

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

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

ТЕМА РОБОТИ:

**Модернізація електроприводу насоса типу ПЕ 218-45 системи
водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»**

Виконав: студент групи ЗЕЕМ-22ск

Сергій ВОЛОШИН

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Юрій ОСАДЧУК

Нормо контролер _____ к.т.н., доц. Юрій ОСАДЧУК

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

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

Кривий Рір 2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ВОЛОШИН Сергій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Модернізація електроприводу насоса типу ПЕ 218-45 системи
водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»

1. Термін подання студентом роботи: 16 червня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є модернізація
електромеханічної системи насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання
котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I.
Обладнання та режими роботи системи водопостачання котельні №1 АТ
«Криворізька теплоцентраль»; II. Вибір обладнання електромеханічної
системи насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ
«Криворізька теплоцентраль»; III. Технічні засоби реалізації системи
керування електроприводом насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання
котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль».
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) I. Характеристики живильних насосів; II. Можливості зниження
споживання електроенергії; III. Схема підключення перетворювача частоти;
V. Статичні характеристики; VI. Механічні характеристики.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Юрій ОСАДЧУК		
II	Юрій ОСАДЧУК		
III	Юрій ОСАДЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Загальні відомості про електропривод насоса	15.05.25
2	Задачі керування та вимоги до електропривода насоса	17.05.25
3	Вибір системи електропривода насоса	19.05.25
4	Розрахунок потужності і вибір електродвигуна насоса	21.05.25
5	Схема заміщення системи електропривода	24.05.25
6	Розрахунок механічних характеристик електропривода	26.05.25
7	Математичний опис системи керування	31.05.25
8	Вибір структури системи керування	04.05.25
9	Передаточні функції та регулятори у системі керування	10.06.25
10	Моделювання динамічних режимів у системі керування	14.06.25

Дата видання завдання 12.05.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Сергій ВОЛОШИН
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Юрій ОСАДЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Модернізація електроприводу насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»

53 с., 21 рис., 11 літературних джерел

Об'єкт розробки – електромеханічна система насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль».

Мета роботи – модернізація електроприводу насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль».

У першому розділі була розглянута структура АТ «Криворізька теплоцентраль». Було зазначено що до структури підприємства входить шість котелень, які забезпечують опаленням будинки житлових районів. Також було зазначено що основний робочий процес відбувається у котельних установках. У приміщеннях котельних установок знаходиться обладнання яке забезпечує виконання процесу горіння палива а також відтворення процесу обміну тепла між водою та паливом при горінні. Було вказано що у котельнях використовується горючий газ. Також у котельні для горіння може використовуватись мазут. Також у розділі було розглянуто технологічну схему забезпечення процесу обміну теплоносієм у межах однієї з котелень АТ «Криворізька теплоцентраль». Роботу технологічної лінії забезпечує живильний насос який розташований у приміщенні котельні. Живильний насос забезпечує циркуляцію гарячої води. Було розглянуто технічні характеристики насоса та складену кінематичну схему. Відповідно до вимог та завдань керування насосною установкою котельні було обрано систему електроприводу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

У другому розділі були розглянуті технологічні параметри живильного насосу котельної установки у структурі підприємства АТ «Криворізька теплоцентрально». Виходячи з технічних вимог щодо насосної установки було розраховано потужність електричного двигуна та зроблено вибір електромеханічного обладнання відповідно до встановленої потужності. Так були обрані електричний двигун для електроприводу насосу а також перетворювач для живлення електричного двигуна. Була розроблена структурна схема перетворювача та обрано силовий трансформатор для його живлення. Також були розраховані елементи системи захисту. Захист електроприводу насосної установки живильного насосу виконується відповідно до режимів роботи котельної установки. Так для унеможливлення аварійних режимів роботи використовується захист від короткого замикання та замикання на землю. Також у системі керування електроприводом живильного насосу використовується захист при низькому опорі ізоляції у колах живлення електричного двигуна. Були розраховані та побудовані механічні характеристики електроприводу живильного насосу котельної установки. Також було розраховано та побудовано енергетичні характеристики електроприводу живильного насосу котельної установки.

У третьому розділі було зроблено математичний опис системи електроприводу живильного насосу котельної установки. Також було проведено аналіз перехідних процесів у асинхронному електроприводі живильного насосу та визначені показники якості керування. Відповідно до обраного закону керування було реалізовано зміну режимів роботи живильного насосу котельної установки та отримано графіки перехідних процесів при регулюванні продуктивності насосної установки та зміні тиску у тепломережі. Для підвищення якості перехідних процесів були розраховані передатні функції регуляторів для системи керування. Можна зазначити що замкнена система керування з регуляторами магнітного потоку кутової

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкості та струму забезпечує належну якість перехідних процесів у динамічних режимах роботи живильного насосу котельної установки.

НАСОС, ЕЛЕКТРОПРИВОД, СИСТЕМА ВОДОПОСТАЧАННЯ,
КОТЕЛЬНЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	9
Розділ 1. Обладнання та режими роботи системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль».....	10
1.1. Загальні відомості про електропривод насоса типу ПЕ 218-45 та характеристика системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль».....	10
1.2. Задачі керування та вимоги до електропривода насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль».....	16
1.3. Вибір системи електропривода насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»	18
Висновки до розділу 1	22
Розділ 2. Вибір обладнання електромеханічної системи насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль».....	23
2.1. Розрахунок потужності і вибір електродвигуна насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль» .	23
2.2. Схема заміщення та математичний опис системи електропривода насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»	30
2.3. Розрахунок механічних характеристик електропривода насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль».....	31
Висновки до розділу 2	36

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Розділ 3. Технічні засоби реалізації системи керування електроприводом насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»	37
3.1. Математичний опис та вибір структури системи керування електроприводом насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль».....	37
3.2. Передаточні функції та регулятори у системі керування електроприводом насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль».....	41
3.3. Моделювання динамічних режимів у системі керування електроприводом насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль».....	43
Висновки до розділу 3	48
Висновки	49
Список використаних джерел	52

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Вступ

Подача холодної води в парову частину котельної залежить як від часу доби так і від зміни кліматичних умов за опалювальний сезон.

Ці насоси значну частину часу працюють з меншою продуктивністю що визначається зміною потреби в різний період часу.

По статистичним даним середньодобова загрузка насоса складає близько 60% від можливої.

Існуючі системи водопостачання не забезпечують помітного зниження споживаної потужності при зменшенні витрат, а також обумовлюють істотне зростання тиску (напору) у системі, що призводить до витоків води і несприятливо позначається на роботі технологічного устаткування і мереж водопостачання.

Насос має квадратичну залежність моменту опору від швидкості, а потужність на валу двигуна зменшується в кубічній залежності при зниженні частоти обертання.

Відповідно великі і можливості енергозбереження.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Обладнання та режими роботи системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»

1.1. Загальні відомості про електропривод насоса типу ПЕ 218-45 та характеристика системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»

Об'єктом проектування є живильний насос котельні №1, технологічна схема якої показана на рис. 1.1.

На котельню приходить три водоводи. По ним проходить робоча вода (сира, Дніпровська), яка надходить на котельню. Утворюється колектор всмоктування.

З нього йдуть всаси насоса через Дніпровські насоси утворюють тиск у схемі дніпровської води.

Дніпровська вода формує контур води який використовується для потреб котельної (технічна, власні/ потреби).

Перша і велика частина надходить на ХВО (хімічна водо очистка), де хімічним і термічним способом обробляється.

Хімічна обробка полягає у пом'якшенні води до необхідної жорсткості за допомогою натрій-катіонінових фільтрів першої та другої ступені. 1-а ступінь використовується для підживлення і відновлення втрат в теплових мережах. 2-а ступінь використовується для приготування основної маси живильної води в деаераторах, дістилату випарників.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03								
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 1				Лім.	Лист	Листів		
Розробив	Волошин С.М.											10	13
Перевірів	Осадчук Ю.Г.												
Реценз.													
Н. Контр.	Осадчук Ю.Г.												
Затвердив	Пересунько І.І.												
					КНУ ЗЕЕМ-22ск								

І так само при пуску парових котлів з холодного стану також є котлової водою. ХВО через групи і каскади теплообмінних апаратів (водоводяних і пароводяних) відбувається приготування хімічної води різних жорсткостей для різних потреб.

Деаератори живильної води і бойлера в подальшому хімічна вода 2-ї ступені проходить ряд змін.

Після подачі води 2-ї ступені в деаератори живильної води пройшовши термічну обробку перетворюється в живильне воду яка є робочої водою для живлення парових котлів.

Так само хімічна вода 2-й ступені є робочої водою випарних установок які у свою чергу готують дистиллят для основних бойлерів для підтримки заданого водно-хімічного режиму саме конденсату бойлерів.

Парова частина

Наступним етапом для термічної обробки різних вод є пар. Як було зазначено раніше, 2-а ступінь хімічно очищеної води є і котлової водою.

Після розтоплення парових котлів і виробництва пара засобом парових колекторів які у свою чергу при необхідності через РОУ (редуційно охолоджувальна установка) підводяться до теплообмінним апаратів тим самим замикаючи контур рециркуляції, (а саме при досягненні параметрів температурного і водно-хімічного режиму) конденсату.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

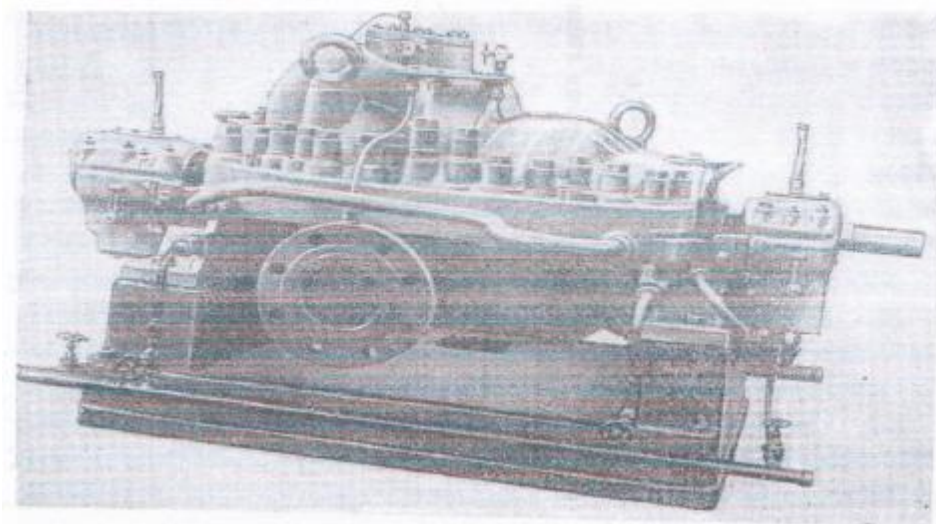


Рисунок 1.1 Загальний вигляд насоса типу ПЕ218-45

Таблиця 1.1 - Технічна характеристика двигуна АТД-500-2УЗ

№ п/п	Найменування	Величина	Одиниця виміру
1	Потужність	500	кВт
2	Напруга	6	кВ
3	Кількість обертів	3000	об/хв
4	Номінальний струм	54,8	А
5	Коефіцієнт корисної дії	92,5	%
6	cos f	0,82	(без одиниці)

Таблиця 1.2 - Технічна характеристика насоса типу ПЕ218-45

Марка насосу	Подача Q (м³/год)		Повний натиск Н (м)	Число обертів (об/хв)	Потужність N (кВт)		ККД η (%)	Кавітаційний запас Δр (м)	Діаметр робочого колеса.
	В м³/год	В л/сек			На валу насоса	Електро двигуна			
ПЕ 218-45 а	250	65,3	450	2950	400	480	65.5	9.3	290

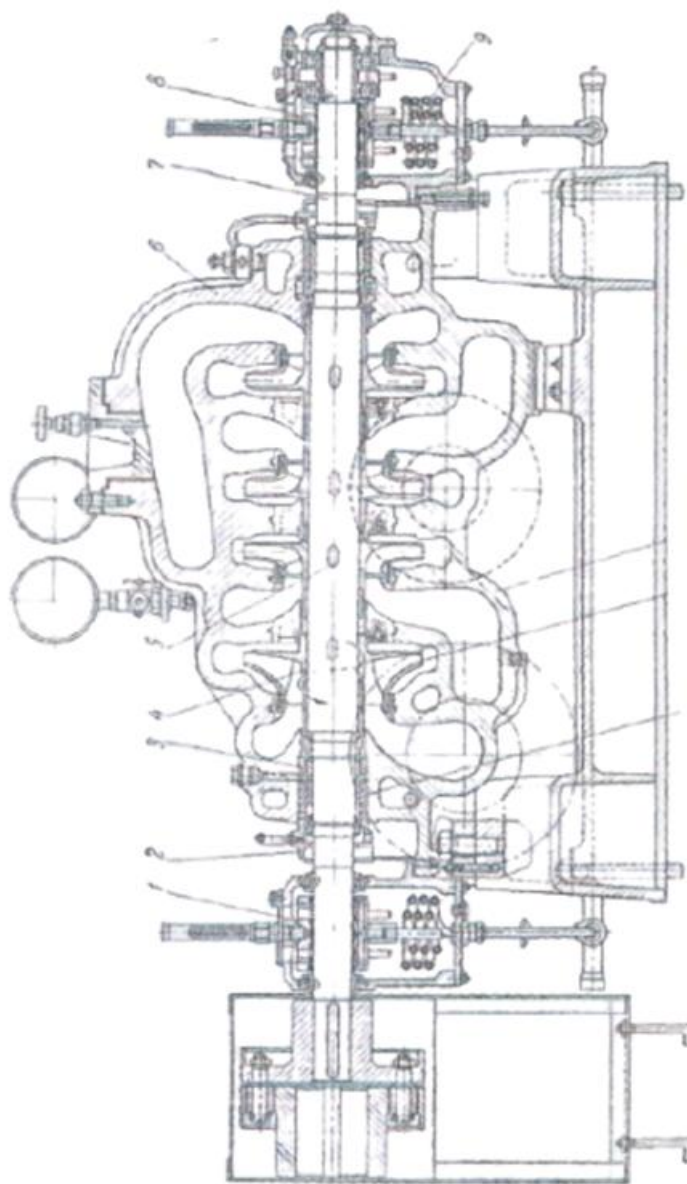


Рисунок 1.2. Конструкція насосу типу ПЕ 218-45

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк. 14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

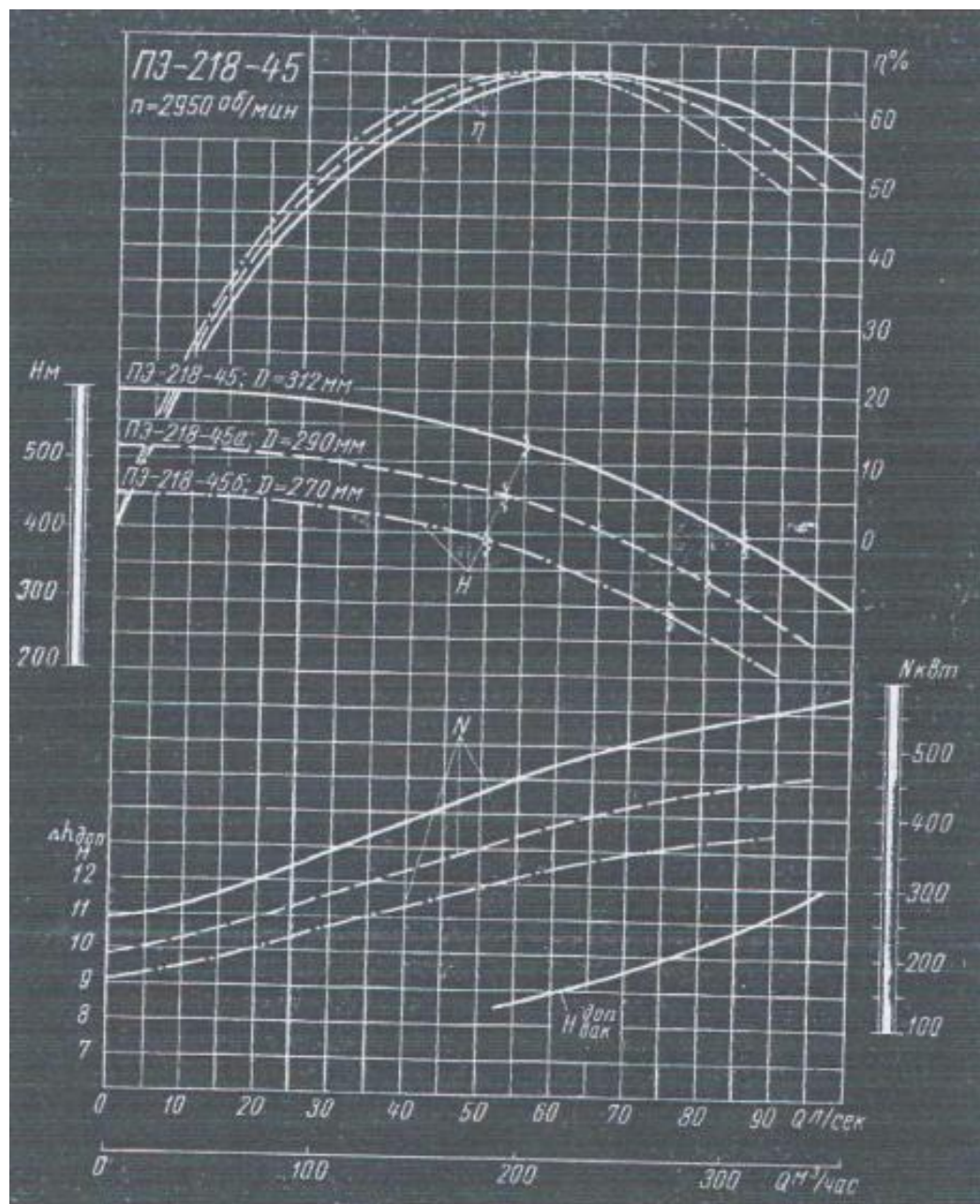


Рисунок 1.3 Аеродинамічна характеристика насоса типу ПЭ218-45

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03

Арк.

15

1.2. Задачі керування та вимоги до електропривода насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»

Традиційні способи регулювання подачі насосних установок складаються в дроселюванні напірних ліній насосів і зміну загального числа працюючих агрегатів по одному з технологічних параметрів - тиску на колекторі або в диктуючій точці мережі, рівня в приймальному або регулюючому резервуарі і ін.

Ці способи регулювання спрямовані на вирішення технологічних завдань і практично не враховують енергетичних аспектів транспорту води.

При такому регулювання від 5 до 15%, а в окремих випадках до 25-30% споживаної електроенергії витрачається нерационально з-за:

- * втрат енергії в дроселюючому органі;
- * створення надлишкових напорів в трубопровідної мережі;
- * витоків і непродуктивних витрат води в мережі та у споживача;
- * збільшення геометричного підйому при відкачування води з резервуарів каналізаційних насосних станцій і т.д.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

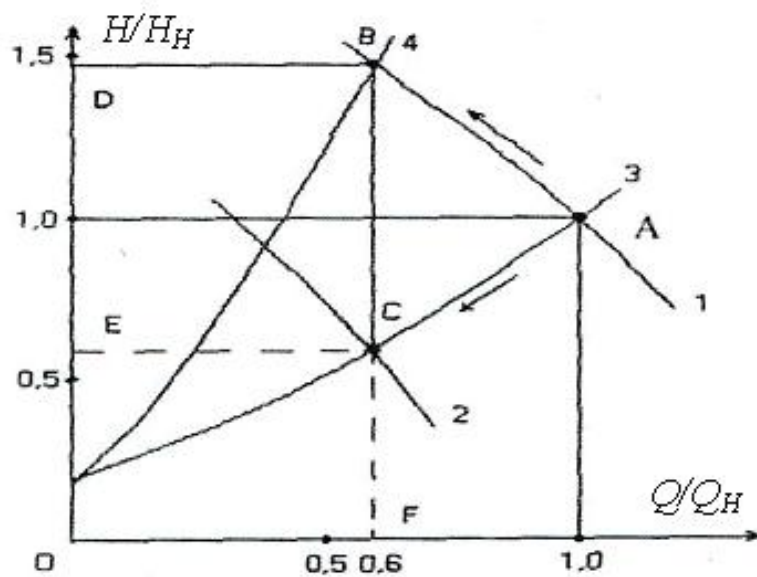


Рисунок 1.4. Графік можливості зниження споживаної потужності:

При двигуном насоса, при регулювання швидкості електропривода порівняно з регулюванням дросельною заслінкою.

1.3. Вибір системи електропривода насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»

Асинхронний двигун з коротко замкнутим ротором будучи безконтактною машиною є більш надійним у порівнянні з машиною постійного струму, яка має колектор, який ускладнює експлуатацію та обмежує по умовам комутації динамічні навантаження.

Існуюча система електропривода не передбачає плавного регулювання швидкості асинхронного двигуна, схема включення якого показана на рисунку 1.5. Регулювання тиску в теперішній час на котельній виконується зміною положення шеберів, за допомогою виконавчого механізму типу МЕО-160. Але це є не ефективним способом регулювання продуктивності, а значить

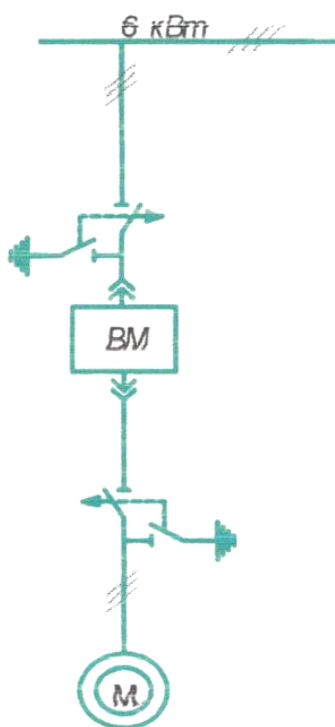


Рисунок 1.5. Існуюча схема живлення електродвигуна насоса

Відомі різні способи керування швидкості асинхронних двигунів:

- імпульсне керування
- керування зміною напруги
- асинхронно вентильний каскад
- частотне керування

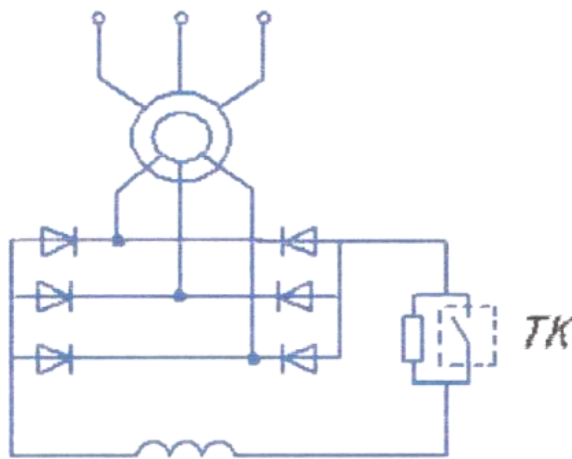


Рисунок 1.6. Імпульсне керування з допомогою ТК

Даний спосіб керування забезпечує плавність керування, але його недоліком є втрати потужності у резисторі при керуванні. [5]

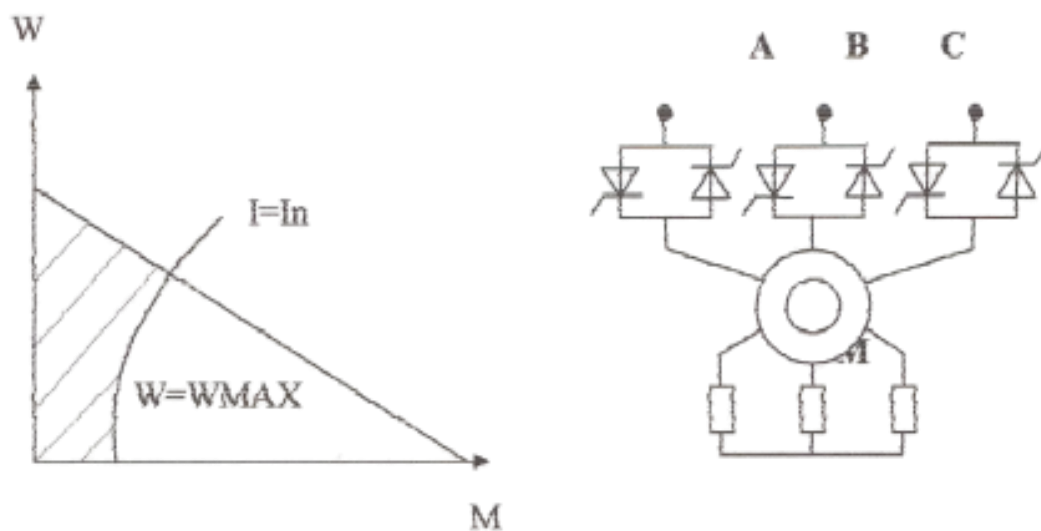


Рисунок 1.7. Керування зміною напруги

Керування зміною напруги (рисунок 1.7) застосовується здебільшого для установок з повторно-короткочасним режимом роботи. [5]

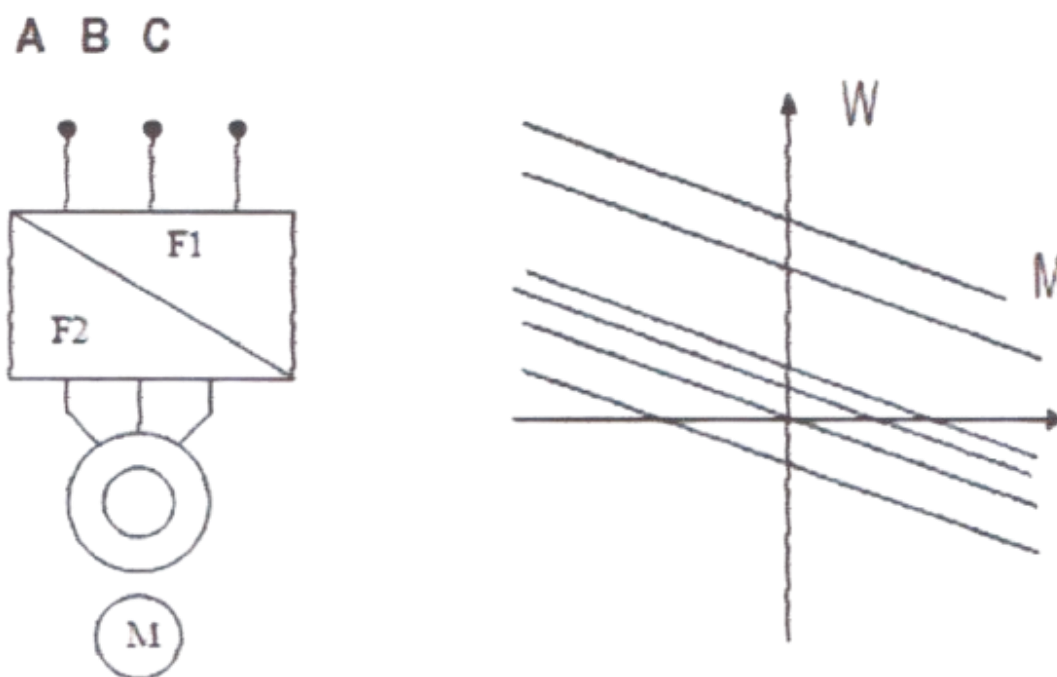


Рисунок 1.8. Частотне керування

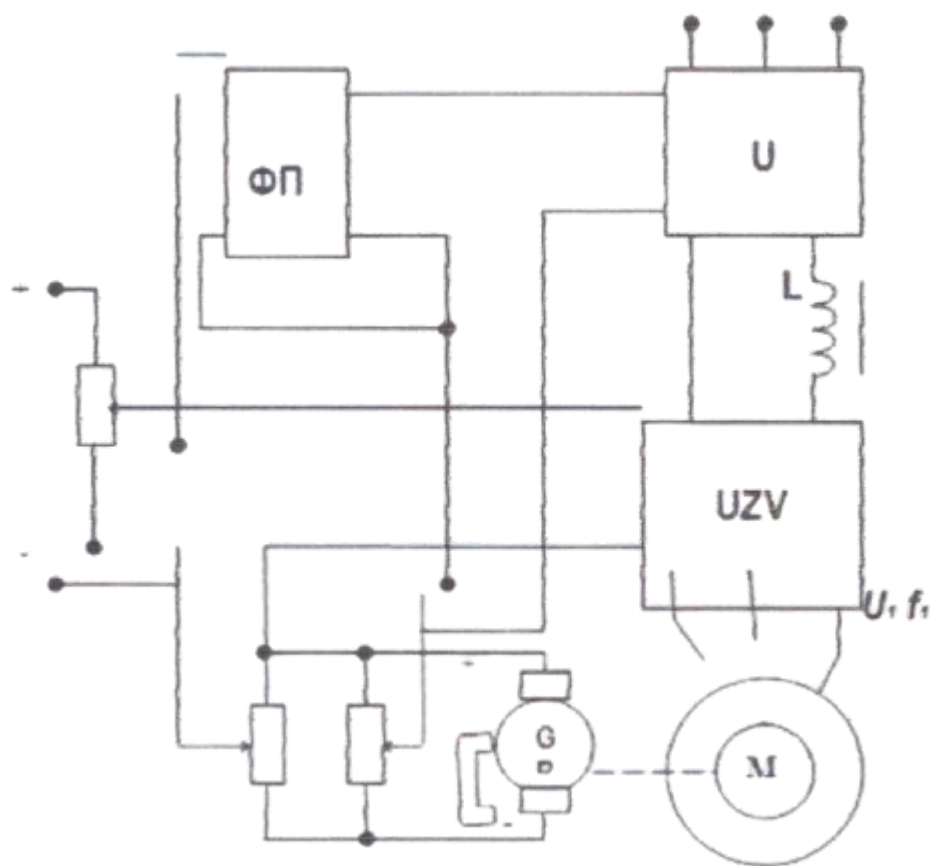


Рисунок 1.9. Функціональна схема системи ТПЧ-АД

Висновки до розділу 1

1. Надано основні відомості про АТ «Криворізька теплоцентраль», конструкція і технічна характеристика устаткування (двигуна АТД-500-2УЗ, насоса типу ПЕ218-45) та змальовано робочий процес, переваги і недоліки діючого електропривода.

2. Здійснено вибір системи електропривода живлення насоса типу ПЕ218- 45 - тиристорний перетворювач частоти асинхронний двигун (ТПЧ-АД).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2. Вибір обладнання електромеханічної системи насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»

2.1. Розрахунок потужності і вибір електродвигуна насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»

Розрахункову потужність визначаємо по формулі (2.1)

З урахуванням ККД насосу, потужність на його валу визначається наступним чином:

$$P_c = \frac{QH_g \cdot K_z}{\eta_{нас}} \quad (2.1)$$

$$P_c = \frac{25000 \cdot 17.5 \cdot 10^{-3} \cdot 1.055}{0.96} = 480.79 \text{ кВт}$$

де:

$Q=25000$ м³/г — номінальна продуктивність,

$H_g=17500$ Па — номінальний тиск,

K_z — коефіцієнт запасу (1.055),

$\eta_{нас}$ — ККД насосу.

Визначимо необхідну потужність при максимальних перевантаженнях і необхідний перевантажувальний здатності двигуна:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив		Волошин С.М.			Розділ 2	Літ.	Лист	Листів
Перевірів		Осадчук Ю.Г.					23	14
Реценз.								
Н. Контр.		Осадчук Ю.Г.						
Затвердив		Пересунько І.І.				КНУ ЗЕЕМ-22ск		

$$P_{max} = \frac{25000 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{0.97} \cdot 1.055 = 489 \text{ кВт}$$

$$\lambda_M = \frac{M_{max}}{M_{ном}} \approx \frac{P_{max}}{P_{ном}} = \frac{489}{500} = 0.978 \quad (2.2)$$

Виходячи з умов:

$$P_M \geq P_{розр}, \lambda_M \geq 0.978 \quad (2.3)$$

Виберемо із каталогу двигун відповідної потужності та швидкості, технічні дані якого наведені нижче.

Визначення номінального струму двигуна:

$$I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{P_N}{660 \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (2.4)$$

$$I_N = 480000 / (660 \cdot 0.9 \cdot 0.95) = 852 \text{ А}$$

Де: P_N – номінальна потужність двигуна;

U_{ϕ} – фаза напруги мережі;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності;

η – ККД двигуна.

З огляду на перспективу впровадження системи частотного керування електропривода насосу, перевагу віддаємо асинхронному двигунові з короткозамкненим ротором типу ВАО2-560-500-4, параметри якого наведені в таблиці 2.1.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 - Технічна характеристика двигуна ВАО2-560-500-4

В	Р, кВт	Частота обертання п, об/хв	К.К.Д η, %	cosφ	Номін. струм Ін, А	Кратн. ість пуско вого струм у ік	Момент			Момент інерції J, Кгм²
							Ном. Мн, Нм	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	
30	500	1500	95	0.89	830	7.3	3206	1.3	2.5	10.2

Одним із найважливіших етапів проектування системи є вибір силового перетворювача. При виборі перетворювача необхідно враховувати, що коли розрахункова потужність перевищує потужність обраного перетворювача, відбувається пробій тиристорів, унаслідок чого система виходить з ладу. Якщо ж потужність перетворювача прийнята набагато більше, ніж це необхідно, система буде працювати коректно, але економічно себе не виправдувати її строк окупності збільшується. Крім того, в залежності від методу керування, може необґрунтовано підвищитися споживання об'єктом реактивної потужності [8].

Для роботи двигуна в керованому режимі необхідно вибрати перетворювач частоти, що буде задовольняти таким умовам:

$$P_{пр} \geq P_{дв} \cdot U_{пр} \geq U_{дв} \cdot P_{пр} \geq I_{дв}$$

Так як в перспективі передбачається модернізація обладнання першої котельної на ДП "Криворізька теплоцентраль", вибираємо сучасний перетворювач частоти фірми ALTIVAR серії АТУ71HC50N4, для якого виконуються умови,

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						25

$$P_{\text{пр}} = 480 \geq 500 \text{ кВт}$$

$$U_{\text{пр}} = 480 \geq 380 \text{ В}$$

$$I_{\text{пр}} = 941 \geq 830 \text{ А}$$

Технічна характеристика перетворювача наведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Паспортні дані перетворювача частоти фірми ALTIVAR

Трёхфазное напряжение питания: 380 - 480 В, 50/60 Гц

Трёхфазный двигатель 380 - 480 В

Двигатель Мощность, указанная на заводской табличке (1)	Сеть		Макс. линейный ток к.з. (4)	Полная мощность	Преобразователь			Актив 71 № по каталогу (3)
	Макс. линейный ток (2)				Ном. ток In (1)	Макс. переходный ток в течение (1)		
	при 200 В	при 240 В				60 с	2 с	
кВт	А	А	кА	кВА	А	А	А	
90	186	134	35	109	179	268	295	ATV71HD90N4
110	202	163	35	133	215	322	354	ATV71HC11N4
132	239	192	35	157	259	388	427	ATV71HC13N4
160	289	233	50	190	314	471	518	ATV71HC16N4
200	357	286	50	235	387	580	638	ATV71HC20N4
220	396	320	50	261	481	721	793	ATV71HC25N4
250	444	357	50	292				
280	494	396	50	325	550	825	907	ATV71HC28N4
315	555	444	50	365	616	924	1016	ATV71HC31N4
355	637	512	50	419	759	1138	1252	ATV71HC40N4
400	709	568	50	467				
500	876	699	50	577	941	1411	1552	ATV71HC50N4

Схема підключення перетворювача частоти фірми ALTIVAR серії ATV71HC504 представлена на рисунку 2.1.

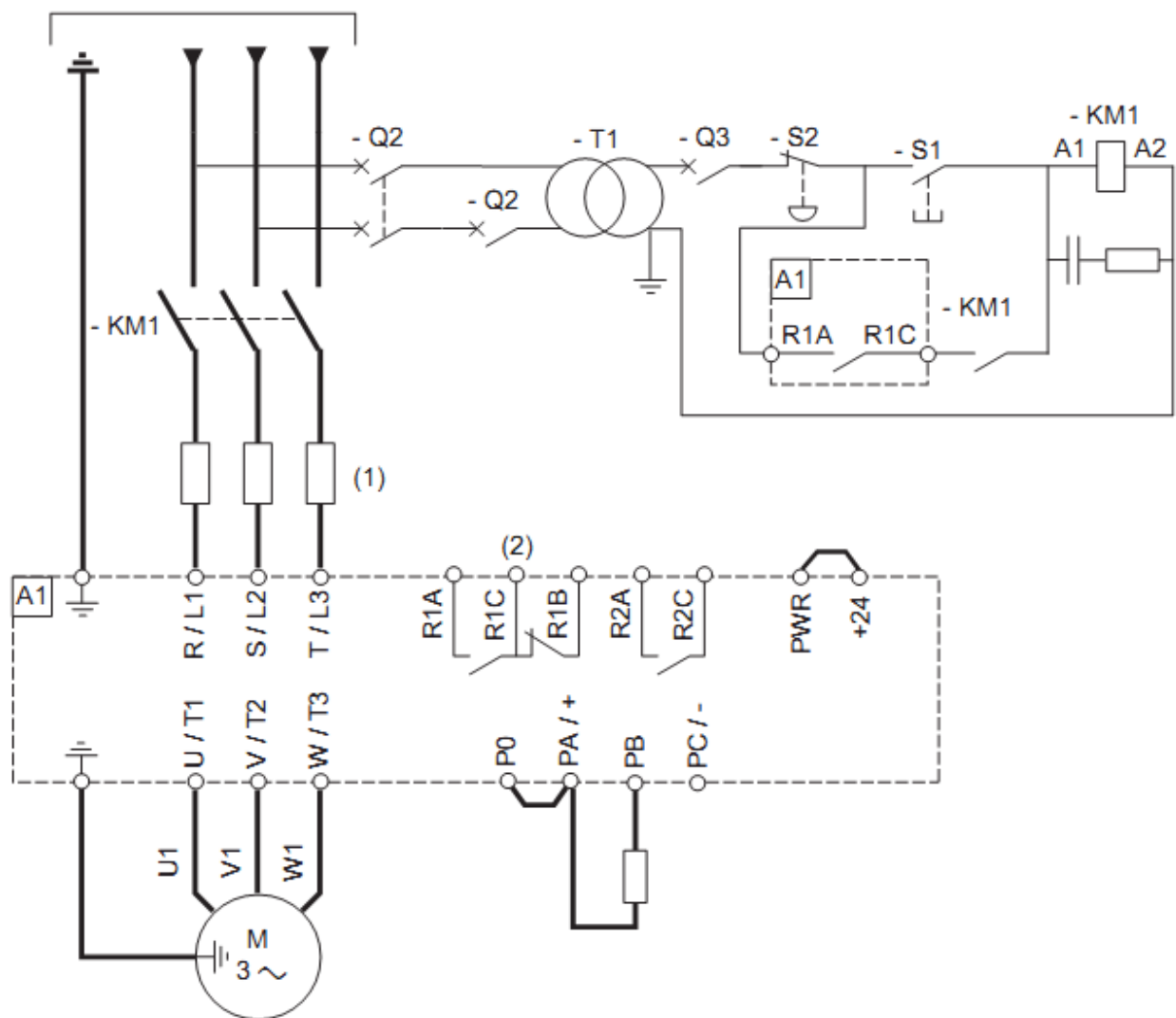


Рисунок 2.1. Схема підключення перетворювача частоти фірми ALTIVAR серії ATY71HC50N4 з мережним контактором

Таблица 2.3. - Технические характеристики трансформатора Trihal 630

Электрические характеристики Уровень изоляции: 7,2 кВ и 12 кВ		Сухие трансформаторы с литой изоляцией "Триал" (Trihal) Номинальная мощность от 160 до 3150 кВ · А Уровень изоляции ≤ 12 кВ - вторичное напряжение 400 В													
Номинальная мощность (кВ · А) (1) (*)		160 (2)	250	315 (2)	400	500 (2)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
Номинальное напряжение обмотки ВН (1)		6,10 кВ													
Уровень изоляции (2)		7,2 кВ для 6 кВ; 12 кВ для 10 кВ													
Частота (1)		50 Гц													
Макс. температура окружающей среды		40 °C													
Напряжение холостого хода обмотки НН (1)		400 В между фазами, 231 В между фазой и нейтралью													
Способ и диапазон регулирования (без возбуждения) (*)		ПВВ; ± 2 x 2,5%													
Схема и группа соединения обмоток		Δ/1n - 11 или Δ/1n - 5 (треугольник, звезда с выведенной нейтралью)													
Потери (Вт)	потери холостого хода	610	820	950	1150	1300	1500	1700	2000	2500	2800	3500	4300	5500	
	потери при нагрузке	при 75 °C	2300	3100	3500	4300	5200	6400	7700	8800	10500	12300	14900	18300	22000
		при 120 °C	2700	3500	4100	4900	6000	7300	8800	10000	12000	14000	17000	21000	25000
Напряжение к.з. (%)		4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	7	
Ток холостого хода (%)		2,3	2	1,8	1,5	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1	1	
Ток включения	I _{с/п} (мгн. значение)	13,5	13	13	13	13	12	9	9	9	9	9,5	8,5	8,5	
	постоянная времени	0,13	0,18	0,20	0,25	0,25	0,26	0,3	0,34	0,35	0,42	0,4	0,5	0,6	
Уровень шума (1)	акустическая мощность L _м	62	65	67	68	69	70	72	73	75	76	77	81	81	
	дБ (А) акустическое давление L _м на раст. 1 м	50	53	55	55	56	57	59	59	61	61	61	65	65	

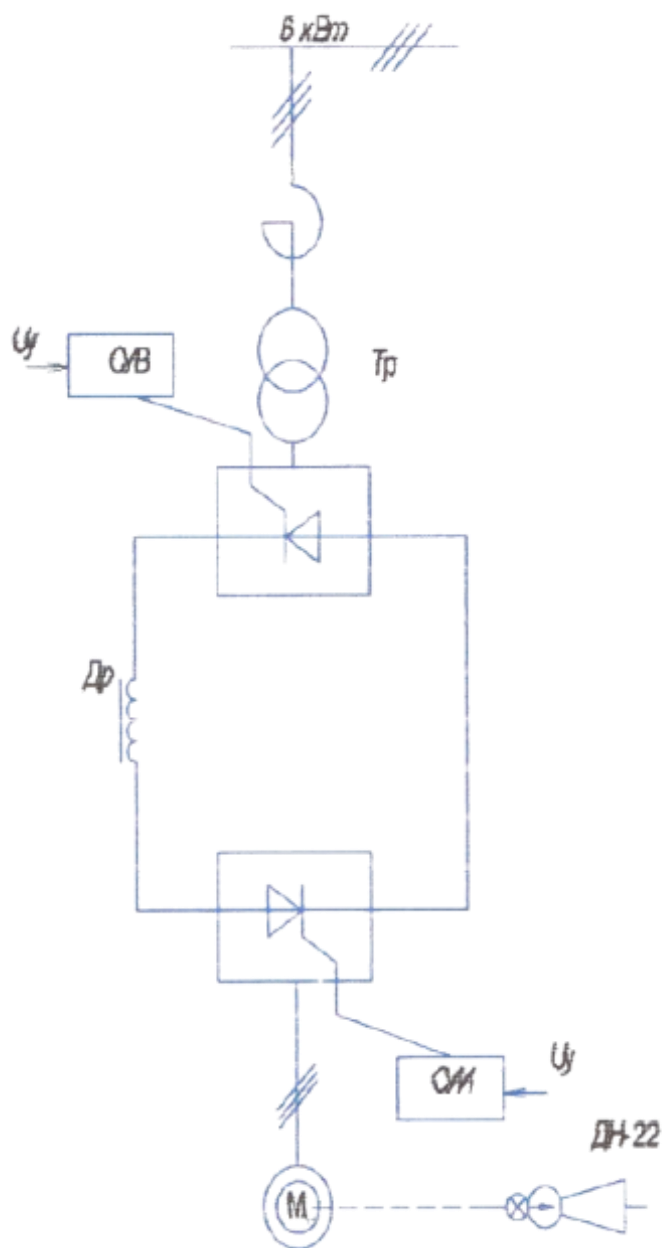


Рисунок 2.2 Узагальнена схема системи електропривода насосу

2.2. Схема заміщення та математичний опис системи електропривода насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентрально»

Для дослідження статичних режимів приймаються наступні припущення: характеристика намагнічування двигуна подається кусково-лінійною, ефект витиснення струму й активний опір ланцюга намагнічування не враховуються, фазні обмотки машини вважаються симетричними. Ці припущення дозволяють вважати постійними параметри схеми заміщення і спростити розрахункові формули, лише незначно знижуючи їхню точність (похибка звичайно не перевищує 5%). Однак витрати в сталі та не лінійність характеристики намагнічування враховуються у випадках, коли ними не можна знехтувати: при аналізі енергетичних показників і нагрівання, а також при дослідженні характеристик двигуна в режимах, пов'язаних із сильним насиченням його магнітопроводу. Крім того, прийнято припущення про незмінність швидкості вала машини протягом періоду частоти живлячої напруги. Рівняння, як звичайно, записуються для однієї фази двигуна.

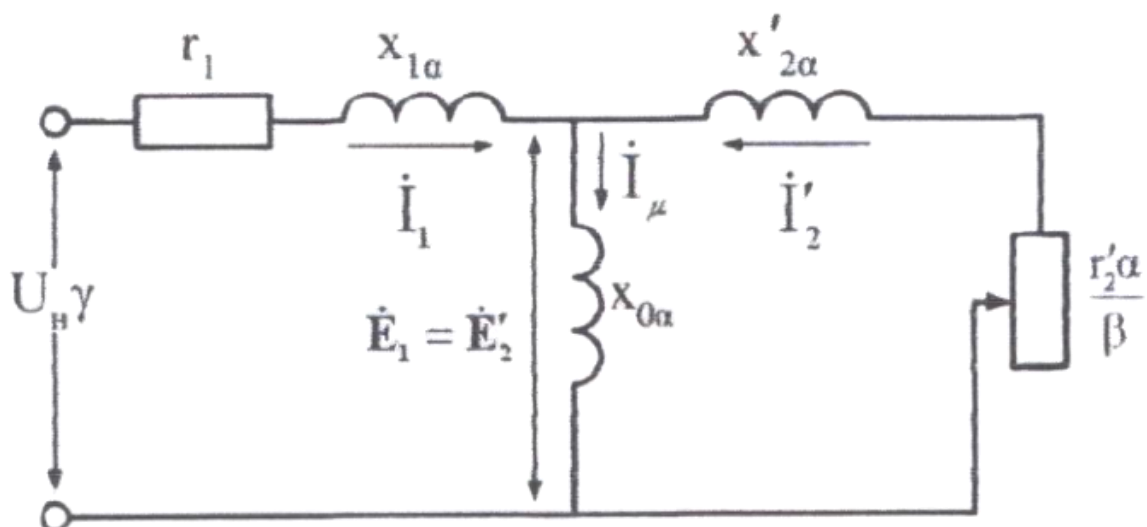


Рисунок 2.3. Схема заміщення фаз асинхронного двигуна при частотному керуванні

2.3. Розрахунок механічних характеристик електропривода насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»

Для насосного навантаження рекомендується закон керування $y = \alpha^2$, тобто $\frac{u^1}{f_1^2} = const$, одержаний із квадратичної залежності моменту навантаження від кутової швидкості і квадратичної залежності максимального моменту ідеалізованого двигуна ($R_1=0$) від напруги і частоти [1,6].

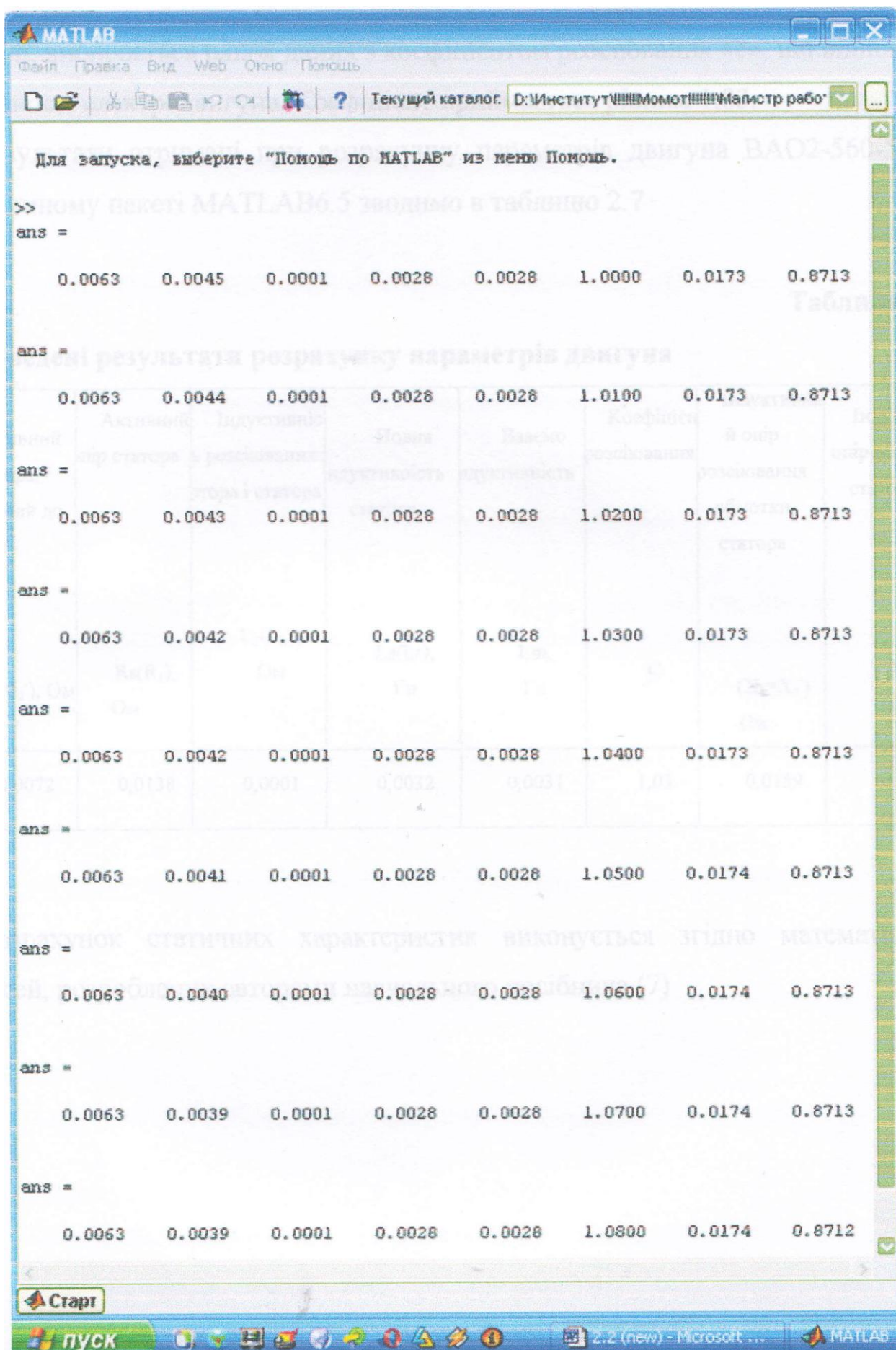
Лістинг програми та лістинг результатів розрахунку показані нижче [7,9].

Лістинг програми має вигляд:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
Файл Правка Вид Текст Отладка Точки останова Web Окно Помощь
[Icons] Стр: База [X]

1 %Справочные данные
2 PH=500000;
3 UH=380;
4 f=50;
5 n=1488;
6 eff=0.96;
7 cosfi=0.89;
8 IH=830;
9 ik=7.3;
10 mk=1.3;
11 mmax=2.9;
12 J=13;
13 p=2;
14
15
16 %Расчет параметров
17 Uf=UH/1.73;
18 nl=60*f/p;
19 sn=(nl-n)/nl;
20 sk=(mmax+sqrt(mmax^2-1))*sn;
21 wl=2*pi*f;
22 w=pi*n/30;
23 MH=PH/w;
24 sinfi=sqrt(1-cosfi^2);
25 for c=1:0.01:1.08;
26 Rr=(1.06*PH)/((3*IH^2*ik^2)*(1-sn))*mk;
27 Rs=1.5*(Uf)^2*(1-sn)/(c*(1+c/sk)*mk*PH*1.06);
28 Ll=(1/(2*wl))*(sqrt((Uf/(ik*IH))^2-(Rs+Rr)^2));
29 Ls=Uf/(wl*IH*(sinfi-cosfi*(sn/sk)));
30 Lm=Ls-Ll;
31 Xl=Ll*314;
32 X0=Lm*314;
33 [Rr Rs Ll Ls Lm c Xl X0 ]
34 end
```



Результати отримані при розрахунку параметрів двигуна
BAO2-560-500-4 програмному пакеті MATLAB зводимо в таблицю 2.7

Таблиця 2.4. - Зведені результати розрахунку параметрів двигуна

Активний опір ротора, приведений до обмотки статора $R_r'(R_2')$ Ом	Активний опір статора $R_s(R_1)$ Ом	Індуктивність розсіювання ротора і статора $L_2'(L_2')$ Ом	Повна індуктивність статора $L_s(L_1)$ Гн	Взаємна індуктивність L_m Гн	Коефіцієнт розсіювання σ	Індуктивний опір розсіювання обмотки статора $X_1=X_2'$ Ом	Індуктивний опір обмотки статора X_0 Ом
0,0072	0,0138	0,0001	0,0032	0,0031	1,03	0,0159	0,983

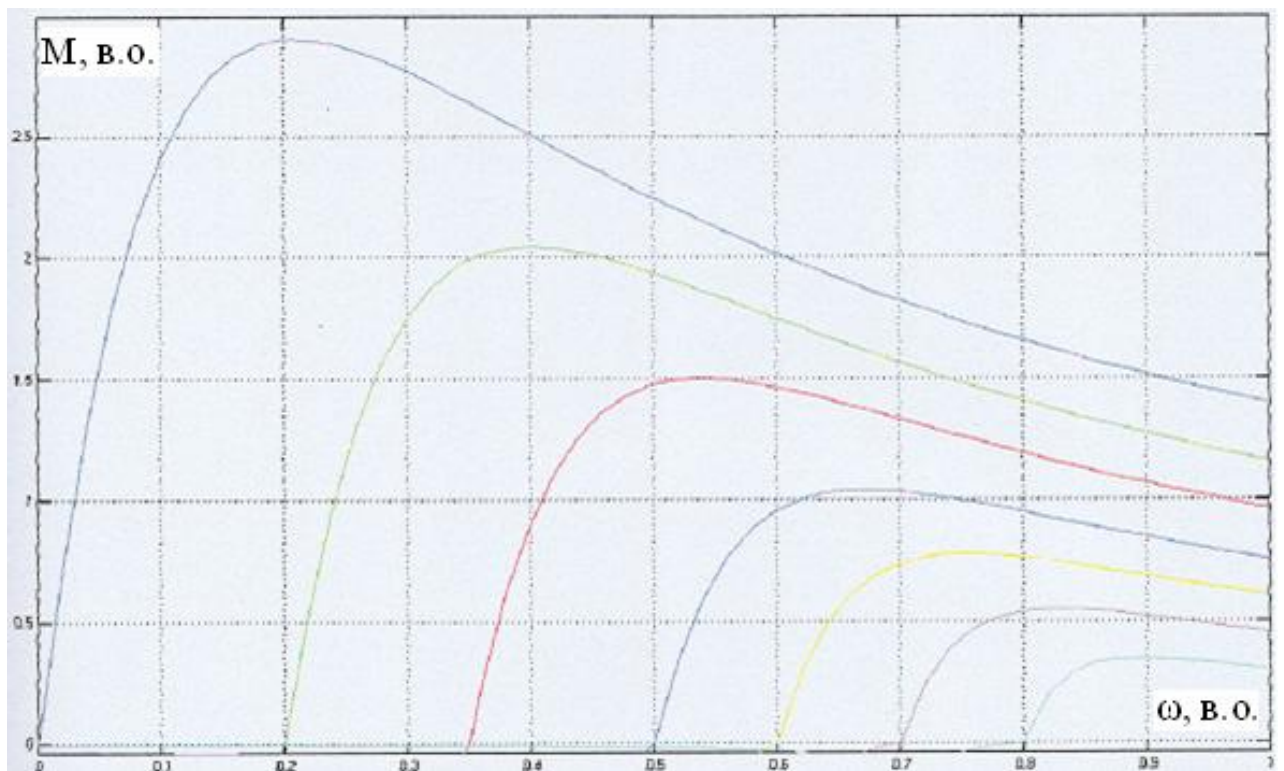


Рисунок 2.4. Сімейство механічних характеристик з насосним навантаженням

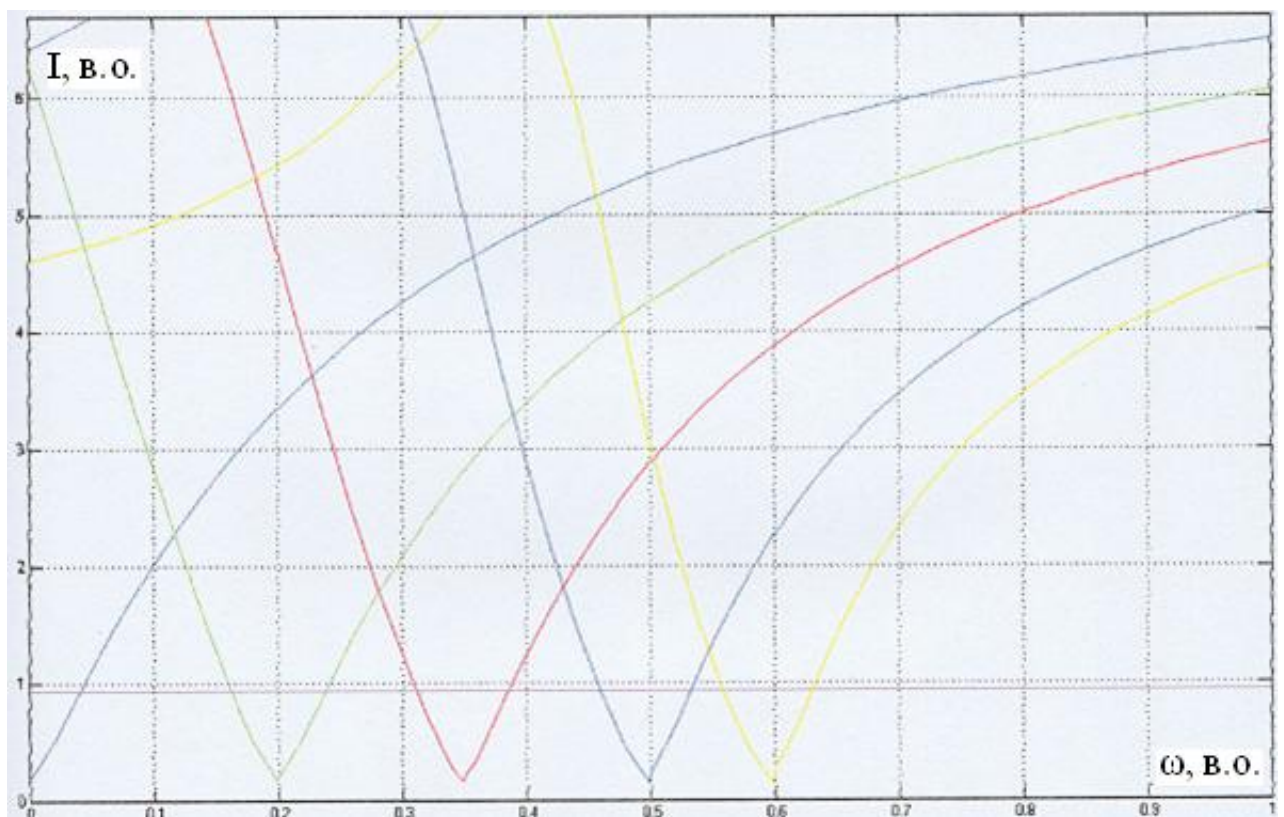


Рисунок 2.5. Сімейство швидкісних характеристик $l_s = f(\beta)$

Висновки до розділу 2

1. В розділі на підставі вихідних даних (витрат води; частоти обертання насосу), розраховувалась потужність двигуна. Розрахункова потужність – 500 кВт. Вибраний двигун з номінальною потужністю – 500 кВт, частотою обертання 1500 об/год, тип двигуна ВАО2-560-500-4.

2. Шляхом огляду існуючих систем приводу обґрунтована система приводу ТПЦ-АД. Було сформульовано задачі керування та вимоги до електроприводу, які зводяться до виконання наступних вимог.

3. По схемі заміщення системи ТПЦ та математичного опису розраховані сімейство швидкісних та математичних характеристик. При цьому статизм розімкнутої системи складає:

Статизм на верхній характеристиці:

$$\Delta_{\text{роз.вх}} = \beta = 0,03$$

тобто дорівнює 3%. На нижній характеристиці статизм складає:

$$\Delta_{\text{роз.вх}} = \Delta_{\text{роз.вх}} \cdot D = 0,03 \cdot 3 = 9\%$$

Розділ 3. Технічні засоби реалізації системи керування електроприводом насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентрально»

3.1. Математичний опис та вибір структури системи керування електроприводом насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентрально»

Як відомо, повна керуваність електропривода забезпечується, якщо забезпечується керування електромагнітним моментом двигуна.

Для цього потрібно незалежно керувати координатами векторів, що входять в обране рівняння електромагнітного моменту.

Вибір рівняння для побудови системи керування відіграє велику роль, тому що багато величин, особливо в короткозамкнених АД, не можуть бути обмірювані.

Крім того, цей вибір істотно впливає на складність передатних функцій системи, іноді в кілька разів збільшуючи порядок рівнянь.

Однак при будь-якому виборі структура виразу електромагнітного моменту буде виражена формулою [7]:

$$\begin{aligned} M &= -\frac{3}{2} z_0 (\Psi_{\{r,n\}} + j\Psi_{\{r,y\}}) \cdot (i_{\{r,n\}} + j i_{\{r,y\}}) \\ &= -\frac{3}{2} z_0 (\Psi_{\{r,n\}} i_{\{r,n\}} - \Psi_{\{r,y\}} i_{\{r,y\}}) \\ &= \frac{3}{2} z_0 (\Psi_{\{r,n\}} i_{\{r,n\}} - \Psi_{\{r,y\}} i_{\{r,y\}}) \end{aligned}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат			
Розробив		Волошин С.М.			Розділ 3	Літ.	Лист
Перевірів		Осадчук Ю.Г.					37
Реценз.							12
Н. Контр.		Осадчук Ю.Г.				КНУ ЗЕЕМ-22ск	
Затвердив		Пересунько І.І.					

Таким чином, для побудови системи векторного керування АД потрібно вибрати вектор, відносно якого буде орієнтована система координат, і відповідний вираз для електромагнітного моменту, а потім визначити величини, що входять до нього.

Асинхронна машина з короткозамкнутим ротором описується наступними рівняннями [9]:

$$u_3 = r_3 i_3 + \frac{d\Psi_3}{dt} + j a_1 \Psi_3$$

$$0 = r_R i_R + d \frac{\Psi_R}{dt} + j (a_1 - p v) \Psi_R$$

$$\overline{\Psi_3} = \overline{x_3} i_3 + \overline{x_R} i_R$$

$$\overline{\Psi_R} = x_{cT} i_3 + \overline{x_R} i_R$$

$$M = \frac{3}{2} p_n K_r (\Psi_1 \cdot i_1)$$

$$T_{Te} \frac{dv}{dt} = m - m_{CT}$$

$$u_r = n_r + x_r \frac{di}{dt} + j a_r x_r i_s - \frac{k_r}{T_r} \psi_r + j k_r \rho \psi_r$$

$$0 = -k_r r_r i_r + \frac{1}{T_r} \psi_r + \frac{d\psi_r}{dt} + j (a_r - \rho v) \psi_r$$

$$M = \frac{3}{2} p_n K_r (\psi_s^1 \cdot i_s)$$

$$T_n \frac{dv}{dt} = m - m_n$$

Де:

$$r = (r_s + k_R^2 l_R), x_s = \left(x_s - \frac{x_m^2}{x_R} \right), k_R = \frac{x_m}{x_R} T_R = \frac{x_R}{r_R}$$

– безрозмірні коефіцієнти.

Підставивши ці значення у рівняння та прирівнявши окремо дійсна та уявна частини отримаємо:

$$u_{\{sa\}} = r_{\{sa\}} + x_s \frac{di_{\{sa\}}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} \Psi_{Ra} - k_R p v \Psi_{\{R\beta\}}$$

$$u_{s\beta} = r_{is\beta} + x_s \frac{di_{s\beta}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} \Psi_{R\beta} - k_R p v \Psi_{Ra}$$

$$0 = -k_R r_{isa} + \frac{1}{T_R \Psi_{Ra}} + \frac{d\Psi_{Ra}}{dt} + p v \Psi_{R\beta}$$

$$0 = -k_R r_{is\beta} + \frac{1}{T_R} \Psi_{R\beta} + \frac{d\Psi_{R\beta}}{dt} + p v \Psi_{Ra}$$

$$m = k_R (\Psi_{Ra} i_{s\beta} - \Psi_{R\beta} i_{sa})$$

$$T_m \frac{dv}{dl} = m - m_H$$

Для АД з короткозамкненим ротором величини 1 та 2 приймають рівними нулю.

На базі математичного опису розроблена структурна схема асинхронного двигуна, яка показана на рисунку 3.1.

3.2. Передаточні функції та регулятори у системі керування електроприводом насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»

Структурна схема асинхронного двигуна в системі відліку, зв'язаній з вектором Φ , наведена на рисунку 3.2.

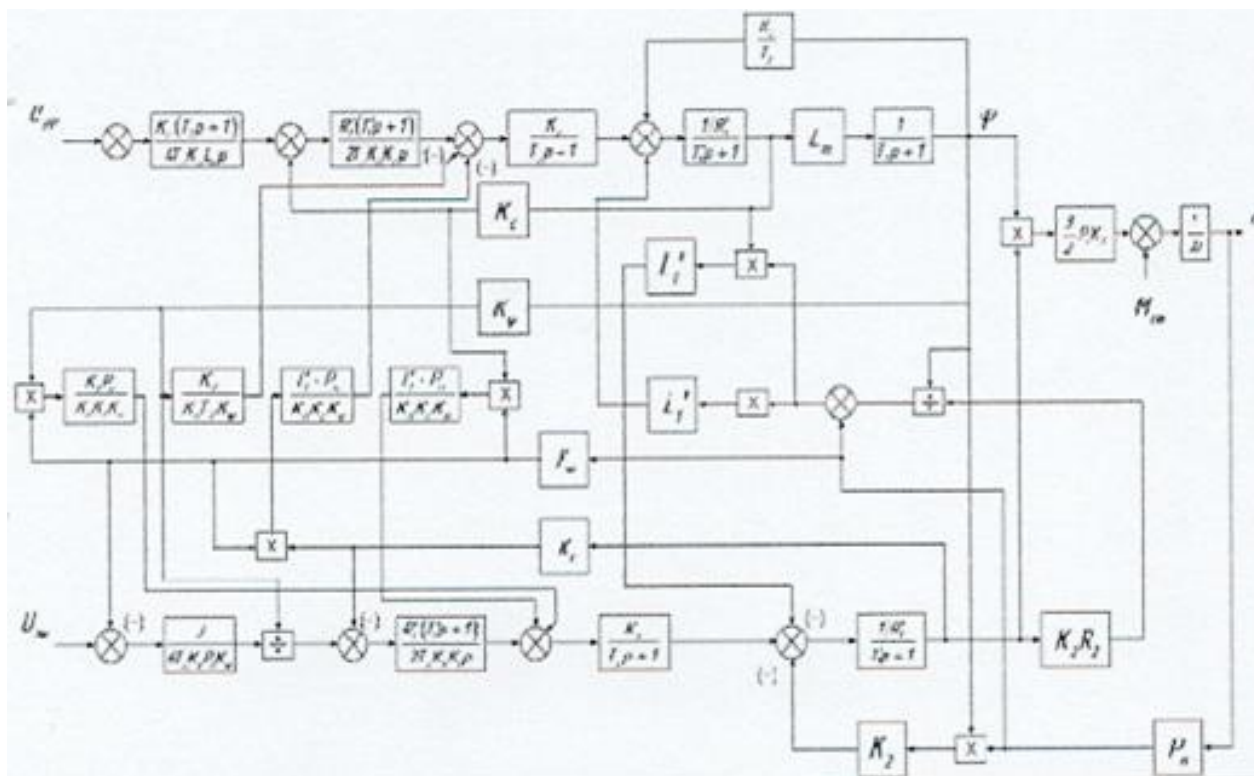


Рисунок 3.2. Структурна схема САК ЕП з векторним керуванням системи ПЧ-АД

Систему регулювання швидкості електропривода (рисунок 3.3) синтезовано на основі структурної схеми асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у системі координат U-V (рисунок 3.2), яка жорстко зв'язана з вектором потокозчеплення ротора. Оскільки ротор короткозамкнений, то на структурній схемі об'єкту покладено $U_{2a} = U_{2v} = 0$.

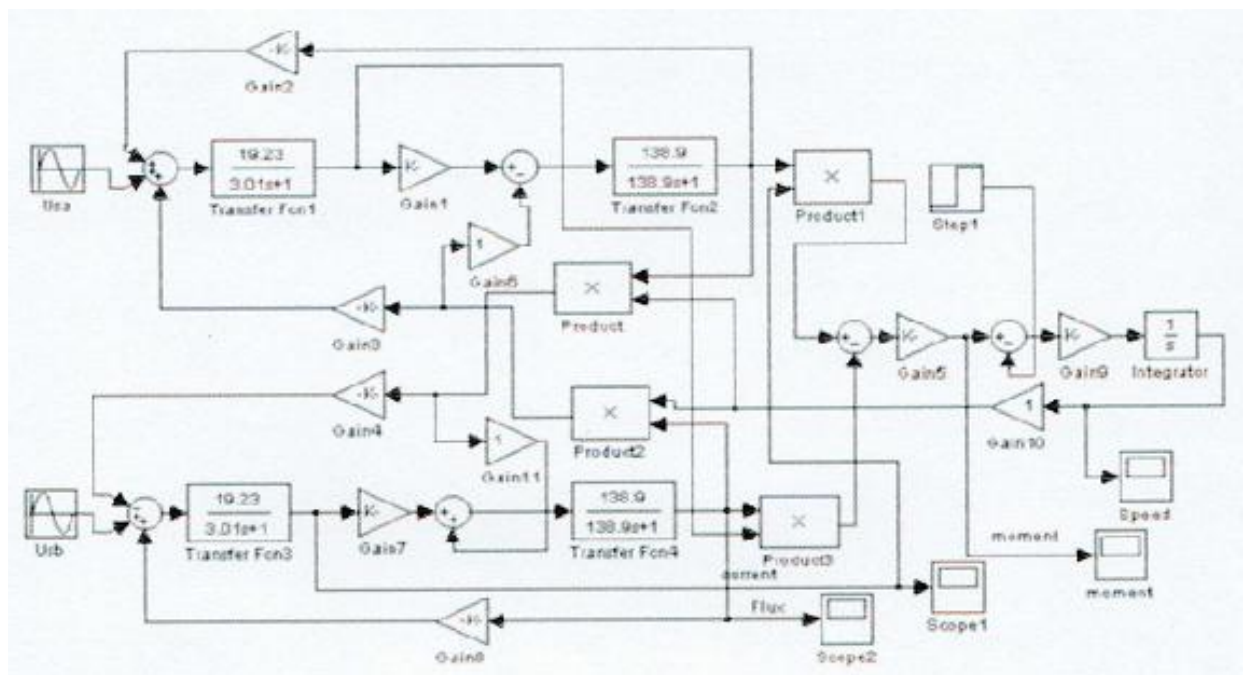


Рисунок 3.3. Модель асинхронної машини з короткозамкнутим ротором у нерухомій системі координат

3.3. Моделювання динамічних режимів у системі керування електроприводом насоса типу ПЕ 218-45 системи водопостачання котельні №1 АТ «Криворізька теплоцентраль»

Перехідний процес першого режиму показаний на (рис.3.4) із якого видно що час перехідного процесу на холостому ходу складає $n = 1,2\text{с}$, а через $1,8\text{с}$, зроблено накид навантаження до $M = 3200 \text{ Нм}$ при якому спостерігається незначна просадка швидкості. Таким чином, статизм замкненої системи складає:

$$\Delta = \frac{w_H - w}{w_H} \cdot 100\% = \frac{155.7 - 153.7}{155.7} \cdot 100\% = 1.28\%$$

Перехідний процес пуску під номінальним насосним навантаженням (рис.3.4) складає. Зупинка відбувається через

Пуску в режимі холостого ходу з подальшим плавним відкриттям задвижки (рис.3.5) спостерігається поступове зменшення швидкості до $152,2 \text{ рад/с}$.

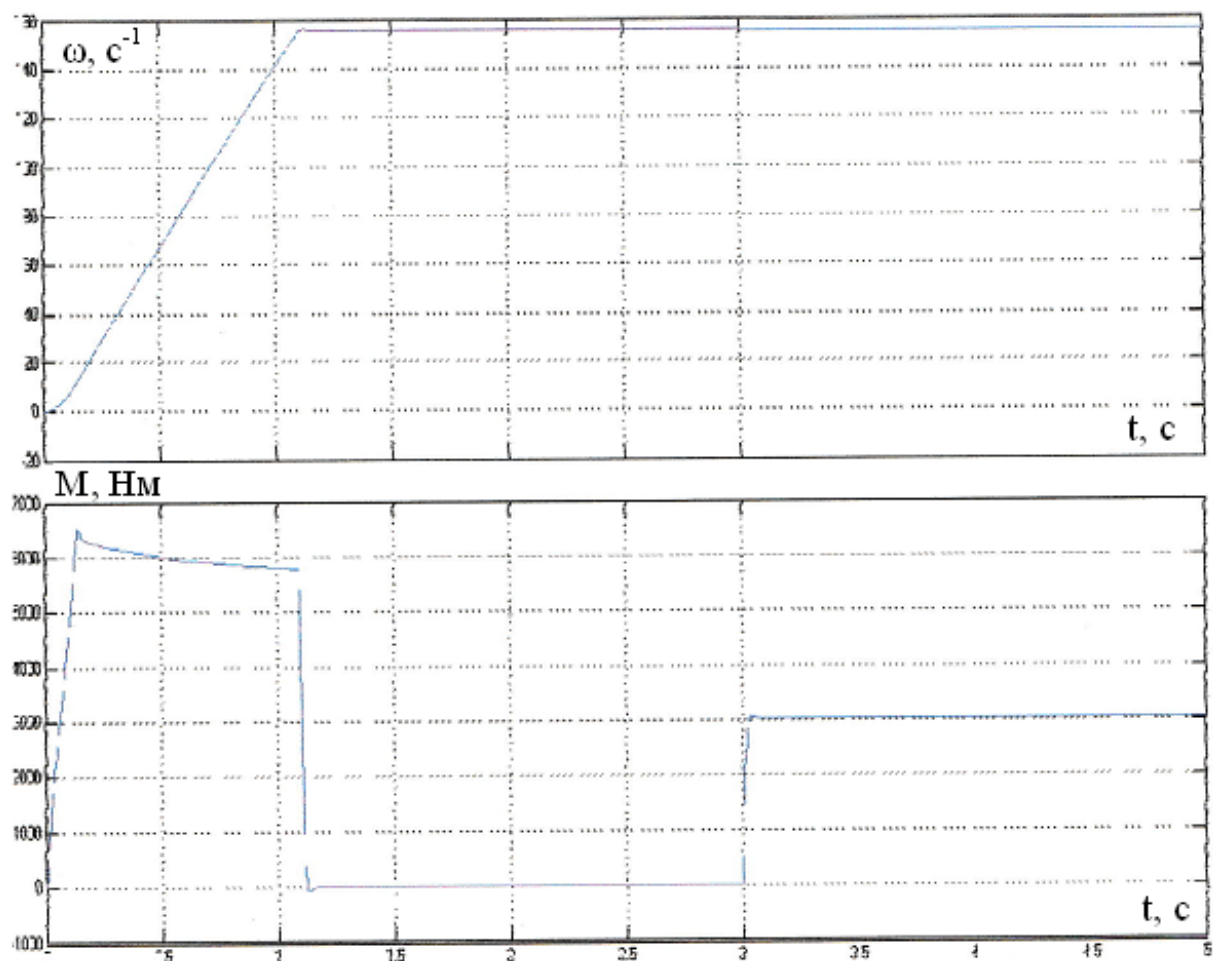


Рисунок 3.4. Перехідні процеси пуску на холостому ході та накид навантажень

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03

Арк.

44

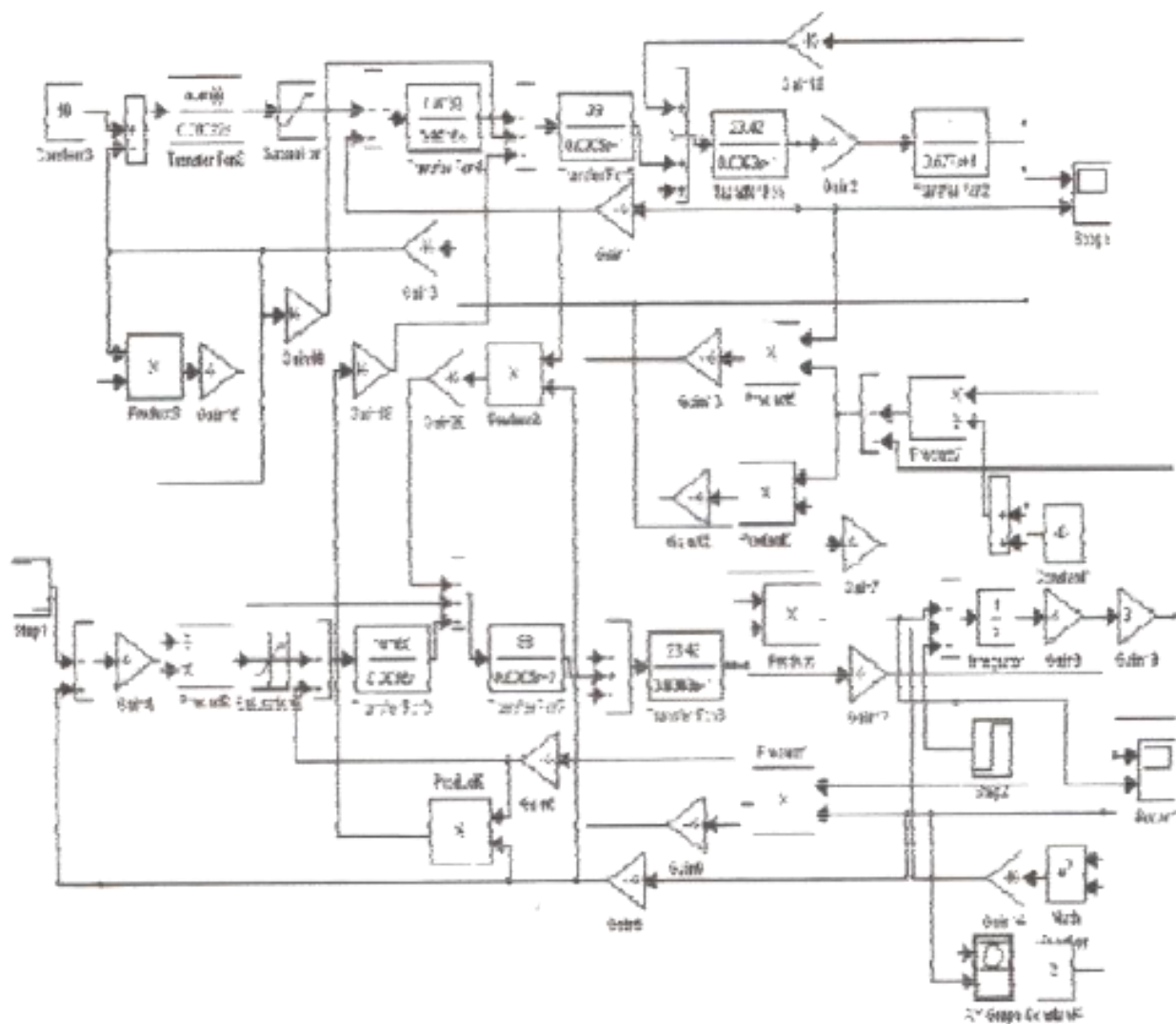


Рисунок 3.5. Математична модель САКЕП насосу

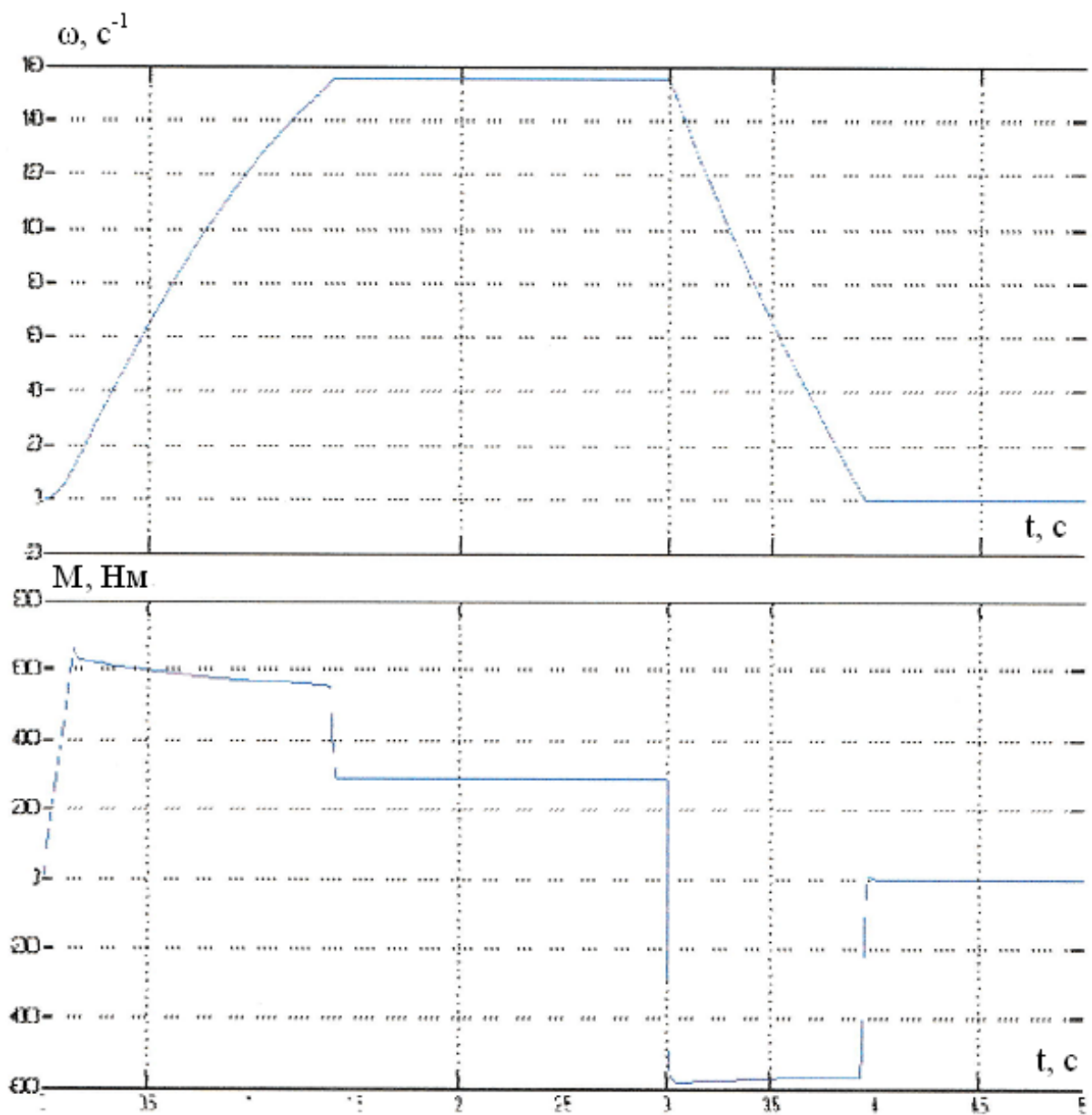


Рисунок 3.6. Перехідні процеси пуску під навантаженням та зупинка двигуна насоса

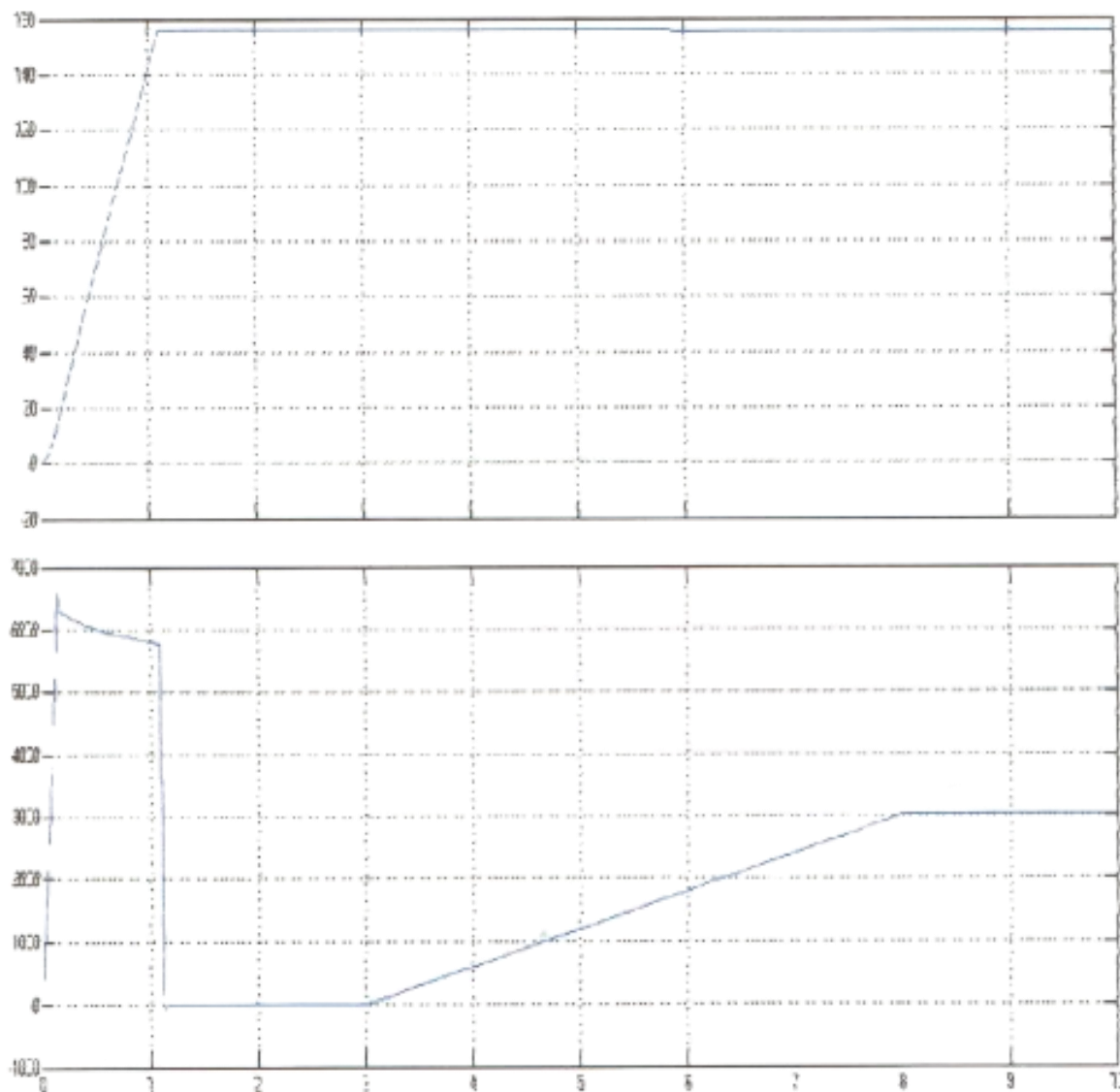


Рисунок 3.7. Пуск в режимі холостого ходу з подальшим плавним відкриттям засувки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03

Арк.

47

Висновки до розділу 3

1. В розділі на підставі огляду системи автоматизованого керування Електроприводами змінного струму в проекті обґрунтована і вибрана структура САК АП з підлеглим керуванням:

- контур потокощеплення;
- контур струму;
- контур швидкості.

2. За структурною схемою розраховані параметри регуляторів та виконана оптимізація: контура потокощеплення; контура струму; контура швидкості. Регулятор струму має структуру „ПІ”, регулятор потокощеплення має „ПІ”закон, регулятор швидкості теж має „ПІ” закон регулювання.

3. Шляхом моделювання виконаних досліджень САК ЕП із отриманих осцилограм підтверджені позитивно-якісні показники:

- на холостому ходу складає $t_{nn}=1,20$, а через 1,8с, зроблено накид навантаження до $M_n = 3200 \text{ Н*м}$.

- під номінальним насосним навантаженням (рис.3.5) $M_n = 3200 \text{ Н*м}$ складає $t_{nn}=1,4\text{с}$.

Висновки

У першому розділі була розглянута структура АТ «Криворізька теплоцентраль».

Було зазначено що до структури підприємства входить шість котелень, які забезпечують опаленням будинки житлових районів.

Також було зазначено що основ ний робочий процес відбувається у котельних установках.

У приміщеннях котельних установок знаходиться обладнання яке забезпечує виконанням процесу горіння палива а також відтворенням процесу обміну тепла між водою та паливом при горінні.

Було вказано що у котельнях використовується горючий газ.

Також у котельні для горіння може використовуватись мазут.

Також у розділі було розглянуто технологічну схему забезпечення процесу обміну теплоносієм у межах однієї з котелень АТ «Криворізька теплоцентраль».

Роботу технологічної лінії забезпечує живильний насос який розташовано у приміщенні котельні.

Живильний насос забезпечує циркуляцію гарячої води.

Було розглянуто технічні характеристики насосу та складену кінематичну схему.

Відповідно до вимог та завдань керування насосною установкою котельні було обрано систему електроприводу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У другому розділі були розглянуті технологічні параметри живильного насосу котельної установки у структурі підприємства АТ «Криворізька теплоцентрально».

Виходячи з технічних вимог щодо насосної установки було розраховано потужність електричного двигуна та зроблено вибір електромеханічного обладнання відповідно до встановленої потужності.

Так були обрані електричний двигун для електроприводу насоса а також перетворювач для живлення електричного двигуна.

Була розроблена структурна схема перетворювача та обрано силовий трансформатор для його живлення.

Також були розраховані елементи системи захисту.

Захист електроприводу насосної установки живильного насосу виконується відповідно до режимів роботи котельної установки.

Так для унеможливлення аварійних режимів роботи використовується захист від короткого замикання та замикання на землю.

Також у системі керування електроприводом живильного насоса використовується захист при низькому опорі ізоляції у колах живлення електричного двигуна.

Були розраховані та побудовані механічні характеристики електроприводу живильного насоса котельної установки.

Також було розраховано та побудовано енергетичні характеристики електроприводу живильного насоса котельної установки.

У третьому розділі було зроблено математичний опис системи електроприводу живильного насоса котельної установки.

Також було проведено аналіз перехідних процесів у асинхронному електроприводі живильного насоса та визначені показники якості керування.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до обраного закону керування було реалізовано зміну режимів роботи живильного насосу котельної установки та отримано графіки перехідних процесів при регулюванні продуктивності насосної установки та зміні тиску у тепломережі.

Для підвищення якості перехідних процесів були розраховані передатні функції регуляторів для системи керування.

Можна зазначити що замкнена система керування з регуляторами магнітного потоку кутової швидкості та струму забезпечує належну якість перехідних процесів у динамічних режимах роботи живильного насосу котельної установки.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-03	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		