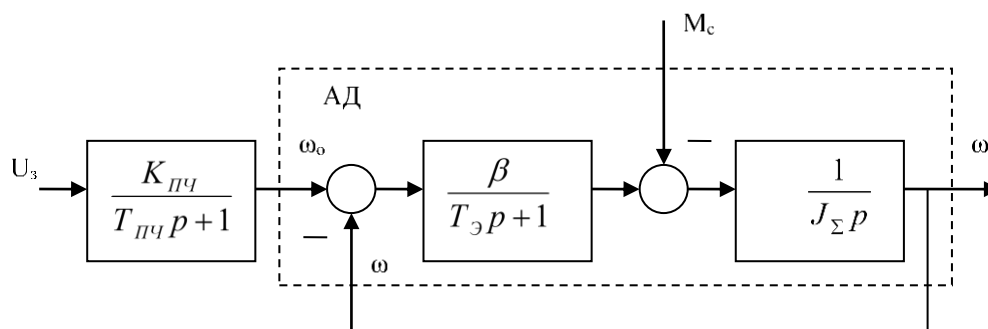


Рисунок 7.12. Структурна схема розімкненої системи скалярного управління перетворювача частоти АД з КЗ.

Постійні часу і коеф-ти структурної схеми визначаються послідовно:

Визначаємо жорсткість механічної характеристики електродвигуна

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{\kappa}}{\omega_0 \cdot S_{\kappa}} = \frac{2 \cdot 109,67}{104,8 \cdot 0,189} = 11,08 \frac{\text{Нм}}{\text{с}}; \quad (7.48)$$

Визнач еквівалентну механічну постійну часу ЕД для кіл статора і ротора

$$T_{\mathcal{O}} = \frac{1}{\omega_{0\text{эл.н}} \cdot S_{\kappa}} = \frac{1}{314 \cdot 0,189} = 0,02; \quad (7.49)$$

$$\omega_{0\text{эл}} = 2\pi \cdot f_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}; \quad (7.50)$$

Визначаємо передатний коефіцієнт ПЧ для електродвигуна:

$$K_{\text{ПЧ}} = \frac{\omega_0}{u_{\text{рег}}} = \frac{104,8}{10} = 10,48; \quad (7.51)$$

При високих значеннях частоти модуляції вихідної напруги перетворювача частоти близько 2.50 кГц не перевищує граничного часу 0,001 с., постійна часу кола управління перетворювача частоти становить

$$T_{\text{ПЧ}} = 0,001 \quad (7.52)$$

Визначаємо сумарний момент інерції для електродвигуна:

$$J_{\Sigma} = J_p + J_m = 0,04 + 0,02 = 0,06 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad (7.53)$$

$$J_m = 0,5J_p = 0,5 \cdot 0,04 = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad (7.54)$$

Вибір базових величин для електродвигуна:

$$U_{\delta} = U_{1\text{н}} \quad (7.55)$$

$$I_{\delta} = I_{1\text{н}} \quad (7.56)$$

$$R_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{I_{\delta}} = \frac{380}{12,3} = 30,89; \quad (7.57)$$

$$L_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{\omega_{\delta} \cdot I_{\delta}} = \frac{380}{314 \cdot 12,3} = 0,098; \quad (7.58)$$

$$\omega_{\delta} = \omega_0 \quad (7.59)$$

$$P_{\delta} = \frac{3}{2} U_{\delta} \cdot I_{\delta} = \frac{3}{2} 380 \cdot 12,3 = 7011; \quad (7.60)$$

$$M_{\delta} = \frac{P_{\delta}}{\omega_{\delta}} = \frac{7011}{314} = 22,33; \quad (7.61)$$

$$\Psi_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{\omega_{\delta}} = \frac{380}{314} = 1,21 \quad (7.62)$$

$$u_{\text{рег.}\delta} = 10 \text{ В} \quad (7.63)$$

Коефіцієнти структурної схеми управління ЕД у відносних одиницях:

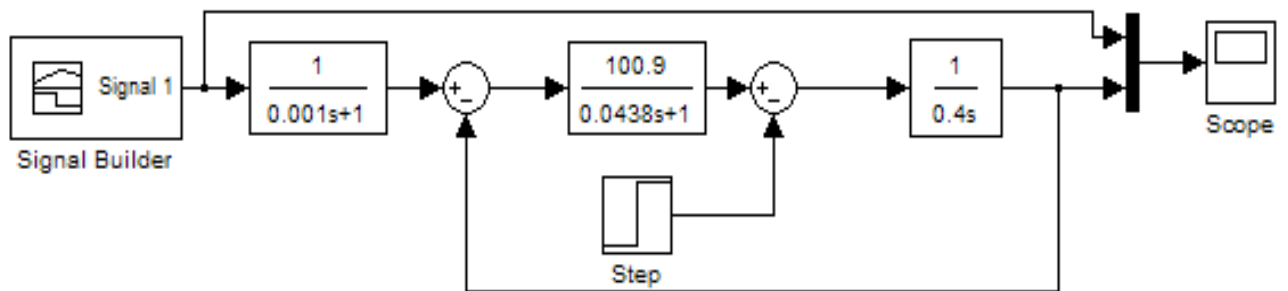
$$\beta^* = \beta \frac{\omega_{\delta}}{M_{\delta}} = 11,08 \frac{314}{22,33} = 155,66 \quad (7.64)$$

$$K_{ПЧ}^* = K_{ПЧ} \frac{u_{\text{рег.}\delta}}{\omega_{\delta}} = 10,48 \frac{10}{314} = 4,7 \quad (7.65)$$

$$J_{\Sigma}^* = J_{\Sigma} \frac{\omega_{\delta}}{M_{\delta}} = 0,06 \frac{314}{22,33} = 0,84 \quad (7.66)$$

Складаємо схему в прикладній програмі Matlab див рисунок 7.13.

Згідно з проведеними розрахунками отримуємо графік перехідного процесу, та зображаємо його та представляємо на рисунку 7.14.



Рисунку 7.13 Модель розімкненої системи скалярного керування ПЧ асинхронного електродвигуна

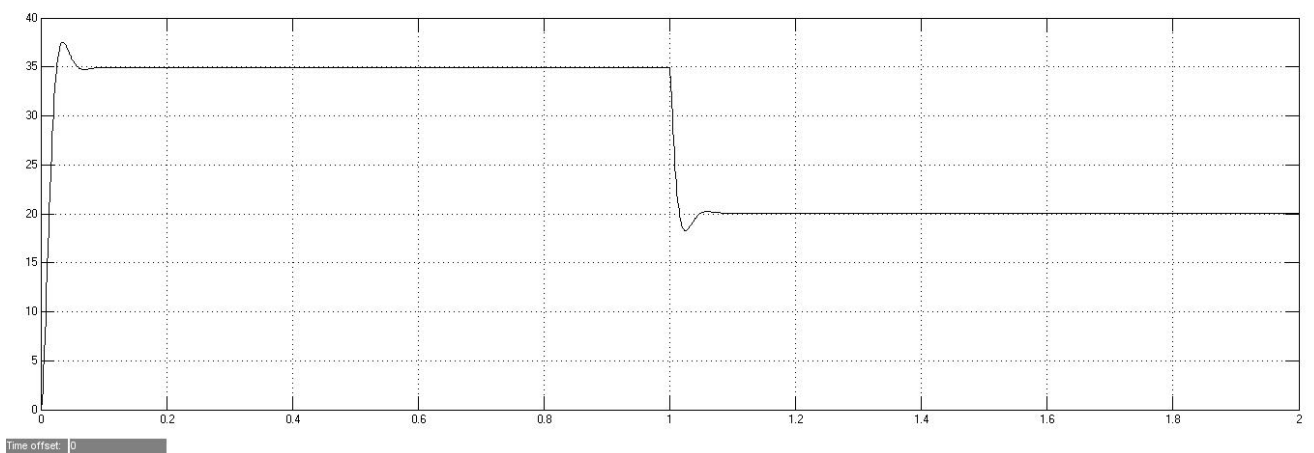


Рисунок 7.14 Графік перехідного процесу на основі розімкненої системи скалярного керування ПЧ асинхронного електродвигуна

7.4.3 Синтез і аналіз замкнутої системи скалярного управління

На рисунку 7.15 представлено структурну схему замкнутої системи скалярного керування швидкістю АД, призначеної для роботи на ділянці статичної механічної характеристики двигуна. У цій системі задається дія вибору вихідної частоти перетворювача частоти (ПЧ), тоді як величина напруги підлягає регулюванню. Об'єктами регулювання виступають ПЧ та асинхронний двигун.

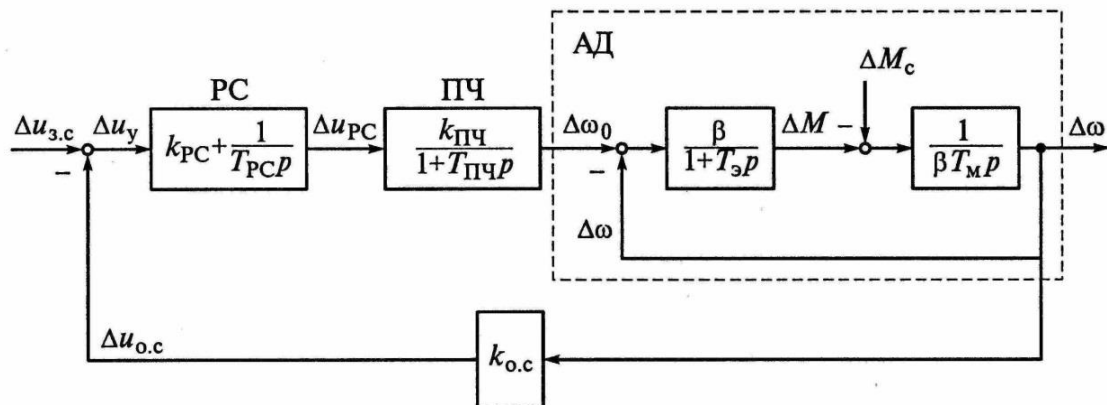


Рисунок 7.15. Структурна схема управління ЕД за допомогою замкнутої системи скалярного управління ПЧ-АД

Для розрахунку передатного коефіцієнта перетворювача частоти (ПЧ) фірми Delta Electronics 312, обраного за потужністю двигуна, при роботі системи з активним або реактивним моментом на значення двигуна та регулювання швидкості вниз від номінального ($f_{max}=f_n$), можливий наступний підхід.

$$k_{ПЧ} = \frac{\Delta\omega_0}{\Delta u_{РС}} = \frac{2\pi\Delta f_1}{p_n \Delta u_{РС}}$$

При визначенні частоти постійного часу перетворювача частоти (ПЧ) необхідно врахувати час пізнання процесу перетворення та періоду ПЧ. Для перетворювача частоти частотою з частотою 4,8 кГц постійний час може бути розраховано наступним чином:

$$T_{ПЧ} = T_{пр} + \frac{1}{f_{ШИМ}}$$

При розгляді статичної залежності обертання моменту асинхронного двигуна від абсолютного ковзання, різниця між кутовою швидкістю обертання поля

статора і ротора створюється як кутова швидкість обертання роторної ЕРС або абсолютного значення ковзання. Параметр β представляє собою модуль жорсткості цієї природної статичної залежності.

$$\beta = \frac{2M_{\max}}{\omega_1 S_k}$$

Визначаємо електромагнітну постійну часу для даного ЕД:

$$T_{\vartheta} = \frac{1}{\omega_{0\text{эл.н}} \cdot S_k}$$

Визначаємо передатна функція Пі-регулятора швидкості для даного ЕД:

$$W_{PC}(pp) = \frac{\Delta u_{PC}}{\Delta u_y} = k_{PC} + \frac{1}{T_{PC} p}$$

Передатна функція ланцюга зворотного зв'язку за швидкістю для даного ЕД:

$$W_{o.c}(p) = \frac{\Delta u_{o.c}}{\Delta \omega} = k_{o.c}$$

при номінальному сигналі управління ЕП центрифуги, рівному значенню напруги $u_{3.c.ном}$, і номінальній швидкості, що відповідає йому, АД з КЗ

$$k_{o.c} = \frac{u_{3.c.ном}}{\omega_{ном}} = \frac{10}{100,48} = 0,1 \quad (7.67)$$

Приймаємо значення напруги $u_{3.c.ном} = 10$ В

Відповідно до структурної схеми нашого АД, можна визначити результуючу передатну функцію, з врахуванням по відношенню до відхилення $\Delta \omega_0$:

$$W_o(pp) = \frac{\Delta \omega}{\Delta \omega_0} = \frac{1}{T_{\vartheta} T_m p^2 + T_m p + 1}$$

При встановленому співвідношенні $T_m \geq 4T_{\vartheta}$

$$W_o(pp) = \frac{1}{(T_{o1} p + 1)(T_{o2} p + 1)}$$

де

$$\frac{1}{T_{o1}} = \frac{1}{2T_{\vartheta}} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4T_{\vartheta}}{T_m}} \right) = \frac{1}{2 \cdot 0,02} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,02}{0,2}} \right) = 0,023 \quad (7.68)$$

$$\frac{1}{T_{o2}} = \frac{1}{2T_{\vartheta}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4T_{\vartheta}}{T_m}} \right) = \frac{1}{2 \cdot 0,02} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,02}{0,2}} \right) = 0,174 \quad (7.69)$$

При налаштуванні електроприводу на модульний оптимум, якщо постійні час T_{01} і $T_{ПЧ}$ віднести до малих некомпенсованих постійних часів і прийняти їх сумарний вплив як $T_{\mu} = T_{01} + T_{ПЧ}$, то постійна інтеграція і коефіцієнти передачі пропорційної частини регулятора швидкості (РС) можуть бути визначені за наступними формулами:

$$T_{PC} = k_{o.c.} \cdot k_{ПЧ} \cdot a_{\mu} \cdot T_{\mu} = 0,1 \cdot 10,48 \cdot 2 \cdot 0,024 = 0,05 \quad (7.70)$$

$$k_{PC} = \frac{T_{02}}{T_{PC}} = \frac{0,174}{0,05} = 3,48 \quad (7.71)$$

При нерівності $T_M \geq 4T_{\Sigma}$, приймемо до вибору наступне значення $T_M = 0,2$ с.

$a_{\mu} = 2$ (для модульного оптимального значення).

Для зручності аналізу та порівняння вимірювальних сигналів у системі скалярного керування при поданні їх на блок типу Scope, який використовується для візуалізації процесів у середовищі моделювання, доцільно виконувати нормування цих сигналів.

$$U_{з.с.*} = \frac{U_{з.с.}}{U_{з.с. \max}} = \frac{U_{з.с.}}{10}; \text{ при } \omega_{2*} = \frac{\omega_2}{\omega_{2H}}$$

На рисунку 7.16 представлена структурна схема, моделі замкнутої системи скалярного управління ПЧ-АД, в прикладній програмі Matlab, а на рисунку 7.17 приведений – графік перехідного процесу за частотою обертання (розгін заданого електродвигуна).

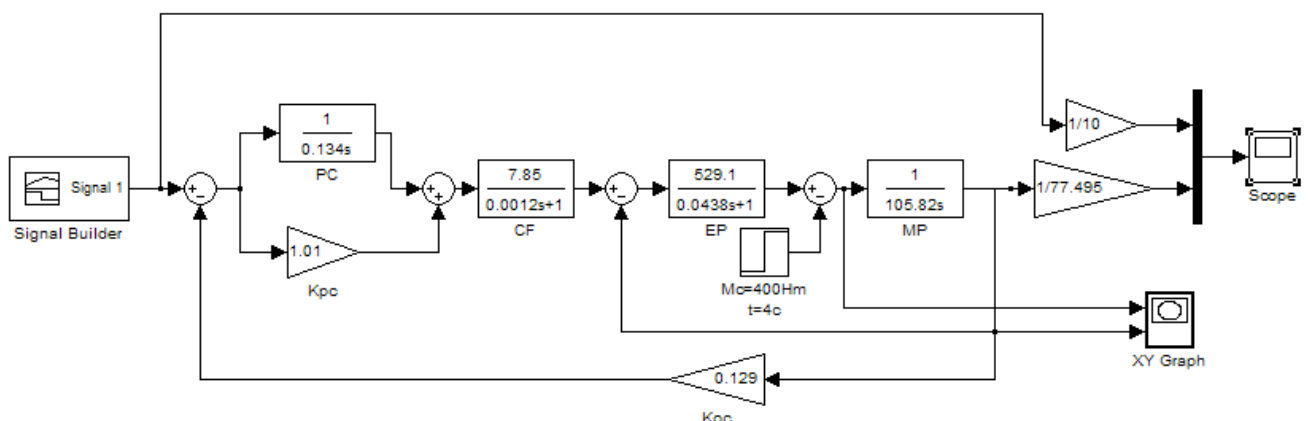


Рисунок 7.16 Модель замкнутої системи скалярного управління ПЧ-АД (для нашого електродвигуна)

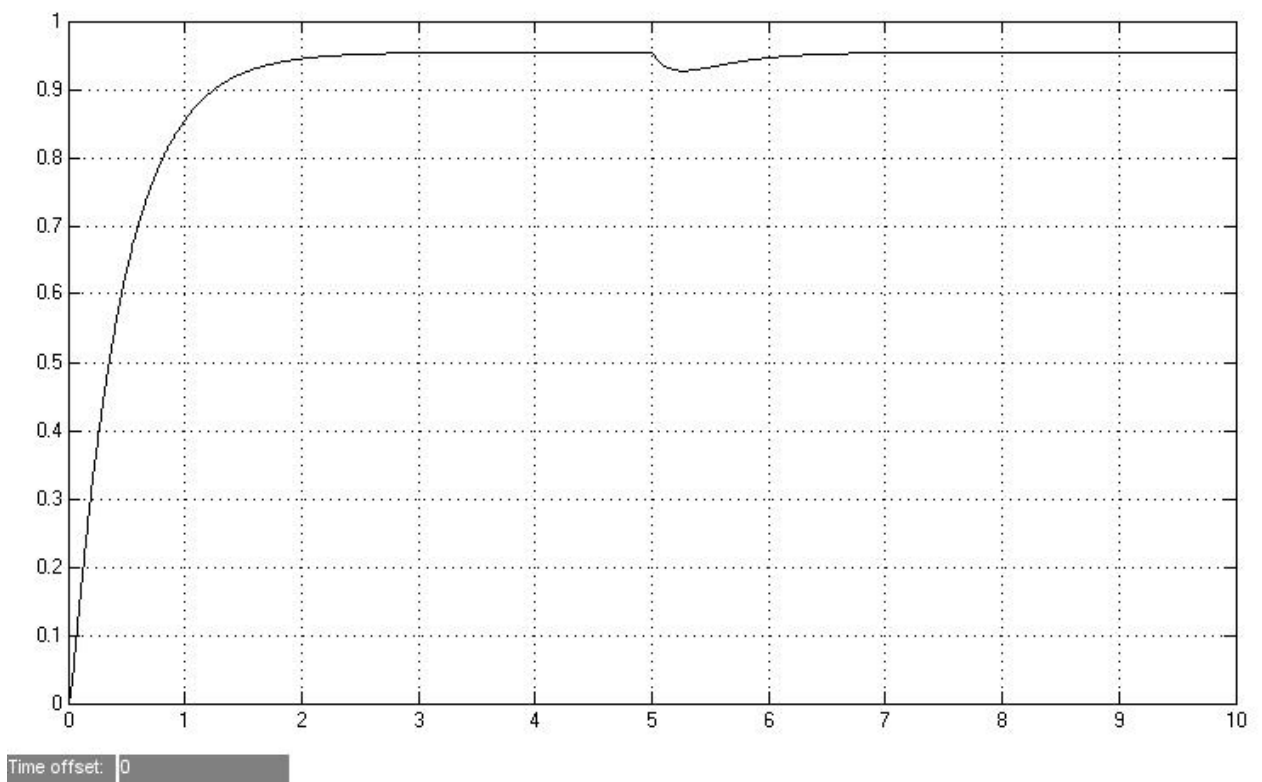


Рисунок 7.17 Графік перехідного процесу замкнутої системи скалярного управління ПЧ-АД.

7.5. Вибір перетворювача

Враховуючи проведені вище моделювання та розрахунки було обрано наступний ПЧ типу VFD055E23A, виробник компанія Delta Electronics рисунок 7.18.[10]



Рисунок 7.18. Загальний вигляд обраного ПЧ (VFD055E23A)

Приведемо спрощену систему позначень перетворювачів частоти, для фірми DELTA ELECTRONICS серій VFD, що представлена на рисунку 7.19.

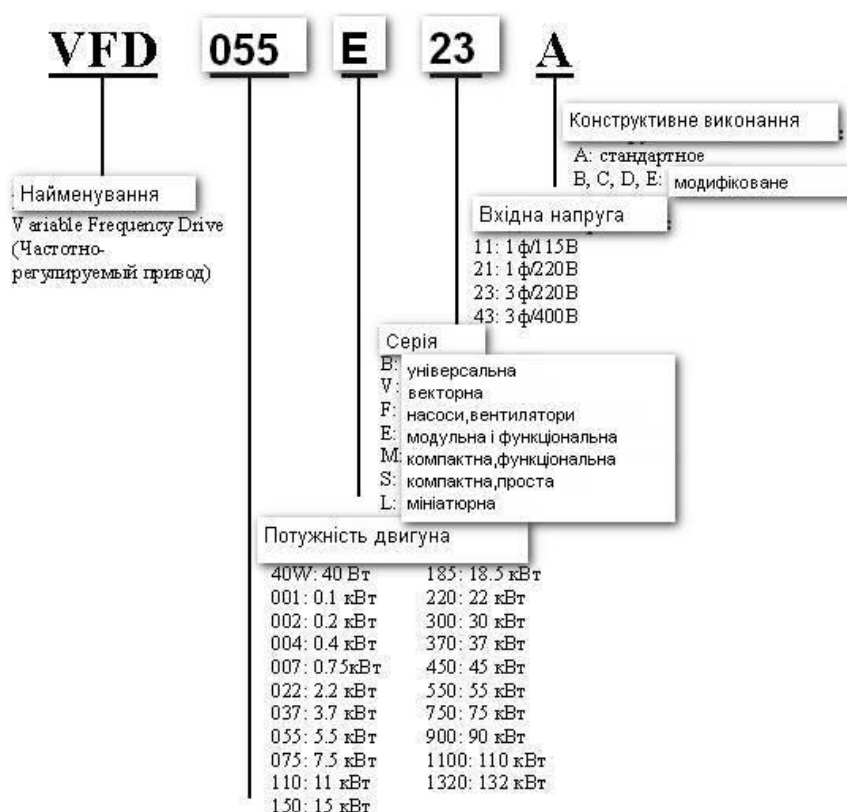


Рисунок 7.19 Система позначень перетворювачів частоти

Обраний нами перетворювач частоти VFD055E23A, розрахований на наступні електричні параметри: Номінальна потужність електродвигуна 0,55 кВт; Клас напруги 220 В; Номінальний струм 15 А; Повна потужність 9,5 кВА; Клас захисту електродвигуна IP 20.

Позначення, для принципово-електричних схем, перетворювачів частоти DELTA ELECTRONICS серій VFD055E23A, зображено на рисунку 7.20.

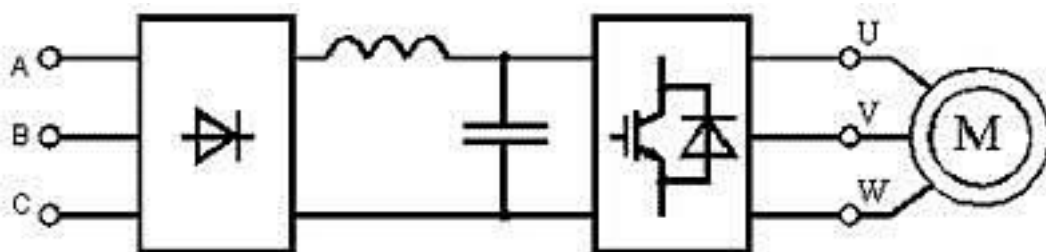


Рисунок 7.20 Електричне позначення перетворювача ПЧ - VFD055E23A

Загальна схема підключення перетворювача ПЧ - VFD055E23A зображена на рисунку 7.21.

Враховуючи номінальний вихідний струм перетворювача, який рівний номінальному струму електродвигуна, повну вихідну потужність перетворювача, що орієнтується на номінальну потужність електродвигуна, та індивідуальні особливості промислового механізму було обрано ПЧ типу VFD055E23A, виробник компанія Delta Electronics. Він поєднує в собі компактне конструктивне виконання з широкими можливостями і відмінними експлуатаційними характеристиками.

7.6 Висновки

Пуск електродвигуна за допомогою перетворювача частоти (ПЧ) є ефективним методом плавного розгону асинхронного двигуна (АД) до заданої швидкості. При регулюванні швидкості АД вище номінальної для приводу механізмів з постійною потужністю навантаження в цій частині швидкості, напруга живлення АД підтримується на рівнях номінального значення. Це пов'язано з особливостями роботи АД в режимі постійної потужності.

При налаштуванні ПЧ для запуску АД у такому режимі слід встановити відповідні обмеження за максимальним моментом і струмом, щоб уникнути перевантаження двигуна. Крім того, необхідно забезпечити відповідність механічних характеристик навантаження та можливість електроприводу в заданій частині швидкості.

Таким чином, пуск АД за допомогою ПЧ з регулюванням швидкості вище номінальної вимагає врахування особливостей роботи двигуна в режимі постійної потужності та відповідного налаштування параметрів ПЧ для забезпечення надійної та ефективної роботи електроприводу.

Отже самим ефективним вважаю обрати метод - пуск ЕД за допомогою ПЧ.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

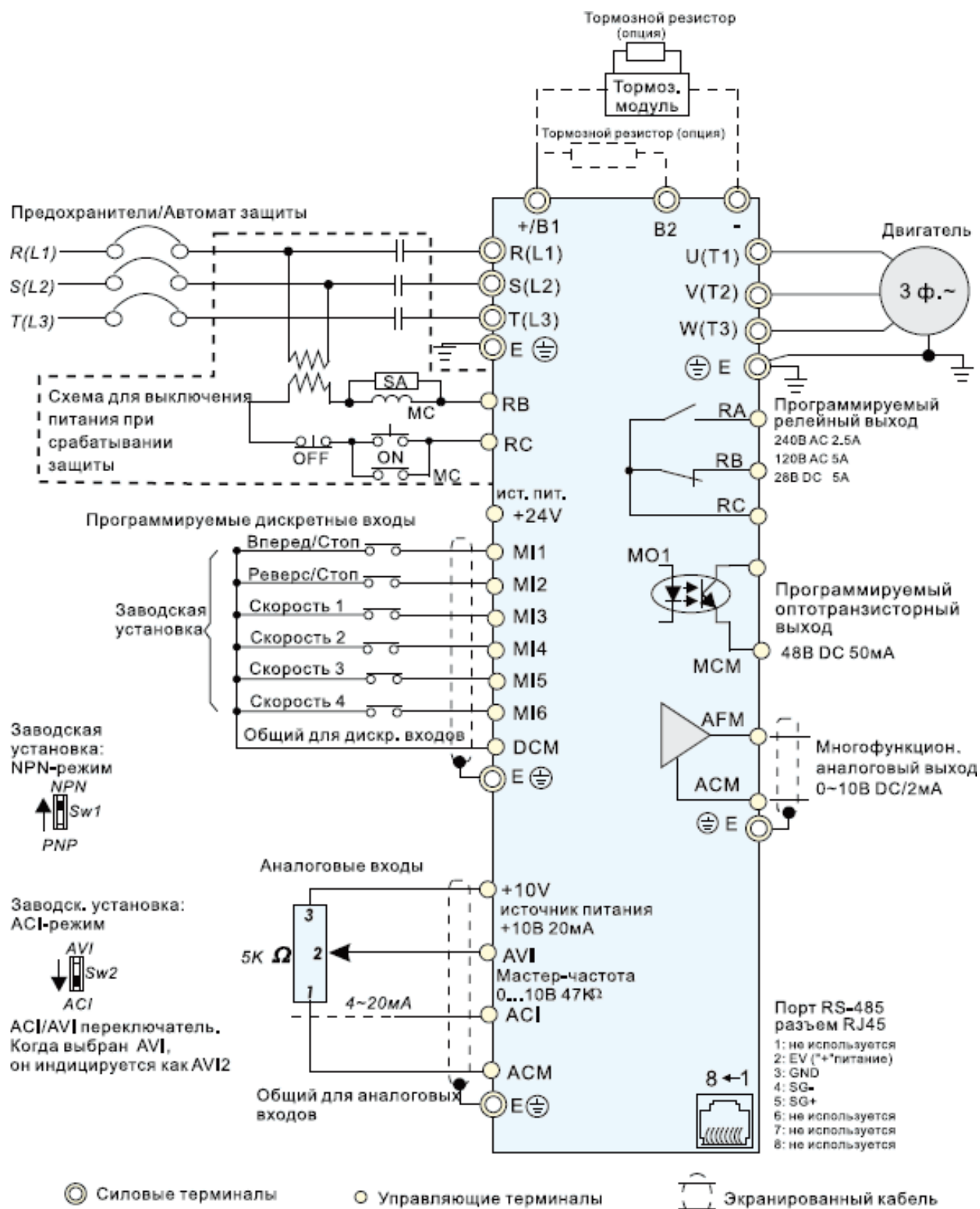


Рисунок 7.21 Схема підключення

Загальні висновки

Розроблена система електропостачання цукрового заводу відповідає вимогам економічності, надійності та безпеки експлуатації, що є ключовими факторами для ефективної роботи промислового підприємства. Спроектowana система електропостачання промислового підприємства гарантує постачання електричної енергії в повній кількості та належної якості, що забезпечує безперебійну роботу технологічного обладнання та виробничих процесів.

На підставі аналізу роботи центрифуги визначено технічні вимоги до електродвигуна для реалізації технологічної операції з переробки та фільтрації цукру. Обраний двигун перевірено на потужність та розраховано його додаткові параметри, на основі яких побудовано механічну характеристику та перехідний процес, що дозволяє оцінити відповідність двигуна заданим вимогам. Проведено аналіз методів регулювання частоти обертання параметрів асинхронного двигуна центрифуги та визначено особливості частотного керування, що є місцем для оптимізації роботи електроприводу та досягнення деяких технологічних функцій.

За допомогою імітаційної моделі в середовищі MATLAB-Simulink виконано розрахунки перехідних процесів у регульованому електроприводі центрифуги. Результати моделювання підтверджують, що при скалярному регулюванні замкнутої системи управління ПЧ-АД досягається широка керованість, жорстка механічна характеристика, високий критичний момент та енергоефективність.

Для забезпечення автоматичної роботи електроприводу та надійного захисту від аварійних режимів обраний перетворювач частоти VFD055E23A, який дозволяє зменшити споживання електроенергії та отримати додаткові переваги, такі як плавний пуск, автоматичне підвищення початкового пускового моменту, компенсація ковзання, широка функція регулювання швидкості обертання при поточному моменті, висока точність підтримання заданої швидкості при зміні навантаження та забезпечення 150% номінального моменту.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	85

Перелік посилань

1. Навчальний посібник для виконання кваліфікаційного проекту для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укл.: П.Г.Плешков, В.В.Зінзура, Н.Ю.Гарасьова, А.І. Котиш. –Кропивницький: ЦНТУ,2021 -196 с.
2. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.]; Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.
3. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту електропостачання промислових підприємств. Кіровоград: КНТУ, 2004.
4. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту електропостачання промислових підприємств. Кіровоград: КНТУ, 2004
5. <http://bortek.ua/promyshlennyye-ehlektropechi/kamernyye-pechi/sno-3-5-3-1250>
6. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін.]; М-во освіти і науки України, Кіров. нац.техн. ун-т. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
7. Клименко В.В., Кравченко В.І., Телюта Р.В. Энергозбереження в теплотехнологічних процесах і установках: Навчальний посібник. – Кропивницький: ПП Ексклюзив-Систем, 2020. – 219с.
8. Електротехнологічні установки: навчальний посібник /П.О. Василега. – Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – 548 с.
9. В.М. Перельмутера. Центрифуги - М.: Энергоатом,1988. – 234 с.
10. Дьяконов В. П. MATLAB 6.0/6.1/6.5/6.5+SP1 + Simulink 4/5. Обработка сигналов и изображений. Полное руководство пользователя. - М.: СОЛОН-Пресс, 2005. - С. 592. - ISBN 5-93003-158-81.1.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86