

ЛАРІН
Дмитро
Петрович

Модернізація електромеханічного
обладнання головної насосної
установки в умовах ДП «Криворізька
теплоцентраль

проф.
Титюк
В.К.

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Розділ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

1.1 Основні відомості про технологічний механізм, загальний вид, кінематика і режими роботи

У структуру Криворізької теплоцентралі входять шість котелень з яких перша, друга і четверта котельні забезпечують Жовтневий район, [1].

Основними елементами робочого процесу, що відбувається в котельній установці є:

1. процес горіння палива,
2. процес теплообміну між паливом та водою,

В якості основного палива для котлів ПТВМ-100 використовується природний газ, який подається під тиском $0,45 \text{ кгс/см}^2$ з ГРП-1 та ГРП-2, що розташовані поруч з котельнею.

В якості резервного палива, для котлів використовують мазут, що подається з мазутонасосної станції.

Кожен водонагрівальний котел ПТВМ-100 обладнаний трьома ротаційними горілками РГМГ-30.

Котел КПТВМ-100 прямоточний, розрахований для нагріву води до $+150^\circ\text{C}$ з температурним перепадом до $+40^\circ\text{C}$ для максимального варіанту при 2-х ходовій схемі та $+80^\circ\text{C}$ для основного варіанта при 4-х ходовій схемі.

Допоміжне обладнання:

		- шість димососів ДН22 – 0,62ГМ; Q= 300 000 м³/год, Н= 400 мм. вод. ст.				
			КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ			
Вим.	Лист	- шість вентиляторів ВДН – 18, Q= 140 000 м³/год, Н= 400 мм. вод. ст.				
Розробив	Ларін Д.П.		Спеціальна частина	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Титюк В.К.					
Рецензент				ЕЕМ-21-2		
Н. контр.	Титюк В.К.					
Затвердив	Пересунько І.І.					

- шість мережних насосів Д-1250-125, $Q = 1250 \text{ м}^3/\text{год}$, $H = 140 \text{ м вод. ст.}$
Компоновка котельної виконана з закритою установкою тягодутєвих машин.

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

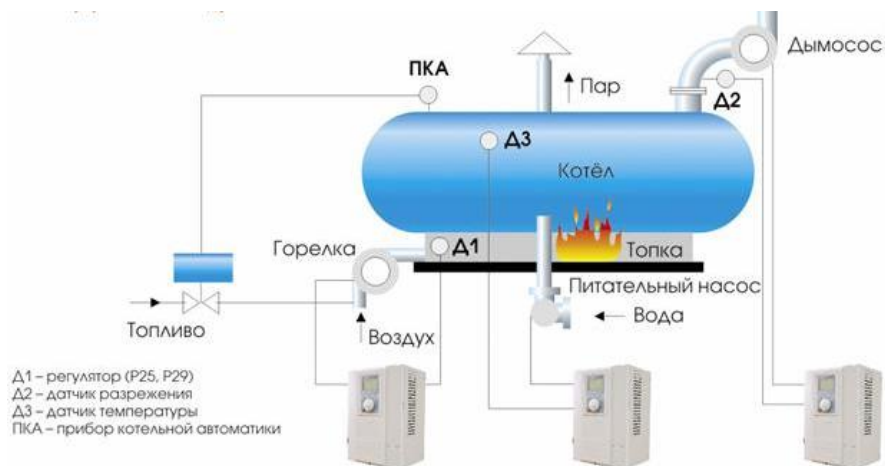


Рисунок 1.1 - Технологічна схема котельні №1

На котельню приходить 3 водоводи. По ним проходить робоча вода (сира, Дніпровська), яка надходить на котельню. Утворюється колектор всмоктування. З нього йдуть всмоктування насоса через Дніпровські насоси вони 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-катионових фільтрів першої та другої ступені. Перша ступінь використовується для підживлення і відновлення втрат в теплових мережах. 2-я ступінь використовується для приготування основної маси живильної води в деаераторах, дистилляту випарників. І так само при пуску парових котлів з холодного стану також є котлової водою. ХВО. Через групи і каскади теплообмінних апаратів водяних і пароводяних)

	відбувається приготування хімічної води різних жорсткостей для різних пот-	КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ					
Вим.	роб.	Деаератори живильної води і бойлера в подальшому хімічна вода 2-й					
Розробив	Ларін Д.П.		Спеціальна частина			Літ.	Арк.
Перевірив	Титюк В.К.						Аркушів
Рецензент							
Н. контр.	Титюк В.К.					ЕЕМ-21-2	
Затвердив	Пересунько І.І.						

ступені проходить ряд змін. Після подачі води 2-й ступені в деаератори живильної води пройшовши термічну обробку перетворюється в живильне воду яка є робочою водою для живлення парових котлів. Так само хімічна вода 2-й ступені є робочою 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-я ступінь хімічно очищеної води є і котловою водою. Після розтоплення парових котлів і виробництва пари за допомогою парових колекторів які у свою чергу при необхідності через РОУ (редуційноохолоджувальна установка) підводяться до теплообмінних апаратів тим самим замикаючи контур рециркуляції, (а саме при досягненні параметрів температурного і водно-хімічного режиму) конденсату. Основна маса пари надходить при різних теплофікаційних режимах. При роботі на ТГ вся робота пари відбувається на лопатках турбіни. Так як турбіна працює в режимі протитиску вся відпрацьована пара подається в колектор протитиску і є робочою парою для основних бойлерів які у свою чергу гріють мережеву воду, що є робочою водою для споживачів, інша ж частина пари використовується в теплообмінних апаратах, а саме в пароводяних – це деаератори води живлення, деаератори води підживлення, випарники, банні бойлери і ряд інших теплообмінних апаратів. Основна частина пари у пароводяних теплообмінних апаратах, виконуючи свою роботу, перетворюється в конденсат і по трубопроводах за допомогою перекачувальних насосів подається назад в цикл, тим самим замикаючи паровий цикл. Після того як паровий котел розпалено, і при досягненні заданого температурного режиму він підключається на постійне живлення водою. Так само загальні парові колектори, які утворюють загальний паровий контур.

Для подачі холодної води в парову частина котельні використовується 5

насосів живлення, (ПЕН-1, ПЕН-2, ПЕН-3, ПЕН-4, ПЕН-5) типу ПЕН218-45а. КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ							
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Ларін Д.П.						
Перевірив	Титюк В.К.						
Рецензент							
Н. контр.	Титюк В.К.						
Затвердив	Пересулько І.І.						
Спеціальна частина					Літ.	Арк.	Аркушів
					ЕЕМ-21-2		

Загальний вигляд насосу ПЕН-2 показаний на рис. 1.2; 1.3, [2]; напірна характеристика наведена на рис. 1.4

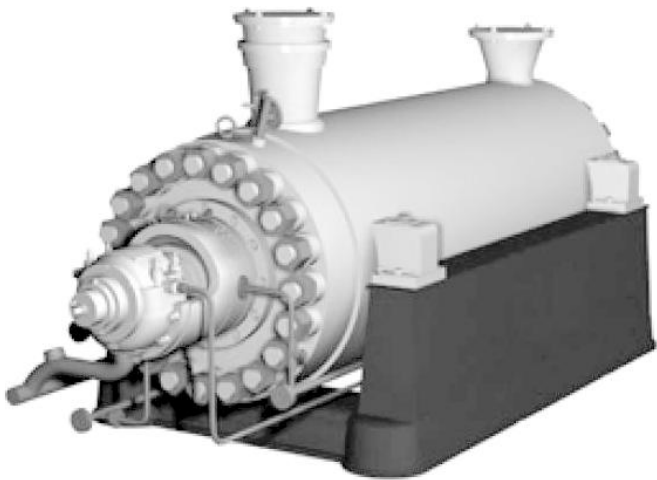


Рисунок 1.2 - Загальний вигляд насоса типу ПЭ218-45а

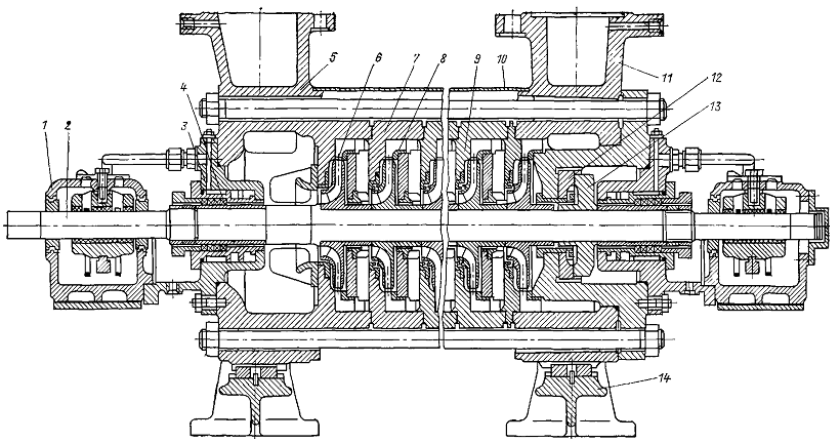


Рисунок 1.3 - Конструкція насоса типу ПЭ218-45а

					КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Спеціальна частина	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Ларін Д.П.							
Перевірив	Титюк В.К.							
Рецензент								
Н. контр.	Титюк В.К.							
Затвердив	Пересунько І.І.					ЕЕМ-21-2		

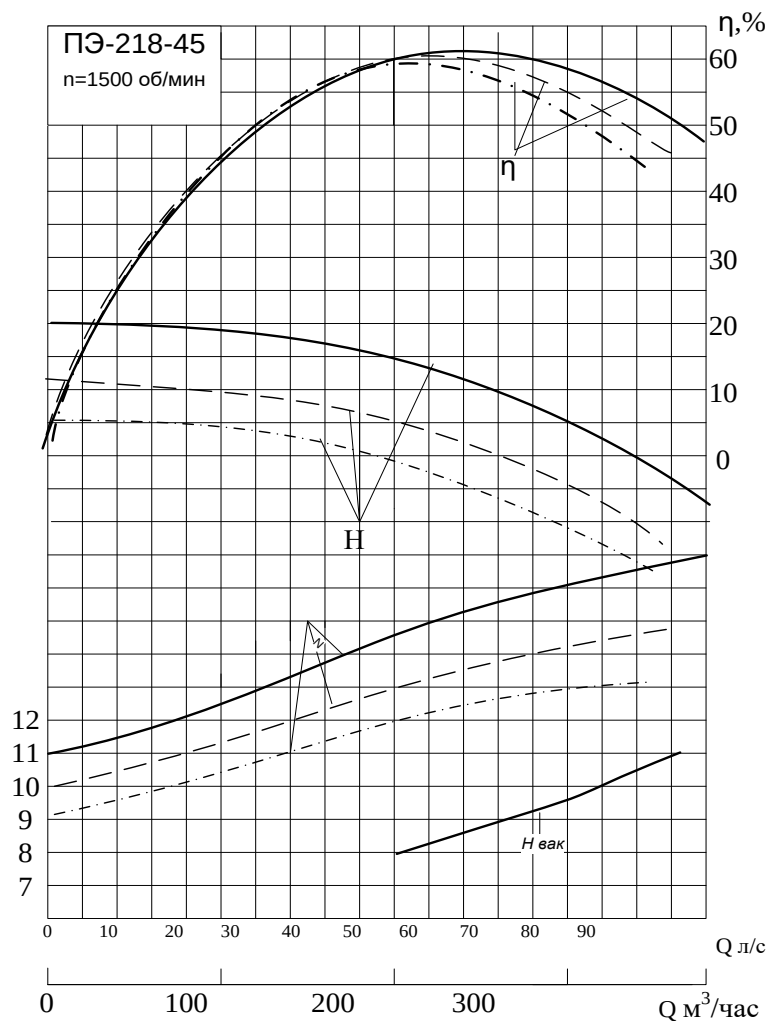


Рисунок 1.4 - Напірна характеристика насоса типу ПЭ218-45

Поміж базовими деталями, вхідної 5 та напірної 11 кришками розташовані чугунні секції 7, в яких встановлені направляючі апарати 5 й ущільнення колес 9. Кришки та секції стягуються поміж собою довгими болтами, утворюючи корпус насосу. Кришки та секції центруються між собою на заточках. Герметичність стиків забезпечується за рахунок металічного контакту від зусилля затяжки болтів. Корпус кріпиться до опорних стійок 14, котрі встановлюється на фундаментній плиті агрегату. До кришки всмоктування та корпусу гідропр'яти на заточках кріпляться корпусні деталі кінцевих сальникових ущільнювачів 3, котрі мають кронштейни для установки корпусів підшипників. У

	кожному ущільненню встановлюється чотири кільця сальникової набивки 4. На-			КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ			
	правляючі апарати в секціях фіксуються від перевертальними винтами. У						
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Ларін Д.П.				Спеціальна частина		
Перевірив	Титюк В.К.						
Рецензент							
Н. контр.	Титюк В.К.						
Затвердив	Пересунько І.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					ЕЕМ-21-2		

центральні розточки корпусів секцій запресовані та застопорені витрати ущільнювальні кільця 9. Ротор насоса це окремі збірні елементи, складаються з валу 2, комплекту робочих колес 6 зі сталі 20Х13Л, захисних втулок й розвантажувального диску 13 зі сталі 20Х13.

Опорами ротора служать два підшипники ковзання 1 з кільцевою змазкою. Корпуси підшипників та вкладишів мають горизонтальний пази. Рівень масла у підшипнику контролюється через щуп. Неврівноважена частина осевої сили сприймається двома шарикопідшипниками з боку нагнітання.

Привід насоса здійснюється електродвигуном через еластичну муфту. Вал обертається за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з боку муфти, причому вхідний патрубок знаходиться з правого боку. Вага насоса ПЭ218-45а - 1910 кг

Насос ПЭ218-45а відцентровий, чотиріступінчастий спірального типу з осевим роз'ємом корпусу призначений для живлення стаціонарних парових котлів. Подача насоса від 180 до 300 м³/год при тиску від 292 до 530 м стовпа рідини з температурою до 105°.

1.2 Обґрунтування і вибір системи електроприводу

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

Існуюча система електропривода не передбачає плавного регулювання швидкості асинхронного двигуна, схема включення якого показана на рис. 1.5. Регулювання продуктивності 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

ШВИДКОСТІ ЖИВЛЯЧОГО НАСОСА.					КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Ларін Д.П.			Спеціальна частина	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Титюк В.К.						
Рецензент						ЕЕМ-21-2		
Н. контр.		Титюк В.К.						
Затвердив		Пересулько І.І.						

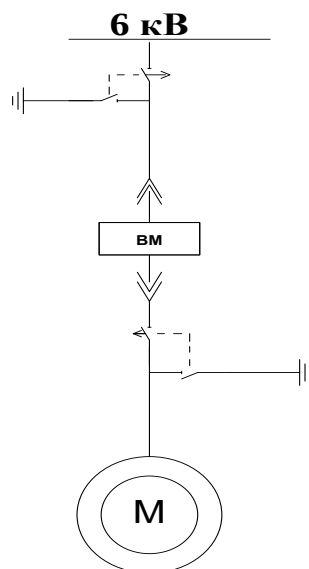


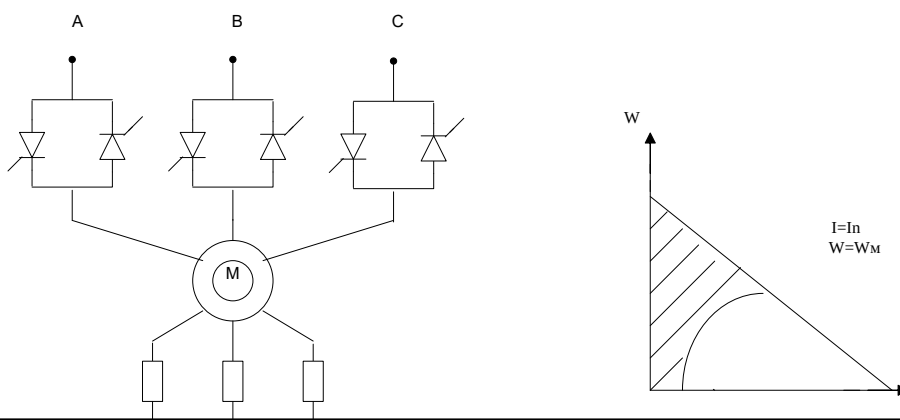
Рисунок 1.5 - Існуюча схема живлення електродвигуна живлячого насоса.

Відомі різні способи керування швидкості асинхронних двигунів[3]:

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

Рисунок 1.6 - Імпульсне керування за допомогою ТК

На рис. 1.6 показана принципова схема електроприводу з імпульсним керуванням. Даний спосіб забезпечує плавність керування, але його недоліком є втрати потужності у резисторі при керуванні.



				КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Рисунок 1.7 - Керування зміною напруги			
Розробив	Ларін Д.П.			Спеціальна частина		Літ.	Арк.
Перевірив	Титюк В.К.						Аркушів
Рецензент						ЕЕМ-21-2	
Н. контр.	Титюк В.К.						
Затвердив	Пересулько І.І.						

Керування зміною напруги рис. 1.7 застосовується здебільшого для установок з повторно-короткочасним режимом роботи.

На рис. 1.8 наведено схему за принципом асинхронно-вентильного каскаду. Який встановлюється в обмотку ротора асинхронного електродвигуна з фазним ротором. Недоліком її є складність в обслуговуванні.

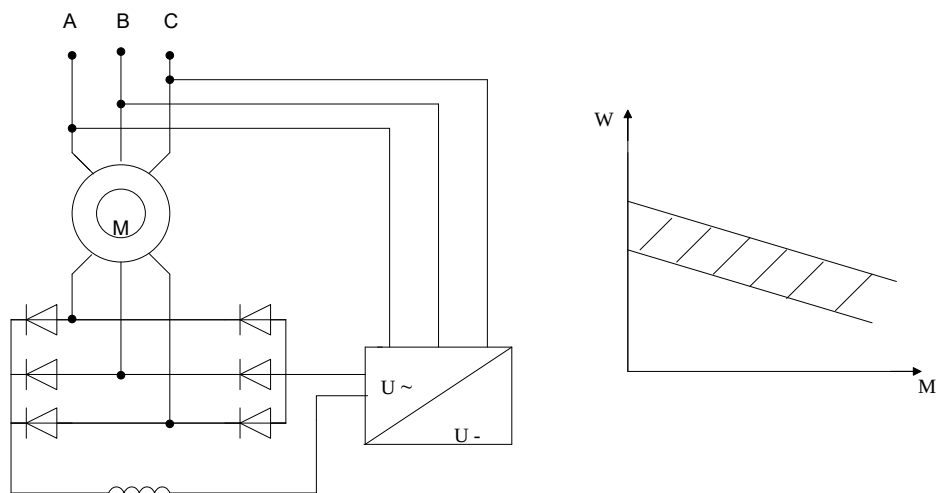


Рисунок 1.8 - Асинхронно-вентильний каскад

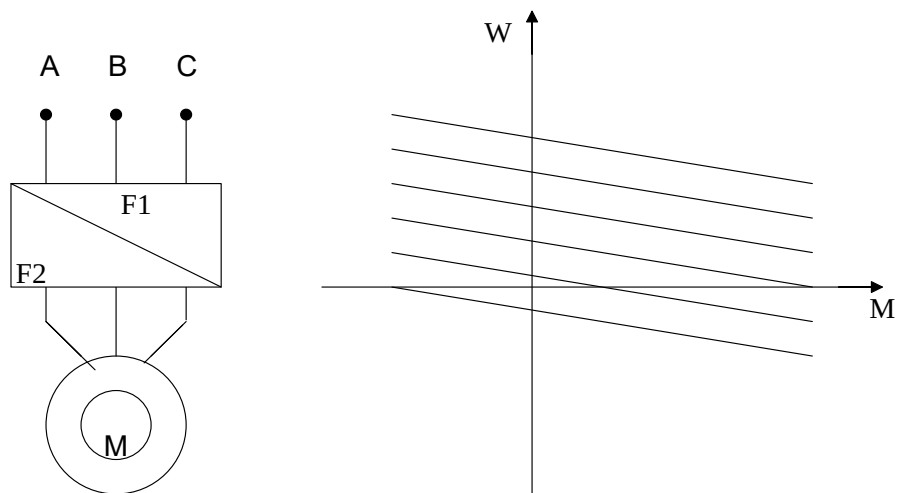


Рисунок 1.9 - Частотне керування

На рис. 1.9 проілюстровано принцип частотного керування. Даний вид керування є найбільш економічним та забезпечу плавність регулювання у заданому діапазоні.

Наступними основними задачами роботи є вибір потужності двигуна, ви-

КНУ.ІВ.141.25.249С.08.04.СР					Значення закону частотного керування			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Ларін Д.П.				Спеціальна частина			
Перевірив	Титюк В.К.							
Рецензент								
Н. контр.	Титюк В.К.							
Затвердив	Пересулько І.І.							
					Літ.	Арк.	Аркушів	
							ЕЕМ-21-2	

динамічних навантажень, визначення параметрів і характеристик механічного руху рухомої частини електропривода. Рішення усіх цих задач спрямовано, у кінцевому рахунку, на формування необхідного закону руху виконавчого органу механізму.

Перетворювач частоти з проміжною ланкою постійного струму складається з керованого випрямляча змінного струму в постійний (перетворювач напруги UV), ланки постійного струму з фільтром L та автономного інвертора (рис. 1.10).

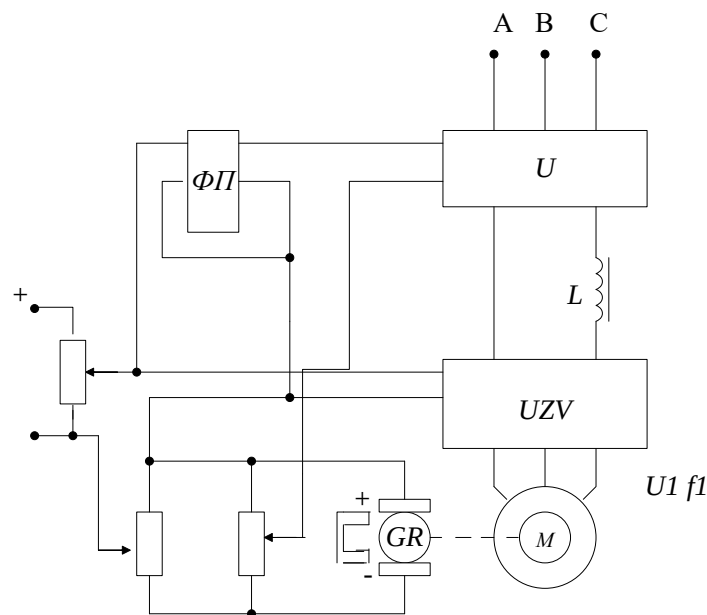


Рисунок 1.10 - Функціональна схема системи ПЧ-АД

Якщо для стабілізації швидкості використовується зв'язок по швидкості, то її використовують також для стабілізації магнітного потоку. Недоліками такої схеми є наявність двох задатчиків. Враховуючи що U_{zn} функціонально залежить від сигналу керування за частотою $U_{уч}$, в системі використовується два контури регулювання: контур регулювання напруги випрямляча, що забезпечує стабілізацію магнітного потоку двигуна, та стабілізуючий контур швидкості двигуна при зміні навантаження.

Таким чином, в даній роботі за основу прийнята система електропривода					КНУР.РБ.141.23.249С.08.04.СЧ		
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Спеціальна частина		
Розробив	Ларін Д.П.						
Перевірив	Титюк В.К.						
Рецензент							
Н. контр.	Титюк В.К.						
Затвердив	Пересунько І.І.				ЕЕМ-21-2		
перетворювач частоти - асинхронний двигун (ПЧ-АД).					Літ.	Арк.	Аркушів

Для насосу, працюючого без статичного напору, механічна характеристика якого описується рівнянням квадратичної параболи, потрібно зберігати співвідношення

$$U/f^2 = \text{const} \quad (1.1)$$

що забезпечує необхідний закон частотного керування.

1.3 Розрахунок потужності і вибір електродвигуна

Виходячи з режиму роботи механізму установки розраховується потужність двигуна електропривода.

Режим роботи механізму – безперервної дії. На підставі вихідних даних з режиму роботи насосу (напір та продуктивність) визначається потужність приводного двигуна:

$$P_{\text{дв}} = k_z \frac{1000QHg}{\eta_m} = 1,1 \frac{1000 \cdot 0,064218 \cdot 422 \cdot 9,81}{0,952} = 278399,1261 \text{ Вт} \quad (1.2)$$

де k_z – коефіцієнт запасу;

Q – продуктивність насосу, $\text{м}^3/\text{с}$;

g – прискорення вільного падіння;

H – напір насосу, м.

Вибираємо двигун А4-400ХК-4МТЗ з такими даними:

Число полюсів : 4 ;

Потужність на валу, кВт : 315 кВт;

Номінальна частота обертання, хв^{-1} : 1500;

Номінальний струм, А: 36,5;

ККД, % : 93,9 ;

$\cos \varphi = 0,885$.

					КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Ларін Д.П.			Спеціальна частина	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Титюк В.К.						
Рецензент						ЕЕМ-21-2		
Н. контр.		Титюк В.К.						
Затвердив		Пересулько І.І.						

електроприводу та призводить до зменшення кількості використаних у інверторі силових напівпровідникових приладів. Зменшення кількості комплектуючих на пряму пов'язано зі збільшенням надійності електроприводу у цілому. Підключення високовольтних перетворювачів частоти здійснюється без використання зовнішніх знижувальних та підвищувальних трансформаторів та додаткових фільтрів. Це робить високовольтні перетворювачі частоти більш компактними й економічними з точки зору втрат енергії.

Точність відтворення синусоїди забезпечується з відхиленням не більше 4%.

Високовольтний частотний перетворювач СТА-B9.HVI відповідає вимогам стандарту IEEE 519-1992, забезпечуючи тим самим високу ступінь захисту стороннього обладнання від гармонічних перешкод, виключаючи необхідність встановлення дорогих фільтрів вищих гармонік.

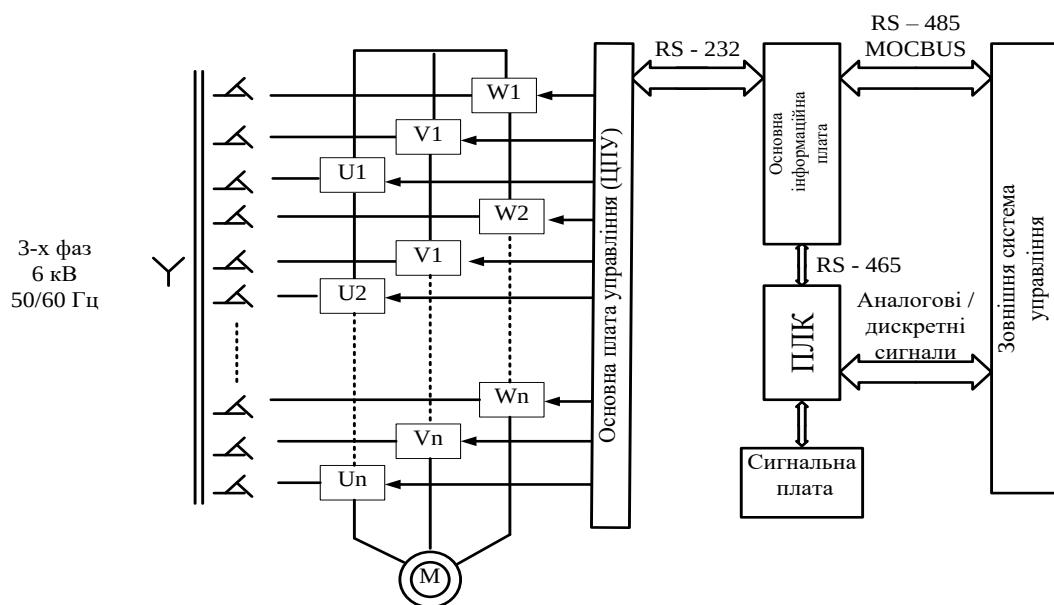


Рисунок 1.12 - Загальна функціональна схема високовольтного частотного перетворювача СТА-B9.HVI

					КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ							
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Ларін Д.П.			Спеціальна частина				Літ.		Арк.	Аркушів
Перевірив		Титюк В.К.										
Рецензент									ЕЕМ-21-2			
Н. контр.		Титюк В.К.										
Затвердив		Пересунько І.І.										

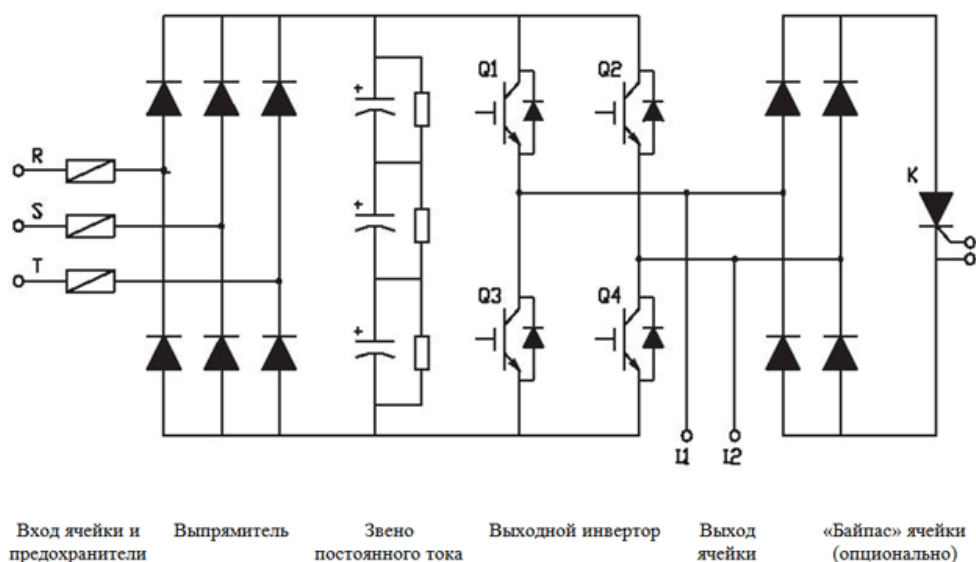


Рисунок 1.13 - Функціональна схема силової частини

Синусоїдальність вихідної напруги, отримана завдяки покращеній топології високовольтного частотного перетворювача СТА-B9.HVI, забезпечує:

- повну сумісність високовольтних частотних перетворювачів

СТА-B9.HVI з усіма асинхронними електродвигунами з коротко замкнутим ротором без втрат потужності;

- малOSHумний режим роботи електродвигуна;
- відсутність додаткових навантажень на ізоляцію електродвигуна;
- практично необмежену довжину з'єднувальних кабелів.

Інші переваги високовольтного частотного перетворювача СТА-B9.HVI:

- * ПД-регулятор;
- * Інтегрований інтерфейс RS-485 ModBus;
- * Високий ККД – вище 96%
- * Низький вміст гармонік в мережі
- * Оптиволоконна лінія зв'язку силової та логічної мереж
- * Контроль аварійних ситуацій у робочій системі

					КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Ларін Д.П.				Спеціальна частина	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Титюк В.К.							
Рецензент								
Н. контр.	Титюк В.К.							
Затвердив	Пересунько І.І.					ЕЕМ-21-2		

Таблиця 1.1. Паспортні данні високовольтного частотного перетворювача СТА-B9.HVI

Вхід ЧП	Частота вхідної напруги	50/60 Гц +/- 3%
	Рівень вхідної напруги	6кВ (-20% / +15%)
	Допустимий час відсутності живлення	100 мс
	Вхідний коефіцієнт потужності	> 0.97 (при нормальному навантаженні)
	ККД	> 96% (при нормальному навантаженні)
	Метод управління	AC-DC-AC&DC ШІМ
Загальні характеристики	Діапазон вихідної частоти	0 - 60 Гц
	Точність вихідної частоти	0.1 Гц
	Перевантажувальна здатність	120% (1 хв), 150% (2 с), 160% (Захист);
	Час розгону/зупинки	6 - 1200 с
	Аналоговий вхід	0 - 5 В, 0 - 20 мА, 4 - 20 мА (2 входи)
	Аналоговий вихід	0 - 10 В, 0 - 20 мА, 4 - 20 мА виходи: напруги, струму, частоти
	Аналоговий сигнал зворотнього зв'язку	0 - 5 В, 4 - 20 мА (2 виходи)
	Зв'язок з ЦПУ	Інтерфейс RS-485
	Логічний вхід/вихід	24 - каналний / 16 - каналний
Захисні функції	Перевантаження за струмом, навантаження, короткого замикання, дисбаланс фаз, тимчасове зникнення струму, втрата вихідної/вхідної фази, перевантаження по напрузі, низький рівень напруги, перегрів, відключення через зовнішню помилку, автоматичний байпас силової комірки	
Навколишнє середовище	Температура навколишнього середовища у робочому режимі	0°C - +40°C
	Температура збереження та транспортування	-40°C - +70°C
	Охолодження	Повітряне
	Вологість	< 90% (без конденсату)
	Висота над рівнем моря	< 1000 м
	Ступінь захисту	IP 30

Також шляхом огляду існуючих систем обґрунтована система електроприводу ПЧ-АД. Виходячи з номінальної напруги, номінального і максимального струму двигуна був вибраний високовольтний силовий частотний перетворювач СТА-B9.HVI.

Також у розділі було представлено:

- загальна функціональна схема високовольтного частотного перетворю-

Вим.	Лист	Вим.	Лист	Вим.	Лист	КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ		
функціональна схема силової комірки:						Спеціальна частина		
Розробив	Ларін Д.П.							
Перевірив	Титюк В.К.							
Рецензент								
Н. контр.	Титюк В.К.							
Затвердив	Пересулько І.І.					ЕЕМ-21-2		

Розділ 2 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЦЕХОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Найменування груп споживачів	Кількість	Номінальна потужність споживача Рном, кВт	Сумарна потужність $\sum P_{ном}$, кВт	Коефіцієнт попиту К п	Коефіцієнт реактивної потужності tg φ	Розрахунок потужності	
						Активна потужність $\sum P_p = P_{ном} \cdot K_c$, кВт	Реактивна потужність $\sum Q = P_p \cdot \tan \varphi$, вар
СН	6	630	3780	0,7	0,62	2646	1640,52
ПЕН-1	1	400	400	0,8	0,7	320	224
ПЕН-2	1	315	315	0,9	0,7	283,5	198,45
ПЕН-3	1	500	500	0,86	0,7	430	301
$\sum$						КНУ.Р36791525.249С2860.47С4	
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Ларін Д.П.				Спеціальна частина Літ. Арк. Аркушів ЕЕМ-21-2		
Перевірив	Титюк В.К.						
Рецензент							
Н. контр.	Титюк В.К.						
Затвердив	Пересунько І.І.						

$$S = \sqrt{\sum P_p^2 + \sum Q_p^2} = \sqrt{3679,5^2 + 2363,97^2} = 4373,5 \text{ кВ} \cdot \text{А} \quad (2.6)$$

З урахуванням потужності інших трансформаторів

T-5 $S_{\text{НОМ}}=3,2 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T-6 $S_{\text{НОМ}}=3,2 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T-8 $S_{\text{НОМ}}=0,56 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T-9 $S_{\text{НОМ}}=0,56 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T-10 $S_{\text{НОМ}}=0,315 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T-11 $S_{\text{НОМ}}=0,315 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T-12 $S_{\text{НОМ}}=0,2 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T- 13 $S_{\text{НОМ}}=0,2 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T-14 $S_{\text{НОМ}}=0,56 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T-15 $S_{\text{НОМ}}=0,56 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T-16 $S_{\text{НОМ}}=0,75 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T-17 $S_{\text{НОМ}}=0,76 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T-18 $S_{\text{НОМ}}=0,4 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T-19 $S_{\text{НОМ}}=0,25 \text{ МВ} \cdot \text{А};$

T-21 $S_{\text{НОМ}}=0,315 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

$$S_{\text{НОМ.Т}} = \sum S_{\text{НОМ}} + S = 12,145 + 4,3735 = 16,5185 \text{ МВ} \cdot \text{А} \quad (2.7)$$

2.2 Вибір трансформатора

На основі виконаних розрахунків приймається два силових трансформатора ТДТН - 63000 150 85У1.

Таблиця 2.2 - Технічні параметри силового трансформатора

Найменування	Потужність МВ·А	U _{ВВ} , кВ	U _{сн} , кВ	U _{нн} , кВ	Втрати, кВт	
					Х.Х	К.З
ТДТН - 63000 150-85 У1	63	154	35	6,3	6,2	25

		Визначаємо	коефіцієнт	навантаження трансформаторів за формулою КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Ларін Д.П.				Спеціальна частина	Літ.	Арк.
Перевірив	Титюк В.К.						Аркушів
Рецензент							
Н. контр.	Титюк В.К.					ЕЕМ-21-2	
Затвердив	Пересулько І.І.						

$$\beta = \frac{S_{\text{роз}}}{2S_{\text{ном}}} = \frac{91,5185}{126} = 0,73 \quad (2.8)$$

Таким чином для живлення споживачів напругою 0,4 кВ приймаємо силових трансформатор ТМ-25/10-У1 з паспортними даними:

$S_{\text{роз}} = 25 \text{ кВА}$

$P_{\text{хх}} = 0,13 \text{ кВт};$

$P_{\text{к.з.}} = 0,6 \text{ кВт};$

$U_{\text{н.вн}} = 6 \text{ кВ}$

$U_{\text{н.нн}} = 0,4 \text{ кВ}$

$I_{\text{к.з.}} = 4,5 \%$

$I_{\text{хх.}} = 3,2 \%;$

2.3 Розрахунок струмів короткого замикання

2.3.1 Розрахунок струмів короткого замикання в лінії 6,0 кВ.

Згідно зі схемою (рис.2.1) виконується розрахунок струмів короткого замикання:

					КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Ларін Д.П.			Спеціальна частина	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Титюк В.К.						
Рецензент						ЕЕМ-21-2		
Н. контр.		Титюк В.К.						
Затвердив		Пересунько І.І.						

		Розрахунок лінії ГРУ 6 кВ L2			КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ					
Вим.	Лист	Х6.13	Х6.14	0,08	I ₂ = 0,08·0,085 = 0,00656 Ом (2.14)					
Розробив	Ларін Д.П.				Спеціальна частина			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Титюк В.К.									
Рецензент										
Н. контр.	Титюк В.К.									
Затвердив	Пересунько І.І.									
					ЕЕМ-21-2					

При паралельному увімкненні ліній

$$X_{2}=(X_{б.л3} \cdot X_{б.л4})/(X_{б.л3}+ X_{б.л4})=(0,00656 \cdot 0,00656)/(0,00656+0,00656)=0,00328 \text{ Ом} \quad (2.15)$$

Розрахунок лінії КРУ 6 кВ L3

$$X_{б.л5} = X_{б.л6} = 0,08 \cdot L3 = 0,08 \cdot 0,085 = 0,00656 \text{ Ом} \quad (2.16)$$

При паралельному увімкненні ліній

$$X_{3}=(X_{б.л5} \cdot X_{б.л6})/(X_{б.л5}+ X_{б.л6})=(0,00656 \cdot 0,00656)/(0,00656+0,00656)=0,00328 \text{ Ом} \quad (2.17)$$

Розрахунок лінії 6 кВ L4

$$X4 = 0,08 \cdot L4 = 0,08 \cdot 0,214 = 0,01712 \text{ Ом} \quad (2.18)$$

7. Значення струмів при короткому замиканні в точці К

в точці K1

$$I_{_k1}=(1,05 \cdot U_{\text{(ном.ср)}})/(\sqrt{(3 \cdot) X_{_K1}})=(1,05 \cdot 6)/(1,73 \cdot 0,308)= 11,8 \text{ кА} \quad (2.19)$$

$$I_{y1} = 2,55 I_{k1} = 2,55 \cdot 11,8 = 30,09 \text{ кА} \quad (2.20)$$

$$I_{y1} = 1,52 I_{k1} = 1,52 \cdot 11,8 = 17,936 \text{ кА} \quad (2.21)$$

8 Потужність короткого замикання в точках K1,

$$S_{k1} = = 122,484 \text{ МВ} \cdot \text{А} \quad (2.22)$$

2.3.2 Розрахунок струмів короткого замикання в лінії 0,4кВ.

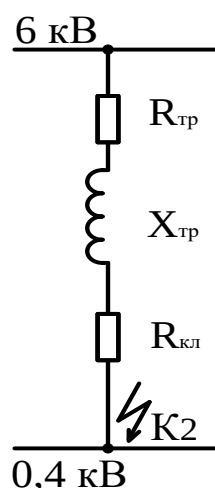


		Рисунок 2.2 - Схема заміщення на стороні 0,4 кВ			КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Значення струмів короткого замикання			
Розробив	Ларін Д.П.				Спеціальна частина		Літ.	Арк.
Перевірив	Титюк В.К.							Аркушів
Рецензент								
Н. контр.	Титюк В.К.						ЕЕМ-21-2	
Затвердив	Пересулько І.І.							

$$I_{K2(1)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot z} \quad (2.23)$$

$$I_{K2(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K2(1)} \quad (2.24)$$

де:

$$z^2 = \sqrt{R^2 + x^2} \quad (2.25)$$

$$R = R_{mp} + R_{кл};$$

$$\begin{aligned} - R_{кл} &= \rho \frac{l}{S} = 0,0175 \cdot \frac{200}{4} = 0,875 \text{ Ом} \\ - R_{тр} &= \frac{\Delta P_{к.з} \cdot U_H^2}{S_H^2} = \frac{3,7 \cdot 10^3 \cdot 400^2}{(250 \cdot 10^3)^2} = 0,09472 \text{ Ом} \\ R &= 0,09472 + 0,875 = 0,96972 \end{aligned}$$

$$x = x_{mp};$$

$$X_{тр} = \frac{1,05 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{роз}} = \frac{1,05 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 36,08} = 0,00673 \text{ Ом}$$

$$z^2 = \sqrt{R^2 + x^2} = \sqrt{0,96972^2 + 0,00673^2} = 0,97 \text{ Ом}$$

$$I_{K2(1)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot z} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,97} = 238,1 \text{ А}$$

$$I_{K2(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K2(1)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 238,1 = 206,2 \text{ А}$$

2.4 Вибір кабельної лінії 6 кВ

Визначаємо номінально розрахунковий струм за формулою.

$$I_{н.роз.} = \frac{P_1 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{дв}} = \frac{315 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 0,885 \cdot 0,939} = 36,48 \text{ А} \quad (2.26)$$

Приймаємо відповідно до допустимого значення струму, **ААСБ 3×25**, $I_{доп} = 105 \text{ А}$

Визначаємо мінімальний переріз кабелю з алюмінієвими жилами на термічну стійкість струму к.з.

		$S_{min} = \frac{I_{\infty}}{C} \sqrt{t_n} = \frac{17936}{90} \sqrt{0,12} = 69,035 \text{ мм}^2$	(2.27)		
			КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ		
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	
Розробив	Ларін Д.П.				Спеціальна частина
Перевірив	Титюк В.К.				
Рецензент					
Н. контр.	Титюк В.К.				
Затвердив	Пересунько І.І.				
					Літ.
					Арк.
					Аркушів
					ЕЕМ-21-2

де $I_{\infty} = 17936$ А встановлений струм к.з. в точці К2, $C = 90$ питома теплове-
мність.

Приймаємо кабель типу ААСБ – 3х70 зі струмом $I_{\text{доп}} = 190$ А

Визначаємо витрати напруги кабельній лінії

$$\Delta U_K = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ном}} \cdot L \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 36,48 \cdot 214 \cdot 0,885}{32 \cdot 25} = 15 \text{ В} \quad (2.28)$$

Визначаємо відносні витрати напруги в кабельній лінії

$$\Delta U = \frac{\Delta U_K}{\Delta U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{15}{6000} \cdot 100\% = 0,25 \quad (2.29)$$

так як $\Delta U_K = 0,25\% < \Delta U_{\text{доп}} = 5\%$ то кабель марки ААСБ – 3х70 підходить до
установки за втратами напруги.

Визначаємо переріз кабеля на економічній щільності струму к.з.

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{роз}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{36,48}{1,2} = 30,4 \text{ мм}^2 \quad (2.30)$$

де S – переріз кабелю мм^2

число часів максимуму навантаження більше 5000 год. Буде дорівнювати для
кабелю з алюмінієвими жилами $j_{\text{ек}} = 1,2$ А/мм²;

Приймаємо переріз кабелю $S = 35 \text{ мм}^2$

Із чотирьох значень розрахунку кабелю приймаю найбільше значення ка-
беля марки ААСБ – 3х70 з током $I_{\text{доп}} = 190$ А

2.5 Вибір масляного вимикача на ступені 6 кВ

Вибір масляного вимикача

$$I_K = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{63000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 6069 \text{ А} \quad (2.31)$$

З довідника приймаємо масляний вимикач на ступені напруги 6кВ.

Приймаємо масляний вимикач типу МГГ-10– 8000/63 УЗ

					КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Ларін Д.П.			Спеціальна частина	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Титюк В.К.						
Рецензент						ЕЕМ-21-2		
Н. контр.		Титюк В.К.						
Затвердив		Пересулько І.І.						

Каталожні дані	Знак умови вибору	Розрахункові дані
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	=	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$
$I_{ном} = 8000 \text{ А}$	>	$I_{ном роз} = 6069 \text{ А}$
$I_{амп} = 80 \text{ кА}$	>	$i_y = 31,008 \text{ кА}$
$I_{эф} = 31,5 \text{ кА}$	>	$I_y = 18,48 \text{ кА}$
$I^2 \cdot t_{\phi} = 31,5^2 \cdot 1,1 = 1091,475 \text{ кА}^2\text{с}$	>	$I_{к2}^2 \cdot t_T = 73,92 \text{ кА}^2\text{с}$

2.6 Вибір вимірювальних трансформаторі

Вимірювальний трансформатор струму вибираю по конструктивному виконанню, номінальному струму, класу точності та по допустимому навантаженню.

Перевіряємо обраний трансформатор на динамічну та термічну стійкість струму к.з.

Визначаємо номінальний розрахунковий струм за формулою

$$I_K = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{63000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 6069 \text{ А} \quad (2.32)$$

Приймаємо вимірювальний трансформатор струму типа ТПОЛ – 10 УЗ.

Технічні параметри прийнятого вимірювального трансформатора струму:

$$I_{НОМ} = 8000 \text{ А};$$

$$I_{2 \text{ ном}} = 5 \text{ А};$$

$$S_{2 \text{ ном}} = 15 \text{ ВА};$$

$$K_{дин} = 45;$$

$$K_{терм} = 15;$$

$$\text{Клас точності} - 0,2.$$

Визначаємо навантаження вторичного кола за формулою:

$$Z_2 = \Sigma \tau_{пр} + \tau_{пров} + \tau_{конт} = 0,245 + 0,15 + 0,1 = 0,495 \text{ Ом} \quad (2.33)$$

$$\text{де } \tau_{пров} = \frac{L}{\gamma \cdot S} = \frac{20}{53,4 \cdot 2,5} = 0,15 \text{ Ом}$$

$$\tau_{конт} = 0,1 \text{ Ом}$$

					КНУ 0245025.249С.08.04.СЧ			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Ларін Д.П.				Спеціальна частина		Літ.	Арк.
Перевірив	Титюк В.К.							Аркушів
Рецензент								
Н. контр.	Титюк В.К.						ЕЕМ-21-2	
Затвердив	Пересунько І.І.							

Вимірювальний трансформатор струму типу **ТПОЛ – 10** буде працювати в необхідному режимі тобто в класі точності – 0,2.

Перевіряю на динамічну стійкість струму к.з. по формулі:

$$I_{\text{дин}} = \sqrt{2} \cdot I_{1\text{ном}} \cdot K_{\text{дин}} = \sqrt{2} \cdot 6069 \cdot 45 = 386,229 \text{ А} \quad (2.34)$$

Так як $I_{\text{дин}} = 50760 \text{ А} > I_{\text{роз}} = 33660 \text{ А}$, то вимірювальний трансформатор струму на динамічну стійкість від дій струмів к.з.

Перевіряємо вимірювальний трансформатор струму на термічну стійкість струму к.з. із умови:

$$I_{\text{тер}} = (K_{\text{тер}} \cdot I_{1\text{ном}})^2 \geq I_{\infty}^2 \cdot t_{\text{ф}} ; \text{ А}$$

$$I_{\text{тер}} = (15 \cdot 6069)^2 = 144000000 > 32^2 \cdot 3 = 3072 \text{ А}$$

Так як умови дотримані то до установки приймаємо вимірювальний трансформатор струму типа ТПОЛ – 10УЗ.

Вимірювальний трансформатор напруги вибирають із умов:

- по номінальній напрузі первинної обмотки;
- вторичного навантаження;
- класу точності;
- конструктивному виконанню;
- схеми з'єднання обмоток

Трансформатор напруги зі сторони ВН захищений плавкими запобіжниками. Так як навантаження трансформаторів входять лічильники то клас точності трансформатора приймаю – 0,2. Вимірювальний трансформатор напруги необхідний для роботи реле та електровимірювальних приладів. Приймаємо два вимірювальних трансформатора напруги однофазні типу НТМИ – 6, які з'єднані за схемою відкритий трикутник з номінальною потужністю $S_{\text{ном}} = 75 \text{ ВА}$; на один трансформатор в класі точності – 0,5; $S_{\text{пред}} = 400 \text{ ВА}$;

$U_{\text{ВН}} = 6000 \text{ В}$; $U_{\text{НН}}$ – обмотки 100 В, а додаткової обмотки – 100 В.

К трансформатору підключені наступні навантаження:

- Лічильник електричної енергії типу САЗУ – 2, $P_{\text{р}} = 1,75$; $\cos \phi_{\text{приб}} = 0,38$,

		тоді						
		$\sin \phi_{\text{приб}} = 0,925$			в кількості 7 штук один із яких у резерві.			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Ларін Д.П.			Спеціальна частина ЕЕМ-21-2			
Перевірив		Титюк В.К.						
Рецензент								
Н. контр.		Титюк В.К.						
Затвердив		Пересулько І.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів	

КНУ РБ 141 25 249С 08.04.СЧ

- Лічильник реактивної енергії СРЗУ – $S_{\text{лічил}} = 2 \times 1,75$; $\cos\varphi = 0,38$, тоді $\sin\varphi=0,925$ в кількості 3 штуки;
- Ватметри типа Э–7620–5 = 9 Вт в кількості одна штука; $\cos\varphi = 1$, тоді $\sin\varphi = 0$;
- Реле напруги типа РН – 51 в кількості 4 штуки, $S_{\text{приб}} = 0,12$.

Визначаємо активні і реактивні навантаження за формулами:

$$\Sigma P_{\text{приб}} = \Sigma S_{\text{приб}} \cdot \cos\varphi_{\text{приб}} = \quad (2.35)$$

$$= (2 \cdot 1,75 \cdot 7 \cdot 0,38) + (2 \cdot 1,75 \cdot 3 \cdot 0,38) + (9 \cdot 1 \cdot 1) + (0,15 \cdot 4 \cdot 1) = 22,9 \text{ Вт}$$

$$\Sigma Q_{\text{приб}} = \Sigma S_{\text{приб}} \cdot \sin\varphi_{\text{приб}} = \quad (2.36)$$

$$= 2 \cdot 1,75 \cdot 7 \cdot 0,925 + (2 \cdot 1,75 \cdot 3 \cdot 0,925) + (9 \cdot 1 \cdot 10) + (0,15 \cdot 4 \cdot 0) = 32,3 \text{ вар}$$

$$S_{\text{роз}} = \sqrt{\Sigma P_{\text{приб}}^2 + \Sigma Q_{\text{приб}}^2} = \sqrt{22,9^2 + 32,3^2} = 39,6 \text{ ВА} \quad (2.37)$$

Так як $S_{\text{роз}} = 39,6 \text{ ВА} < S_{\text{ном}} = 75 \text{ ВА}$, то до установки остаточно приймаємо два вимірювальних трансформатори напруги з запобіжниками типу **ПКТ – 10**, вимірювальний трансформатор напруги типу НТМИ – 6 – 66У3 схема з'єднання обмоток Y0/ Y0

2.7 Розрахунок і вибір кабельних ліній напругою 0,4 кВ

Визначаємо розрахунковий струм

$$I_{\text{роз}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 36,08 \text{ А} \quad (2.38)$$

Базуючись на величині розрахункового струму вибираємо за нагрівом кабель ВВП 3х4 перетином 4мм²

$$I_{\text{доп}} = 41 \text{ А} > I_{\text{роз}} = 36,08 \text{ А} \quad (2.39)$$

Визначаємо переріз кабелю з економічною щільністю, мм²

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{роз}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{36,48}{2} = 18,24 \text{ мм}^2 \quad (2.40)$$

Враховуючи вимоги економічної щільності та термічної стійкості приймаємо кабель ВВП 3х4 перетином 4мм²

Визначаємо втрати напруги у кабелі:

КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ				
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив	Ларін Д.П.			
Перевірив	Титюк В.К.			
Рецензент				
Н. контр.	Титюк В.К.			
Затвердив	Пересулько І.І.			
Спеціальна частина				Літ.
				Арк.
				Аркушів
ЕЕМ-21-2				

$$\Delta U = \frac{\Delta U_k}{\Delta U_{н.п}} \cdot 100\% = \frac{1,73 \cdot 36,08 \cdot 0,5 \cdot 0,004}{0,4} \cdot 100\% = 0,3\% \quad (2.41)$$

Так як $\Delta U_k = 0,3\% < \Delta U_{доп} = 5\%$ то остаточно приймаємо кабель ВВП 3х4

2.8 Вибір електрообладнання на стороні 0,4 кВ

Визначаємо розрахунковий струм

$$I_{роз} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 36,08 \text{ А} \quad (2.42)$$

Струм спрацювання захисту від перенавантаження

$$I_{спр} = 1,25 \cdot I_{роз} = 45,1 \text{ А} \quad (2.43)$$

До встановлення попередньо приймається автоматичний вимикач типу **A3710БР - 50а~380V**

Таблиця 2.3

Каталожні дані	Знак умови вибору	Розрахункові дані
$U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$	=	$U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$
$I_{ном} = 50 \text{ А}$	>	$I_{ном роз} = 36,08 \text{ А}$
$I_{ном} \cdot k_2 = 50 \cdot 1,25 \text{ кА}$	>	$I_{спр} = 45,1 \text{ А}$
$P_{уст} = 28 \text{ кВт}$	>	$P_n = 25 \text{ кВт}$

Вибраний автоматичний вимикач повинен відповідати умові: номінальний струм теплового розчеплювача, захищаючого від перенавантаження, обирається за тривалим розрахунковим струмом лінії $I_t = 50 \text{ А} > I_{тр} = 45,1 \text{ А}$

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Розділ 3 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ГОЛОВНОГО НАСОСА

3.1 Обґрунтування і вибір системи керування електроприводу

Основним призначенням приводу є забезпечення подачі необхідної кількості рідини в усіх режимах роботи насосу. Зазвичай розрізняють три режими: пуск,

вм встановлений рух та гальмування насосу.

Розробив	Ларип Д.І.			Спеціальна частина	Зм.	Зкр.	Згрушів
Перевірив	Титюк В.К.						
Рецензент					ЕЕМ-21-2		
Н. контр.	Титюк В.К.						
Затвердив	Пересулько І.І.						

При пуску привід повинен мати характеристику з поступовим збільшенням пускового моменту. Якщо характеристика приводу не відповідає цим вимогам, то може виникнути загроза гідро поштовху.

Швидкість обертання насоса повинна змінюватись в залежності від необхідності підтримки заданого тиску або втрат рідини.

Найбільш опрацьованими схемами приводів, здатними у встановленому режимі роботи насоса забезпечувати плавний перехід з однієї швидкості обертання на іншу являються наступні схеми:

- Регулює мий електропривод змінного струму з тиристорним частотним перетворювачем та асинхронним коротко замкнутим електродвигуном;
- Електропривод змінного струму з асинхронно-вентильним каскадом та асинхронним двигуном з фазним ротором;
- Регулюємий електропривод постійного струму з тиристорним випрямлячем змінного струму.

					КНУ.РБ.141.25.249С.08.04.СЧ			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Ларін Д.П.			Спеціальна частина	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Титюк В.К.						
Рецензент						ЕЕМ-21-2		
Н. контр.		Титюк В.К.						
Затвердив		Пересунько І.І.						

Для насосів рекомендується 2 принципові схеми регульованого електропривода змінного струму з частотним перетворювачем: схему з підключенням коротко замкнутого асинхронного двигуна до перетворювача, підключеного до живлячої мережі з проміжною ланкою постійного струму. Друга схема забезпечує регулювання частоти у більш широкому діапазоні та більш плавну зміну швидкості руху конвеєрної стрічки.

Основні переваги приводів з частотними перетворювачами:

- можливість використання коротко замкнутих асинхронних двигунів для приводів будь-якої потужності;
- в процесі регулювання швидкості відсутні втрати у реостатах, що підвищує економічність приводу;
- при пуску електродвигун увесь час працює у межах робочої частини характеристики, до того ж кратність пускових струмів знижується до 2-3 замість 5-7;
- з'являється можливість регулює мого пуску з необхідним ступенем плавності;
- забезпечується стабільне та економічне регулювання швидкості у встановленому режимі без втрат на ковзання.

До переваг електропривода за схемою асинхронного-вентильного каскаду можна віднести:

- можливість прямого ввімкнення у мережу електродвигуна;
- гарні регулюючі властивості із значним діапазоном регулювання;
- високий ККД системи завдяки рекуперації енергії ковзання у мережу.

Основним недоліком приводу цього типу є низький, незалежний від глибини регулювання швидкості коефіцієнт потужності.

Можливість управління частотою обертання короткозамкненим асинхронних електродвигунів була доведена відразу ж після їх винаходу. Реалізувати цю можливість вдалося лише з появою силових напівпровідникових приладів - спочатку тиристорів, а пізніше транзисторів. В даний час в усьому світі

широко реалізується спосіб управління асинхронної машиною, яка сьогодні розглядається не тільки з точки зору економії енергії, але і з точки зору вдосконалення керування технологічним процесом.

Актуальність цієї проблеми істотно зростає, коли мова йде про автоматизацію або модернізацію автоматики великих теплоенергетичних об'єктів, котелень, ТЕЦ. Необхідність модернізації котелень диктується зношеністю обладнання, потужність котлового та насосного обладнання найчастіше в кілька разів перевищує потреби споживачів, що тягне за собою наднормативні втрати і невиправдані витрати.

Модернізація автоматики існуючих котелень і проектування автоматизації проводиться із застосуванням мікропроцесорної техніки, яка дозволяє повністю автоматизувати роботу котлів та котелень, звести до мінімуму можливі аварійні ситуації, одержати значну економію палива і електроенергії.

Сучасні перетворювачі частоти представляють собою апаратно-програмні комплекси, що володіють потужними обчислювальними і інтерфейсними можливостями. Широка гамма модулів розширення вводу-виводу і мережевих адаптерів дозволяє будувати на базі перетворювачів частоти досить складні локальні системи автоматичного управління технологічними процесами і легко інтегрувати їх у ієрархічні структури АСУ ТП.

Дія систем частотного регулювання заснована на автоматичному управлінні продуктивністю тягодуттєві машин і насосних агрегатів котельної установки шляхом частотного регулювання швидкості приводних асинхронних електродвигунів цих механізмів в залежності від зміни відповідних технологічних параметрів.

Кожен електропривод містить силовий перетворювач на основі транзисторного автономного інвертора напруги з широтно-імпульсним управлінням, вбудований контролер, пускову і захисну апаратуру, датчики відповідних робочих параметрів котельної установки.

Функціональні можливості перетворювачів частоти включення і плавний пуск електродвигуна управління частотою і напругою на виході, в тому числі автоматичну по годинах реального часу підтримку величини технологічного параметра, автоматичне повторне включення після аварійного відключення, плавне зупинення і відключення електродвигуна, захист електродвигуна в аварійних ситуаціях і позаштатних режимах. Система частотного регулювання передбачає поряд з автоматичним режимом режим ручного керування механізмами, а також дистанційне керування за допомогою спеціального виносного пульта. Реалізовані таким чином системи частотного регулювання виконують основні функції АСУ ТП:

- Одержання інформації про реалізацію у технологічному процесі;
- Оцінку інформації та вибір алгоритму управління;
- Вибір керуючих впливів на виконавчі елементи;
- Реалізацію керуючих впливів у вигляді параметрів електроенергії (частоти та напруги), що подається на обмотки електродвигунів;
- Відображення інформації про параметри і режими роботи;
- Облік кількості споживаної електроенергії і відпрацьованого часу;
- Реєстрація відмов, нештатних та аварійних режимів та зберігання їх в енергонезалежній пам'яті.

Системи частотного регулювання створюються для конкретного технологічного об'єкту управління або його частини. Стосовно об'єктів теплопостачання - це системи частотного регулювання:

- Циркуляції мережної води;
- Підживлення теплової мережі;
- Гарячого водопостачання;
- Подачі повітря в топку котла;
- Видалення продуктів горіння.
- Топкових процесів котлів.

Таким чином, після першого етапу модернізації, системи частотного регулювання управляють на об'єкті теплопостачання всіма механізмами з приводними асинхронними електродвигунами: Котельні

1. Підживлювальних насоси

2. Мережеві насоси

3. Перепаду насоси

1. Підтримка постійної циркуляції через водогрійні котли в системах опалення та гарячого водопостачання.

2. Підтримання постійного тиску в системах опалення та гарячого водопостачання.

3. Регулювання продуктивності насосних агрегатів за рахунок зміни швидкості обертання їх електроприводу.

4. Плавне регулювання швидкості обертання електроприводу від 0 до максимальних обертів.

5. Забезпечення м'якого розгону / гальмування. Можливість встановлення часу розгону / гальмування програмним шляхом.

6. Обмеження (для пристроїв плавного пуску) і повне виключення (для перетворювачів частоти) значень пускових струмів.

7. Економія електроенергії досягає 50-55%.

8. Економія води 30%.

9. Забезпечення основних функцій захисту електроприводу насосних агрегатів (перевантаження по струму; перевантаження по напрузі; тепловий захист електродвигуна; переніс фаз живильної лінії, втрата фази; захист від короткого замикання і т.д.).

10. Суттєве зниження матеріальних витрат на технічне обслуговування та модернізацію обладнання за рахунок значного збільшення його ресурсу.

Найбільш ефективний спосіб регулювання передбачає використання в складі електроприводу електронних перетворювачів частоти. За допомогою перетворювача частоти по сигналу від датчика тиску, встановленого в

напірному трубопроводі, можна автоматично змінювати частоту обертання робочого колеса насоса, оперативно реагуючи зміну витрати рідини і забезпечуючи підтримку заданого тиску з високою точністю. Споживання електроенергії при такому способі регулювання пропорційно кубу продуктивності насоса.

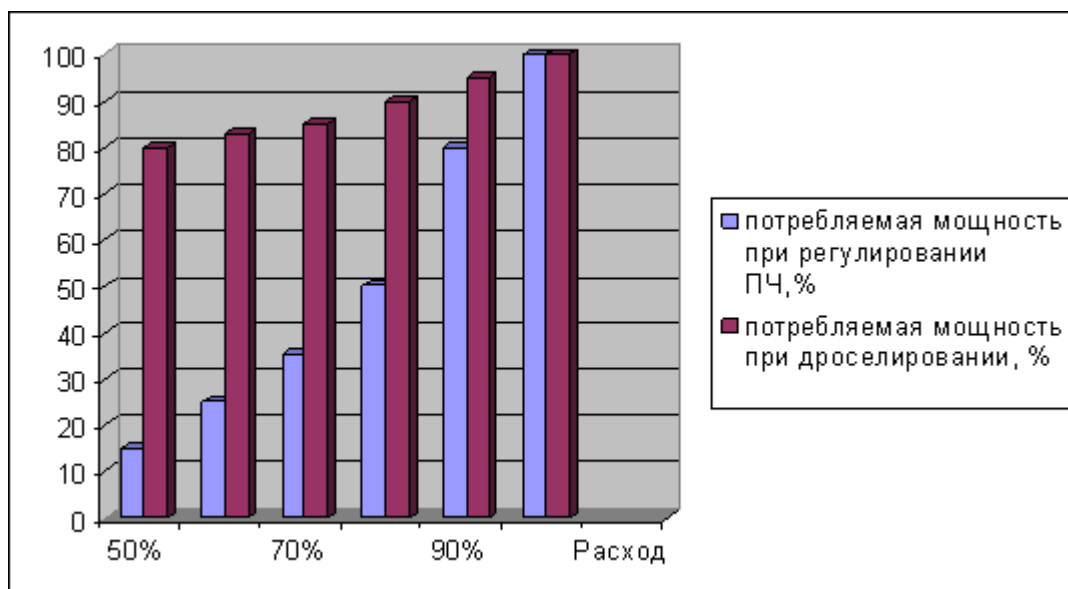


Рисунок 2.1 - Гістограма споживання електроенергії насосними агрегатами

Застосування ПЧ в приводах насосів довело свою ефективність і є на сьогоднішній день класикою. Для регулювання роботи насосів розроблений надійний енергозберігаючий комплекс, що встановлюється в системах холодного і гарячого водообігу котельні або ТЕЦ і конструктивно виконаний у вигляді моноблоку з кількома ПЧ, УПП, системою збору, обміну та передачі інформації. Він призначений для автоматичної підтримки тиску води в падаючому трубопроводі при зміні витрат і вхідного тиску

Для проектує мого насосу приймаємо схему ПЧ-АД, як відповідну сучасним напрямкам використання регулює мого електроприводу з можливістю вирішення питань енергозбереження.

3.2 Визначення параметрів елементів схеми заміщення та системи керування

До незмінної частини структурної схеми відносять: перетворювач, двигун, датчик струму, швидкості, положення, напруги тощо.

Необхідно розрахувати:

k_n, T_n - коефіцієнт підсилення і стала часу перетворювача;

k_2, T_2 - коефіцієнт підсилення і стала часу генератора;

R_e, T_e - опір і електромагнітна стала часу ланцюга двигуна;

L_2, p_n - індуктивність ротора і число пар полюсів двигуна;

$k_{\partial c}, k_{\partial u}, k_{\partial n}$ - коефіцієнт датчиків струму, швидкості і потокозчеплення.

Коефіцієнт підсилення перетворювача визначається:

$$k_n = \frac{U_{mi}}{U_k} = \frac{U_{mном}}{12} = \frac{6000}{12} = 500 \quad (3.1)$$

де $U_{mном}$ - номінальна вихідна напруга перетворювача. Номінальна напруга керування приймається $U_k = 12$ В. Стала часу перетворювача $T_n = 0,01$ с.

Номінальний струм двигуна визначається:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n \eta_n \cos \varphi_n} = \frac{315000}{\sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 0.939 \cdot 0.885} = 36,47 \text{ А} \quad (3.2)$$

де P_n - номінальна потужність двигуна, Вт;

U_n - номінальна лінійна напруга двигуна, В;

η_n - номінальний к.к.д. двигуна;

$\cos \varphi_n$ - номінальний коефіцієнт потужності двигуна.

Номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{30P_n}{\pi n_o (1 - s_n)} = \frac{30 \cdot 315000}{3.14 \cdot 1480 (1 - 0.013)} = 2060,3 \text{ Н·м} \quad (3.3)$$

де n_o - синхронна швидкість двигуна, об/хв.;

s_n - номінальне ковзання двигуна.

$$s_n = \frac{1500 - 1480}{1500} = 0.013 \quad (3.4)$$

Пусковий момент двигуна: $M_n = 2060,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Пусковий коефіцієнт потужності двигуна:

$$\cos \varphi_n = \cos \varphi_n \left[\mu_n \frac{\eta_n}{(1-s_n) i_n} + v i_n (1-\eta_n) \right] = \quad (3.5)$$
$$= 0,885 \cdot (1,1 \cdot \frac{0,939}{(1-0,013) \cdot 5,8} + 5,8 \cdot 0,33 \cdot (1-0,939)) = 0,263$$

де i_n - кратність пускового струму відносно номінального;

v – частка втрат потужності у статорі двигуна у загальних втратах двигуна при номінальному навантаженні; $v = 0.33$;

η_n - номінальний ККД. двигуна.

Повний опір двигуна визначається:

$$Z_{\kappa\kappa} = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_n i_n} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 36,47 \cdot 5,8} = 16,375 \text{ Ом} \quad (3.6)$$

Активний опір ротору двигуна:

$$R_2' = \frac{M_n Z_{\kappa\kappa}^2}{K} = \frac{2060,3 \cdot 16,37^2}{232398} = 2,377 \text{ Ом} \quad (3.7)$$

де K – коефіцієнт, який визначається:

$$K = \frac{30 U_n^2}{\pi n_o} = \frac{30 \cdot 6000^2}{3,14 \cdot 1480} = 2,323 \cdot 10^5 \quad (3.8)$$

Активний опір статору двигуна:

$$R_1 = Z_{\kappa\kappa} \cos \varphi_n - R_2' = 238,167 \cdot 0,263 - 502,868 = 1,93 \text{ Ом} \quad (3.9)$$

Повний індуктивний опір двигуна:

$$X_{\kappa\kappa} = Z_{\kappa\kappa} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n} = 16,375 \cdot \sqrt{1 - 0,263^2} = 15,798 \text{ Ом} \quad (3.10)$$

Активний опір двигуна:

$$R_{\kappa\kappa} = \sqrt{Z_{\kappa\kappa}^2 - X_{\kappa\kappa}^2} = \sqrt{16,375^2 - 15,798^2} = 22,753 \text{ Ом} \quad (3.11)$$

Повний активний опір двигуна і перетворювача:

$$R_e = 2R_{\kappa\kappa} + \frac{m}{2\pi} (X_{\kappa\kappa}) = 2 \cdot 4,28 + \frac{2}{2 \cdot 3,14} \cdot 15,8 = 50,535 \text{ Ом} \quad (3.12)$$

де R_p – активний опір згладжувального реактору

Повна індуктивність двигуна і перетворювача:

$$L_e = \frac{2X_{\kappa 3}}{\omega_c} = \frac{2 \cdot 15,8}{314} = 0,101 \text{ Гн} \quad (3.13)$$

Електромагнітна стала часу електропривода:

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0,101}{13,59} = 1,991 \cdot 10^{-3} \text{ с} \quad (3.14)$$

Стала часу ротора:

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{X_{\kappa 3}}{2\omega_c R_2'} = \frac{15,8}{2 \cdot 314 \cdot 2,377} = 1,73 \text{ с} \quad (3.15)$$

де ω_c – кругова частота живлячої мережі:

$$\omega_c = 2\pi f_c = 314 \text{ с}^{-1} \quad (3.16)$$

Коефіцієнт ротору двигуна:

$$K_2 = \frac{L_m}{L_2} = \frac{0,756}{4,11221} = 0,184 \quad (3.17)$$

де L_m – індуктивність контуру намагнічування;

$$L_m = \frac{x_m}{\omega_c} = \frac{237,27}{314} = 0,756 \text{ Гн} \quad (3.18)$$

Індуктивний опір ланцюгу намагнічування:

$$x_m = \frac{U_n}{\sqrt{3}I_{xx}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 14,6} = 237,267 \text{ Ом} \quad (3.19)$$

де I_{xx} - струм намагнічування двигуна, який дорівнює приблизно 40 – 50 % номінального струму статора.

Число пар полюсів двигуна визначається:

$$p_i = \frac{60f}{n_o} = \frac{60 \cdot 50}{1480} = 2 \quad (3.20)$$

де f – частота живлячої мережі; $f = 50$ Гц.

Коефіцієнт моменту двигуна визначається:

$$k\Phi = \frac{3}{2} p_n K_2 \psi_{2n} = 3 \cdot 0,184 \cdot 38,28 = 21,102 \quad (3.21)$$

Електромеханічна стала часу електропривода визначається:

$$T_m = \frac{J_\Sigma R_e}{(k\Phi)^2} = \frac{0,23 \cdot 50,535}{(21,102)^2} = 0,026 \text{ с} \quad (3.22)$$

Коефіцієнт датчика струму визначається:

$$k_{oc} = \frac{U_\kappa}{I_{\max}} = \frac{12}{I_{\max}} = \frac{12}{73} = 0,164 \quad (3.23)$$

де $I_{\max}$ – максимальний струм статора двигуна; $I_{\max} = k_{\max} I_{\text{двном}}$;

$k_{\max}$ - коефіцієнт допустимого перевантаження за струмом ($k_{\max}=2$).

Коефіцієнт датчика швидкості визначається:

$$k_{\omega} = \frac{U_\kappa}{\omega_{\max}} = \frac{12}{\omega_{\max}} = \frac{12}{154,9} = 0,077 \quad (3.24)$$

де $\omega_{\max}$ – максимальна швидкість двигуна.

Коефіцієнт датчика потокозчеплення визначається:

$$k_{\psi} = \frac{U_\kappa}{\psi_{2n}} = \frac{12}{\psi_{2n}} = \frac{12}{38,28} = 0,313 \quad (3.25)$$

де ψ_{2n} – номінальне потокозчеплення двигуна;

$$\psi_{2n} = \frac{U_n - I_n R_1}{\omega_o} = \frac{6000 - 36,5 \cdot 4,2908}{154,9} = 38,28 \quad (3.26)$$

де ω_o – синхронна швидкість двигуна, c^{-1} .

3.3 Розрахунок статичних характеристик електропривода перетворювач частоти – асинхронний двигун.

Швидкісна характеристика електропривода за системою ПЧ-АД визначається

$$I_2' = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_{\kappa\zeta} \cdot f^*)^2 \right]}} \quad (3.27)$$

де s – ковзання двигуна при фактичній швидкості ω , яке розраховується:

$$s = \frac{\omega_o \cdot f^* - \omega}{\omega_o \cdot f^*} \quad (3.28)$$

де f^* - частота струму живлення АД у відносних одиницях, яка розраховується:

$$f^* = \frac{f_1}{f_c} \quad (3.29)$$

Після підстановки наведених виразів у вираз струму маємо рівняння швидкісної характеристики:

$$I_2' = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left[\left(R_1 + \frac{R_2' \cdot \omega_0 \cdot f^*}{\omega_0 \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (X_{\kappa 3} \cdot f^*)^2 \right]}} \quad (3.30)$$

За наведеним виразом будуються швидкісні характеристики для декілька значень частоти живлення АД, наприклад, $f_1 = 20, 30, 40, 50$ Гц.

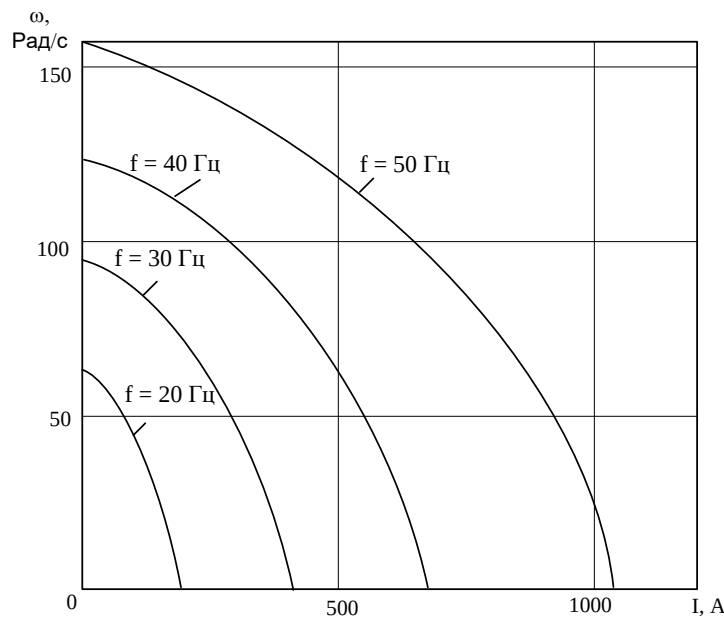


Рисунок 3.2 Швидкісні характеристики ПЧ-АД

Вираз для механічної характеристики АД має вигляд:

$$M = \frac{3 \cdot (U_{\phi.ном} \cdot \sqrt{f^*})^2 \cdot \frac{R_2' \cdot \omega_0 \cdot f^*}{\omega_0 \cdot f^* - \omega}}{\omega_0 \cdot f^* \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2' \cdot \omega_0 \cdot f^*}{\omega_0 \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (X_{\kappa 3} \cdot f^*)^2 \right]} \quad (3.31)$$

Аналогічно швидкісним характеристикам будуються механічні характеристики для декілька значень частоти живлення АД, наприклад, $f_1 = 20, 30, 40, 50$ Гц.

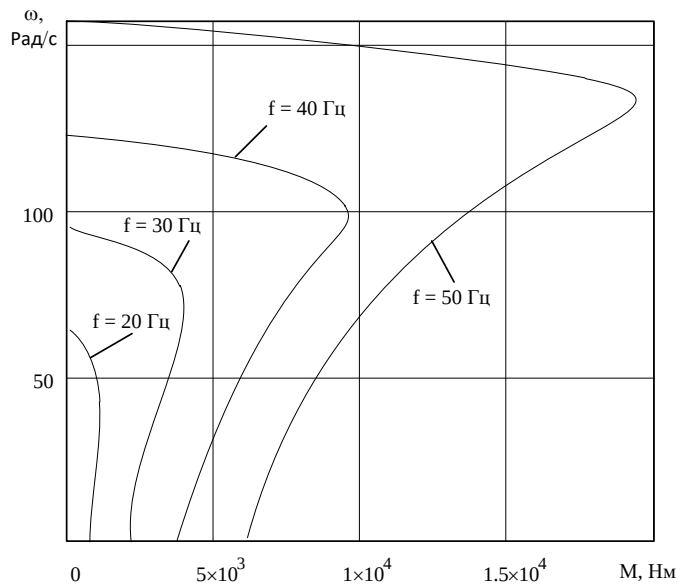


Рисунок 2.3 Механічні характеристики ПЧ-АД

Статизм з швидкісної характеристики визначається при номінальному навантаженні:

$$\delta_{ш} = \frac{\omega_o - \omega}{\omega_o} 100, \% \quad (3.32)$$

Статизм визначається для номінальної частоти живлення двигуна і для мінімального її значення виходячи із необхідного діапазону регулювання.

3.4 Розрахунок енергетичних характеристик електропривода ПЧ-АД

Коефіцієнт корисної дії електропривода розраховується за виразом:

$$\eta = \frac{M\omega}{M\omega + \Delta P_{\Sigma}} 100, \% \quad (3.33)$$

де ΔP_{Σ} - загальні втрати потужності у системі електропривода, які визначаються:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{змін}} \quad (3.34)$$

Постійні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{\text{пост}} = \Delta P_{\text{мех.н}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 = k_{\text{мех.}} \cdot P_n \cdot \frac{1 - s(f)}{1 - s_n} =$$

$$= k_{\text{мех.}} P_n \frac{1 - \frac{\omega_0 \cdot f^* - \omega}{\omega_0 \cdot f^*}}{1 - s_n}$$

де $k_{\text{мех}}$ – коефіцієнт механічних втрат; $k_{\text{мех}} = 0,015$.

Змінні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{\text{пер}} = M_n \cdot \frac{\omega_0 f^* - \omega}{\omega_0 f^*} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) + 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1$$

У результаті розрахунку повинна бути побудована характеристика $\eta = f(\omega)$

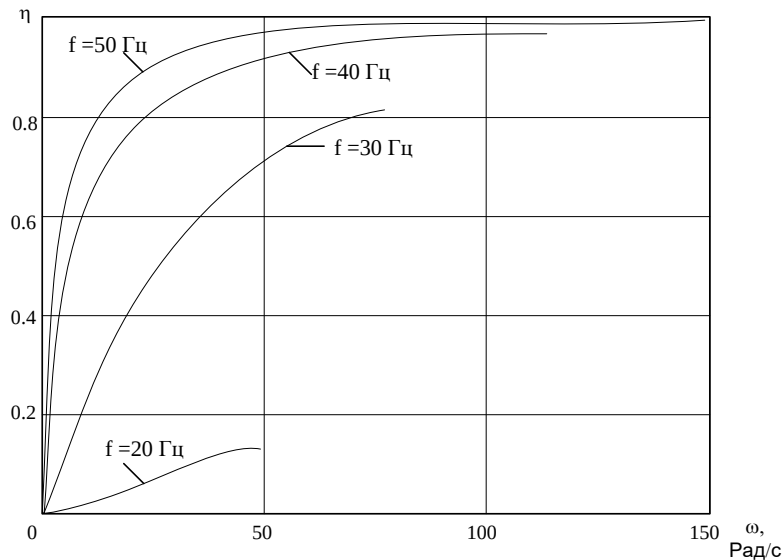


Рисунок 2.4 - Графік залежності коефіцієнта корисної дії від швидкості

3.5 Енергозбереження в насосних установках

Однією з основних причин неекономічної роботи насосних установок є невідповідність робочих параметрів насоса (продуктивність, подача) режиму роботи системи. В деяких умов можуть виникнути не тільки неекономічні, але навіть небезпечні для насосів і системи трубопроводів режими роботи.

Як правило, насос повинен використовуватися в тих умовах роботи, на які він розрахований, тобто повинен перекачувати ті рідини, для яких він призначений. В іншому випадку насоси працюють в неекономічному режимі і передчасно виходять з ладу. Наприклад, використання водяних насосів, розрахованих на подачу чистої води, для перекачування абразивної рідини веде до передчасного зносу проточної частини насоса, погіршення ККД, збільшення витрати енергії, ускладнення та подорожчання обслуговування агрегату. Тим не менш, через те, що номенклатура насосів, що виготовляються промисловістю, обмежена, доводиться застосовувати насоси не за прямим призначенням.

Одним з важливих вимог є використання насосів у режимах, які відповідають їх номінальним параметрам. Відхилення робочих параметрів насоса від номінальних тягне за собою зниження ККД і, як наслідок, перевитрату електроенергії. Сказане не означає, що насоси можуть працювати тільки в одній жорстко фіксованій робочій точці. Допускається деяке відхилення робочих параметрів від значень, вказаних в каталогах, але при цьому вони не повинні виходити за межі робочої зони насоса.

Використання насосів за межами робочої зони в значній мірі погіршує їх ККД і в ряді випадків пов'язано з переходом насосів в неприпустимий режим роботи. При зменшенні подачі може виникнути помпаж, а при збільшенні - кавітація. При виборі насоса необхідно враховувати можливі зміни в гідравлічній схемі насосної установки, оскільки від цього можуть змінюватися умови роботи насосних агрегатів.

На вибір насосів впливають також коливання рівня або тиску на вході в насоси. Особливу увагу треба звернути на забезпечення роботи насосів без кавітації. Для цього необхідно, щоб тиск на вході в насос був більше критичного, в якості якого приймається тиск насичених парів рідини, що перекачується.

При виборі насосів повинні враховуватися також властивості перекачується рідини, перш за все, її в'язкість. В'язкість може змінюватися як при зміні

температури навколишнього середовища, так і під впливом енергії, що повідомляється рідини насосом.

При виборі насосів повинні враховуватися також властивості перекачуваних рідин, перш за все, їх в'язкість. В'язкість може змінюватися як при зміні температури навколишнього середовища, так і під впливом енергії, що передається рідині насосом.

Відцентрові насоси, що відносяться до класу динамічних насосів, призначені для перекачування малов'язких рідин. В деяких випадках вони використовуються для перекачування рідин, в'язких при нормальних температурах і малов'язких при підвищених.

При виборі типу насосного агрегату необхідно також враховувати умови його обслуговування, в тому числі тип приміщення (закриті або відкриті), періодичність роботи насоса, вид привода, спосіб регулювання, кваліфікацію персоналу, число і тип наявних на об'єкті насосів, технічні характеристики вантажопідйомних механізмів, наявність ремонтної бази та ін.

У будь-якому випадку вибір насосних агрегатів, крім технічних розрахунків, повинен супроводжуватися економічними розрахунками, які забезпечують мінімізацію наведених витрат.

Якщо зміна режиму водоспоживання відбувається досить часто, доводиться оперативно регулювати режими роботи насосних установок.

Регулювання режимів роботи насосних установок може здійснюватися зміною кількості працюючих агрегатів, зміною гідравлічної схеми насосної установки, дроселюванням напірних ліній, зміною частоти обертання робочих коліс всіх або окремих насосів, скиданням частини води з напірних комунікацій під всмоктувальні. Часто регулювання режимів роботи насосних установок здійснюється поєднанням згаданих вище способів регулювання.

Для забезпечення економічного використання насосних агрегатів рекомендується більшу частину часу тримати в роботі ті, які мають більш високий ККД. Збільшення часу використання насоса з високим ККД і низькими

питомими витратами електроенергії ($28-43,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ на 1000 м^3 води) з 4500 до 2700 год на рік дозволило скоротити річне енергоспоживання насосної установки на $264\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ без всяких додаткових витрат, тільки за рахунок організації більш економічного режиму роботи насосної установки.

При роботі насосних агрегатів з постійною частотою обертання для цього необхідно дроселювати в певній мірі той чи інший з працюючих насосів. Якщо насосний агрегат обладнаний регульованим приводом, щоб забезпечити найбільш вигідний розподіл навантажень між працюючими паралельно насосними агрегатами, необхідно відповідним чином змінювати частоту їх обертання.

З цієї причини системи автоматизації, що передбачають використання регульованого електроприводу, здійснюють індивідуальний вплив на електропривод кожного регульованого агрегату для того, щоб забезпечити відносно рівномірне завантаження паралельно працюючих різнотипних насосних агрегатів і утримання їх в зоні оптимальних ККД.

Робота насоса з частотою обертання, забезпечує переміщення робочої точки насоса по характеристиці трубопроводу, а не насоса, тобто в цьому випадку надлишкові напори відсутні. Отже, при регулюванні насоса шляхом зміни частоти обертання забезпечується мінімально можливе енергоспоживання насоса.

Також одним з методів енергозбереження є контроль та усунення зносу обладнання.

В процесі експлуатації через знос матеріалу збільшуються зазори між ущільнюючим кільцем і робочим колесом насоса, в результаті збільшується перетікання рідини з напірної частини насоса у всмоктувальну частину. Через це знижується ККД насоса і, як наслідок, збільшується споживання електроенергії на перекачку рідини, тому необхідно своєчасно виявити збільшення зазорів між робочим колесом і кільцем ущільнювача. Перевірка зазорів здійснюється в ході поточних, проміжних і капітальних ремонтів. Розмір зазору

залежить від діаметра робочого колеса насоса, його типу і приводиться в су-
провідній технічній документації насосного агрегату. Зазори вимірюють в то-
чках, розташованих в діаметрально протилежних напрямках, при чотирьох по-
ложеннях робочого колеса, повертаючи в одному напрямку на кут 90° . Неси-
метричність вимірних зазорів не повинна перевищувати 20% середнього зна-
чення розміру зазору.

Для забезпечення нормальної та економічної роботи насосів і повітроду-
вних машин важливе дотримання оптимальних розмірів зазорів в підшипни-
ках. Занадто малі зазори ведуть до збільшення втрат на тертя, і отже, нераціо-
нально збільшують витрати електроенергії, а великі викликають биття і перед-
часний знос устаткування.

Для економічної роботи насосного агрегату слід забезпечувати передба-
чене для даної конструкції мастило. Підшипники кочення і бабітові підшип-
ники змащуються моторними маслами відповідної в'язкості та інших фізико-
хімічних властивостей. Гумові та лігнофолеві підшипники змащуються чис-
тою водою (мутність не більше 50 мг/л). Витрата води на змазку одного під-
шипника залежить від діаметра робочого колеса насоса.

Також необхідно не забувати про втрати у трубопроводі які виникають
через незадовільний технічний стан. Ефективним засобом економії електрое-
нергії є підтримка в належному стані системи трубопроводів та трубопровід-
ної арматури. За даними 50% всієї річної потреби води в Україні подається по
трубах з корозійними відкладеннями. Ці відкладення зменшували реальний
перетин труб до 20% і збільшували гідравлічний опір труб в 3 рази в порів-
нянні з розрахунковим. Для труб діаметром 200 мм і вище застосовується гід-
ромеханічний спосіб очищення за допомогою спеціального пристрою.

Для запобігання обростання труб у світовій і вітчизняній практиці засто-
совуються цементно-піщані, поліетиленові, епоксидні та інші покриття. Зазви-
чай при прокладці нових трубопроводів на внутрішню поверхню труб захисне
покриття наноситься в заводських умовах, а в діючих трубопроводах - після їх

очищення в польових умовах. Цементні покриття з різними домішками, в тому числі полімерними, товщиною 1-3 см перешкоджають корозії матеріалу труб. Незважаючи на деяке зменшення внутрішнього діаметру труб покриття підвищують пропускну здатність труб, знижують витрати енергії на подачу рідини. Отримав також поширення метод протяжки в середину трубопроводу поліетиленових труб. Простір між поліетиленовими трубами і внутрішньою поверхнею трубопроводу тампонується цементним розчином низьких марок. Відновлення таким способом проіржавілих металевих і пошкоджених азбестоцементних та залізобетонних труб обходиться на 70 - 40% дешевше вартості їх перекладки.

Розділ 4. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСА

4.1 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення АД

Для розрахунків електро механічних характеристик АД потрібно за паспортними даними двигуна знайти параметри Т-подібної схеми заміщення АД, рис.4.1.

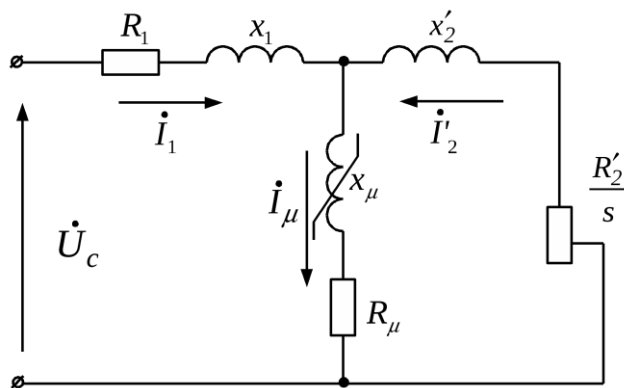


Рисунок 4.1 - Т - подібна схема заміщення АД.

Номінальна кутова швидкість:

$$\omega_{\text{ном}} = n_{\text{ном}} \cdot \frac{\pi}{30} = 1480 \cdot \frac{3,14}{30} = 150,8 \text{ c}^{-1} \quad (4.1)$$

Кутову швидкість холостого ходу:

$$\omega_0 = n_0 \cdot \frac{\pi}{30} = 1500 \cdot \frac{3,14}{30} = 157,08 \text{ с}^{-1} \quad (4.2)$$

Номінальне ковзання

$$S_n = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{НОМ}}}{\omega_0} = \frac{1500 - 1480}{1500} = 0,013 \quad (4.3)$$

Номінальний момент двигуна

$$M_{\text{НОМ}} = 1000 \cdot \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = 1000 \cdot \frac{315}{150,8} = 2060,3 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.4)$$

Критичне ковзання для рухового режиму:

$$S_k = S_n (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) = 0,153 \quad (4.5)$$

По кратності пускового струму знаходимо повний опір двигуна при нерухомому роторі ($S=1$)

$$Z_{k3} = \frac{U_{1\text{НОМ}}}{\sqrt{3} k_i I_{1\text{Н}}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 5,8 \cdot 36,47} = 16,375 \text{ Ом} \quad (4.6)$$

Приймаємо для двигуна значення коефіцієнта насичення магнітного кола $C_1 = 1,04$ і механічні втрати, дорівнюють 1% від $P_{\text{НОМ}}$, тобто:

$$\Delta P_{\text{мех}} = 0,01 \cdot P_{\text{Н}} = 0,01 \cdot 315 = 3,15 \text{ кВт} \quad (4.7)$$

По кратності пускового моменту $\lambda_{\text{п}}$ визначаємо активний опір ротора при $s = 1$:

$$R'_2 = \frac{(P_{\text{Н}} + \Delta P_{\text{мех}}) \cdot \lambda_{\text{п}}}{3 \cdot (1 - S_{\text{Н}}) \cdot k_i^2 \cdot I_{1\text{Н}}^2} = \frac{(315 + 3,15) \cdot 0,8}{3 \cdot (1 - 0,013) \cdot 5,8^2 \cdot 36,5^2} = 0,00192 \text{ Ом} \quad (4.8)$$

Активний опір статора можна визначити за виразом:

$$R_1 = Z_{k3} \cdot \cos \varphi_n - R'_2 = 238,167 \cdot 0,263 - 502,868 = 1,93 \text{ Ом} \quad (4.9)$$

Індуктивний опір статора і ротора при $s = 1$ без урахування намагнічує струму:

$$X_{k3} = Z_{k3} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n} = 16,375 \cdot \sqrt{1 - 0,263^2} = 15,798 \text{ Ом} \quad (4.10)$$

Індуктивний опір статора:

$$X_1 = \frac{X_{k3}}{2} = \frac{15,798}{2} = 7,899 \text{ Ом} \quad (4.11)$$

Індуктивний опір ротора:

$$X'_2 = \frac{X_1}{C_1} = \frac{7,899}{1,04} = 7,59 \text{ Ом} \quad (4.12)$$

Індуктивність розсіювання статора:

$$L_s = \frac{X_1}{2\pi f} = \frac{7,899}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0251 \text{ Гн} \quad (4.13)$$

Індуктивність розсіювання ротора:

$$L_p = \frac{X'_2}{2\pi f} = \frac{7,59}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0241 \text{ Гн} \quad (4.14)$$

I_{xx} - струм намагнічування двигуна, який дорівнює приблизно 40 – 50 % номінального струму статора.

$$I_{xx} = 40\% \cdot I_n = 2,54 \text{ А}$$

Індуктивний опір контуру намагнічування:

$$x_m = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_{xx}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 14,6} = 237,267 \text{ Ом}$$

Індуктивність контуру намагнічування:

$$L_m = \frac{x_m}{\omega_c} = \frac{237,27}{314} = 0,756 \text{ Гн}$$

За табличними даними можна визначити номінальні втрати двигуна, якщо відомо КПД при найменшому навантаженні та опір обмоток.

4.1.1. Визначення коефіцієнта пропорційності механічної характеристики насоса

Підставляючи паспортні дані насоса, отримуємо:

$$c = \frac{M_{\text{нас.ном}}}{\omega_{\text{нас.ном}}^3} = \frac{2089}{150,8^3} = 0,00061$$

4.2 Дослідження віртуальної моделі АД з перетворювачем частоти

Для практичної розробки математичної моделі АД з перетворювачем частоти найбільш доцільно використовувати бібліотеку віртуальних моделей програмного пакету MATLAB / Simulink під назвою SimPower Systems. Ця бібліотека містить моделі не тільки двигунів, але і перетворювальних пристроїв і дозволяє істотно скоротити час на створення й налагодження математичної моделі.

Для розробки математичної моделі ПЧ-АД використовуємо ідеї та схеми моделей, запропоновані в [3]. Спочатку досліджуємо роботу моделі тільки асинхронного двигуна.

4.2.1 Дослідження віртуальної моделі АД

Спочатку перевіримо працездатність віртуальної моделі асинхронного двигуна. Збираємо найпростішу модель АД при живленні від трифазного джерела живлення, рис.4.2.

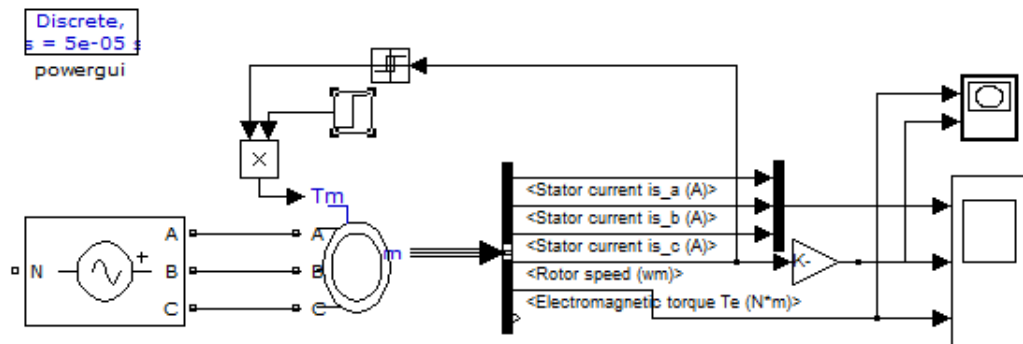
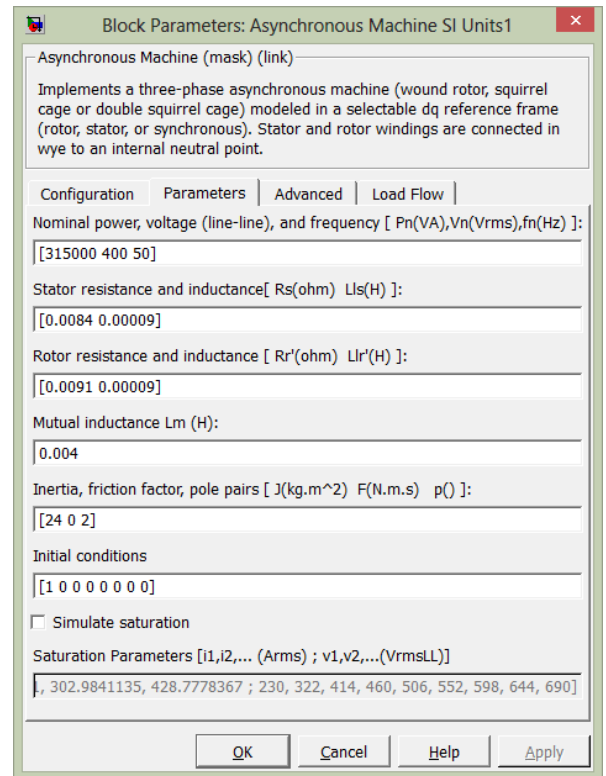
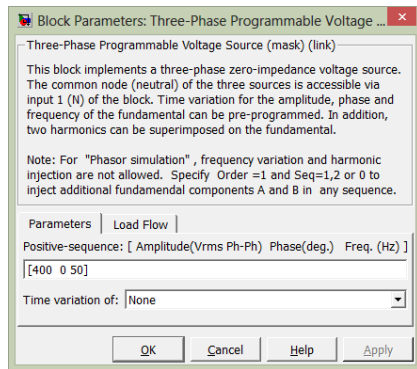


Рисунок 4.2 - Математична віртуальна модель АД в середовищі Simulink

Вікна налаштування параметрів моделі джерела живлення і власне АД зображені на рис. 4.3.

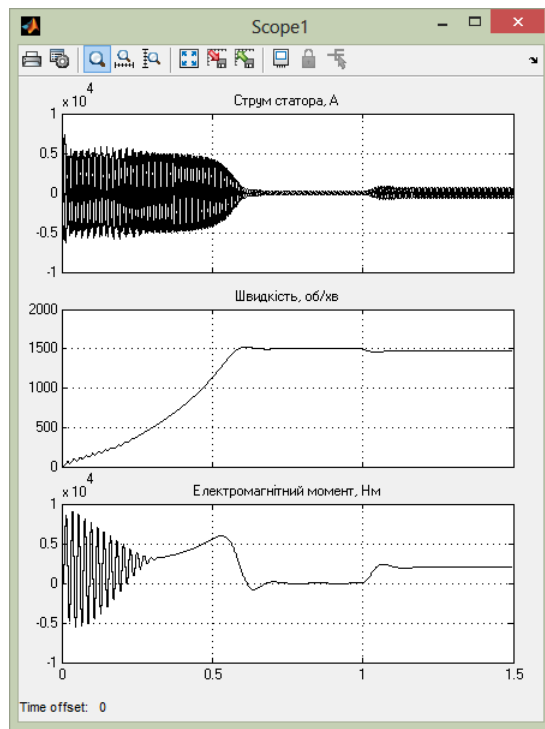


а) налаштування параметрів
джерела живлення

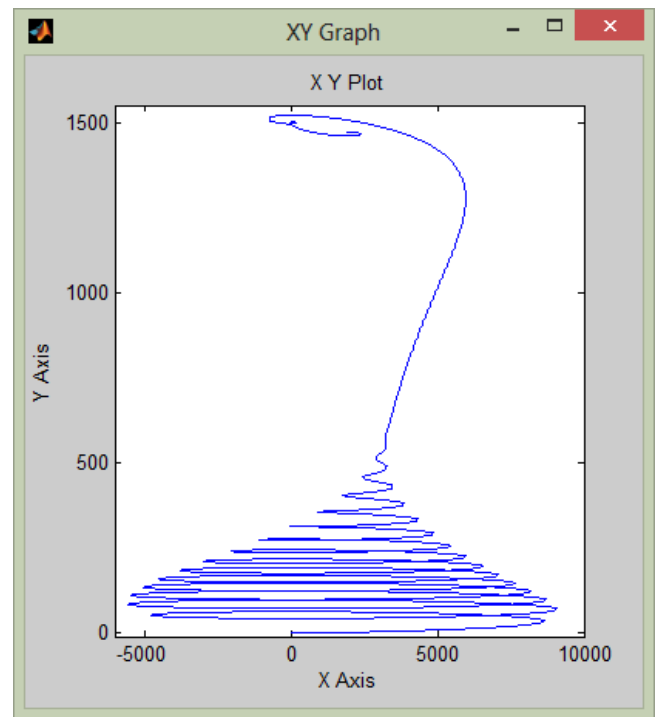
б) налаштування параметрів асинх-
ронного двигуна

Рисунок 3.3 – Вікна налаштування параметрів основних блоків віртуальної моделі АД в середовищі Simulink.

На рис. 3.4 зображені часові діаграми запуску АД з реактивним моментом опору і номінальною навантаженням на валу.



а) прямий пуск АД

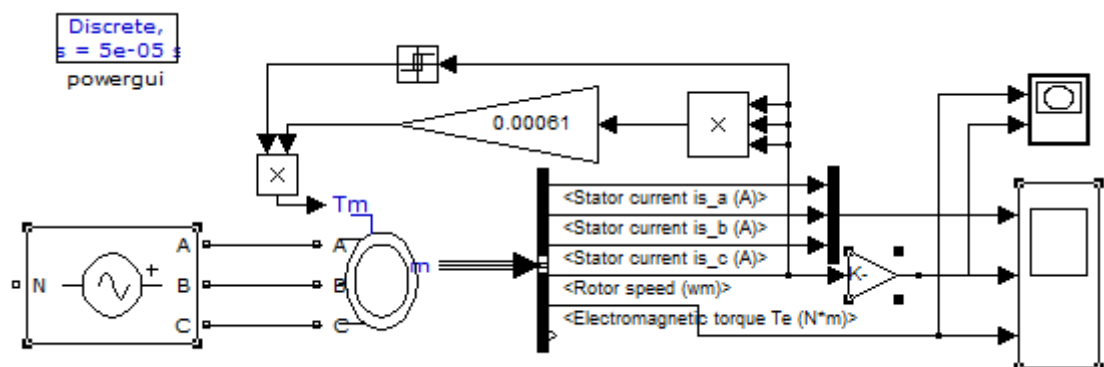


б) динамічна пускова характеристика

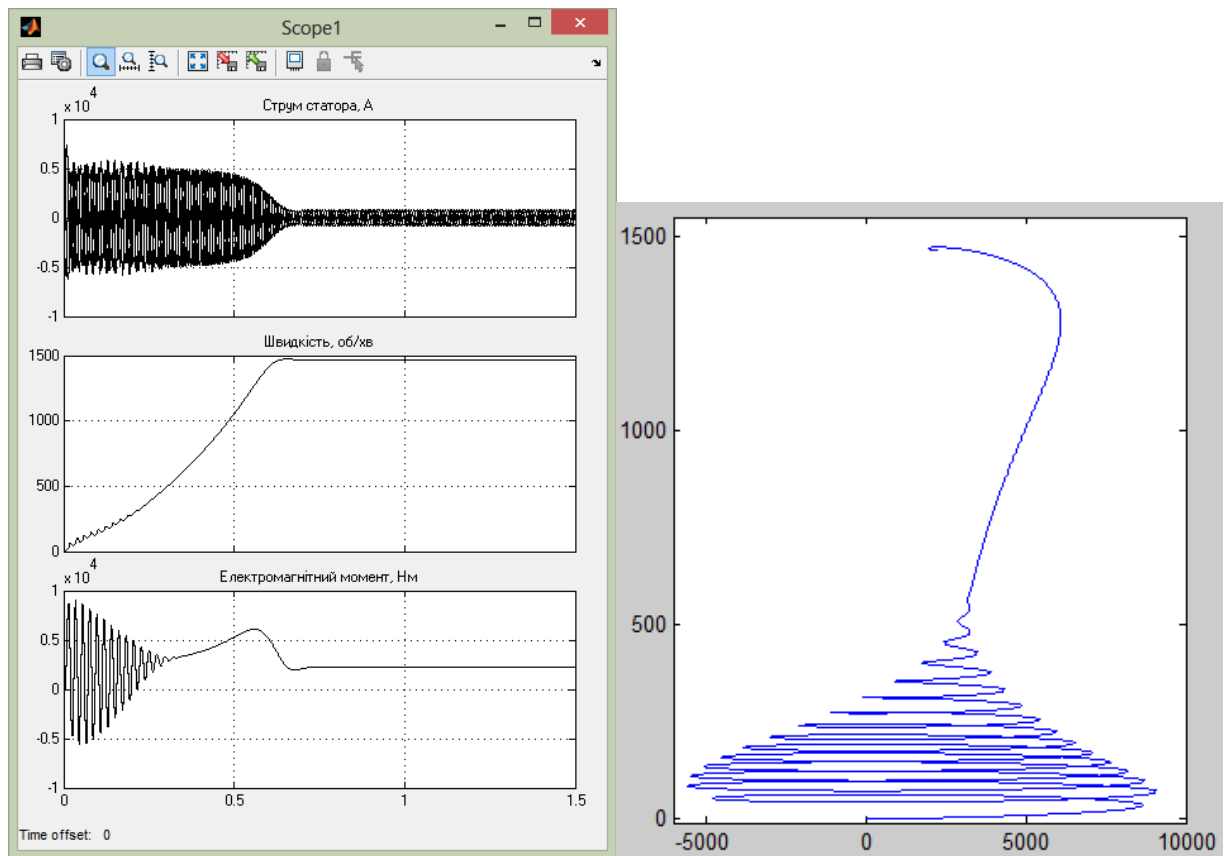
АД

Рисунок 4.4 - Розрахункові характеристики АД з реактивним моментом опору, отримані на математичній віртуальній моделі

На рис. 4.5 зображені віртуальна модель і тимчасові діаграми запуску АД з кубічним моментом опору.



а) Віртуальна модель АД з кубічним моментом опору



б) прямий пуск АД

в) динамічна пускова характеристика АД

Рисунок 3.5 - Розрахункові характеристики АД з кубічним моментом опору, отримані на математичній віртуальній моделі

4.2.2 Віртуальна модель електроприводу насоса з ПЧ-АД

Віртуальна модель АД з перетворювачем частоти з ланкою постійного струму і з широтно-імпульсним формуванням вихідної напруги представлена на рис.4.6.

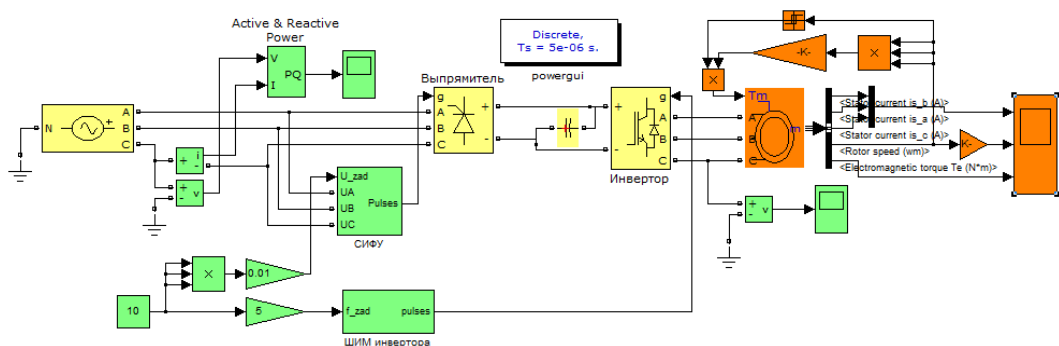
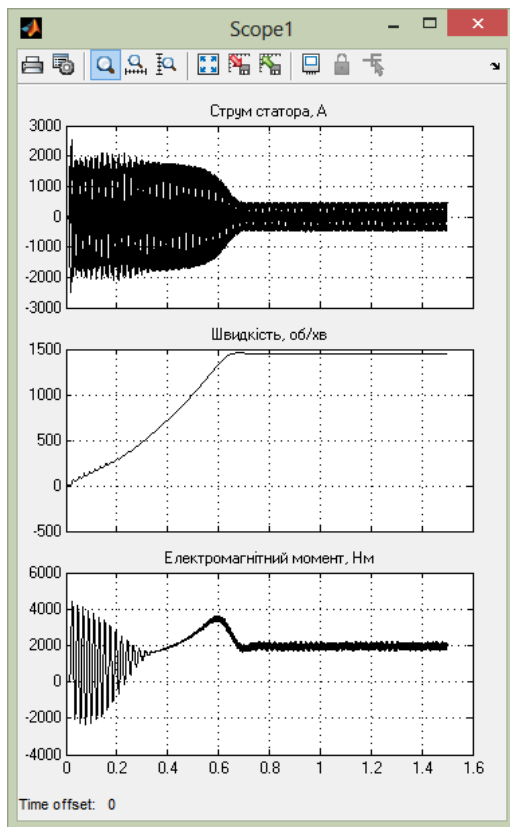
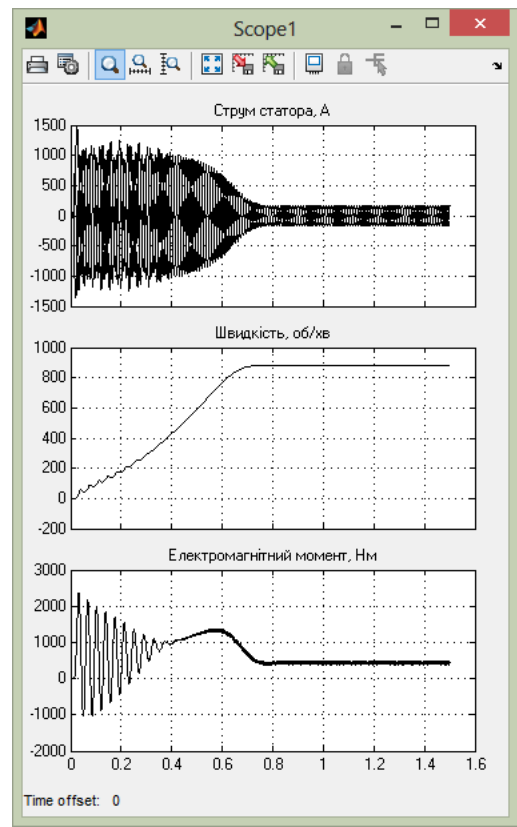


Рисунок 4.6 - Математична віртуальна модель електроприводу насоса за системою ПЧ-АД



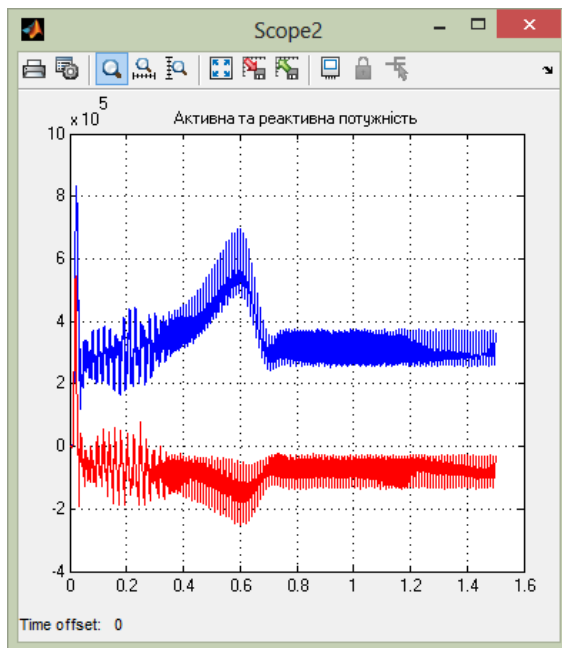
а) прямий пуск при $f = 50$ Гц



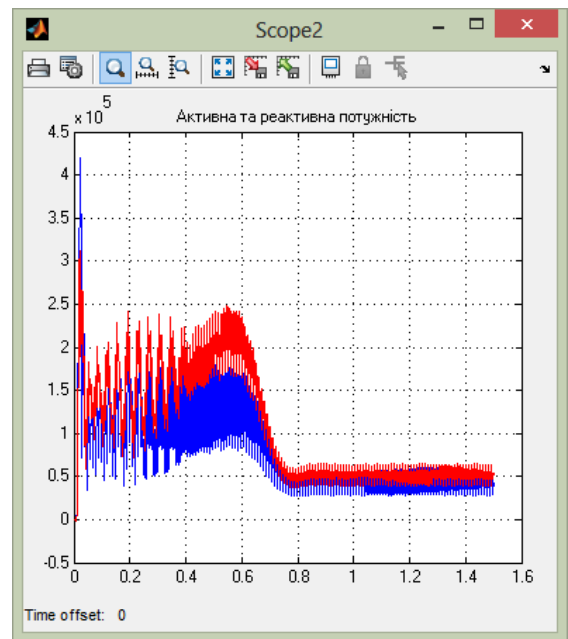
б) прямий пуск при $f = 30$ Гц

Рисунок 4.8 - Прямий запуск електроприводу ПЧ-АД при різних вихідних частотах інвертора

На рис.4.9 наведені часові діаграми споживаної електроприводом в процесі запуску активної і реактивної потужності.



а) прямий пуск при $f = 50$ Гц



б) прямий пуск при $f = 30$ Гц

Рисунок 4.9 - Енергоспоживання ПЧ-АД при запуску насоса

Регулювання швидкості вниз від номінальної при вибраній схемі перетворювача частоти супроводжується зменшенням споживаної активної потужності внаслідок зниження навантаження електроприводу. Однак при цьому відбувається значне збільшення споживаної реактивної потужності.