

Міністерство освіти і науки України
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Електротехнічний факультет

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 141

«ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

НА ТЕМУ:

«ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ МАНІПУЛЯТОРА
КУВАЛЬНОГО МК 5-66 ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»

Виконав: студент групи ЗЕЕМ-22ск _____ Віталій ВАСИЛЕЦЬ

Керівник кваліфікаційної роботи _____ к.т.н., доц. Міла БАРАНОВСЬКА

Нормоконтролер _____ к.т.н., доц. Міла БАРАНОВСЬКА

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

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

Кривий Ріг

2025 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Електротехнічний

Кафедра: Електромеханіки

Освітньо-професійна програма першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти: «бакалавр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика,
електромеханіка та електромеханіка»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

_____ к.т.н. Ігор Пересунько
« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Василець Віталій Анатолійович
(прізвищі ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Електромеханічне обладнання маніпулятора кувального МК 5-66 ПАТ
«АрселорМіттал Кривий Ріг»

керівник проекту (роботи) Барановська М.Л.

затверджена наказом по КНУ від « 12 » травня 2025 р. № 251с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) « 04 » червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Маніпулятор кувальний рейковий вазовий повноповоротний МК 5-66
вантажопідйомністю 5 т: вантажний момент – 12 т·м; діаметр розкриття кліщів – 720-260 мм;
діаметр окружності проворотання кліщів головки – 1500 мм. Двигуни маніпулятора: 1)
головне пересування маніпулятора – Рн=55 кВт, пн=500 об/хв; 2) поворот хобота: – Рн=15
кВт, пн=750 об/хв; 3) маслостанції: – Рн=22 кВт, пн=1420 об/хв; 4) повороту маніпулятора: –
Рн=15 кВт, пн=750 об/хв.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1.1 Призначення і область застосування кувальних рейкових маніпуляторів. 1.2 Підготовка
маніпулятора до першого пуску та умови введення в експлуатацію. 1.3 Технічні
характеристики маніпулятора кувального МК 5-66. 1.4 Гідропривід механізму затиску
кліщів. 1.5 Технічні характеристики обладнання кувального цеху. 1.6 Обґрунтування системи
електропривода з тиристорним керуванням. 1.7 Розрахунок потужності приводного двигуна
маніпулятора кувального. 2.1 Вибір основного та додаткового обладнання системи
маніпулятора кувального. 2.2 SIEMENS SIMOREG DC MASTER. 2.3. Схема заміщення
електропривода та розрахунок її параметрів. 2.4 Статичні характеристики електропривода за
системою ТП-Д. 3.1 Динамічні властивості системи тиристорний перетворювач - двигун. 3.2
Математичне моделювання у пакеті MATLAB. 4.1 Електропостачання кувального цеху та
вибір трансформатора. 4.2 Розрахунок СКЗ у мережі вище 1000 В кувального цеху. 4.3
Розрахунок СКЗ у мережі до 1000 В кувального цеху. 4.4 Вибір апаратів кувального цеху.
Висновки до роботи бакалавра

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Барановська М.Л., доцент		
2	Барановська М.Л., доцент		
3	Барановська М.Л., доцент		
4	Барановська М.Л., доцент		

7. Календарний план

№ з/п	Етапи роботи	Термін виконання	Примітка
1.1	Призначення і область застосування кувальних рейкових маніпуляторів.	12.05-13.05	Виконано
1.2	Підготовка маніпулятора до першого пуску та умови введення в експлуатацію	14.05-15.05	Виконано
1.3	Технічні характеристики маніпулятора кувального МК 5-66	16.05-17.05	Виконано
1.4	Гідропривід механізму затиску кліщів.	16.05-17.05	Виконано
1.5	Технічні характеристики обладнання кувального цеху.	16.05-17.05	Виконано
1.6	Обґрунтування системи електропривода з тиристорним керуванням.	16.05-17.05	Виконано
1.7	Розрахунок потужності приводного двигуна маніпулятора кувального.	18.05-19.05	Виконано
2.1	Вибір основного та додаткового обладнання системи маніпулятора кувального.	20.05-21.05	Виконано
2.2	Перетворювачі постійного струму SIEMENS SIMOREG DC MASTER	22.05-24.05	Виконано
2.3	Схема заміщення електропривода та розрахунок її параметрів.	25.05-26.05	Виконано
2.4	Статичні характеристики електропривода за системою ТП-Д.	27.05-28.05	Виконано
3.1	Динамічні властивості системи тиристорний перетворювач - двигун.	29.05-30.05	Виконано
3.2	Математичне моделювання у пакеті MATLAB.	29.05-30.05	Виконано
4.1	Електропостачання кувального цеху та вибір трансформатора.	30.05-31.05	Виконано
4.2-4.4	Розрахунок СКЗ у мережі вище 1000 В кувального цеху. Вибір апаратів кувального цеху.	01.06-03.06	Виконано

Дата видачі завдання: «12» травня 2025 р.

Студент _____ Василець В.А.

(підпис)

(П.І.Б.)

Керівник роботи (проекту) _____ Барановська М.Л.

(підпис)

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка роботи бакалавра складається з ____ сторінок,
____ рисунків, ____ таблиць, _____ списку джерел

Розглянуто призначення та сфери використання кувальних рейкових маніпуляторів типу МК 5–66. Подано технічні дані маніпулятора. Проведено розрахунок статичних зусиль і необхідної потужності електродвигуна. Обґрунтовано вибір системи електропривода типу ТП-Д та підібрано двигун постійного струму моделі Д810.

Вибрано елементи силової частини привода: тиристорний перетворювач, струмообмежувальний реактор і дросель. Складено схему заміщення електропривода ТП-Д та визначено її параметри. Побудовано структурну модель системи електропривода, розраховано та побудовано її статичні й енергетичні характеристики. Проведено аналіз перехідних процесів у системі за різних режимів навантаження.

У розділі, присвяченому електропостачанню, виконано розрахунки електричних навантажень, струмів короткого замикання на стороні високої та низької напруги, а також здійснено вибір силових трансформаторів і електротехнічного обладнання.

МАНІПУЛЯТОР КУВАЛЬНИЙ, ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, ТИРИСТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, СТАТИЧНІ ТА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.Р					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Василець В.А.			РЕФЕРАТ			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Барановська М								
Реценз.								КНУ гр. ЗЕЕМ-22ск		
Н. Контр.		Барановська М								
Затверд.		Пересунько І.І.								

ЗМІСТ

С.

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1 Технічні характеристики обладнання.....	
1.1 Призначення і область застосування кувальних рейкових маніпуляторів.....	
1.2 Підготовка маніпулятора до первісного пуску і введення в експлуатацію.....	
1.3 Технічні характеристики маніпулятора кувального МК5-66.....	
1.4 Гідропривід механізму затиску кліщів.....	
1.5 Технічні характеристики обладнання кувального цеху.....	
1.6 Обґрунтування системи електропривода з тиристорним керуванням.....	
1.7 Розрахунок потужності приводного двигуна маніпулятора кувального.....	
РОЗДІЛ 2 Аналіз системи електропривода технологічного механізму.....	
2.1 Вибір основного та додаткового обладнання системи маніпулятора кувального.....	
2.2 Перетворювачі постійного струму SIEMENS SIMOREG DC MASTER.....	
2.2.1 Загальні відомості перетворювача сімейства SIMOREG DC MASTER.....	
2.2.2 Силова частина та охолодження.....	
2.2.3 Силова частина: контури якоря та збудження.....	
2.2.4 Пристрій для параметрування.....	
2.2.5 Параметрування за допомогою персонального комп'ютера.....	
2.2.6 Блок-схеми для підключення перетворювача SIMOREG DC MASTER	
2.3 Схема заміщення електропривода та розрахунок її параметрів	

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.3				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Василець В.А.			ЗМІСТ	Літ.		Арк.	Акрушів
Перевір.		Барановська М							
Реценз.						ЕМ гр. ЗЕЕМ-22ск			
Н. Контр.		Барановська М							
Затверд.		Пересунько І.І.							

2.4 Статичні характеристики електропривода за системою ТП-Д.....	
РОЗДІЛ 3 Математичне моделювання електромеханічного об'єкту.....	
3.1 Динамічні властивості системи тиристорний перетворювач – двигун.....	
3.2 Математичне моделювання у пакеті MATLAB.....	
РОЗДІЛ 4 Електропостачання.....	
4.1 Електропостачання кувалного цеху та вибір трансформатора.....	
4.2 Розрахунок СКЗ у мережі вище 1000 В кувалного цеху.....	
4.3 Розрахунок СКЗ у мережі до 1000 В кувалного цеху.....	
4.4 Вибір апаратів кувалного цеху.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	
ДОДАТОК.....	

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.3	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Металургійна промисловість одна з найбільш важливих галузей народного господарства України. Продукція, що випускається, користується попитом не тільки на Україні, але й у багатьох країнах ближнього і далекого зарубіжжя.

В умовах сучасної конкуренції на світовому ринку металопрокату дуже важливо, щоб підприємства металургійної промисловості були конкурентоздатними. Для цього необхідно зменшувати собівартість металопрокату без збитку якості виробленого продукту. Виходячи з цього, з'являється необхідність у впровадженні у виробництво нових енергозберігаючих технологій.

Ця проблема особливо гостро стоїть на комбінаті. Він є найбільш великим експортером металопрокату в Україні, 98% продукції поставляється в країни ближнього і далекого зарубіжжя. Для виходу продукції на світовий рівень додається максимум зусиль: упроваджуються нові стандарти якості, нові технології в процесі виплавки і прокату сталі.

Упровадження нових технологій в прокатне виробництво повною мірою відобразиться на собівартості і якості кінцевої продукції.

Процес виробництва є дуже енергоємним. Споживана електроенергія рахується сотнями мільйонів кВт/год. Енергозберігаючі технології відіграють важливу роль на даному етапі розвитку металургії.

Електричні машини мають найпоширеніше застосування в промисловості на даний момент. Двигуни постійного струму, порівняно з асинхронними двигунами, мають більш складний у виготовленні вузол колектора, що вимагає більш ретельного нагляду за ним в процесі роботи.

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.В		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Василець В.А.			ВСТУП	Літ.	Арк.
Перевір.		Барановська М					Акрушів
Реценз.							
Н. Контр.		Барановська М				ЕМ гр. 3ЕЕМ-22ск	
Затверд.		Пересунько І.І.					

Але при вимозі плавного регулювання частоти обертання в широких межах, частих пусках і реверсах, а також великих пускових моментах двигуни постійного струму показують себе з більш кращої сторони.

Найширше розповсюдження ДПТ отримали в металургійній промисловості як приводи прокатних станів і не тільки. Потреба в цих двигунах росте з кожним роком. У зв'язку з автоматизацією управління виробничими процесами і механізмами росте застосування малопотужних двигунів постійного струму від одиниць до сотень ватів.

Силовa напівпровідникова техніка за останні роки стала однією з найважливіших галузей електротехніки.

Напівпровідникові некеровані і керовані вентиля, що виробляє промисловість, дозволяють створювати компактні, малогабаритні статичні перетворювачі струму, що знаходять широке застосування в промисловості. Різні випрямлячі використовуються для пуску електричних машин, для живлення якорів двигунів у системах електроприводу постійного струму, електромеханічного обладнання у хімічній промисловості і кольоровій металургії і для багатьох інших споживачів народного господарства нашої країни.

Об'єктом випускової роботи є процеси, що відбуваються при роботі маніпулятора М5-66 куvalьного цеха ПАТ АрселорМіттал Кривий Ріг

Предмет дослідження – привод механізму пересування маніпулятора М5-66.

Метою роботи є розробка системи керування ТП-Д привода механізму пересування маніпулятора куvalьного.

Завдання роботи. Система керування ТП-Д повинна покращити режими роботи маніпулятора, об'єднати процеси керування, забезпечити економію електроенергії.

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.В	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

Характеристика електромеханічного об’єкту та його електрообладнання

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.01							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Василець В.А.			Характеристика об'єкту та його електрообладнання			Літ.		Арк.	Акрушів	
Перевір.		Барановська М										
Реценз.								ЕМ гр. 3ЕЕМ-22ск				
Н. Контр.		Барановська М										
Затверд.		Пересунько І.І.										

1.1 Призначення і область застосування кувальних рейкових маніпуляторів

Маніпулятор кувальний рейковий вазовий повноповоротний вантажопідйомністю 5 т МК 5 - 66 призначений для механізації вільного кування на пресах зусиллям від 800 до 1000 т, а так само для транспортних робіт по подачі зливків та прибирання готових поковок і відходів (рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Загальний вид маніпулятора МК 5 - 66

Маніпулятор кувальний підлоговий рейковий призначений для механізації роботи з кувальними пресами в режимі ручного управління. Кувальний маніпулятор є спеціальною підйомно-транспортною машиною, призначеної для виконання транспортних і технологічних операцій, пов'язаних з доданням необхідних форм і розмірів заготовок масою до 30 КН. Маніпулятор механізуються наступні операції кування: протяжка, шліхтовка, осадку, рубка, прошивка.

Маніпулятор оснащений механізмами, що дозволяють здійснювати:

- захват і утримання заготовки;
- паралельний або похилий підйом і опускання заготовки вертикальній площині;
- обертання заготовки в горизонтальній площині в ту чи іншу сторону;
- обертання заготовки навколо горизонтальної осі ;
- навігація заготовки вздовж осі кування (вперед і назад).

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Маніпулятор обладнаний шістьма механізмами, які забезпечують необхідні переміщення злитка під час процесів кування та транспортування. Захоплення, підйом і опускання злитка, його нахил вгору та вниз, а також вирівнювання осі в горизонтальне положення виконуються за допомогою гідроприводів кліщів, підйомного механізму та механізму вирівнювання хобота.

Переміщення заготовки вздовж осі кування (поперек ударної частини), обертання у горизонтальній площині та навколо поздовжньої осі вліво і вправо здійснюються за допомогою механізмів руху, повороту верхньої рами з хоботом та обертання кліщів, які мають електромеханічні приводи з редукторами.

Гідравлічний привід кліщів обладнаний газовим акумулятором, що автоматично активується при тривалому утриманні заготовки. У редукторах встановлені фрикційні елементи, які гарантують надійну та безпечну роботу механізмів переміщення, повороту та обертання кліщів.

Управління маніпуляторами за допомогою командоконтролерів виконується з кабіни, розташованої з правого або лівого боку маніпулятора. Електроживлення подається за допомогою тролей, розміщених в траншеї уздовж рейкового шляху.

Маніпулятори знаходять широке застосування при експлуатації їх в обмежених умовах старих цехів і при обслуговуванні одним маніпулятором 2-х кувальних пресів . Маніпулятори, маючи можливість повороту хобота в горизонтальній площині можуть завантажуватися з поворотних нерухомих столів або укладати готову поковку в сторону без допомоги крана. Крім того, цей маніпулятор виконує функції шарнір - машини (посадкової машини), тобто має можливість брати нагріті поковки з печей камерного типу або іншої конструкції, тим самим економити енергію , скорочувати час завантаження преса, побічно підвищуючи якість поковки за рахунок зменшення температурного діапазону початку і кінця кування. Ці операції маніпулятор здійснює шляхом переміщення по рухомій платформі. Переміщення

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

здійснюється в напрямку перпендикулярному напрямку переміщення платформи. Тривале утримання заготовки в кліщах здійснюється за рахунок азотно-масляного акумулятора.

Можливі схеми розміщення маніпулятора, преса і нагрівальної печі показані на рис.1.2.

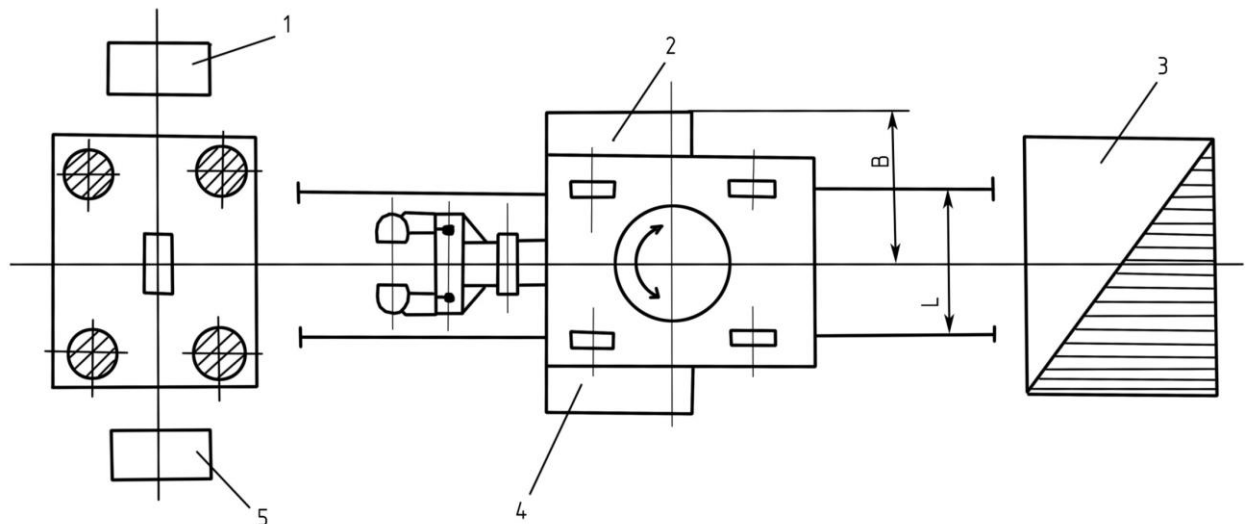


Рисунок 1.2 - Схеми розміщення маніпулятора, преса і нагрівальної печі:

1 – права стійка молота $Q=7$ т; 2 – посадочний майданчик на маніпулятор;

3 – вхід в кабельну траншею; 4 – майданчик обслуговування

електродвигунів; 5 – ліва стійка молота $Q=7$ т

Габаритні розміри маніпулятора показані на рис.1.3.

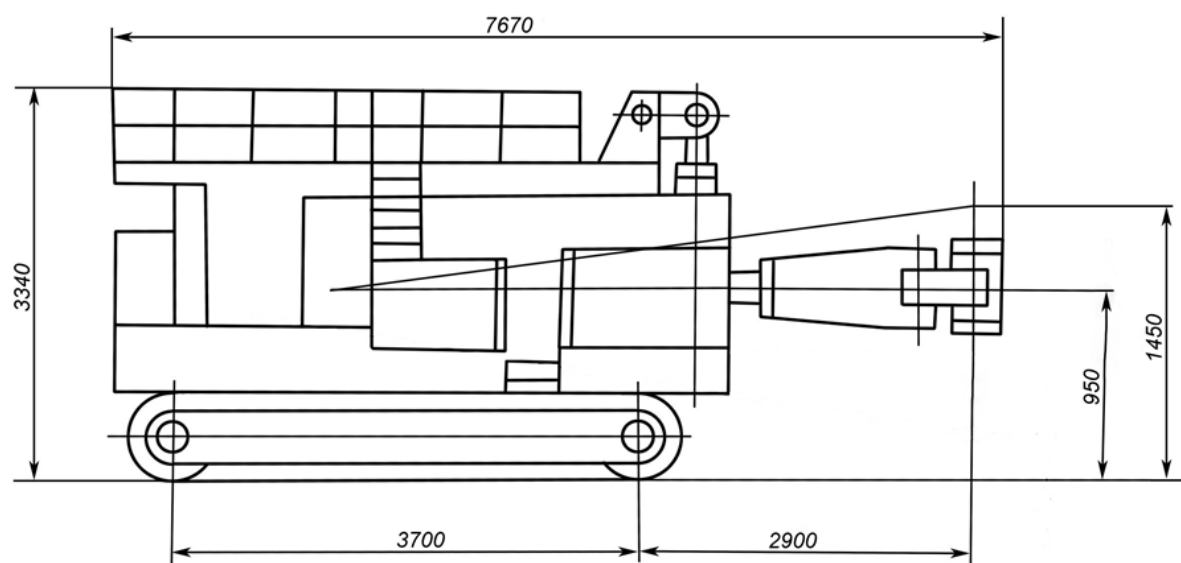


Рисунок 1.3 - Габаритні розміри маніпулятора

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Підготовка маніпулятора до першого пуску та умови введення в експлуатацію

Маніпулятор після установки:

1. Ретельно оглянути, перевіривши надійність кріплення вузлів і деталей і при необхідності зміцнити їх.
2. Переконавшись, що всі вузли тертя змащені і система централізованого мастила подає мастило.
3. Перевірити наявність робочої рідини в баку насосних установках і в гідросистемі.
4. Перевірити цілісність рукава в механізмі приводу кліщів, надійність приєднання кінцевих і проміжних з'єднань трубопроводів гідросистеми.
5. Перевірити наявність стисненого газу в акумуляторній установці і в разі необхідності зробити підзарядку.
6. Ознайомитися з механізмами маніпулятора, призначенням кнопок і рукояток управління в повній відповідності з документацією.
7. При підключенні до мережі електродвигунів дотримуватися зазначений напрямок обертання, який позначений в кожному окремому випадку.

1.3. Технічні характеристики маніпулятора кувального МК5-66

Технічні характеристики маніпулятора наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики маніпулятора кувального МК5-66

№ з/п	Технічні характеристики	Величина
1	Вантажний момент (добуток ваги на відстань від центру ваги поковки до центру захоплення рубок), т. м.	12
2	Діаметр розкриття кліщів (найбільший і найменший), мм	720 260± 10
3	Діаметр розкриття кліщів з вкладишами (найменший), мм	100

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4	Діаметр окружності провертання кліщів головки (найбільший), мм	1500
5	Виліт центру кліщів від осі переднього колеса L_3 , мм	2900
6	Нижче горизонтальне положення осі хобота H_3 , мм	950
7	Найбільша висота паралельного підйому хобота H_4 , мм	500
8	Висота підйому кліщів вгору при гойданні H_2 , мм	1775
9	Кут бічного повороту хобота, град	360
10	Загальна довжина маніпулятора L_1 , мм	7670
11	Загальна ширина маніпулятора, мм	4320
12	Виліт кабіни B , мм	2600
13	Висота маніпулятора від головки рейки H_1 , мм	3340
14	База маніпулятора L_2 , мм	3700
15	Ширина колії маніпулятора L , мм.	2700
16	Швидкість пересування візка, м/хв	10
17	Швидкість підйому передньої підвіски, м/хв	2,5
18	Швидкість вирівнювання задньої підвіски, м/хв	3,4
19	Швидкість повороту маніпулятора, об/хв (безперервне обертання в будь-яку сторону)	3,78
20	Струм змінний:	
21	напруга, В	380
22	частота, Гц	50
23	Загальна потужність електродвигунів, кВт	98
24	Тиск ходового колеса на рейку (найбільший), т	26,7
25	Вага маніпулятора з електрообладнанням, т	53

На маніпуляторі кувальному МК 5-66 встановлені чотири двигуна.

1. Головне пересування маніпулятора:

$$P_n = 55 \text{ кВт}; n_n = 500 \text{ об/хв.}$$

2. Поворот хобота:

$$P_n = 15 \text{ кВт}; n_n = 750 \text{ об/хв.}$$

3. Мاستилостанції:

$$P_n = 22 \text{ кВт}; n_n = 1420 \text{ об/хв.}$$

4. Повороту маніпулятора:

$$P_n = 15 \text{ кВт}; n_n = 750 \text{ об/хв.}$$

1.4 Гідропривід механізму затиску кліщів

Гідропривід механізму затиску кліщів (рис.1.4) складається з аксіально-поршневого насоса типу 2Г13-35А з електро-гідравлічним керуванням, продуктивністю $Q = 100$ л/хв, найбільшим робочим тиском $P = 150$ кгс/см², акумуляторної установки, електроконтактного манометра ЕХМ, реверсивного золотника типу 44ПГ 73 -24 з електромагнітним керуванням, манометрів $p = 160$ кгс/см², зворотного клапана типу ПГ51-24, електродвигуна типу АО2, клапана запобіжного Г52-14 і маслобака.

Аксіально-поршневий насос типу 2Г13-35А є реверсивним, зі змінним напрямком струму, що дозволяє мати попередню настройку двох різних продуктивностей на кожній порожнині насоса. Насос призначений для нагнітання масла в гідравлічні системи, де потрібно реверс потоку і регульована витрата робочої рідини.

Зміна подачі і реверс потоку масла проводиться поворотом коромисла, змонтованого в передньому корпусі на двох шарикопідшипникових опорах.

Електрогідравлічний механізм управління дозволяє здійснювати реверси на чотири регульованих подачі (по дві на кожну порожнину). Регулювання необхідного значення величини подачі здійснюється штоками обмеження повороту важеля золотника механізму управління. При знеструмлених електромагнітах золотник встановлюється в середнє положення, відповідне нульовій продуктивності. При змінному включенні магнітів ЕМ1, ЕМ1-1, ЕМ2, ЕМ2-2 масло буде нагнітатися в магістралі розкриття або руху кліщів. Витіснене масло з порожнини затиску кліщів, проходить через золотник 44 ПГ73-24 і зливається в бак через насос. З порожнини розкриття масло зливається в бак безпосереднього через насос.

До магістралі затиску кліщів приєднана спеціальна акумуляторна установка, що складається з азотного балона, поршневого роздільник, вентилів і запобіжного клапана. Акумуляторна установка забезпечує тривале утримання злипка в кліщах при відключеному насосі (тобто при

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

знеструмлених магнітах EM1, EM1-1, EM2, EI2-2 за рахунок тиску масла в роздільнику, створюваного стисненням азотом (магніт EM3 включений).

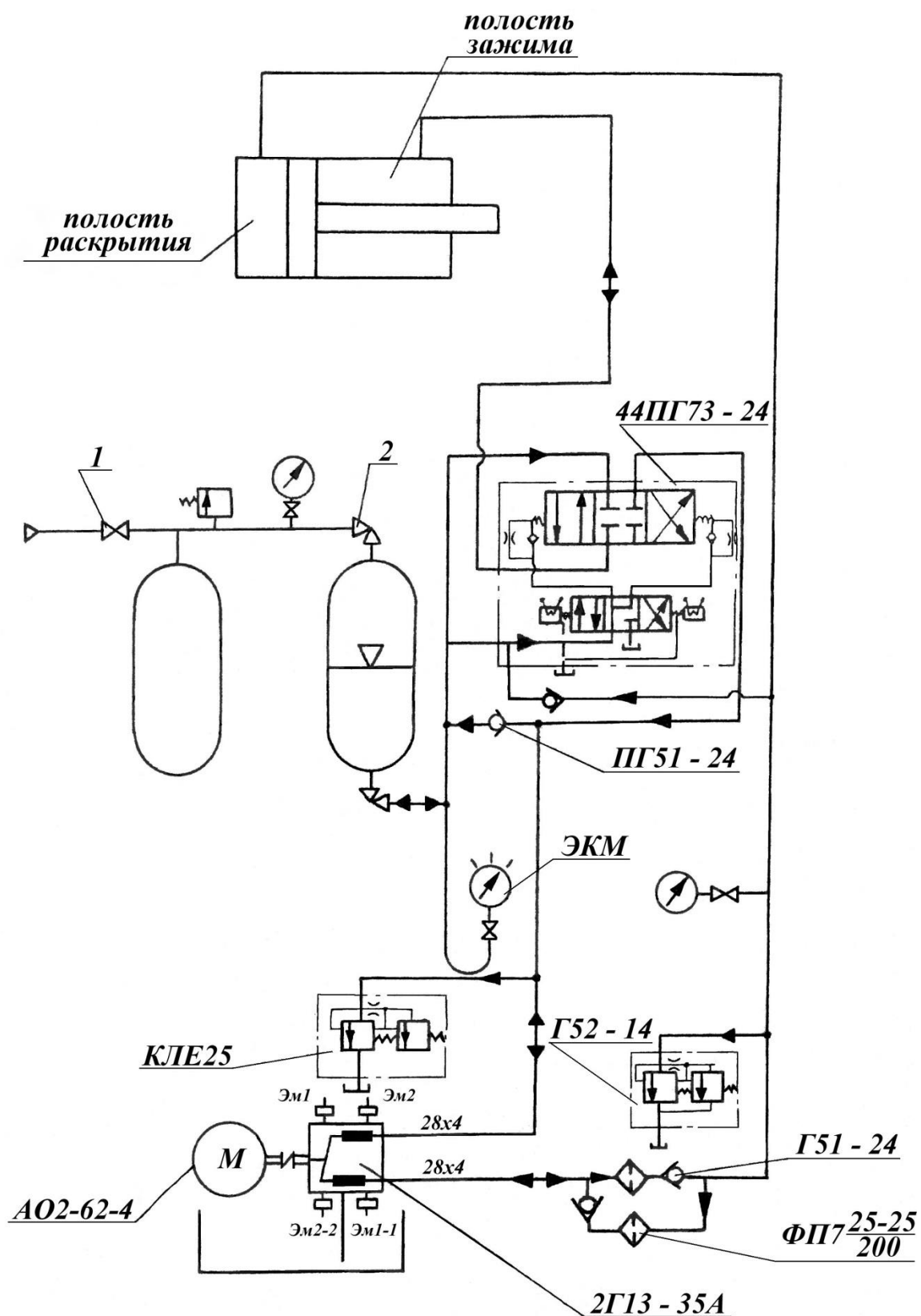


Рисунок 1.4 – Гідропривід механізму затиску кліщів

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Зарядка балона азотом проводиться періодично через спеціальний зарядний вентиль при закритому магістральному вентилі.

Робочий тиск азоту в балоні $P = 60-65 \text{ кгс / см}^2$. У разі падіння тиску на 15-20% нижче робочого, акумулятор слід перезарядити.

Зарядка роздільник робочим маслом проводиться після наповнення балона газом, при закритому зарядному вентилі 1 і відкритому магістральному вентилі 2 від поршневого насоса (магніти ЕМ1, ЕМ4, ЕМ1-1 включені). При включеному магніті ЕМ3 золотника 44ПГ 73-24 масло надходить в роздільник акумулятора через зворотний клапан ПГ 51-24, магістральний вентиль 2 і в порожнину затиску. У ланцюзі акумулятора передбачений електроконтактний манометр, контролюючий тиск масла в акумуляторі в інтервалі від 60 до 95 кгс/см^2 залежно від ваги заготовки.

Електросхема гідроприводу затиску кліщів забезпечує автоматизацію роботи приводу затиску:

а) при падінні тиску нижчого налаштованого блок-контакти електроконтактного манометра через електросхему включають електромагніти ЕМ1-1, ЕМ1 золотника насоса, масло нагнітається в порожнину затиску і акумуляторну установку;

б) коли тиск в порожнині затиску, а отже в акумуляторі, так само найбільшому налаштованому блок-контакти ЕКМ через електросхему відключають електромагніти ЕМ1, ЕМ1-1 (насос від'єднується від ланцюга затиску кліщів).

При накопиченні витоків з порожнини затиску, тобто при поступовому падінні тиску в акумуляторі до нижчого налаштованого, процес зарядки акумулятора робочим маслом повторюється автоматично, як це було описано раніше.

При розкритті кліщів включаються магніти ЕМ2, ЕМ2-2 золотника насоса, масло нагнітається в порожнину розкриття кліщів.

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Одночасно з включенням магніту ЕМ2 включається магніт ЕМ4 золотника 44ПГ 73-24, при цьому акумуляторна установка відключається від порожнини затиску, яка тепер уже приєднана зі зливом в бак через насос.

Включення магнітів виробляється з кабіни. Робоча рідина - масло в'язкістю 17-33 сст при $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При нормальній експлуатації насоса першу заміну масла призвести через 1-2 місяці після його пуску в експлуатацію, потім через кожні 6 місяців роботи. Масло, налити в систему повинно бути ретельно відфільтровано (тонкість фільтрації 0, 2 мм).

1.5 Технічні характеристики обладнання кувального цеху

Технічні характеристики основного обладнання кувального цеху наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики обладнання кувального цеху

№ зп	Назва	Одиниці вимірювання	Величина
1	2	3	4
Автомат відрізний круглопилний мод. 8Г663-100			
1	діаметр пили	800	мм
2	діаметр відрізуваної заготовки	285	мм
3	найбільший розмір поперечного перерізу заготовки:		
	- квадрат	250	мм
	- швелер	330	мм
	- двутавр	330	мм
	- куточок	160	мм
	- прямокутник	230x260	мм
Ножиці алігаторні мод. Н313			
	робоча довжина ножів	500	мм

	висота від підлоги до лінії різу	690	мм
	довжина	3359	мм
	ширина	1820	мм
	висота	1370	мм
Напівавтомат абразивно-відрізний мод. 8Г240			
	діаметр відрізного круга	300, 400	мм
	висота відрізного круга	3,2,4	мм
	довжина заготовки відрізуваної по упору	500	мм
	найбільша довжина заготовки	6000	мм
Різьбонарізний напівавтомат 5А993			
	діаметр нарізання різьби		
	- найбільший	42	мм
	- найменший	12	мм
	число кроків нарізання різьби	19	
	довжина переміщення каретки	400	мм
	хід механізму заготовки	Механічний	
	кількість швидкостей шпинделя	6	
	привід переміщення каретки	гідравлічний	
	довжина напівавтомата	1100	мм
	ширина напівавтомата	1100	мм
	висота напівавтомата	1200	мм
Установка для згибу скоб			
	зусилля на штоку гідроциліндра	75180	кгс
	хід штока	1000	мм
	Тиск масла в гідроциліндрів	29,6	МПа
	потужність	3	кВт
	швидкість обертання	1000	об/хв

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

	передавальне число	80	
	Загальне передавальне число	568	
Молот кувальний пневматичний МА 4132			
	Габарити молота	930x1860	
	Маса молота без шабота	3540	
	Маса шабота в зборі	1650	
	частота струму	50	
	напруга	220/380	
	Частота обертання електродвигуна	1000	
	Оптимальний перетин заготовки, що кується		
	квадрат	80	
	коло	90	
Молот пароповітряний кувальний			
	вага молота	77640	кг
	вага шабота	16659	кг
	тиск пари	5-6	атм.
	Вага падаючих частин	7250	кг
	Найбільший робочий хід баби	1900	мм
	Діаметр золотника	260	мм
	Висота молота над рівнем підлоги	8363	мм
	Тип управління	Ручне	
Молот кувальний пароповітряний Q-1,3 т, модель M1340			
	вага молота	27580	кг
	вага шабота	15000	кг
	Вага падаючих частин	1000	кг
	Число ударів на хвилину	71	

	Найбільший робочий хід баби	1100	мм
	Висота молота над рівнем підлоги	4970	мм
Маніпулятор МК5-66			
	Вантажопідйомність	5	т
	маса маніпулятора	52,3	т
	Найбільший вантажний момент	12	тн
	Діаметр розкриття кліщів без вкладишів		
	найбільший	720	мм
	найменший	250	мм
	Найменший діаметр розкриття кліщів		
	З вкладишами	100	мм
	база візка	3700	мм
	Ширина колії	2700	мм
	Відстань від осі хобота в горизонтальному положенні до головки рейки		
	найбільша	1450	мм
	найменша	950	мм
	Величина паралельного переміщення хобота у вертикальній площині	500	мм
	Робочий тиск рідини		
	механізм затиску	100	кгс/см ²
	механізм підйому	80	кгс/см ²
	механізм вирівнювання	50	кгс/см ²

1.6 Обґрунтування системи електропривода з тиристорним керуванням

Енергетичні показники приводу з тиристорним перетворювачем характеризується коефіцієнтом потужності в первинному колі трансформатора, який визначається співвідношенням:

$$k = \frac{mU_1 I_1^1 \cos \varphi}{mU_1 I_1} \quad (1.1)$$

де U_1 – діюче значення фазної напруги на первинній обмотці трансформатора,

I_1^1 та I_1 – діючі значення струму першої гармоніки і повного струму первинної обмотки трансформатора,

$\cos \varphi$ – коефіцієнт зсуву між першими гармоніками первинної напруги та струму.

Спростивши вираз, отримаємо

$$k = \frac{I_1^1 \cos \varphi}{I_1} = \xi \cos \varphi \quad (1.2)$$

Відношення $\xi = I_1^1 / I_1$ – показує ступінь спотворення кривої струму за рахунок впливу вищих гармонік і називається коефіцієнтом спотворення.

Фазовий зсув першої гармоніки струму щодо напруги при великій індуктивності кола якоря приблизно дорівнює куту регулювання, тобто $\varphi \approx \alpha$. Користуючись цим співвідношенням, коефіцієнт потужності для первинного кола тиристорного перетворювача можна записати, як $k = \xi \cdot \cos \alpha$. Кут регулювання можна пов'язати зі швидкістю наближеним співвідношенням:

$$\cos \alpha \approx \frac{U_{всп}}{U_{\omega_0}} = \frac{\omega_0^1}{\omega_0}, \quad (1.3)$$

де ω_0^1 – швидкість ідеального холостого ходу двигуна при даному куті регулювання,

ω_0 – те ж при некерованому випрямлячі.

Звідси

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k = \xi \cdot \frac{\omega_0^1}{\omega_0}, \quad (1.4)$$

тобто коефіцієнт потужності пропорційний коефіцієнту спотворення і ступеню зниження швидкості двигуна в процесі регулювання.

Отриманий результат показує, що глибоке регулювання напруги веде до суттєвого зменшення коефіцієнта потужності і збільшення втрат в мережі. У зв'язку з цим при використанні тиристорного приводу доводиться застосовувати засоби компенсації реактивної енергії.

1.7 Розрахунок потужності приводного двигуна маніпулятора кувального

У даному промисловому циклі маємо чотири ділянки руху механізму:

1. Висунення гвинта наполовину до захвату заготовки.
2. Висунення гвинта повністю для фіксації заготовки.
3. Розведення захватів до половини для відпускання заготовки.
4. Розведення захватів повністю для повернення у початкове положення.

Шлях, який проходиться гвинт за час розгону (або гальмування) зведено у табл. 1.2. Розраховані значення моментів, що виникають при русі механізму маніпулятора, також наведені у табл. 1.2 .

Таблиця 1.2 - Тривалості руху механізму на ділянках та значення моментів при роботі маніпулятора

Номер ділянки	Довжина шляху, м	Тривалість руху механізму, с	Статичні моменти, Н·м	Динамічні моменти, Н·м	Сумарний момент інерції, кг·м ²
1	0,075	1,55	0,678	0,692	20,3
2	0,075	1,55	6,78	6,92	20,6
3	0,075	1,25	6,78	6,92	20,6
4	0,075	1,25	0,678	0,692	20,3

Значення повних моментів для ділянок руху механізму:

$$M_{повн1} = M_{зн1.1} + M_{зн2.1} + M_{дин1} = 112,09 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.5)$$

$$M_{повн2} = M_{зн1.2} + M_{зн2.2} + M_{дин2} = 1120,9 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.6)$$

$$M_{повн3} = M_{повн2} = 1120,9 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.7)$$

$$M_{повн4} = M_{повн1} = 112,09 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.8)$$

Обчислимо середньоквадратичне значення моменту:

$$M_{ск} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}} =$$

$$= \sqrt{\frac{112,09^2 \cdot 1,55 + 1120,9^2 \cdot 1,55 + 1120,9^2 \cdot 1,25 + 112,09^2 \cdot 1,25}{1,55 + 1,55 + 1,25 + 1,25}} = 797 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.9)$$

Задаємося швидкістю обертання валу двигуна $n_{дв} = 500$ об/хв.

$$\omega_{дв} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{дв}}{60} = 52,36 \text{ рад/с.} \quad (1.10)$$

Розрахуємо попереднє значення потужності двигуна:

$$P_{дв} = (1,1 \div 1,3) \cdot M_{ск} \cdot \omega_{дв} = 1,2 \cdot 797 \cdot 52,36 = 50077 \text{ Вт.} \quad (1.11)$$

Обчислимо швидкість обертання валу приводного двигуна, а також передаточне число циліндричного редуктора. Так як механізм виконує лінійне переміщення зі швидкістю V_c , то кутова швидкість обертання гвинта визначається наступним чином:

$$\omega_z = \frac{2 \cdot V_c}{d_g} = \frac{2 \cdot 0,06}{0,095} = 1,263 \text{ рад/с.} \quad (1.12)$$

Загальне передаточне число редуктора визначається:

$$i = \frac{\omega_{дв}}{\omega_z} = \frac{52,36}{1,263} = 41,452. \quad (1.13)$$

Вибирається редуктор Ц2Ш-0,8: $M_H = 800 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $n_{max} = 700$ об/хв; $i = 40$; $\eta = 98 \%$.

Вибирається двигун постійного струму Д810: $P_H = 55 \text{ кВт}$; $U_H = 220 \text{ В}$;

$n_H = 500$ об/хв; $\eta = 86,2 \%$; $I_H = 290 \text{ А}$; $J = 14,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

Аналіз системи електропривода технологічного механізму

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.02							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Василець В.А.			Аналіз системи електропривода технологічного механізму				Літ.		Арк.	Акрушів
Перевір.		Барановська М										
Реценз.									ЕМ гр. 3ЕЕМ-22ск			
Н. Контр.		Барановська М										
Затверд.		Пересунько І.І.										

2.1 Вибір основного та додаткового обладнання системи маніпулятора кувального

Вибір тиристорного перетворювача проводимо за умовами:

$$U_{дн} \geq U_{ндв} \quad (2.1)$$

$$I_{дн} \geq I_{ндв} \quad (2.2)$$

Вибирається перетворювач SIMOREG 6RM70 з технічними даними:

- тип перетворювача: КТЕ;
- напруга живлення: 380 В;
- вихідна напруга: 460 В;
- вихідний струм: 326 А;
- напруга збудження: 220 В;
- струм збудження: 25 А.

Вибирається струмообмежуючий реактор:

$$I_{сop} \geq I_{ндв} \quad (2.3)$$

з технічними даними:

- тип реактора: ФРОС-250/0,5;
- номінальний струм: $I_n = 320$ А;
- номінальна індуктивність: $L_n = 4,2$ мГн;
- активний опір: $R = 0,0115$ Ом.

Вибирається згладжуючий дросель:

$$I_{др} \geq I_{ндв} \quad (2.4)$$

з технічними даними:

- тип дроселя: ТТД1W-1,0/300;
- номінальний струм: $I_n = 300$ А;
- індуктивність: $L_n = 1,0$ мГн.

2.2 Перетворювачі постійного струму SIEMENS SIMOREG DC MASTER

2.2.1 Загальні відомості перетворювача сімейства SIMOREG DC MASTER

Перетворювачі серії SIMOREG DC MASTER охоплюють широкий діапазон потужностей - від 6,3 кВт до 2000 кВт - і призначені для живлення як якоря, так і обмотки збудження. Відмінною рисою SIMOREG DC MASTER є їхні високі динамічні властивості: час наростання струму або моменту становить менше 10 мс. Загальний вид перетворювача показаний на рис.3.1.



Рисунок 2.1 - Загальний вид перетворювача SIMOREG DC MASTER

Ключові особливості перетворювача SIMOREG DC MASTER:

- повна інтеграція в різноманітні системи автоматизації;
- можливість гнучкого модульного розширення;
- підходять як для стандартних задач, так і для високопродуктивних застосувань;
- надійні конфігурації до 15 000 А завдяки інтелектуальному паралельному з'єднанню;
- підтримка напруги живлення в діапазоні від 400 В до 950 В;

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.02	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- просте та швидке введення в експлуатацію за рахунок електронного налаштування всіх параметрів.

2.2.2 Силова частина та охолодження

Цифрові компактні перетворювачі SIEMENS SIMOREG 6RA70 призначені для підключення до мереж змінного струму та забезпечують живлення якоря й збудження електроприводів постійного струму з регульованою швидкістю обертання. Діапазон номінального струму постійного струму охоплює значення від 15 до 3000 А, а за потреби він може бути збільшений шляхом паралельного підключення декількох пристроїв.

Залежно від конкретного застосування, ці перетворювачі можуть функціонувати як у реверсивному, так і в нереверсивному режимі. Вони є повністю автономними — завдяки вбудованій системі параметрування не потребують зовнішніх пристроїв для налаштування. Усі функції керування, регулювання, контролю та допоміжні задачі виконує одна мікропроцесорна система. Значення задаються та зчитуються як у цифровій, так і в аналоговій формі.

SIEMENS SIMOREG 6RA70 вирізняються компактною конструкцією, що дозволяє економити простір при встановленні. У дверцята пристрою вмонтовано електронний блок, до складу якого входять модулі регулювання. За потреби він може бути доповнений модулями для технологічних функцій та інтерфейсів зв'язку.

Підключення зовнішніх сигналів (аналогові/дискретні входи та виходи, імпульсні датчики тощо) здійснюється через зручні штекерні з'єднання. Програмне забезпечення зберігається у flash EPROM, і може бути легко оновлене через послідовний інтерфейс у базовому модулі.

2.2.3 Силова частина: контури якоря та збудження

Якірний контур реалізований за мостовою схемою змінного струму:

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.02	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- для нереверсивних приводів використовується повнокерована мостова схема типу В6С;

- для реверсивних приводів застосовуються дві повнокеровані мостові схеми, об'єднані за схемою (В6)А (В6)С.

Контур збудження побудований за однофазною напівкерованою схемою типу В2НЗ. У перетворювачах з номінальним струмом від 15 до 1200 А силові ланки як для якоря, так і для збудження виконані з тиристорних модулів, які мають електричну ізоляцію. Завдяки цьому теплообмінний корпус не знаходиться під електричним потенціалом.

У моделях із номінальним струмом 1500 А і вище якорний контур побудований на таблеткових тиристорах, при цьому їхні радіатори перебувають під напругою. Всі силові клеми зручно розміщені на передній панелі пристрою.

Система охолодження.

Для перетворювачів із струмом до 125 А передбачене природне повітряне охолодження. У моделях з номіналом 210 А і більше використовується примусове повітряне охолодження за допомогою вентилятора.

2.2.4 Пристрій для параметрування

Проста панель керування SIEMENS PMU.

Усі перетворювачі стандартно обладнані панеллю керування PMU, яка розміщується на дверцятах пристрою. Панель складається з п'ятизначного семисегментного індикатора, трьох світлодіодів для сигналізації стану та трьох кнопок для введення і зміни параметрів.

Також на панелі розташований роз'єм Х300 із підтримкою інтерфейсу USS відповідно до стандартів RS-232 або RS-485.

PMU забезпечує виконання всіх основних операцій для налаштування, параметрування, запуску й контролю вимірюваних значень.

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.02	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Функції кнопок керування:

- 1) Кнопка Р (вибір параметра): перемикає між номером параметра та його значенням, а також підтвердження (квітування) повідомлень про помилки;
- 2) Кнопка Вгору: збільшує номер параметра в режимі перегляду списку або підвищує його значення у відповідному режимі редагування;
- 3) Кнопка Вниз: зменшує номер параметра або значення, а також змінює індекс у режимі діагностики.

Призначення світлодіодних індикаторів:

- 1) Ready (Готовий): вмикається, коли пристрій готовий до роботи, але ще не активовано робоче розблокування;
- 2) Run (Робота): горить при активному робочому розблокуванні;
- 3) Fault (Помилка): сигналізує про наявність помилки (постійне світіння) або попередження (миготіння).

П'ятизначний індикатор PMU дозволяє відображати різноманітні параметри у зручних одиницях, таких як:

- відсотки від номінального значення;
- коефіцієнти підсилення;
- час (с);
- струм (А) або напруга (В).

2.2.5 Параметрування за допомогою персонального комп'ютера

Для введення в експлуатацію та діагностики перетворювача за допомогою ПК використовується спеціальне програмне забезпечення Drive Monitor, яке постачається разом із пристроєм. З'єднання з перетворювачем SIMOREG здійснюється через інтерфейс USS, вбудований у базовий модуль.

Програмне забезпечення забезпечує такі можливості:

- зручний доступ до параметрів через меню;
- читання та запис параметричних блоків;

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.02	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- копіювання налаштованих параметрів на інший перетворювач тієї ж серії;
- друк параметричних блоків;
- керування за допомогою керуючого слова та введення заданих значень;
- перегляд статусного слова (поточний стан пристрою) та відображення актуальних значень;
- перегляд повідомлень про збої та попередження;
- зчитування даних із Trace-буфера — вбудованої осцилографічної функції SIMOREG.

2.2.6 Блок-схема підключення перетворювача SIMOREG DC MASTER

Підключення перетворювача SIMOREG DC MASTER зображено на рис. 2.2.

Експлуатація перетворювача без головного контактора не допускається. Керуюча напруга для живлення головного контактора (або автоматичного вимикача) має подаватися виключно через клеми XR (виводи 109 та 110) перетворювача SINAMICS DC MASTER, а також через клеми X_Contactor (виводи 4 і 5) пристрою SIMOREG CCP.

У випадку використання SIMOREG CM у складі системи, необхідно передбачити можливість безпечного відключення від мережі живлення у разі виникнення несправностей. Також потрібно забезпечити, щоб загальний час спрацювання всіх комутаційних елементів у керуючому колі не перевищував заданого значення, встановленого у параметрах пристрою.

При паралельному підключенні декількох перетворювачів SINAMICS DC MASTER, кожен із них має бути безпосередньо з'єднаний із SIMOREG CCP, як показано на рис. 2.3.

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.02	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

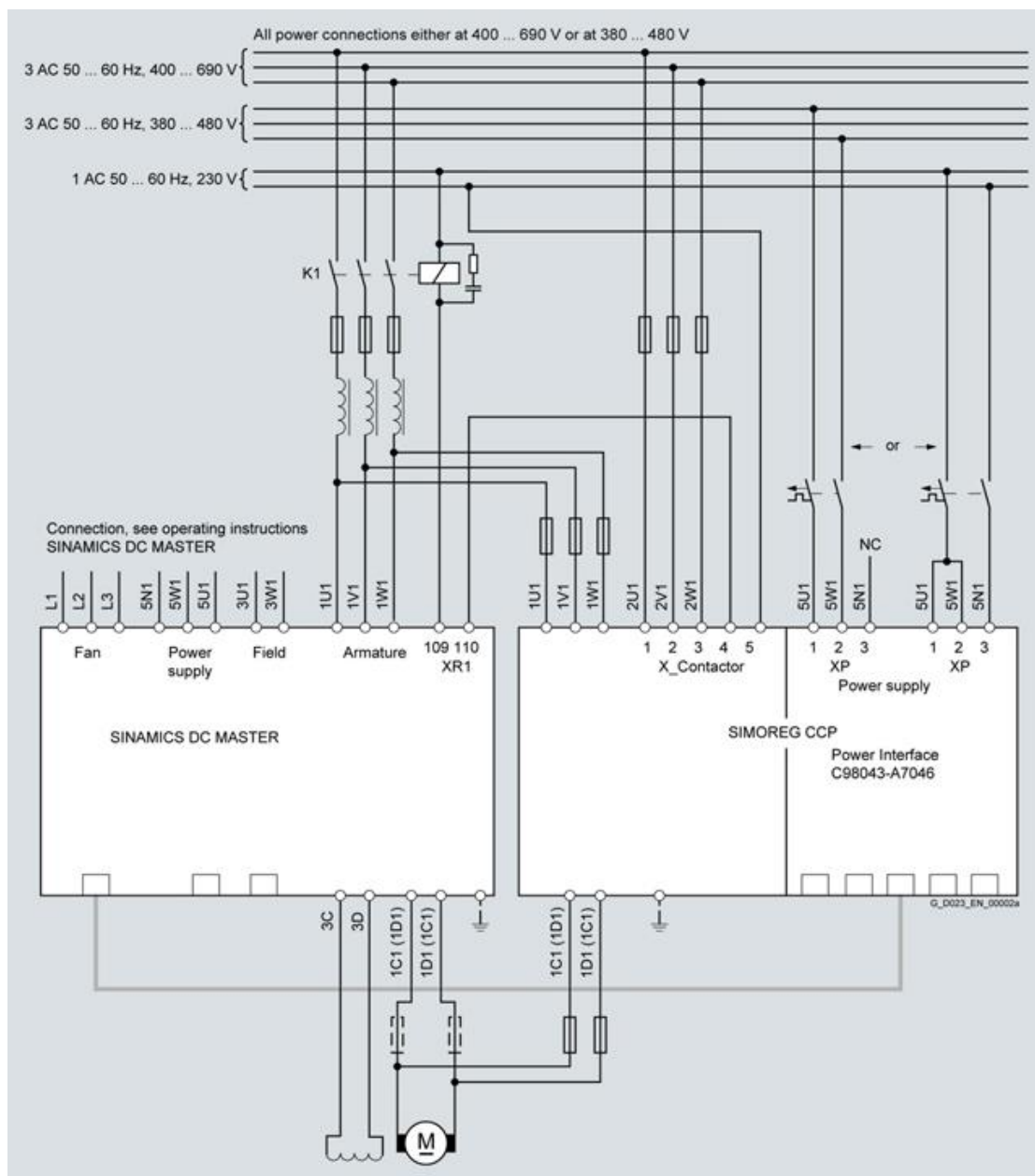


Рисунок 2.2 – Схема підключення SIMOREG DC MASTER

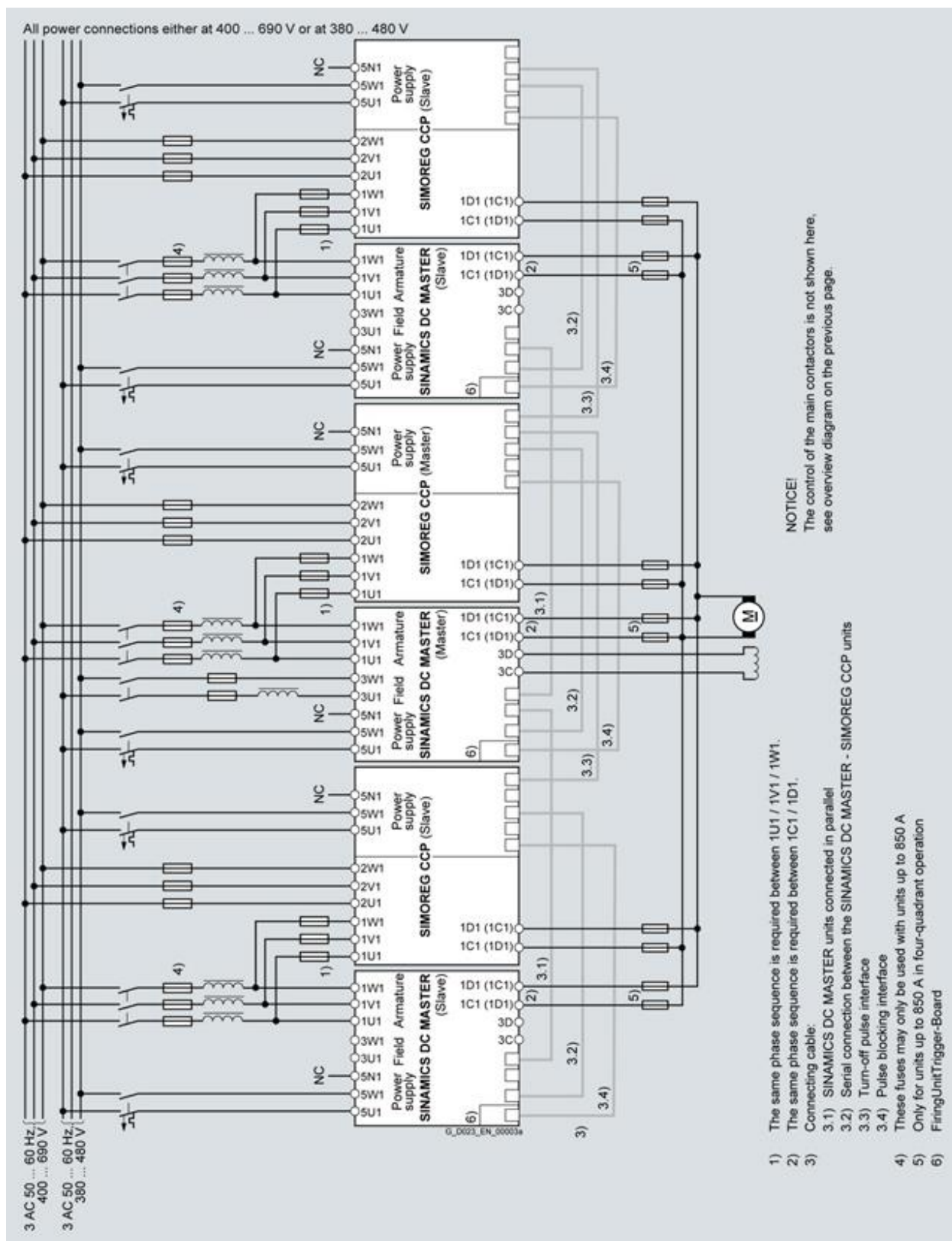


Рисунок 2.3 – Блок-схема паралельного підключення SIMOREG DC MASTER

2.3 Схема заміщення електропривода та розрахунок її параметрів

Схема заміщення, яка має наступний вигляд, представлена на рис. 2.4.

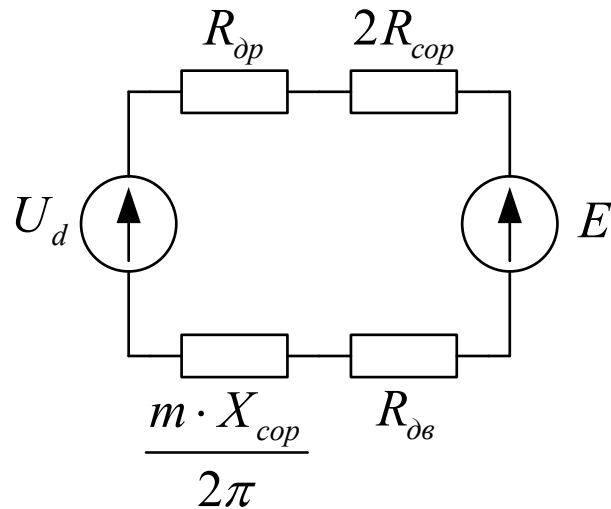


Рисунок 2.4 - Схема заміщення електропривода

Активний опір якоря ДПС:

$$R_{\text{я}} = 0,5 \cdot (1 - \eta_n) \cdot \frac{U_{\text{ндс}}}{I_{\text{ндс}}} = 0,5 \cdot (1 - 0,862) \cdot \frac{220}{290} = 0,052 \text{ Ом.} \quad (2.5)$$

Активний опір дроселя:

$$R_{\text{др}} = 0,1 \cdot R_{\text{я}} = 0,1 \cdot 0,052 = 0,0052 \text{ Ом} \quad (2.6)$$

Активний опір якірного кола:

$$R_{\Sigma} = R_{\text{я}} + R_{\text{др}} + 2 \cdot R_{\text{кор}} + \frac{m \cdot X_{\text{кор}}}{2 \cdot \pi} =$$

$$= 0,052 + 0,0052 + 2 \cdot 0,0115 + \frac{6 \cdot \sqrt{\left(\frac{220}{290}\right)^2 - 0,0115^2}}{2 \cdot 3,14} = 0,048 \text{ Ом.} \quad (2.7)$$

де $m = 6$ – коефіцієнт пульсацій.

2.4 Статичні характеристики електропривода за системою ТП-Д

Самі характеристики отримані при певних кутах керування: $\alpha = 83^\circ, 83^\circ, 63^\circ, 53^\circ, 43^\circ, 37^\circ$.

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.02	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1) Швидкісні характеристики.

Вираз розрахунку та побудови швидкісної характеристики:

$$\omega = \frac{U_{ндв} \cdot \cos \alpha - I_{дв} \cdot R_{я}}{k\Phi} \quad (2.8)$$

де

$$k\Phi = \frac{U_{ндв} - I_{ндв} \cdot R_{дв}}{\omega_{ндв}} = \frac{220 - 290 \cdot 0,052}{52,36} = 3,912 \text{ Вс/рад.} \quad (2.9)$$

Самі швидкісні характеристики зображені на рис. 2.5.

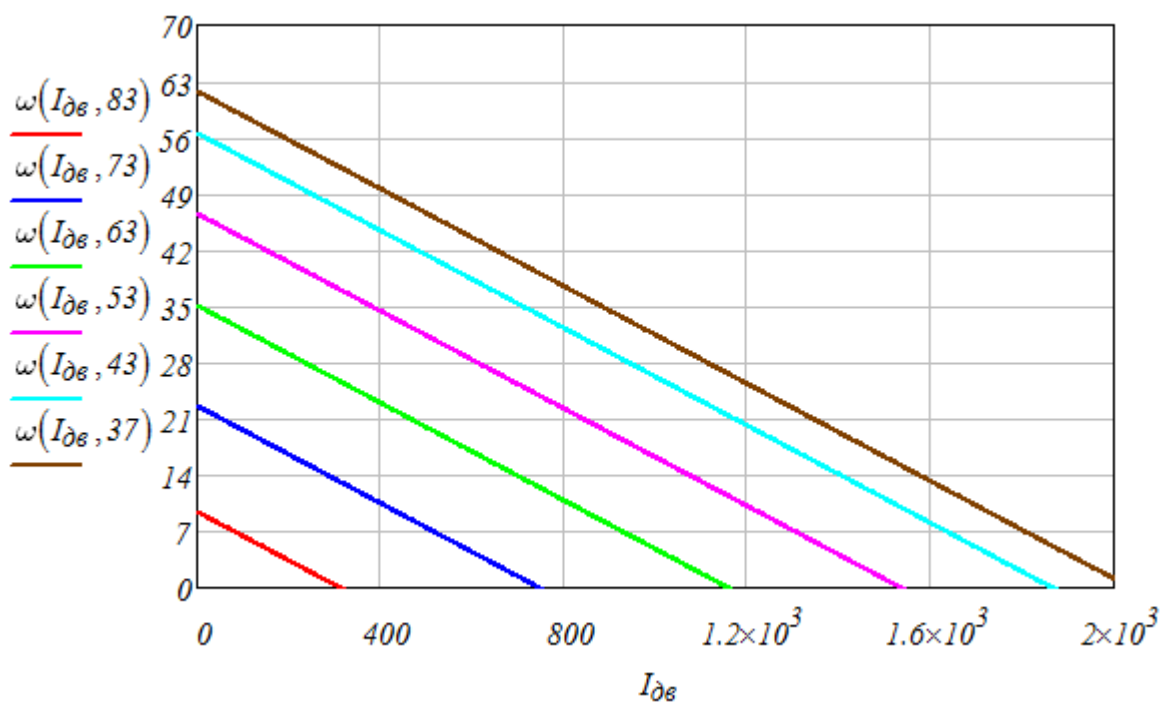


Рисунок 2.5 – Отримані швидкісні характеристики

2) Механічні характеристики.

Вираз розрахунку та побудови механічної характеристики:

$$\omega = \frac{U_{ндв} \cdot \cos \alpha}{k\Phi} - \frac{R_{я}}{k\Phi^2} \cdot M_{дв} \quad (2.10)$$

Самі механічні характеристики зображені на рис. 2.6.

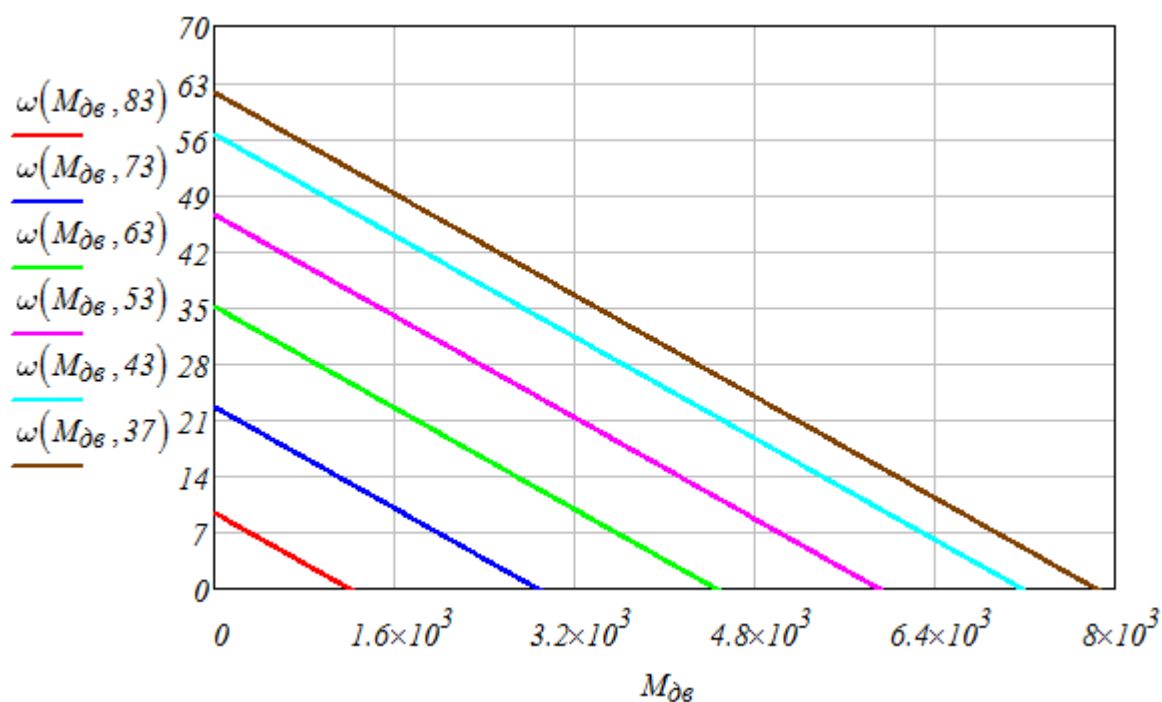


Рисунок 2.6 - Отримані механічні характеристики

3) Енергетичні характеристики.

а) Вираз розрахунку та побудови ККД:

$$\eta = \frac{M \cdot \omega}{M \cdot \omega + P_{\Sigma}} \cdot 100\% \quad (2.11)$$

де ΔP_{Σ} – загальні втрати потужності:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{змін}} = k_{\text{мех}} \cdot P_{\text{н}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{н}}}\right)^2 + I_{\text{дв}}^2 \cdot R_{\text{я}} \quad (2.12)$$

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

Самі характеристики $\eta = f(\omega)$ зображені на рис. 2.7.

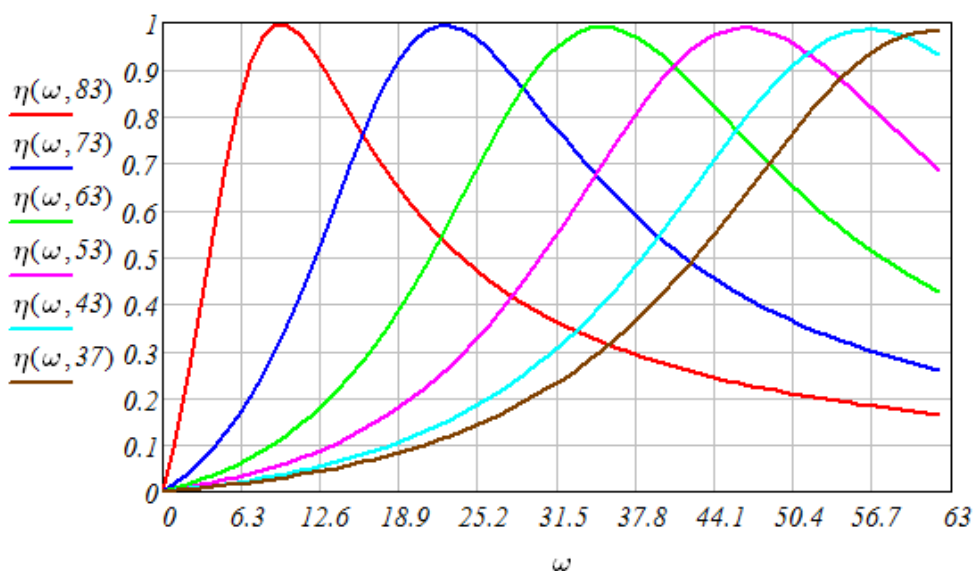


Рисунок 2.7 - Отримані характеристики $\eta = f(\omega)$

б) Вираз розрахунку та побудови коефіцієнта потужності:

$$\cos\varphi \approx \cos\alpha = \frac{k\Phi \cdot \omega + I_{\text{об}} \cdot R_{\text{я}}}{U_{\text{дн}}} = \frac{k\Phi \cdot \omega + \frac{M \cdot R_{\text{я}}}{k\Phi}}{U_{\text{дн}}} \quad (2.13)$$

Самі характеристики $\cos\varphi = f(\omega)$ зображені на рис. 2.8.

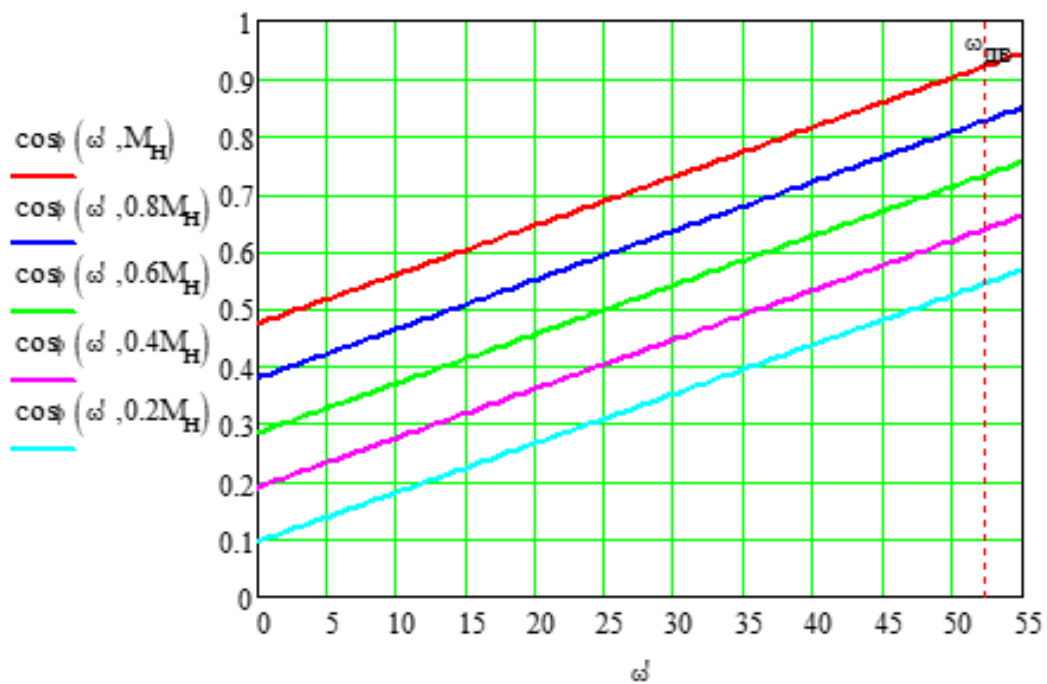


Рисунок 2.8 - Отримані характеристики $\cos\varphi = f(\omega)$

РОЗДІЛ 3

Математичне моделювання електромеханічного об’єкту

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.03						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Василець В.А.			Математичне моделювання електромеханічного об'єкту			Літ.		Арк.	Акрушів
Перевір.		Барановська М									
Реценз.								ЕМ гр. 3ЕЕМ-22ск			
Н. Контр.		Барановська М									
Затверд.		Пересунько І.І.									

3.1 Динамічні властивості системи тиристорний перетворювач - двигун

Тиристор є частково керованим напівпровідниковим приладом: після відкриття він залишається провідним доти, поки струм через нього не припиниться. Упливати на тиристор під час його провідного стану неможливо - управління здійснюється лише наступним тиристором, що має включитися після закінчення часу роботи попереднього. Це обумовлює наявність затримки τ , значення якої може змінюватися в межах від 0 до $2\pi / m$, де m - число фаз. Чим менше фаз у системі, тим більша затримка. Наприклад, при $m = 2$ та частоті мережі 50 Гц, вона становить приблизно 0,01 с.

У зв'язку з цим електропривод, що працює з тиристорним перетворювачем, можна розглядати як динамічну ланку із запізненням. Додаткове відставання сигналу може бути зумовлене електромагнітною інерційністю фазозсувних елементів, однак цей ефект зазвичай незначний.

Отримати динамічні рівняння силової частини системи тиристорний перетворювач – двигун можна за схемою заміщення, наведеною на рис. 3.1. Слід також враховувати, що для тиристорних перетворювачів характерна нелінійна залежність середньої вихідної напруги від кута керування. У режимі переривчастих струмів ця залежність ускладнюється ще більше.

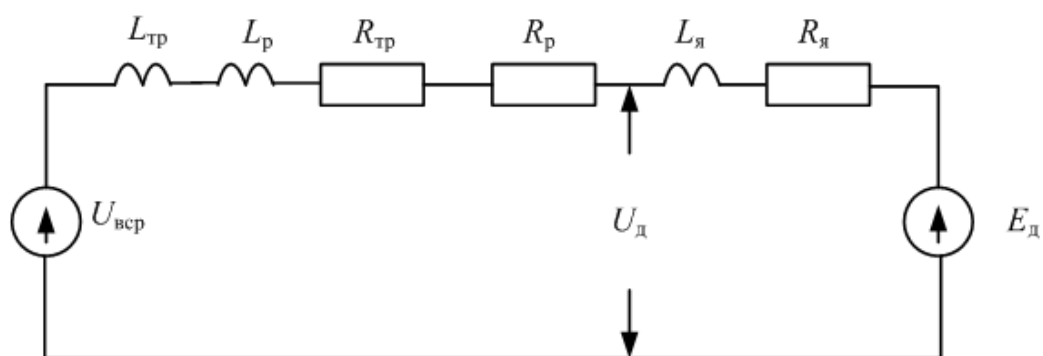


Рисунок 3.1 - Еквівалентна схема силової частини системи тиристорний перетворювач – електродвигун

З урахуванням вищенаведеного, передавальну функцію електроприводу з тиристорним керуванням перетворювачем можна виразити через таке співвідношення:

$$W(p) = \frac{\omega(p)}{u_{\kappa}(p)} = \frac{W_1(p)}{W_2(p)} \quad (3.1)$$

де $\omega(p)$ – швидкість двигуна,

$u_{\kappa}(p)$ – керуюча напруга (вхід ТП),

$$W_1(p) = \frac{\alpha(p)}{u_{\kappa}(p)} = \frac{k_1}{T_1 p + 1} \quad (3.2)$$

Передачна функція фазозсувного кола:

$$W_2(p) = \frac{\omega(p)}{\alpha(p)} = \frac{e^{-\tau p} U_{\text{во}} \cos \alpha}{T_m T_{\text{я}} p^2 + T_m p + 1}, \quad (3.3)$$

де k_1 – коефіцієнт, що зв'язує кут керування α з керуючим напругою на вході перетворювача;

T_1 – постійна часу кола фазозсувного пристрою;

$T_m = J R_{\text{яс}} / (K \Phi)^2$ – електромеханічна постійна часу;

$T_{\text{я}} = L_{\text{яс}} / R_{\text{яс}}$ – електромагнітна постійна часу,

$R_{\text{яс}}$, $L_{\text{яс}}$ – сумарний активний опір та індуктивність якірного кола відповідно.

Паспортні дані двигуна постійного струму типу Д810 із незалежним збудженням:

- 1) Потужність: $P_{\text{н}} = 55$ кВт;
- 2) Напруга: $U_{\text{н}} = 220$ В;
- 3) Частота обертання: $n_{\text{н}} = 500$ об/хв;
- 4) Коефіцієнт корисної дії: $\eta = 86,2$ %;
- 5) Струм: $I_{\text{н}} = 290$ А;
- 6) Момент інерції: $J = 14,5$ кг · м².

Індуктивність обмотки якоря (формула Уманського):

$$L_{\text{я}} = k \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} \cdot \frac{1}{p \cdot \omega_{\text{н}}}, \quad (3.4)$$

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.03	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де $k = 0,25$.

$$L_{я} = k \cdot \frac{U_{н}}{I_{н}} \cdot \frac{1}{p \cdot \omega_{н}} = 0,014 \text{ Гн}$$

$$L_{з} = \frac{5L_{я}R_{з}}{R_{я}} = \frac{5 \cdot 0,014 \cdot 34}{0,048} = 4,6 \text{ Гн.} \quad (3.5)$$

$$L_{яf} = \frac{M_{н}}{I_{н} \cdot I_{з}} = \frac{1050,5}{290 \cdot \frac{180}{34}} = 0,68 \text{ Гн.} \quad (3.6)$$

3.2 Математичне моделювання у пакеті MATLAB

На рис. 3.2 схематично показаний двигун постійного струму (ДПС) і обмотка збудження (ОЗ).

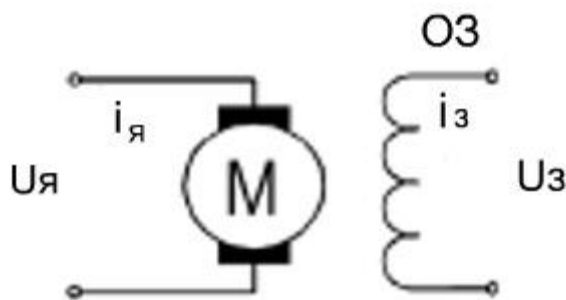


Рисунок 3.2 - Двигун постійного струму (М) і обмотка збудження (ОЗ)

Рівняння, якими описуються електромагнітні та електромеханічні процеси в ДПС:

$$\begin{cases} u_{з} = L_{з} \cdot \frac{di_{з}}{dt} + r_{з} \cdot i_{з} \\ u_{я} = L_{я} \cdot \frac{di_{я}}{dt} + r_{я} \cdot i_{я} + E \\ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M - M_{c} \\ \Phi = k_{\phi} \cdot i_{з} \\ E = k \cdot \omega \cdot \Phi \\ M = k \cdot i_{я} \cdot \Phi \end{cases} \quad (3.11)$$

де позначка z - змінні і параметри, пов'язані з обмоткою збудження;

позначка y - змінні параметри, пов'язані з якорем;

k - конструктивний коефіцієнт ДПС;

k_ϕ - коефіцієнт пропорційності між потоком і струмом ДПС.

На рис. 3.3 приведена піктограма ДПС (DC Machine) (бібліотека SimPowerSystems, розділ Machines).

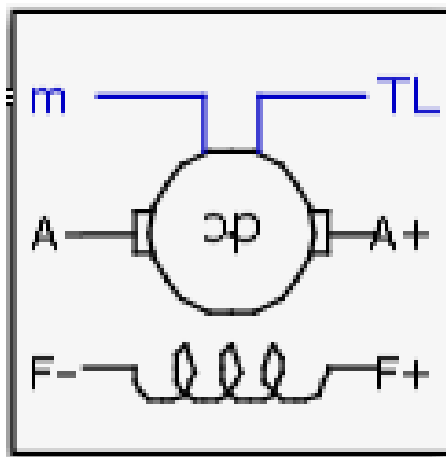


Рисунок 3.3 - Піктограма блока ДПС: обмотка збудження (F +, F-), якірне коло (A +, A-), механічна частина (TL, m)

Моделюємо електричну машину постійного струму.

Цей блок дозволяє моделювати як машину з послідовним збудженням, так і машину з незалежним збудженням. Вихідний порт **m** є шиною даних, через яку передаються значення величин: швидкості, струмів якоря та збудження, моменту (ел. магнітн.).

Через порт **TL** задається момент опору. Вихідний сигнал порту **m** представлений у вигляді вектора з чотирма елементами: швидкість, струми якоря та збудження, момент.

Для коректного моделювання двигуна постійного струму необхідно мати параметри, наведені у табл. Д1 додатку.

Віртуальна модель привода ТП-Д у пакеті MATLAB показана на рис. 3.4.
 Модель отримання керуючих імпульсів ТП показана на рис. 3.5.

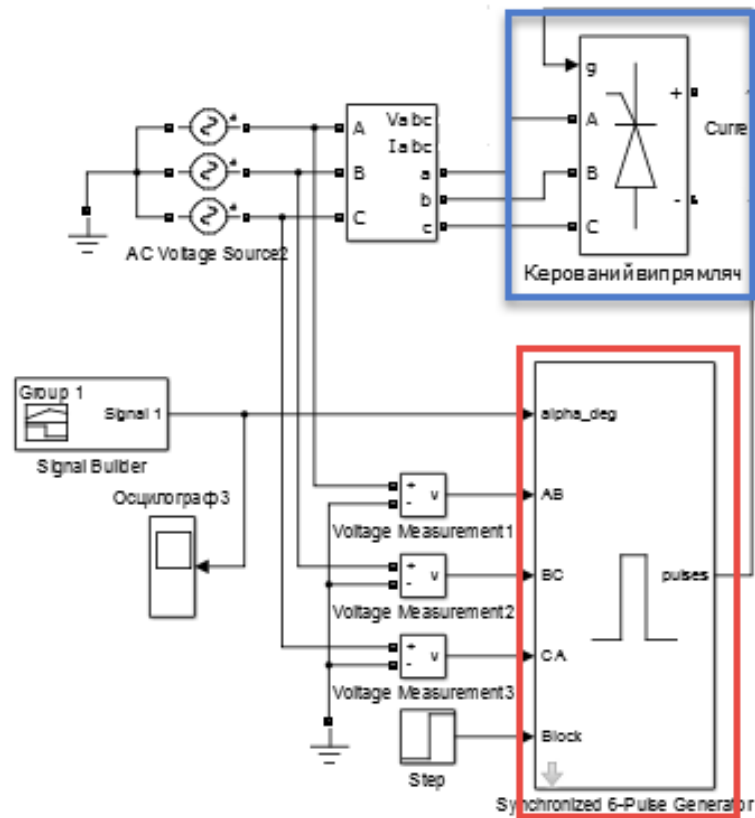


Рисунок 3.4 - Модель отримання керуючих імпульсів ТП

Червоний квадрат: блок генерації керуючих імпульсів для керованого випрямляча.

Синій квадрат: керований випрямляч, що перетворює змінну напругу у постійну. Модель дозволяє вибирати кількість плечей моста (від 1 до 3), вид напівпровідникових приладів (діоди, тиристори, ідеальні ключі, а також повністю керовані тиристори, IGBT і MOSFET транзистори, шунтуватися зворотними діодами). У моделі можна також вибрати вид затискачів А, В і С (вхідні або вихідні).

Параметри блока наведені у табл. Д2 додатку.

Вікно завдання параметрів ДПС показане на рис. 3.5.

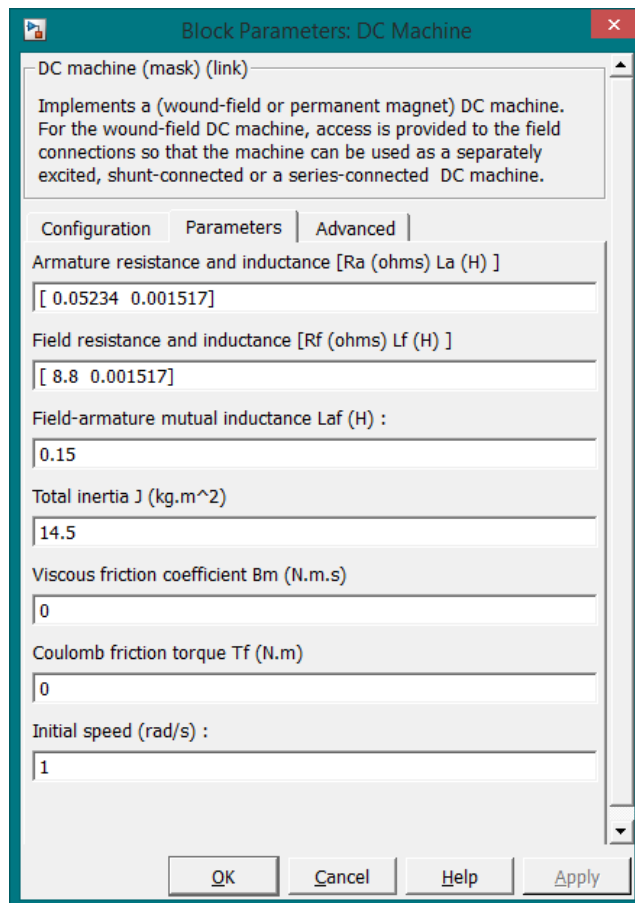


Рисунок 3.5 - Вікно завдання параметрів двигуна Д 810

Блок, що генерує постійну напругу, показаний на рис. 3.6.

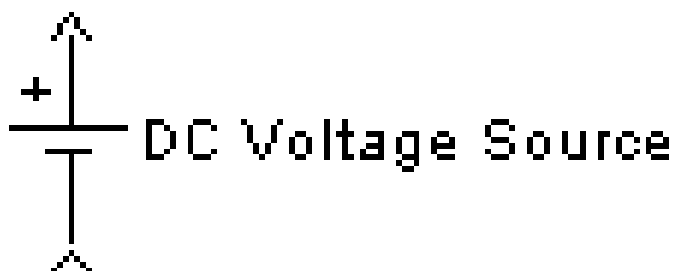


Рисунок 3.6 - Блок постійної напруги

На рис. 3.7 показане вікно завдання параметрів.

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.03	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

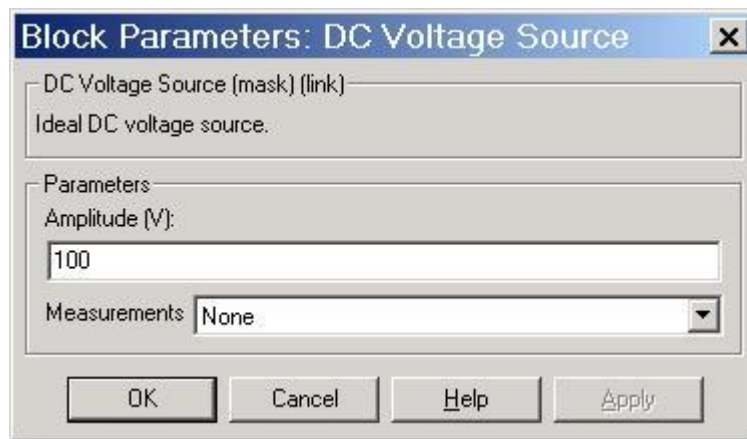


Рисунок 3.7 - Вікно завдання параметрів

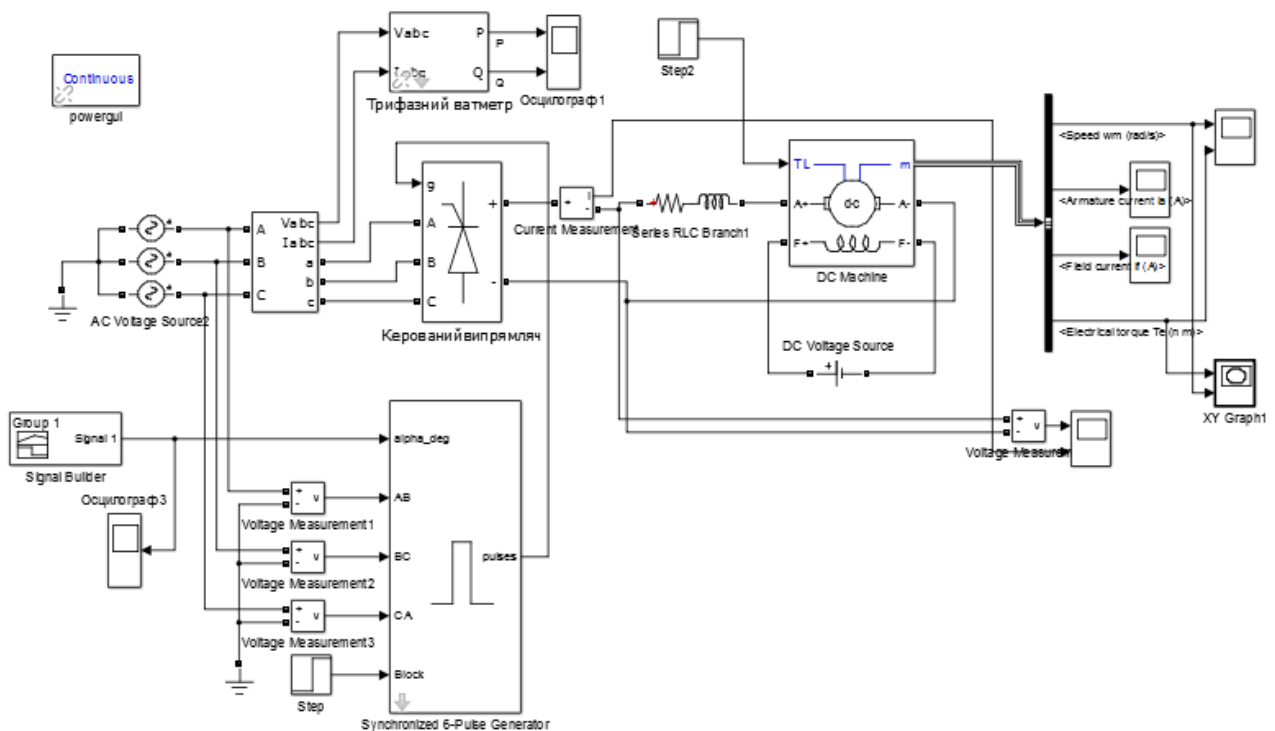


Рисунок 3.8 - Модель системи ТП-ДПС

Параметри блока постійної напруги наведені у табл. ДЗ додатку.

Графіки перехідного процесу при плавному запуску та подальшому накиді номінального навантаження показані на рис. 3.9.

Моделювання проведене при зміні кута керування тиристорами α , (див. рис. 3.10).

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.03	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримані розрахункові осцилограми (напруга якоря, струм якоря, струм збудження , напруга збудження, споживана потужність) (див. рис. 3.11, 3.12).

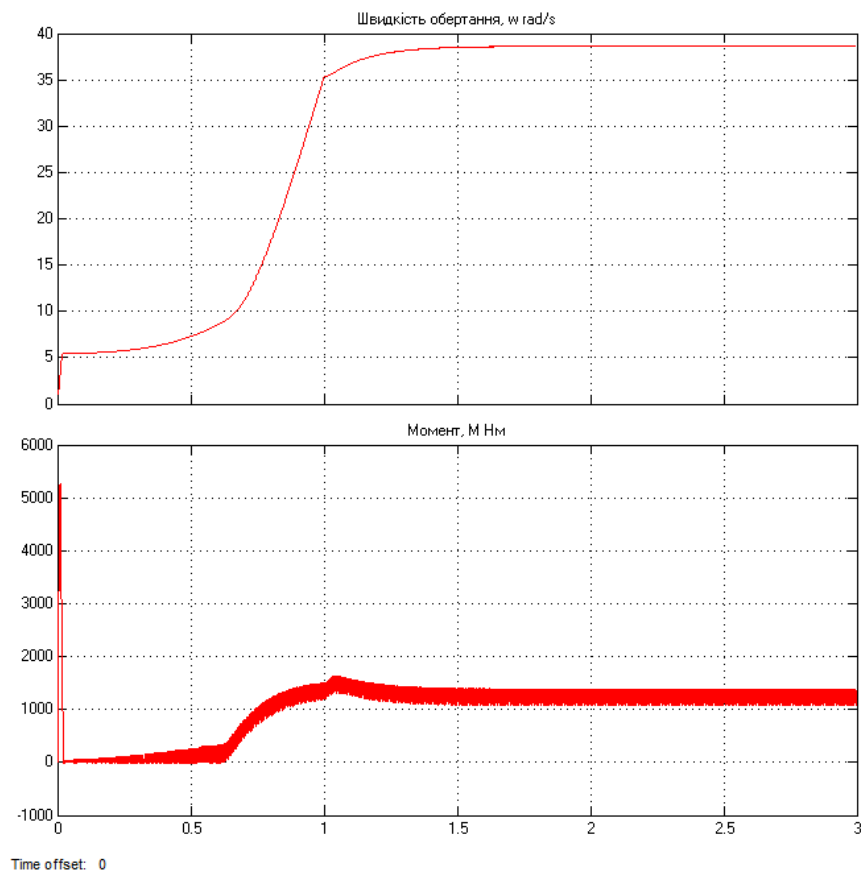


Рисунок 3.9 – Моделювання плавного пуску з подальшим накидом номінального навантаження

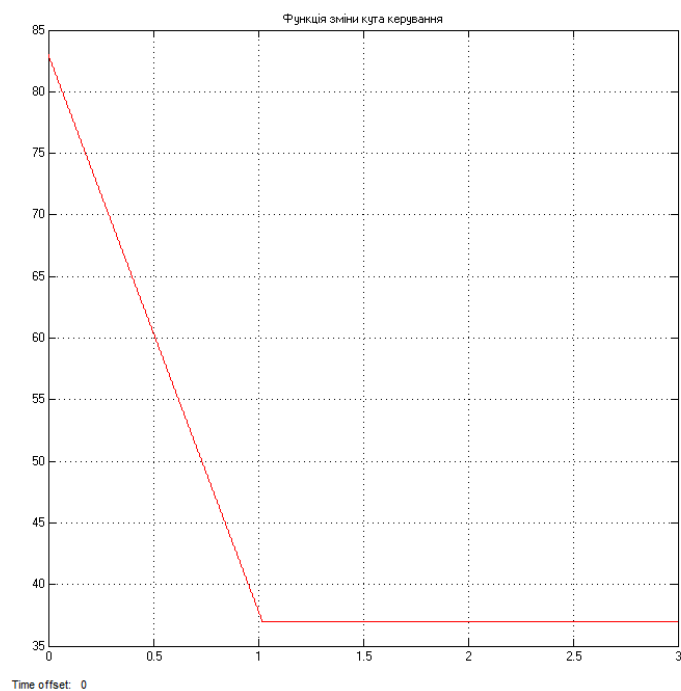


Рисунок 3.10 - Функція зміни кута керування α

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.03	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

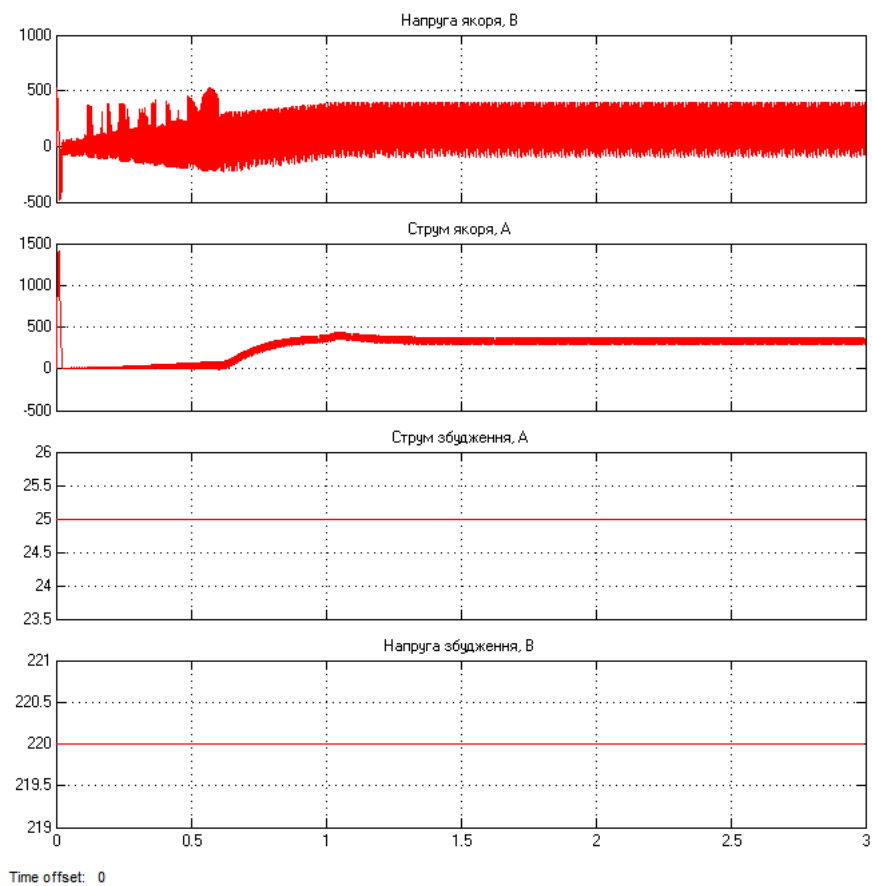


Рисунок 3.11 - Розрахункові осцилограми

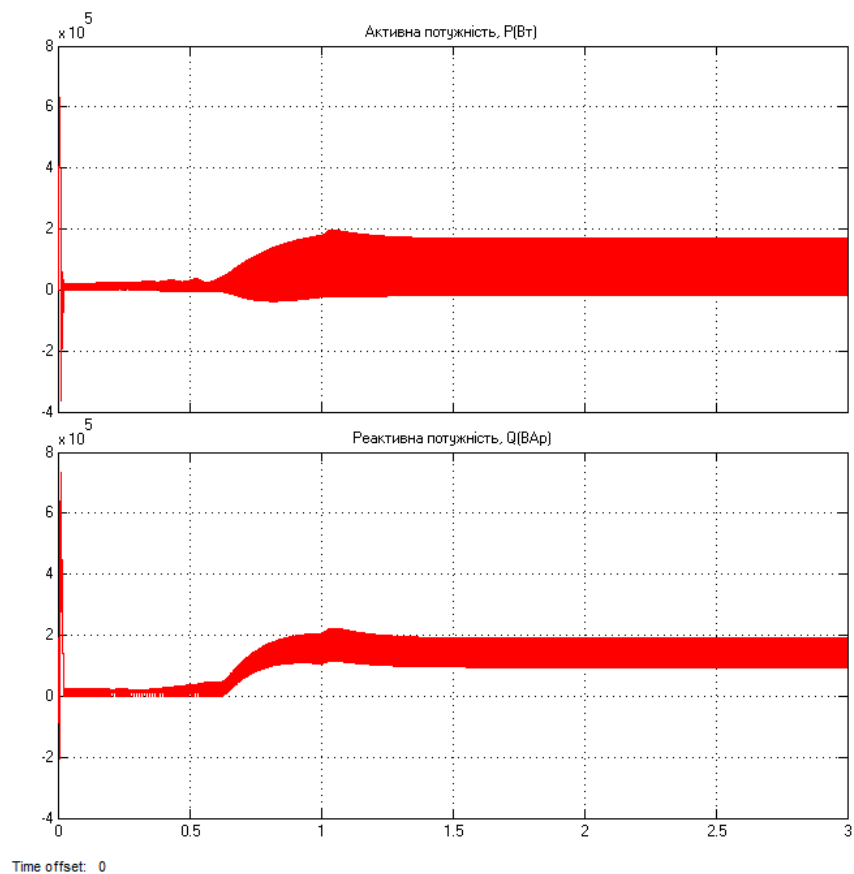


Рисунок 3.12 - Розрахункові осцилограми потужностей

Змодельюємо роботу системи ТП-ДПС під час автоматичного регулювання кута керування. Результати у вигляді графіків перехідних процесів наведені на рис. 3.13 – 3.15.

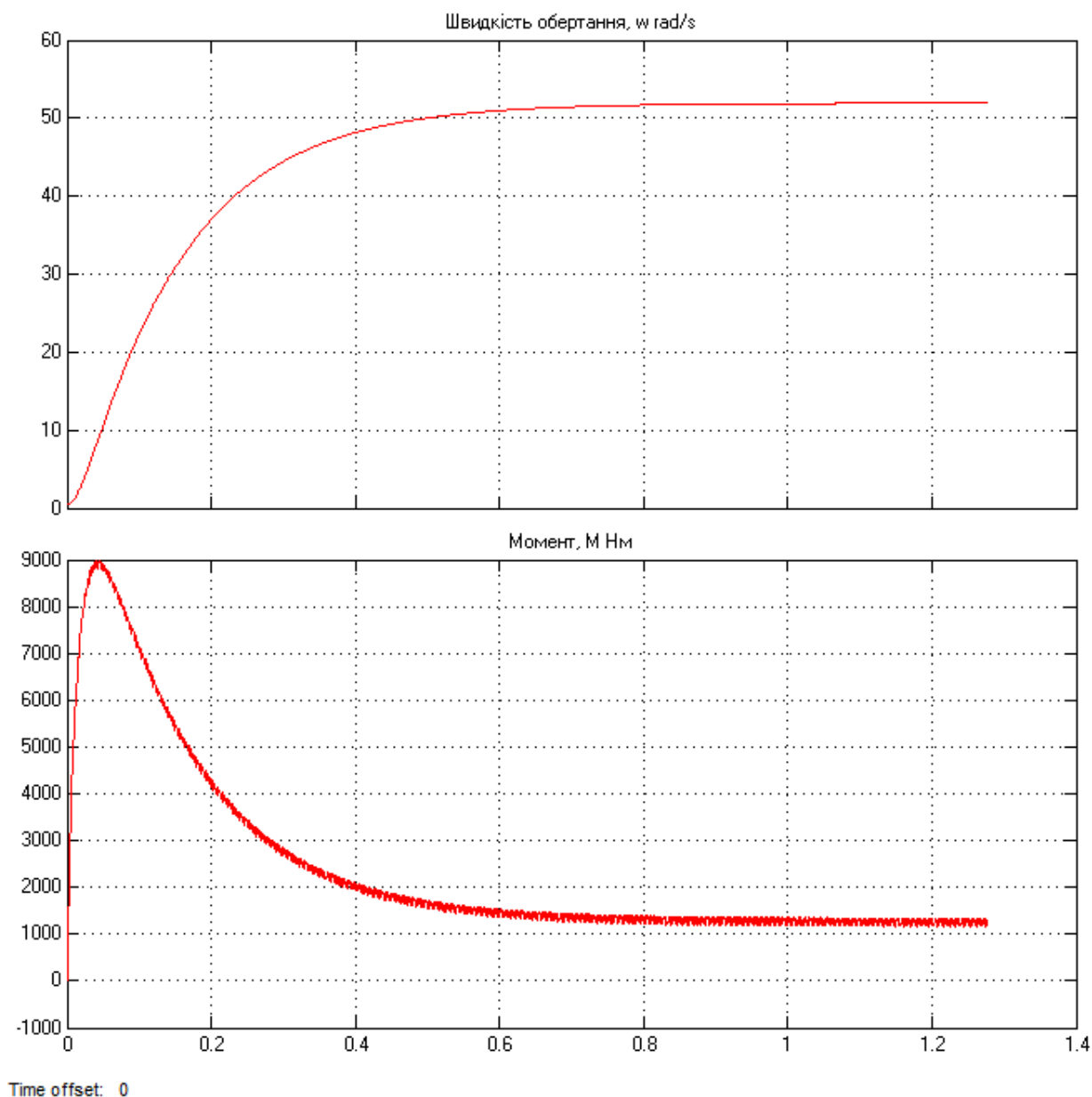


Рисунок 3.13 - Перехідні процеси при автоматичному регулюванні кута керування (швидкості та моменту)

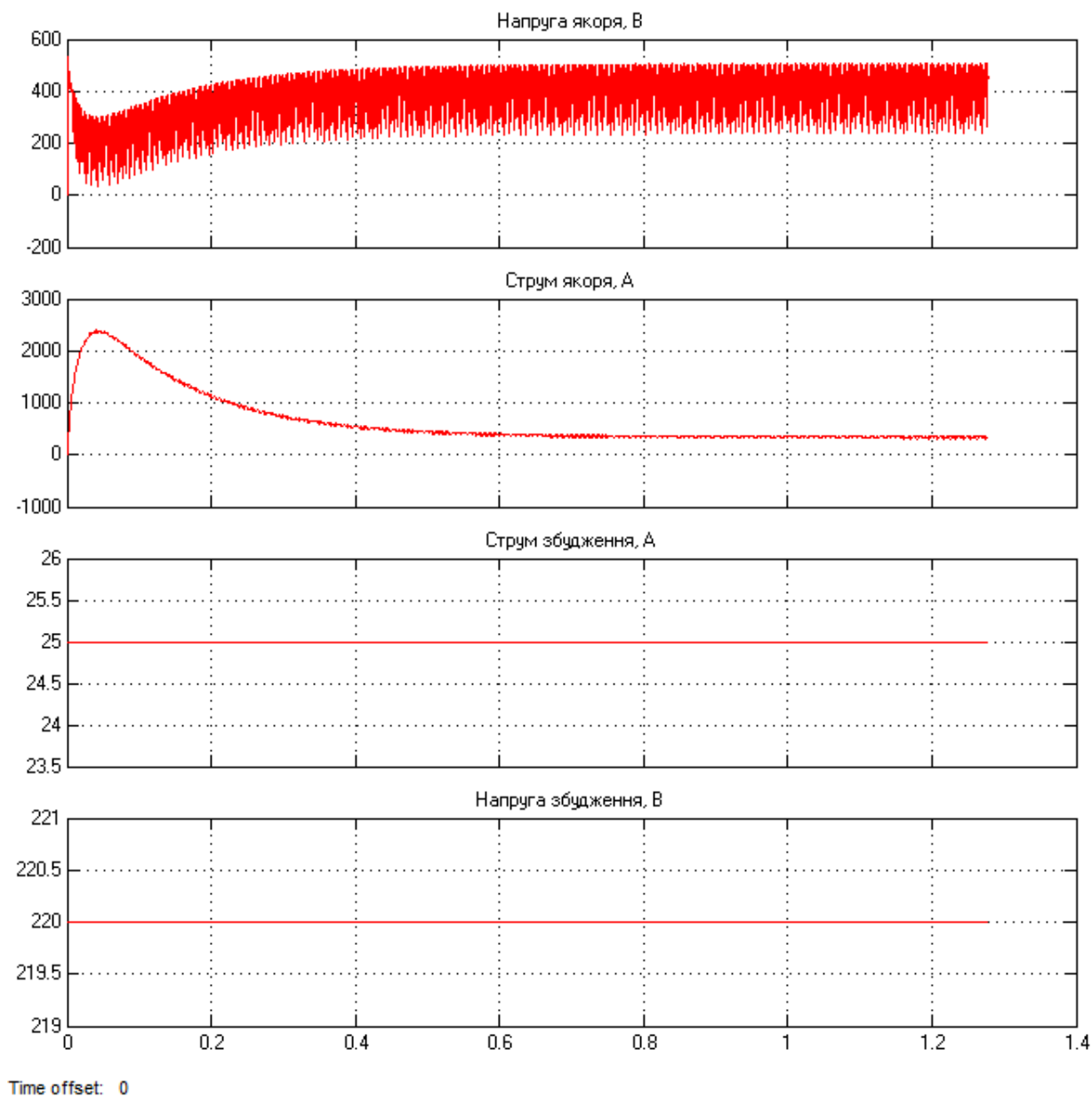


Рисунок 3.14 - Перехідні процеси при автоматичному регулюванні кута керування (напруги та струму якоря, напруги та струму збудження)

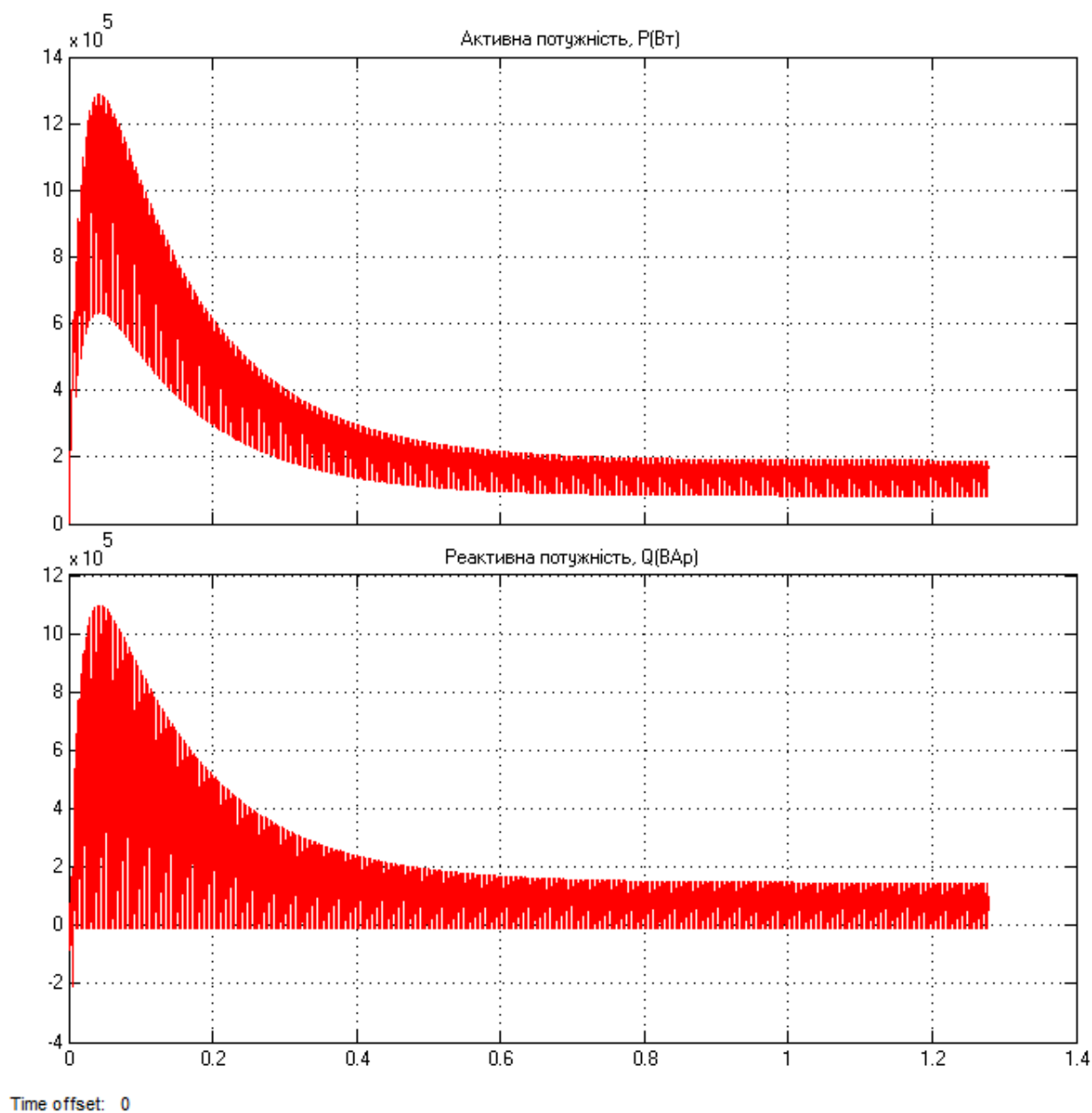


Рисунок 3.15 - Перехідний процес споживання потужностей при автоматичному регулюванні кута керування

РОЗДІЛ 4

Електропостачання

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.04							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Василець В.А.			Електропостачання				Літ.		Арк.	Акрушів
Перевір.		Барановська М										
Реценз.									ЕМ гр. 3ЕЕМ-22ск			
Н. Контр.		Барановська М										
Затверд.		Пересунько І.І.										

4.1 Електропостачання кувалального цеху та вибір трансформатора

Електропостачання передбачається від підстанції № 38. На підстанції № 38 встановлені два трансформатори, які живляться від незалежних джерел по незалежним лініям (щоб надійно резервувати один одного). Трансформатори вибирають однакової потужності. Схема електропостачання кувалального цеху приведена на рис. 4.1.

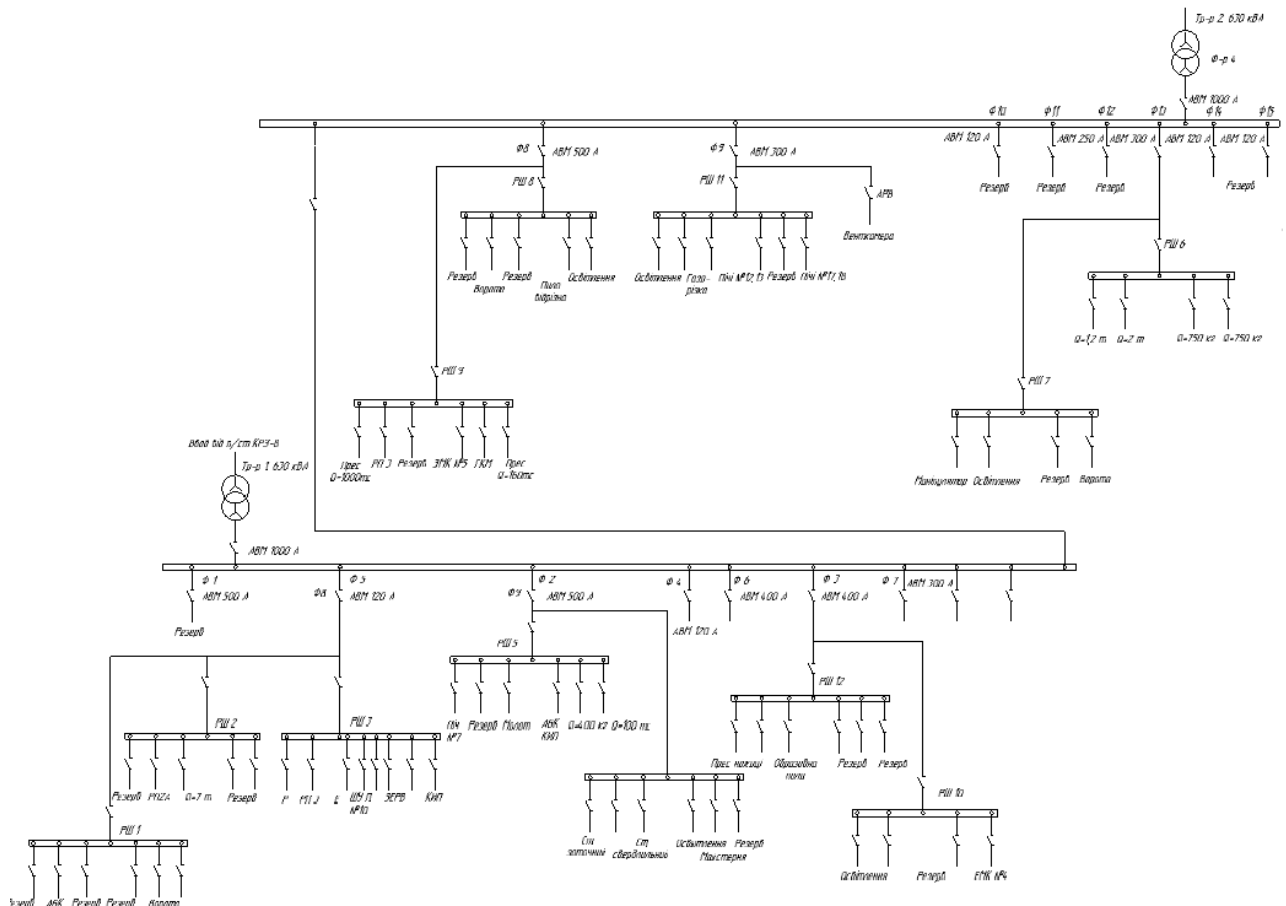


Рисунок 4.1 – Однолінійна схема електропостачання кувалального цеху

Розрахунок потужності споживаної електроприймачами здійснюємо по коефіцієнту попиту та виразам:

$$P_{\text{роз}} = \sum P_{\text{н}} \cdot K_{\text{с}} ; \quad (4.1)$$

$$Q_{\text{роз}} = P_{\text{роз}} \cdot \text{tg} \varphi ; \quad (4.2)$$

$$S_{\text{роз}} = \sqrt{P_{\text{роз}}^2 + Q_{\text{роз}}^2} . \quad (4.3)$$

Результати розрахунку зведені в табл. 4.1.

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.04	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Розрахункова потужність навантажень кувалального цеху

Назва груп споживачів	Потужність одиниці спожив., кВт	Кількість шт.	Сумарна потужність, кВт	Коеф. попиту	tg φ	cos φ	Розрахункова потужність		
							$P_{роз},$ кВт	$Q_{роз},$ кВАр	$S_{роз},$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТМ (ПП №38)	1000								1000
ТМ-630/6	630								630
Секції 0,4кВ									
Кувальний маніпулятор	100	1	100	0,4	1,17	0,65	40	47	62
Прес 1000 тс	80	1	80	0,4	1,17	0,65	32	38	50
Прес 160 тс	50	1	50	0,4	1,17	0,65	20	24	31
Ворота	30	3	90	0,8	0,75	0,8	72	54	90
Пила	40	2	80	0,4	0,75	0,8	32	24	40
Освітлення	20	1	20	0,8	0,35	0,94	16	5,6	17
ТПЗ	11	3	33	0,3	0,57	0,87	10	5,7	12
Вентиляція	10	5	50	0,8	0,75	0,8	40	30	50
Газорізка	15	1	15	0,4	1,52	0,65	6	9	11
Піч	30	7	210	0,8	0,62	0,95	168	104	200
Невраховане обладнання									137
Всього по секції 0,4 кВ									700

Потужність трансформатор:

$$S_{нтр(1)} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_c \cdot K_{пер}} = \frac{1 \cdot 0,85 \cdot 700}{0,9 \cdot 1,1} = 601 \text{ кВА}, \quad (4.4)$$

Силовий трансформатор ТМ 35/6,3 кВ встановлений на самій підстанції № 38 (див. табл. 4.2). Споживачі, які живляться напругою 6,3 кВ у кувальному цеху відсутні.

Таблиця 4.2 – Показники, зазначені в паспорті трансформаторів

№ з/п	Тип	Потужність, кВА	Номинальна напруга, кВ		Втрати, кВт		Напруга короткого замикання, u_k , %	Струм холостого ходу, I_{xx} , %
			$U_{1н}$	$U_{2н}$	ΔP_{xx}	$\Delta P_{кз}$		
1.	ТМ-630/6	630	6	0,4	1,42	7,6	5,5	2,0
2.	ТМ (ПП №38)	1000	35	6,3	2,35	12,2	6,5	1,5

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.04				Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

4.2 Розрахунок СКЗ у мережі вище 1000 В кувального цеху

Базисні величини: $S_c = S_{\bar{o}} = 100 \text{ МВА}$, $U_{\bar{o}} = 6,3 \text{ кВ}$, а струм:

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{1,73 \cdot U_{\bar{o}}} = 9,2 \text{ кА}. \quad (4.5)$$

Розрахункові величини:

- базисний опір системи:

$$X_c = \frac{X_c \% \cdot S_{\bar{o}}}{100 \cdot S_{nc}} = \frac{3 \cdot 100}{100 \cdot 32} = 0,094 \quad (4.6)$$

- базисний опір трансформатора:

$$X_{tr} = \frac{u_k \% \cdot S_{\bar{o}}}{100 \cdot S_{nc}} = \frac{6,5 \cdot 100}{100 \cdot 1} = 6,5 \quad (4.7)$$

- базисний опір кабельної лінії 6,3 кВ:

$$X_L = \frac{X_{ол} \cdot l_l \cdot S_{\bar{o}}}{U_n^2} = \frac{0,08 \cdot 0,5 \cdot 100}{6,0^2} = 0,111, \quad (4.8)$$

де $X_{ол} = 0,08$ - індуктивний питомий опір кабельної лінії 6;

$l_l = 0,5 \text{ км}$ - довжина кабельної лінії.

Сумарний опір у точці К1 на стороні 6 кВ

$$X_{\Sigma 1} = X_c + X_{tr} + X_L = 0,111 + 6,5 + 0,097 = 6,7. \quad (4.9)$$

Тоді струм короткого замикання:

$$I_{кз1} = \frac{I_{\bar{o}}}{X_{\Sigma 1}} = \frac{9,2}{6,7} = 1,37 \text{ кА}. \quad (4.10)$$

Ударний струм короткого замикання:

$$I_{y1} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{кз1} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 1,37 = 3,5 \text{ кА}. \quad (4.11)$$

Потужність короткого замикання:

$$S_{кз} = \frac{S_{\bar{o}}}{X_{\Sigma 1}} = \frac{100}{6,7} = 14,9 \text{ МВА}. \quad (4.12)$$

Повна розрахункова потужність (табл. 2.3.) $S_p = 1000 \text{ кВА}$.

Розрахунковий струм:

$$I_{p1} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 92 \text{ А}. \quad (4.13)$$

Динамічний струм на шинах:

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.04	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_d = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{\kappa 31} + 6,5 \cdot I_p = 4,1 \text{ кА.}$$

4.3 Розрахунок СКЗ у мережі до 1000 В кувалального цеху

При виконанні розрахунків струмів короткого замикання в електромережах до 1 кВ необхідно враховувати як індуктивні, так і активні опори споживачів. Для живлення мережі обрано трансформатор типу ТМ-630/6, паспортні характеристики якого наведено в табл. 2.1.

Базові параметри приймаються наступними: напруга $U_6 = 0,4 \text{ кВ}$, потужність $S_6 = 100 \text{ МВА}$. Розрахункове значення базисного струму визначається за формулою:

$$I_6 = \frac{S_6}{1,73 \cdot U_6} = \frac{100}{1,73 \cdot 0,4} = 144,45 \text{ кА.} \quad (4.14)$$

Значення опорів:

- опори трансформатора типу ТМ-630/6:

$$X_{\text{тр}(0,4)} = \frac{u_{\kappa} \% \cdot S_6}{100 \cdot S_H} = \frac{5,5 \cdot 100 \cdot 10^6}{100 \cdot 630 \cdot 10^3} = 8,73 ; \quad (4.15)$$

$$r_{\text{тр}(0,4)} = \frac{\Delta P_M \cdot S_6}{S_H \cdot S_H} = \frac{7,6 \cdot 100 \cdot 10^6}{630 \cdot 630 \cdot 10^6} = 0,002 ; \quad (4.16)$$

- опори контактів рубильника:

$$r_{\text{р}(6)} = \frac{r_{\text{оп}} \cdot S_6}{U_6^2} = \frac{0,08 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{0,4^2} = 0,05 , \quad (4.17)$$

де $r_{\text{оп}} = 0,08 \text{ Ом}$ - перехідний опір контактів.

Сумарні опори:

$$X_{\Sigma 0,4} = X_{\text{тр}(0,4)} = 8,73 . \quad (4.18)$$

$$r_{\Sigma 0,4} = r_{\text{тр}(0,4)} + r_p = 0,002 + 0,05 = 0,052 \quad (4.19)$$

$$z = \sqrt{X_{\Sigma 0,4}^2 + r_{\Sigma 0,4}^2} = \sqrt{8,73^2 + 0,052^2} = 8,74 . \quad (4.20)$$

СКЗ:

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.04	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\kappa 32} = \frac{I_{\bar{o}}}{z} = \frac{144,5}{8,74} = 16,5 \text{ кА.} \quad (4.21)$$

Ударний СКЗ:

$$I_{y2} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{\kappa 32} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 23,5 = 42 \text{ кА.} \quad (4.22)$$

Потужність КЗ:

$$S_{\kappa 30,4} = \frac{S_{\bar{o}}}{Z_{\Sigma^2}} = \frac{100}{8,74} = 11,44 \text{ МВА.} \quad (4.23)$$

Розрахунковий струм:

$$I_{p2} = \frac{S_{p2}}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{700}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1,0 \text{ кА.} \quad (4.24)$$

4.4 Вибір апаратів кувального цеху

1) Вибір струмоведучих шин.

Відповідно до розрахункового струму, що становить кА, обрано алюмінієві шини з допустимим струмовим навантаженням $I = 1125 \text{ А}$. Розміри шин: висота $h = 60 \text{ мм}$, ширина $b = 6 \text{ мм}$, відстань між ізоляторами $L = 250 \text{ мм}$, між шинами - $a = 150 \text{ мм}$.

Перевірка на динамічну стійкість.

Розраховано значення:

$$i_{\text{дн}} = \sqrt{\frac{10 \cdot G \cdot W \cdot a}{1,76} \cdot \frac{10}{L}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 90 \cdot 24,4 \cdot 150 \cdot 10}{1,76 \cdot 250}} = 273,6 \text{ кА.} \quad (4.25)$$

Згідно з технічною документацією, допустима динамічна стійкість шин становить 273,6 кА, що значно перевищує розрахункове значення 39,88 кА. Отже, шини відповідають вимогам щодо динамічної стійкості.

Перевірка термічної стійкості шин.

Розрахований переріз:

$$S_{\text{ш}} = \frac{I_{\kappa 3\text{ш}} \cdot \sqrt{t_{\text{np}}}}{c} = \frac{15713 \cdot \sqrt{0,05}}{85} = 41,37 \text{ мм}^2, \quad (4.26)$$

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.04	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Фактичне значення 41,37 мм² менше допустимого 360 мм², що підтверджує відповідність шин критерію термічної стійкості.

Висновок: обрані шини відповідають нормативам щодо динамічної та термічної стійкості.

2) Вибір кабельної продукції.

Виконано підбір силового кабелю для живлення електродвигунів кувального маніпулятора із загальною потужністю 75 кВт при напрузі мережі 380 В.

Розрахункове значення струму:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi_n} = \frac{75000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,885 \cdot 0,88} = 147 \text{ А.} \quad (4.27)$$

Після порівняння з допустимими навантаженнями обрано кабель марки ВВГ у ПВХ ізоляції з перерізом жили 95 мм², розрахований на максимальний струм 215 А.

Перевірка кабелю на допустиму втрату напруги. Оцінюємо втрату напруги за формулою:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 147 \cdot 50 \cdot 0,84}{28 \cdot 95} = 4,0 \text{ В,} \quad (4.28)$$

де l - довжина лінії;

$$\gamma = 0,028 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} - \text{питома провідність алюмінію.}$$

З отриманих значень видно, що вибраний кабель відповідає вимогам щодо максимально допустимої втрати напруги.

Оцінка відповідності перерізу економічній густині струму:

$$S = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{147}{1,9} = 77,4 \text{ мм}^2, \quad (4.29)$$

де нормативне значення економічної густини струму дорівнює 1,9 А/мм².

Перевірка термічної стійкості кабелю. Розрахований переріз:

$$S_t = \frac{I_n \cdot \sqrt{t_n}}{c} = \frac{735 \cdot \sqrt{3,5}}{85} = 16,2 \text{ мм}^2. \quad (4.30)$$

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.04	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де $c = 85$ - коефіцієнт нагріву алюмінію;

$t_n = 3,5$ с - тривалість короткого замикання, прийнята як максимальна для спрацювання реле максимального струму.

Висновок: обраний кабель повністю відповідає вимогам за всіма критеріями: допустимою втратою напруги, економічною густиною струму та термічною стійкістю.

3) Вибір апаратів.

Номінальний струм двигуна, що забезпечує поворот маніпулятора, становить:

$$I_{н\partial} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi_n} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 33,55 \text{ А.} \quad (4.31)$$

Пікове значення струму відповідає пусковому струму двигуна $I_n = 7 \cdot I_{н\partial} = 7 \cdot 33,55 = 235$ А. Для підключення використовується провід марки АПРТО з площею перерізу жили 50 мм^2 , розрахований на 235 А.

Вибір плавкої вставки здійснюється за двома критеріями:

1. $I_{вс} \geq I_p$.

2. $I_{вс} \geq \frac{I_n}{k}$, де коефіцієнт запасу $k = 1,6$ (застосовується при захисті

двигунів важливих механізмів).

Згідно з першим критерієм:

$$I_{вс} = 40 > I_{н\partial} = 33,55 \text{ А.} \quad (4.32)$$

Згідно з другим критерієм:

$$I_{вс} \geq \frac{I_n}{k} \geq \frac{235}{1,6} = 147 \text{ А.} \quad (4.33)$$

Відповідно до другого критерію обирається плавка вставка номіналом 150 А.

Захист за допомогою автоматичних вимикачів.

Автоматичні вимикачі підбираються так:

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.04	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Для вибору електромагнітного або комбінованого розчеплювача необхідно, щоб його номінальний струм збігався з тривалим розрахунковим струмом ділянки мережі.

2. Струм спрацьовування розчеплювача перевіряється за піковим струмом 235 А, з урахуванням коефіцієнта $k = 1,25$ (актуально для більшості автоматів).

$$I_{спел} \geq kI_n = 1,25 \cdot 235 = 294 \text{ А.} \quad (4.34)$$

Вибирається автоматичний вимикач типу АВМ.

Автоматичні вимикачі серії АВМ призначені для вмикання/вимикання електроустановок і окремих ділянок електромереж з напругою до 1000 В. Вони забезпечують автоматичне вимкнення при перевантаженні, короткому замиканні або зміні напруги.

Моделі АВМ випускаються на номінальні струми від 400 до 2000 А, з напругою 500 В змінного та 460 В постійного струму. Призначені для стаціонарного монтажу: з переднім приєднанням струмопровідних шин або викатного типу (для КРУ) із заднім приєднанням. Управління може бути як ручним, так і дистанційним. Автомати виготовляються як із максимальними розчеплювачами, так і без них.

Позначення типів автоматів АВМ:

- АВМ-4 – номінальний струм до 400 А (варіанти налаштування: 120, 150, 200, 250, 300, 400 А);
- АВМ-10 – номінальний струм до 1000 А (налаштування: 500, 600, 800, 1000 А).

Для даної системи обрано:

- АВМ-4 з налаштуваннями на 120 А, 250 А, 300 А;
- АВМ-10 з налаштуванням на 500 А.

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.04	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано призначення та сферу застосування кувальних рейкових маніпуляторів МК 5 – 66, а також подано їх основні технічні характеристики.
2. Як приводний електродвигун маніпулятора обрано двигун постійного струму типу Д810 з урахуванням його статичних навантажень.
3. Обґрунтовано вибір системи електропривода типу ТП-Д, в якій використано тиристорний перетворювач SIMOREG 6RM70.
4. Складено електричну схему заміщення електропривода ТП-Д та побудовано його статичні характеристики.
5. У середовищі Matlab/Simulink реалізовано блок-схему електропривода та виконано розрахунок динамічних характеристик для таких режимів роботи: пуск під номінальним навантаженням, прискорення та уповільнення при сталому статичному моменті, а також зміна навантаження.
6. Виконано розрахунок електричних навантажень кувального цеху та на основі каталогів обрано відповідні силові трансформатори.
7. Проведено аналіз роботи обладнання у нормальних і аварійних режимах, а також здійснено розрахунок струмів короткого замикання (СКЗ).
8. Проведено вибір захисних апаратів електричних мереж кувального цеху підприємства.

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.В		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Василець В.А.			Висновки	Літ.	Арк.
Перевір.		Барановська М					Акрушів
Реценз.							
Н. Контр.		Барановська М				ЕМ гр. 3ЕЕМ-22ск	
Затверд.		Пересунько І.І.					

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Беспалов А. В., Коваленко С. М. Електромеханічні системи металургійного виробництва : навч. посіб. / А. В. Беспалов, С. М. Коваленко. – Дніпро : НМетАУ, 2020. – 192 с.
2. Лазарєв М. О., Шматко В. М. Електропривод металургійного обладнання : навч. посіб. / М. О. Лазарєв, В. М. Шматко. – Кривий Ріг : Криворізький нац. ун-т, 2017. – 148 с.
3. Мороз В. М., Сіренко П. Г. Електроприводи металургійних машин : підруч. / В. М. Мороз, П. Г. Сіренко. – Дніпро : НМетАУ, 2015. – 256 с.
4. Шпак В. М. Системи автоматизованого керування технологічним обладнанням металургійного виробництва : монографія / В. М. Шпак. – Київ : Наука, 2018. – 220 с.
5. Довідник з металургії / за ред. П. І. Кузьменка. – Харків : Техніка, 2019. – 672 с.
6. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпека машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги. – [Чинний від 2016-01-01]. – Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. – 126 с.
7. ГОСТ 12.2.007.0-75. ССБТ. Вимоги безпеки до металургійного обладнання. – М. : Изд-во стандартів, 1975. – 17 с.
8. ГОСТ 15150-69. Машини, прилади та інше технічне обладнання. Виконання для різних кліматичних районів. – М. : Изд-во стандартів, 1969. – 23 с.
9. АрселорМіттал Кривий Ріг: офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukraine.arcelormittal.com>
10. Наукові праці Криворізького національного університету: електронний архів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://elibrary.kdpu.edu.ua>

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.СД			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Список джерел			
Розроб.		Василець В.А.						
Перевір.		Барановська М						
Реценз.								
Н. Контр.		Барановська М						
Затверд.		Пересунько І.І.						
						Літ.	Арк.	Акрушів
						ЕМ гр. ЗЕЕМ-22ск		

ДОДАТОК

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.Д								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Василець В.А.			Додаток					Літ.		Арк.	Акрушів
Перевір.		Барановська М											
Реценз.										ЕМ гр. 3ЕЕМ-22ск			
Н. Контр.		Барановська М											
Затверд.		Пересунько І.І.											

Таблиця Д 1 – Параметри моделювання ДПС

№ з/П	Назва блоку	Переклад назви блоку
1	Armature resistance and inductance [R_a (ohms) L_a (H)]	Активний опір R_a (Ом) і індуктивність L_a (Гн) кола якоря
2	Field resistance and inductance [R_f (ohms) L_f (H)]	Активний опір R_f (Ом) і індуктивність L_f (Гн) кола збудження
3	Field-armature mutual inductance L_{af} (H)	Взаємна індуктивність між колом якоря і колом збудження двигуна (Гн)
4	Total inertia J ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	Момент інерції двигуна J ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$)
5	Viscous friction coefficient B_m ($\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$)	Коефіцієнт в'язкого тертя $B \cdot m$ ($\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$)
6	Coulomb friction torque T_f ($\text{N} \cdot \text{m}$)	Реактивний момент опору T_f ($\text{Н} \cdot \text{м}$)
7	Initial speed (rad/s)	Початкова кутова швидкість валу двигуна (рад/с)

Таблиця Д 2 – Параметри блока

№ з/п	Назва блоку	Переклад назви блоку
1	Number of bridge arms	Число плечей моста
2	Port configuration	Конфігурація портів Значення параметра вибирається зі списку: ABC as input terminals - затискачі А, В і С є вхідними, ABC as output terminals - затискачі А, В і С є вихідними.
3	Snubber resistance R_s (Ohm)	Опір демпфуючої кола (Ом)
4	Snubber capacitance C_s (F)	Ємність демпфуючого кола (Ф)
5	Power Electronic device	Вид напівпровідникових пристроїв моста Значення параметра вибирається зі списку: Diodes - діоди, Thyristors - тиристори, GTO / Diodes - повністю керовані тиристори, шунтуватися зворотними діодами, MOSFET / Diodes - MOSFET- транзистори, шунтуються зворотними діодами, IGBT / Diodes - IGBT- транзистори, шунтуються зворотними діодами, Ideal Switches - ідеальні ключі
6	Measurements	Вимірювані змінні. Значення параметра вибираються зі списку: None - немає змінних для відображення, Device voltages - напруги на напівпровідникових пристроях, Device currents - струми напівпровідникових пристроїв, UAB UBC UCA UDC voltages - напруги на затискачах моста. All voltages and currents - всі напруги і струми моста.
7	Multimeter	Відображаючим сигналам в блоці Multimeter присвоюються мітки: Usw1, Usw2, Usw3, Usw4, Usw5, Usw6 - напруги ключів, Isw1, Isw2, Isw3, Isw4, Isw5, Isw6 - струми ключів, Uab, Ubc, Uca, Udc - напруги на затискачах моста

					КНУ.РБ.141.25.251с.02.Д	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця Д 3 – Параметри блока постійної напруги

№ з/П	Назва блоку	Переклад назви блоку та функції, які виконуються
1	Amplitude (V)	Амплітуда (В)]. Задає величину вихідної напруги джерела
2	Measurments	Вимірювані змінні. Дозволяє вибрати параметри, що передаються в блок Multimeter
3	Scope	Значення параметра вибираються зі списку
4	None	Немає змінних для відображення
5	Voltage	Вихідна напруга джерела