

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

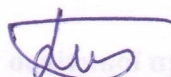
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри


(підпис)

І. С. Білюк

« 15 » 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та назва спеціальності)

освітня програма Електротехніка та електротехнології

(назва освітньої програми)

на тему: «Розробка системи керування електропривода різального механізму
верстата з розкрою листового матеріалу»

Виконав: студент IV курсу, групи 43113

Любчак Микола Павлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н., доц. Васильєв О.Г.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ст. викладач каф. автоматики, Савченко О.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц., Новогрецький С.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2026 р.

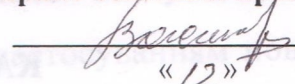
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітня програма «Електротехніка та електротехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми, к.т.н. доцент

 О.Г. Васильєв
«12» 06 2026_ року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

гр.4311з Любчаку Миколі Павловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка системи керування електропривода різального механізму верстата з розкрою листового матеріалу»

керівник роботи Васильєв Олександр Григорович, кандидат технічних наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від від «22» квітня 2026 р.
№ 286-УЧ

2. Строк подання студентом роботи 16 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: різальний механізм верстата, швидкість переміщення
порталу до 0,1 м/с, основні показники якості перехідного процесу: перерегулювання
 $\sigma < 15 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} < 2$ с; $N \leq 2$; похибка $\varepsilon = 0$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Загальна характеристика машини Кристал. 2 Вибір типу двигуна та
комплектного електропривода. 3 Дослідження та аналіз динаміки системи керування
електропривода переміщення порталу. 4 Охорона праці при роботі електропривода
машини термічного різання металу

5. Перелік графічного матеріалу

1 Портальна машина для термічного різання 2 Функціональна схема електропривода
ЭПУ1М-2П. 3 Функціональна схема системи частотного регулювання ПЧ -АД зі
зворотним зв'язком по швидкості 4 Схеми системи керування електропривода. 4
Аналіз динаміки САК

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Васильєв О.Г., к.т.н., доцент	6.05.26 <i>Васильєв</i>	8.06.26 <i>Васильєв</i>

7. Дата видачі завдання «06» лютого 2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика машини Кристал	16.03.2026	
2	Вибір типу електродвигуна та комплектного електропривода	06.04.2026	
3	Дослідження та аналіз динаміки системи керування електропривода переміщення порталу	05.05.2026	
4	Охорона праці при експлуатації електропривода машини термічного різання металу	10.06.2026	

Студент

Любчак
(підпис)

Любчак М.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Васильєв
(підпис)

Васильєв О.Г.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з 72 сторінок: з 65 сторінок пояснювальної записки, 4 розділів, 15 ілюстрацій, 10 таблиць, 18 найменувань в переліку джерел посилання та 1 додатку на 7 сторінках.

Ключові слова: аналіз динаміки, машина плазмового різання металу, математична модель, система керування, тиристорний перетворювач.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає в оцінюванні динамічних властивостей системи керування електропривода переміщення порталу машини для плазмового різання металу, переоснащеної на сучасну систему керування (ЧПК) на базі промислового комп'ютера із застосуванням нових комплектуючих елементів на базі старої металоконструкції виконавчого механізму.

В розділі 1 виконане обґрунтування необхідності модернізації електропривода механізму переміщення порталу машини Кристал МПШП. Розглянуті призначення, склад, устрій, робота портальної машини, наведені її основні технічні дані і характеристики.

В розділі 2 проведений розрахунок необхідної потужності електродвигуна постійного струму для електропривода переміщення порталу та здійснено його вибір, виконано аналіз існуючих систем керування електроприводів, вибраний комплектний електропривод серії ЕПУ1М-7, наведено його опис та розглянутий принцип його роботи.

В розділі 3 зроблений математичний опис елементів системи керування, проведені розрахунки по їх вибору, складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей.

В результаті досліджень отримані перехідні характеристики системи керування з необхідними показниками якості системи керування.

В розділі 4 розглянуті питання з охорони праці при експлуатації електрообладнання машин для термічного різання металу.

Додаток містить 7 слайдів мультимедійної презентації

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАШИНИ КРИСТАЛ.....	8
1.1 Обладнання для термічного різання металу	8
1.2 Призначення, будова та робота машини Кристал МППлП.....	13
1.3 Апаратне забезпечення машини Кристал	20
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ТИПУ ДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	22
2.1 Основні вимоги, що пред'являються до сучасних електроприводів.....	22
2.2 Вибір двигуна для електропривода переміщення порталу.....	23
2.3 Опис комплектного електропривода серії ЕПУ1М-7	30
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМІЩЕННЯ ПОРТАЛУ	37
3.1 Розрахунок параметрів математичної моделі для аналізу динамічних властивостей системи.....	37
3.1.1 Розрахунок параметрів тиристорного перетворювача.....	37
3.1.2 Розрахунок індуктивності реакторів.....	39
3.2 Розробка структурної схеми системи керування	42
3.2.1 Розрахунок параметрів регулятора струму та елементів контуру регулювання струму	46
3.2.2 Розрахунок параметрів регулятора швидкості та елементів регулювання контуру швидкості	48
3.3 Дослідження динамічних характеристик системи керування	50
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МАШИНИ ТЕРМІЧНОГО РІЗАННЯ МЕТАЛУ.....	55
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, характерних для роботи на машині Кристал МППлП.....	55
4.2 Перелік заходів щодо безпечної експлуатації машини Кристал МППлП.....	58

ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	64
Додаток А. Мультимедійна презентація	66

ВСТУП

Різання листів і профілів металу на деталі є головною операцією корпусообробного виробництва суднобудування.

Теплове різання металу є одним з найбільш продуктивних і перспективних технологічних процесів, що знайшов найбільш широке застосування в суднобудуванні й в інших галузях промисловості, що обумовлює можливість його використання для різання чорних і кольорових металів, їхніх сплавів, високою продуктивністю й точністю.

До теперішнього часу в суднобудуванні є певний досвід використання різних видів теплового різання, засобів його технологічного оснащення у вигляді стаціонарних машин із ЧПК, переносних машин, потокових ліній і різних засобів механізації допоміжних і транспортних операцій.

Установки плазмового різання металів одержали широке поширення на виробництвах ВПК, авіапрому, атомної енергетики.

Ефективність машинобудівних технологічних процесів ґрунтується на подальшому вдосконаленні прогресивних технологій, до яких відноситься плазмова різка металів. В сучасних виробництвах можна підвищити ефективність плазмового різання за рахунок автоматизації керування машиною плазмового різання в складі потокової лінії.

Сегмент обладнання для розкрою металу оцінюється провідними спеціалістами як не надто прогресивний. Економічні проблеми знижують привабливість металообробки як бізнесу, а це стримує попит і на обладнання для розкрою металу також. Поки ж для вітчизняного ринку верстати розкрою, які пропонуються, – це майбуття, яке, втім, може і зовсім не настати, – для Заходу – ж минушина. Прикладом, в Європі немає жодної металобази, жодного сервісного металоцентру, де не було б такого обладнання. Продається не металопрокат, а вже готова деталь. У нас же машинобудівні заводи, де встановлені машини плазмового або лазерного розкрою металу з ЧПУ, можна перерахувати по пальцях. А чимало тих, хто хотів би купити ці машини, не можуть собі цього дозволити.

Підприємства, що експлуатують порталні машини плазмового різання, зустрічаються із проблемою невідповідності якості деталей, що вирізаються, тому що парк устаткування більше не відповідає вимогам сучасного виробництва.

Машини зношені, не задовольняють вимогам по точності й надійності в роботі. При цьому механічна частина машин термічного різання залишається в досить гарному стані, вони зберігають свою цінність для підприємства. Особливо важливе для підприємства плазмове різання металу, адже для нього використовується дороге встаткування.

У зв'язку з тим, що багато виробничих підприємств України перебувають у важкій економічній ситуації, на даному ринку утворювався сегмент, пов'язаний з відновленням машин, раніше випущених колективом заводу «Кристал», які фізично й морально застаріли.

Придбання нової машини сучасних модифікацій закордонних фірм в умовах нестабільної економіки підприємств не завжди можливо. Разом з тим, металоконструкція виконавчого механізму машин, що складає основу машин, є вдалою й придатна для експлуатації ще тривалий час. Тому, для зниження вартості різальної машини раціональним вважається шлях її модернізації на базі старої металоконструкції виконавчого механізму із застосуванням комплектуючих елементів відомих фірм.

Верстати плазмового різання дешевше модернізувати, ніж купувати нові. Тому актуальною є модернізація порталних машин плазмового різання минулих років випуску за рахунок переоснащення порталної машини плазмового різання на сучасну систему керування (ЧПК) на базі промислового комп'ютера з метою додання цим машинам нових динамічних показників якості керування, що відповідають технологічним вимогам.

У даній роботі розглядається модернізація системи керування машини Кристал МППлП-2,5 для мікроплазмового, плазмового й газокисневого різання.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАШИНИ КРИСТАЛ

1.1 Обладнання для термічного різання металу

Найпоширеніше зараз кисневе й плазмове різання.

Трудомісткість теплового й механічного різання деталей становить 30-40% усієї трудомісткості виготовлення деталей корпусу судна.

Фірми-Виробники пропонують різноманітне встаткування й оснащення для термічного різання: різаки й комплекти для ручного кисневого різання, машини й комплекси для автоматичного й роботизированого різання. Як машини, так і ручні різальні пристрої мають специфічні технологічні особливості залежно від способу різання, для якого вони призначені.

Класифікація встаткування. Залежно від виду застосовуваних засобів технологічного оснащення для здійснення термічного різання розрізняють ручне, напівавтоматичне й автоматичне різання.

При *ручному різанні* використовується ручний різак, переміщення якого по необхідній траєкторії з необхідною швидкістю, а також регулювання режимів горіння полум'я або дуги й подачі газу здійснюються вручну.

При *напівавтоматичному різанні* переміщення різака проводиться машиною переносного типу, а регулювання горіння полум'я або дуги й подачі газу здійснюється вручну.

Автоматичне різання виконується тільки на стаціонарних машинах, оснащених необхідними системами керування процесом різання.

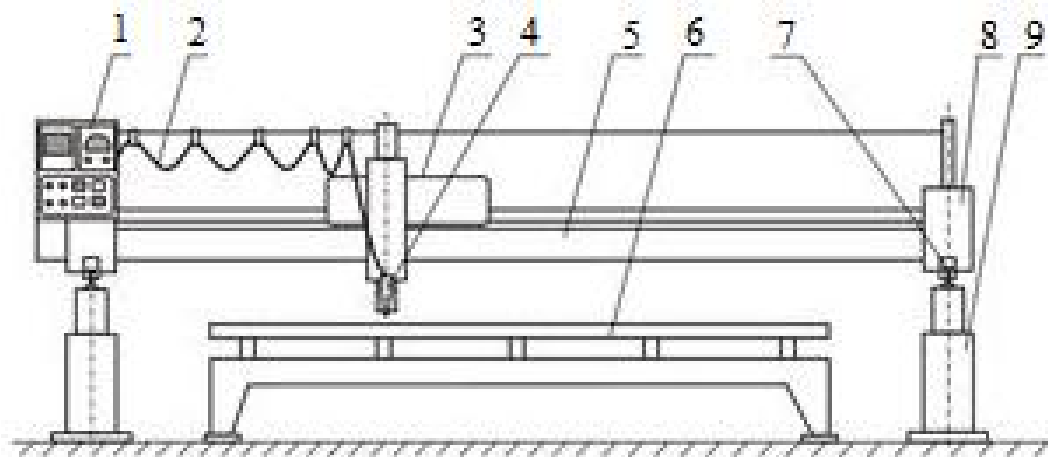
Устаткування й оснащення для кисневого різання. Процес кисневого різання легко піддається механізації й автоматизації. Ручні газопламеневі кисневі різаки й різальні машини забезпечують різання вуглецевих сталей товщиною від 3 – 5 мм до 200 – 300 мм і більше. При їхньому застосуванні необхідні горючі гази й кисень. Ручне різання виконується по розмітці, тому вона не забезпечує високої точності заготовок і використовується при невеликих обсягах різання у випадку, коли

застосування засобів механізації й автоматизації недоцільно або при ремонтних роботах.

Кисневим різальним оснащенням обладнуються як стаціонарні, так і переносні машини. Вони забезпечують різання вертикальних або похилих кромek, а також двох- і трьохрізакове різання кромek під зварювання. Кисневе різальне оснащення найбільш просте й найменш дороге.

Для обробки листових матеріалів виготовляють *стаціонарні машини* трьох основних типів: порталні, портално-консольні, шарнірні й переносні.

Портальні машини (рисунок 1.1) мають портал із приводом, різальним і керуючим пристроєм і іншим оснащенням, що переміщається по прямолінійних напрямних.



- 1 – пульт керування; 2 – тракове підведення; 3 – каретка; 4 – різак;
5 – портал; 6 – розкрійний стіл; 7 – напрямна рейка; 8 – привод
поздовжнього ходу; 9 – опора

Рисунок 1.1 - Портальна машина для термічного різання

Портальні машини найбільш раціональні для розкрою листів. Стосовно максимальних габаритів портали займають мінімальну робочу площу. У кінематичній схемі порталних машин закладена висока точність переміщення різального інструмента по контуру різання в прямокутній системі координат. Найбільш високу точність різання контурів довільної конфігурації забезпечують пристрої із числовим програмним керуванням (ПЧПК).

Крім того, промисловістю випускаються машини й установки спеціального призначення для різання профільного прокату, труб, об'ємних об'єктів.

Устаткування й оснащення для плазмового різання. Плазмові стаціонарні й переносні машини й різальні комплекти складні й дорогі. У комплект устаткування для плазменно-дугового різання входять ріжучий плазмотрон (різак), вузол керування процесом, джерела живлення дуги електричним струмом і плазмоутворюючим робітничим середовищем, механізм для переміщення плазмотрона уздовж лінії різу, блок автономного охолодження для плазмотронів з водяним охолодженням (при відсутності системи водопостачання). Джерела струму для плазмового різання мають зовнішню характеристику, що круто падає, підвищену напругу холостого ходу (більш 100 В), природне охолодження, можливість східчастого або плавного регулювання струму [6].

Загальний вид машини термічного різання наведений на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Загальний вид машини термічного різання

Плазмотрони залежно від потужності мають повітряне або водяне охолодження, постачені кабель-шлангом довжиною до 6 м (іноді до 20 м).

Теплове різання проводиться на стаціонарних і переносних машинах, а також вручну. Іноді стаціонарні машини умовно називають газорізальними автоматами, а

переносні напіваавтоматами, і процес вирізки на них деталей відповідно до автоматичним і напіваавтоматичним [6,11,16].

Залежно від виду системи керування стаціонарні машини для теплового різання можуть працювати: по програмах, записаних на диску, магнітній стрічці або на паперовій перфострічці, по копір-кресленням і по копірах, виконуваних звичайно у вигляді копір-щитів.

Стаціонарні машини для суднобудування підрозділяється по виду процесу різання (плазмове – Пл або кисневе - К), по розмірах оброблюваних листів – (максимальна ширина листа у метрах, що розрізається, вказується в позначенні машини) і по кількості одночасно оброблюваних листів. Максимальна швидкість переміщення різача на цих машинах становить 4 м/хв.

Для вирізки прямокутних листів і розрізання листів на смуги знаходять застосування машини з позиційним програмним керуванням, які не вимагають складання програм або креслення копирів-креслень. Машина має три портали: середній переміщається уздовж оброблюваного листа по рейках, причому закріплені на ньому різачи провадять різання поздовжніх кромки листа або розрізання листа на смуги; торцеві портали встановлюються перед різанням у необхідне положення (при різанні вони нерухливі), але їх каретки також несуть різачи, які обрізають торцеві кромки листа. Усі різачи працюють одночасно, що значно скорочує час різання. Максимальна швидкість переміщення різача 2 м/хв.

Машини, що працюють по копірах і по копир-щитам, які були широко розповсюджені раніше, у цей час втратили своє значення. Однак, вони знаходять застосування на заводах для вирізки дрібних деталей, наприклад, фланців.

У якості пального при кисневому різанні використовуються ацетилен $32H_2$, пропан $33H_8$, бутан $С4H_{10}$ (частіше суміш пропану й бутану), а також природний газ, основною складовою частиною якого (98%) є метан CH_4 .

Чим вище температура полум'я, тем швидше нагрівається метал до температури запалювання його в кисні й тем вище швидкість різання.

Температура полум'я в суміші з киснем становить для ацетилену 3100-3300 °С, пропану й бутану 2400-2700 °С, природного газу 2000-2200 °С.

Швидкість кисневого різання в значній мірі залежить від чистоти кисню. Підвищення чистоти кисню з 99% до 99,8% дозволяє збільшити швидкість різання без погіршення якості на 20-25%, тобто знижує трудомісткість різання [11,12].

Для різання високолегованих сталей, міді, латуні й бронзи рекомендується застосовувати азот, а для алюмінієвих сплавів – суміш аргону з воднем.

Швидкість плазмового різання зменшується із зростанням товщини металу, що розрізається, значно швидше, чим швидкість кисневого різання. І хоча для товщини 30 мм вона залишається більш високою, вартості кисневого й плазмового процесів різання при цій товщині стають однаковими, тому що вартість електроенергії, затрачувана на різання, більше вартості газів, застосовуваних при ацетилено-кисневому різанню. Крім того, пробивання металу товщиною понад 30 мм плазмовим струменем при машинному різанні сполучене зі значними труднощами. Тому прийнято вважати, що при товщині до 30 мм сталеві листи доцільно розрізати на стаціонарних машинах плазмовим способом, більш товсті листи – кисневим.

Для плазмового різання характерні наступні переваги в порівнянні з кисневим різанням: збільшення продуктивності встаткування й робітників внаслідок високих швидкостей різання; універсальність процесу (завдяки високій температурі плазми розрізаються будь-які метали); зменшення теплових деформацій деталей, що розрізаються, тому що в метал вноситься тепла в кілька раз менше, чим при кисневому різанні; відсутність при правильному режимі ґрата на кромках [12].

Головними її недоліками є ускладнення умов праці й у деяких випадках несприятливий вплив на процес наступного зварювання деталей. Яскрава плазмова дуга засліплює навколишніх і є джерелом шуму, тому на стаціонарних машинах різак повинен укладатися у світлозахисний кожух. Озон, окис азоту й інші речовини, що утворюються при різанні, несприятливо впливають на людський організм, у зв'язку із чим розкрійні столи повинні забезпечуватися ефективною витяжною вентиляцією, без якої застосування плазмового різання неприпустиме.

1.2 Призначення, будова та робота машини Кристал МППЛП

Машина Кристал МППЛП (Кристал) призначена для механізованого різання листового металу за допомогою плазмового і кисневого процесів з використанням системи програмного керування (СПК) в умовах, що відповідають кліматичному виконанню UX01 за ДСТУ 15150-69 [8,9].

Робота машини може виконуватися по програмі, записаній на цифрових носіях, а також за програмою, набраною власноруч з пульта оператора. Запис програм ведеться у форматі ESSI, що є міжнародним стандартом для машин теплового різання, а також у форматі ISO.

На підприємстві Никотрон, м.Миколаїв, виконується модернізація машин термічного різання "Кристал", "Комета", "Гранат", "Лазурит", "Енисей" або МТР інших типів ранніх років випуску.

У стійці керування модернізованих моделей використовуються промислові комп'ютери. Нова конструкція й система керування забезпечує установку до 6 кареток (одна із плазмовим різачком і до 4-х газових з незалежним керуванням по висоті), або до 8 газових кареток для розкрою листів на смуги.

Теплове різання металів - це технологічний процес, при якому відділення частин заготовки, що розрізається, виробляється за допомогою використання концентрованого нагрівання, створюваного різними джерелами теплоти.

В основі кисневого різання лежить використання хімічного процесу згоряння металу в кисні і фізичному процесі видування рідинних окислів з порожнини різа. Концентроване нагрівання використовується для доведення металу до температури запалення в кисні.

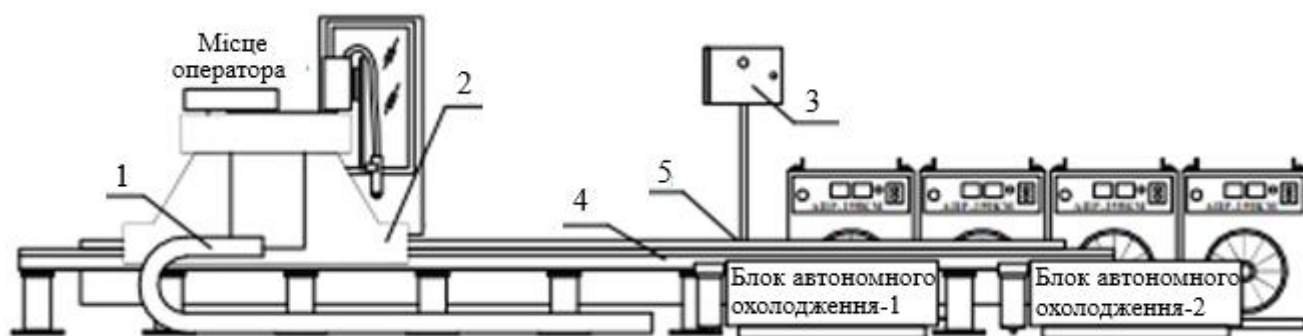
Засіб плазмового різання заснований на використанні тільки фізичного процесу розплавлювання металу і наступного видалення розплаву з порожнини різа струменем газу. Концентрований нагрів використовується для нагрівання металу до температури вище точки його розплавлення [12].

Машина Кристал підключається до трифазної чотирьохпроводникової мережі перемінного струму частотою 50 ± 1 Гц напругою 380/220 +10% В. -15%

Місце встановлення як перетворювача, так і електродвигуна повинне бути захищене від влучення усередину води, олії і т.п., перетворювачі й електродвигуни повинні монтуватися в місцях, де виключені різкі поштовхи і струси.

Машина Кристал є порталною. Портальні машини вважаються найбільш перспективними, тому що їхні технологічні можливості значно ширше і, крім того, вони дозволяють забезпечувати високу точність деталей, що вирізуються, обробляти одночасно кілька листів металу і вимагають менше виробничої площі.

Установка для плазмового різання й зварювання Кристал (рисунок 1.3) включає конструкцію машини для плазмового різання, певне джерело живлення й систему подачі необхідного газу.



1 - траверса координати X; 2 - портална машина (портал); 3 - шафа введення електроживлення (Щиток підключення); 4 - рейковий шлях; 5 – обробний стіл

Рисунок 1.3 – Склад установки для плазмового різання

Виконавчий механізм установлений на рейковий шлях. Подача до машини електроенергії і робочих газів здійснюється за допомогою підведення живлення, що містить кабелі та шланги.

Різання здійснюється установкою "Плазма1", системою газозабезпечення й охолодження. Машина може здійснювати як плазмове так і кисневе розділове різання. Вибір засобу різання здійснюється оператором шляхом установки відповідного різача, включення потрібного режиму.

Програма різання деталей вводиться в пристрій числового програмного керування (ПЧПК) і перетворюється в переміщення різача і технологічної команди.

Робочий орган описує задані програмою контури деталей.

Виконавчий механізм машини складається з порталу, привода подовжнього (уздовж рейкового шляху) ходу з редуктором, каретки поперечного (уздовж балки порталу) ходу, привода підйому робочого органу, газорозподільвача з блоком клапанів і шафи керування.

Приводи подовжнього і поперечного ходів забезпечують переміщення робочого органу за заданим контуром, а за допомогою привода підйому робочий орган підтримується на заданій висоті над поверхнею листа металу.

Портал складається з двох литих корпусів, з'єднаних балкою і коробом. Портал переміщається по рейковому шляху на чотирьох повзунах, закріплених у корпусах. До корпусів кріпляться редуктори подовжнього ходу, вихідні шестерні входять у зачеплення з зубцюватими рейками рейкового шляху. Редуктори подовжнього ходу з'єднані за допомогою проміжних валів і мембранних муфт із приводом подовжнього ходу, встановленого у центрі балки порталу. Один із проміжних валів має зубцювату муфту, призначену для розчіплювання валів при вивірці машини на перпендикулярність щодо рейкового шляху. Короб являє собою зварну конструкцію, у якій розміщені кабелі, шланги, датчики тиску води і плазмоутворюючого газу.

Газорозподільвач є конструктивно закінченим блоком, функція якого - регулювання і розподіл робочих газів. Він являє собою блок, до якого підведені повітряні і газові магістралі: містить манометри і редуктори, що виведені на передню панель блоку, а також клапани. На задній стінці газорозподільвача встановлений автоматичний вимикач. Газорозподільвач установлений на лівій стінці шафи керування. Каретка поперечного ходу служить для переміщення різака по координаті Y і являє собою візок, на якому укріплений різак, привод підйому, привод переміщення каретки, клапани, осцилятор, стабілізатор висоти.

Шафа керування прикріплена до листового корпусу опорного візка. У шафі розташовані:

- ПЧПК CNC 4000. В ПЧПК відбувається запам'ятовування початкової інформації, розрахунок параметрів руху і технологічних команд, видача й аналіз

шляхової інформації. Функціонально програмне забезпечення (Пр ПРО) розроблено спеціально для машин теплового різання з урахуванням їх специфікації;

- система живлення;
- блок технології, що складається з чотирьох друкованих плат;
- силові трансформатори;
- робоче місце оператора;

Оператор розміщується на платформі, прикріпленій до візка порталу. З боку оброблюваного листа робоче місце оператора захищене поворотним світлофільтром. На платформі встановлене огороження, до якого прикріплене відкидне сидіння.

Перед оператором на передній площині шафи керування розташовані дисплей і клавіатура УЧПК CNC 4000. На панелі пульта керування, розташованого на похилій площині під УЧПК, розташовані органи включання і керування машиною.

Пульт керування містить:

- ключ марку включення споживання ПЧПК;
- кнопки включення машини і приводів;
- тумблер включення привода Н;
- кнопки керування переміщенням по координаті Н;
- прилад і регулятор для контролю й установки режимів плазменного різання;
- кнопки керування машиною в автоматичному режимі.

Ліворуч від пульта керування знаходиться газорозподільувач, на передній панелі якого встановлені манометри, що контролюють тиск робочих газів, і виведені рукоятки редукторів для їхнього регулювання [8,9].

Загальний вид машини Кристал МППлП представлений на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 - Загальний вид машини Кристал МПП-2

Робота установки відбувається в наступній послідовності:

- при подачі напруги холостого ходу джерела живлення між електродом і соплом плазмотрона за допомогою збудника дуги генеруються періодично повторювані імпульси струму, які створюють видимий факел допоміжної дуги;
- основна ріжуча дуга збуджується автоматично при зіткненні факела допоміжної дуги із кромкою або поверхнею виробу. При цьому відстань між соплом плазмотрона й виробом повинна бути 10-15 мм;
- після досягнення струмом ріжучої дуги встановленого значення 100-450 А процес різання протікає стабільно;
- закінчення процесу різання відбувається при вимиканні силового ланцюга джерела живлення або автоматично при видаленні плазмотрона від виробу й обриву дуги;
- при обриві дуги або вимиканні установки напруга з вихідних клем джерела живлення автоматично знімається.

Основні технічні дані і характеристики машини приведені в таблиці 1.3 [8].

Таблиця 1.3 - Основні технічні дані і характеристики машини Кристал МППлП [8,9]

Найменування параметрів	Значення
Найбільша довжина оброблюваних листів металу, мм	6000
Найбільша ширина оброблюваних листів металу, мм	2500
Товщина оброблюваних листів металу, мікроплазма, мм чистовий різ розділовий різ	від 0,8 до 25,0 до 35,0
Товщина оброблюваних листів металу, газокисневе різання, мм	від 5 до 100
Клас точності деталей, що вирізаються, за ДСТ 14792-80	Не нижче першого
Стабілізація зазору між різаконі і листом, що розрізається	Автоматична
Допуск на зміну настановної відстані між різаконі листом, що розрізається, із площиною ПН за ДСТ 29903-74, мм, не більш	+/- 0,5
Швидкість переміщення, м/с (мм / хв): найбільша (не менш) найменша (не більш)	0,133 (8000) 0,0167 (1)
Максимальна споживана потужність, кВА, не більш	30,0
Кількість плазмових різаків, шт	1
Кількість газових різаків, шт	1
Режим роботи	Тривалий
Маса машини в сухому виді, кг, не більш	2500
Величина вертикального ходу супорта, мм, не менш	160 (електропривод)
Швидкість підйому - опускання різаків, мм / хв	від 100 до 2400
Напруга живильної мережі трифазного змінного струму частотою 50 Гц із нульовим проводом, В	380 (+10%, - 15%)
Межі регулювання робочого струму ріжучої дуги, А	від 20 до 160
Охолодження різаків	Повітряне
Габаритні розміри механізму виконавчого, мм, довжина ширина висота, не більш	8400 х 3500 х 2200
Площа займана машиною з урахуванням безпечних проходів, м ² , не менш	60

Продовження таблиці 1.3

Найменування параметрів	Значення
Швидкість переміщення порталу машини, м/с:	0...0,07
Нерівномірність швидкості переміщення різака, %	±2,5
Діапазон товщини листа, що розрізається, мм, при плазмовому різанні: - кромки листа - з пробиванням у точці при кисневому різанні: - кромки листа - з пробиванням у точці	5-25 до 60 5-100 5-40
Час підйому різака на величину ходу, с	12
Точність підтримки різака від поверхні, мм	±1,0
Потужність, споживана випрямлячем «Плазма 1» при номінальному струмі (400 А),кВ*А	100
Плазмоутворюючий газ: - тиск, найбільший, М Па - витрата, найбільша, м³/с	0,3-0,5 0,0027
Робочі гази для кисневого різання: тиск найбільший, мПа: - кисень - ацетилен	1,6 0,0003
Точність відтворення програми при контрольному прокресленні за ДСТ 5614-74, мм: а)відхилення розмірів накресленого контуру: - при габаритах до 8000 мм - при габаритах понад 8000 мм б) різниця діагоналей прямокутних фігур при розмірах фігури: до 8000 мм понад 8000 мм	±0,35 ±0,7 0,7 1,4
Розміри рейкового шляху, мм - довжина - ширина колії	12000 3300
Маса машини, кг: - механізм виконавчий - випрямляч "Плазма 1" - шлях рейковий	980 900 1900

1.3 Апаратне забезпечення машини Кристал

«Плазма» - джерело плазмового різання комплектується плазмотроном. Робочий газ – повітря або кисень [9].

«Газ» - комплектація обладнанням для здійснення кисневого газополум'яного різання з використанням у якості різального газу пропану, природного газу або ацетилену.

«Газ-2» На каретці встановлюється два різакі. Один з різаків встановлюється вертикально. Спеціальна система кріплення дозволяє змінювати кут нахилу другого з різаків.

«Газ-3» На каретці встановлюється трьохрізаковий поворотний блок для кисневого різання. Система призначена для здійснення фігурного різання по програмі з одночасним зняттям лицьової й/або тилової фаски.

Система керування порталною машиною «Кристал».

На пульті оператора встановлена спеціалізована плівкова клавіатура пиловолого-масло стійкого виконання;

Ручне керування переміщенням машини й висотою різаків здійснюється за допомогою безконтактних аналогових джойстиків.

Керуючий комп'ютер порталної машини пов'язаний з мікроконтролерами електроавтоматики за допомогою оптичного волокна.

Модульний пристрій блоків і вузлів системи керування дозволяє нарощувати кількість технологічного обладнання й мати: до 24-х осей керування рухом порталної машини, до 8-і блоків керування газовим різанням, при установці виносної стійки керування мати до 4-х пультів керування порталною машиною;

Швидкість переміщення порталної машини досягає до 14м/хв.

Система керування порталною машиною має вбудовану підтримку локальних обчислювальних мереж по протоколу TCP-IP.

Додаткове програмне забезпечення дозволяє мати доступ, керування, діагностику, копіювання керуючих програм через бездротові мережі (Wifi) з налагодженого комп'ютера (Pocket PC);

Нові можливості блоку газового різання дозволяють досягти оптимального керування технологічним процесом газового різання, знизити витрату газів і підвищити якість різу й продуктивність різання.

Є автоматичне керування висотою різача в процесі підпалу й пробивання (опускання різача, підпал дуги (газового полум'я) автоматичне пробивання металу, вихід на задану висоту й здійснення різання зі стабілізацією зазору між різачом і листом металу).

Керування порталною машиною здійснюється згідно з керуючою програмою.

Повне програмне керування технологічним процесом термічного різання для плазмового й газового різання металів (включаючи керування й стабілізацію витрати ріжучих газів залежно від технологічного режиму).

Формат керуючих програм (УП): ISO ESSI, G-Функції.

Завантаження керуючої програми (КП) може проводитися: із внутрішньої флеш-пам'яті порталної машини, з Usb-Флеш диска, з локальної або глобальної обчислювальної мережі, з дискети 3,5 дюйма, з пульта оператора, клавіатури пульта інженера.

При завантаженні в діалоговому вікні відображається список КП, що знаходяться на диску, розмір файлу КП, графічне відображення карти розкрою поточної КП.

Вбудована в систему мережна підтримка дозволяє робити контроль дій оператора, діагностику вузлів і блоків порталної машини, завантаження й вивантаження керуючих програм, а також керування порталною машиною через комп'ютерну мережу (локальну або глобальну - Internet).

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

В роботі була поставлена задача модернізації системи керування електропривода переміщення порталу машини для плазмового різання металу й аналізу її динаміки при виконанні технологічних операцій.

Задача раціонального вибору електропривода на стадії проектування зводиться до забезпечення найбільшої відповідності між технічними характеристиками машини і можливостями електропривода.

2.1 Основні вимоги, що пред'являються до сучасних електроприводів

Вимоги до електроприводів і систем керування машин для різання металу та верстатів з ЧПК визначаються технологією обробки, конструктивними можливостями технологічного обладнання й ріжучого інструмента [3,14].

Основними технологічними вимогами є:

- забезпечення самого широкого кола технологічних режимів обробки з використанням сучасного інструмента, що ріже;
- забезпечення максимальної продуктивності;
- забезпечення найбільшої точності обробки;
- зниження шорсткості оброблюваної поверхні;
- забезпечення точності позиціонування.

Задоволення всім цим та іншим вимогам залежить від характеристик верстата й інструмента, що ріже, потужності головного привода і властивостей електромеханічних приводів подачі і системи керування.

На підставі аналізу основних технологічних вимог, проведеного в можна сформулювати якісні вимоги до верстатних електроприводів з високомоментними двигунами [2]:

- мінімальні габарити електродвигуна при високому обертаючому моменті;
- висока максимальна швидкість;

- припустимі значні перевантаження привода в короткочасному і повторно-короткочасному режимах роботи;
- широкий діапазон регулювання;
- висока стабільність характеристик, і в першу чергу підсилювача і тахогенератора;
- висока швидкодія при аперіодичному характері перехідних процесів розгону і гальмування; висока швидкодія при накиданні і скиданні навантаження і при реверсі під навантаженням на малих частотах обертання;
- висока рівномірність руху при різному навантаженні на усіх швидкостях, аж до найменших;
- висока надійність і ремонтпридатність;
- зручність конструктивної установки двигуна на верстаті і вбудовування перетворювачів у шафи і ніші верстатів;
- малі габаритні розміри і мала витрата активних матеріалів;
- простота налагодження, ремонту й експлуатації;
- висока уніфікація вузлів і окремих елементів.

Сполучення всіх перерахованих вимог в одному пристрої неможливо. Тому при проектуванні і застосуванні електроприводів у кожному конкретному випадку задоволення одних вимог досягається за рахунок інших. Тому для правильного вибору електроприводів дуже важливо мати повний перелік характеристик застосовуваних електроприводів, і в першу чергу по вказаних вище вимогах. Тільки комплексний аналіз технологічних вимог і конструктивних можливостей технологічного обладнання може забезпечити коректний вибір електропривода.

2.2 Вибір двигуна для електропривода переміщення порталу

Первісним етапом розрахунку привода є вибір виконавчого двигуна. Від правильного вибору двигуна залежить забезпечення всіх технологічних режимів обробки і необхідних динамічних характеристик, а також конструкція механічної частини привода [5].

В даний час у верстатних електроприводах переміщення одержують усе більше поширення високомоментні двигуни (ВМД) постійного струму. Використання в системах ВМД високоенергетичних постійних магнітів обумовило ряд істотних переваг у порівнянні зі звичайними пазовими двигунами постійного струму з електромагнітним збудженням. Основними з них є:

- високі значення електромагнітного обертаючого моменту, і, як наслідок цього, високі значення кутового прискорення в перехідних режимах;
- рівномірний хід при малих частотах обертання;
- здатність витримувати велике перевантаження по струму без розмагнічування магнітної системи;
- кращі масо-габаритні показники; можливість встановлення двигуна в механізмах подачі безпосередньо на ходовий гвинт.

Ефект від застосування високомоментних двигунів у технологічному обладнанні складається з підвищення продуктивності і спрощення кінематики. Підвищення продуктивності досягається за рахунок збільшення швидкості швидких переміщень, більшого діапазону регулювання швидкості і високих динамічних якостей.

Вихідними даними для вибору двигуна привода переміщення є сила тертя в опорах, напрямних і передачі; передатні відносини механічних ланок привода (коробки передач, гвинтової пари, передачі рейка - шестірня і т.д.); маса переміщуваного органа привода; моменти інерції механічних ланок; коефіцієнти корисної дії механічних передач; швидкості швидкого ходу і діапазон робочих подач; припустимі для механізмів прискорення і необхідний час перехідних процесів; циклограма навантаження двигуна при роботі механізму і т.д.

Крім того, для правильного вибору двигуна необхідно знати способи його регулювання і керування в перехідних режимах. Як правило, у механізмах переміщення регулювання частоти обертання двигуна здійснюється при постійному моменті зміною напруги на якорі.

Спосіб керування при розгоні і гальмуванні реалізується системою керування, в окремому випадку системою програмного керування. Найбільш

розповсюдженим способом керування є стрибкоподібний і лінійно змінюваний сигнал, однак можливі й інші види сигналів.

Частота обертання двигуна визначається по швидкості переміщення робочих органів машини і передатним відношенням механічної передачі

$$n = \frac{v_{ш.х.} \cdot i}{\pi \cdot D},$$

де $v_{ш.х.}$ - швидкість швидкого ходу;

i - передатне відношення редуктора;

D - діаметр шестірни.

У даному випадку: $v_{ш.х.} = 0,07$ м/с;

$i = 5$;

$D = 0,028$ м.

$$n = \frac{0,07 \cdot 5 \cdot 60}{\pi \cdot D} = 237 \text{ об/хв.}$$

Загальний обертаючий момент двигуна складається зі статичного і динамічного моментів

$$M_{дв} = M_{ст} + M_{дн},$$

де $M_{ст}$ - статичний момент;

$M_{дн}$ - динамічний момент.

Статичний момент визначається силою, переданою в напрямку подачі при сталому русі органа машини. Сила поздовжньої подачі

$$F_{под} = f_{тр} \cdot N_{\Sigma} + F_n,$$

де $f_{тр}$ - коефіцієнт тертя;

N_{Σ} - сума нормальних сил, що діють на напрямні;

F_n - сила від попереднього натягу, не врахована в N_{Σ} .

При усталеному русі на швидкому ході статичний момент дорівнює моменту холостого ходу:

$$M_{ст} = M_{х.х.} = M_{тр},$$

де M_{TP} - момент на двигуні від сил тертя.

Момент на двигуні від сил тертя дорівнює моменту тертя в напрямних у парі рейка-шестірня M_n :

$$M_{TP} = M_n.$$

Момент тертя в напрямних вузлах верстата M_n , що переміщуються в горизонтальній площині, залежить від сили тертя, ККД і передатного відношення від двигуна до переміщуваного вузла

$$M_n = \frac{F_{TP} \cdot D}{2 \cdot i \cdot \eta},$$

де η - ККД передачі рейка - шестірня ($\eta = 0,85 - 0,9$).

Сила тертя F_{TP} визначається вагою вузла верстата, що переміщується, G_1 і коефіцієнтом тертя f_{TP}

$$F_{TP} = G_1 \cdot f_{TP}.$$

В даному випадку:

$$G_1 = 1880 \text{ кг};$$

$$f_{TP} = 0,1.$$

$$F_{TP} = 1880 \cdot 0,1 = 1880 \text{ Н}.$$

Використовуючи вираз (3.3), одержуємо

$$M_n = \frac{1880 \cdot 0,028}{2 \cdot 5 \cdot 0,85} = 6,19 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тоді

$$M_{CT} = 6,19 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По приблизному статичному моменту і по швидкості швидкого ходу попередньо вибираємо двигун, а потім робимо уточнення його після розрахунку необхідного динамічного моменту.

Обираємо двигун ПБСТ-33МО, технічні дані якого приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Технічні дані двигуна ПБСТ-33МО [5] (табл.Г8 Додаток Г)

Показник	Значення
Номінальна потужність, кВт	1,4
Максимальна потужність, кВт	2
Номінальна напруга, В	110
Номінальна частота обертання, об/хв.	1500
Максимальна частота обертання, об/хв.	3000
ККД, %	82.4
Опір якоря (при 15°C) $R_{я}$, Ом	0,31
Опір ДП, Ом	0,29
Індуктивність якоря $L_{я}$, мГн	5,4
Момент інерції якоря $J_{\partial в}$, кг·м ²	0,032
Номінальний момент на валу двигуна $M_{н}$, Н·м	9,1

Двигуни серії ПБС (ПБСТ) призначені для роботи в широкорегульованих електроприводах із діапазоном регулювання до 1 : 2000 (для верстатобудування). Вони мають п'ять габаритів (із другого по шостий) і виконуються як з умонтованим тахогенератором (ПБСТ), так і без нього (ПБС).

Двигуни серії ПБСТ виготовляються з незалежним збудженням, без послідовної обмотки, що стабілізує. Стійка робота ДПС забезпечується схемою керування електропривода. Напруга збудження встановлюється при замовленні і може бути 110 або 220 В.

Двигуни допускають регулювання частоти обертання нагору від номінальної (при постійній потужності) ослабленням поля головних полюсів або при короткочасних режимах тривалістю не більше 5 хвилин при повному потоці-зміню напруги на якорі. При цьому для ДПС із напругою 110 В допускається підвищення напруги при номінальному струмі якоря до 220 В, із напругою 220 В - до 330 В, із напругою 440 В - до 510 В. Частота обертання не повинна перевищувати в ДПС 2–4-го габаритів 4000 об/хв, 5–6-го габаритів – 3600 об/хв.

Двигуни допускають роботу з малими частотами обертання (0,5 - 1,5 об/хв) при номінальному збудженні і моменті, що не перевищує номінальний.

Двигуни допускають: перевантаження по струму до $4I_{ном}$ протягом 10 с при номінальному збудженні (момент обертання при цьому повинен бути не менше $2,5M_{ном}$ с номінальною частотою обертання 3000 об/хв і не менше $3M_{ном}$ для ДПТ із меншими номінальними частотами обертання); перевантаження по струму до $2I_{ном}$ протягом 10 с при ослабленому полі при максимальній частоті обертання.

Двигуни виготовляються з убудованим тахогенератором типу ТС – 1М і без тахогенератора. Основні дані тахогенератора типу ТС – 1М:

Потужність – 5 Вт;

Напруга якоря – 100 В;

Частота обертання – 3000 об/хв;

Тип збудження – постійні магніти.

Припустиме відхилення кривої напруги якоря тахогенератора від лінійності при номінальному опорі навантаження тахогенератора не повинно перевищувати 2%.

Різниця між напругами тахогенератора, обмірюваними при двох різноманітних напругах обертання якоря й однакових частот обертання, повинна не більш 2% устанавленого значення напруги.

Вимір напруги тахогенератора при переході від холостого до нагрітого стану обмоток тахогенератора і ДПС не повинно бути більш 2%.

Пульсації вихідної напруги тахогенератора повинні бути не більш зазначених нижче значень у діапазоні зміни частот обертання тахогенератора:

Від номінальної до 0,1 номінальної – 2%;

Від 0,1 номінальної до 0,01 номінальної – 3%;

Від 0,01 номінальної до 0,001 номінальної – 5%;

Не більш 0,001 номінальної – 10%.

$$M_n = \frac{P \cdot 10^3}{157} H \cdot m;$$

$$M_n = \frac{1,4 \cdot 10^3}{157} = 8,917 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_n > M_e ; n_{\text{об. max}} > n_{\text{тр. max}} ; 3750 > 3000 .$$

Попередньо вибираємо двигун із номінальним моментом $M_n \geq M_{ct}$ у діапазоні робочих швидкостей при різанні $n_{\text{раб}} - n_{\text{раб min}}$ і з моментом $M_n \geq M_{\text{тр}}$ при максимальній швидкості $n_{\text{max}} \geq n_{\text{б.х.}}$ відповідної швидкості швидкої ходи $v_{\text{б.х.}}$

Потім по таблицях технічних даних і механічній характеристиці $M=f(n)$ тривалого і повторно-короткочасного режимів роботи для прийнятого двигуна приймають усі параметри, необхідні для проведення подальшого розрахунку.

Максимальна напруга U_{max} на двигуні, яка необхідна для забезпечення швидкості швидкого ходу робочого органу механізму передачі

$$U_{\text{max}} = \frac{U_n \cdot n_{\text{max}}}{n_n} B ;$$

$$U_{\text{max}} = \frac{110 \cdot 3000}{1500} = 220 \text{ В} .$$

На підставі аналізу вимог, пропонованих до електроприводів і обраного двигуна, як електропривод привода переміщення порталу, обираємо комплектний тиристорний електропривод серії ЭПУ1М, технічні дані якого наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Технічні дані тиристорного електропривода ЭПУ1М [17]

Тип електропривода	Електродвигун			Частота обертання, об/хв	Потужність трансформатора, кВА
	тип	потужність, кВт	напруга, В		
серії ЭПУ1М	ПБСТ	0,8-11,3	110, 220	1500, 3000	6, 8, 11, 14, 19, 25

2.3 Опис комплектного електропривода типу ЭПУ1М

Електропривод уніфікований трифазний із цифровим керуванням серії ЭПУ1М призначений для регулювання швидкості двигунів постійного струму в складі комплектних пристроїв у машинобудуванні [17].

Область застосування: у верстатобудуванні - у механізмах подачі (виконання П) і головного руху (виконання Д, Е, М), у тому числі у верстатах з ЧПК, промислових роботах і інших механізмах різних галузей промисловості.

ЭПУ1М є модернізованим виконанням електропривода серії [ЭПУ1](#) і повністю його заміняє.

Продовженням аналогового пристрою серії ЭПУ1М є цифрова серія [ЭПУ1М-7](#).

Електроприводи ЭПУ1М по призначенню діляться на дві групи:

1) для механізмів подач верстатів, промислових маніпуляторів (роботів) зі зворотним зв'язком по швидкості.

2) для механізмів головного руху верстатів і інших механізмів.

Електроприводи подачі (ЭПУ1М-2...П) — реверсивні, для високомоментних двигунів забезпечують перевантаження по моменту до 6, мають діапазон регулювання до 10000 призначені для реверсивних швидкодіючих широкорегулювальних приводів з однозонним регулюванням швидкості, у тому числі для механізмів подач верстатів з ЧПК, промислових маніпуляторів і інших механізмів. Дані електроприводи можуть працювати як внутрішній контур у САК зі зворотним зв'язком по положенню із замиканням через систему ЧПК.

Електроприводи головного руху призначені для реверсивних і неревверсивних широкорегулювальних приводів із двохзонним і однозонним регулюванням швидкості; у тому числі для механізмів головного руху верстатів з ЧПК й інших механізмів.

Електроприводи головного руху забезпечують перевантаження по струму до 2, і залежно від виду керування (по якорю, по полю двигуна, зворотному зв'язку й діапазону регулювання швидкості двигуна) підрозділяються на:

ЭПУ1М...Д — двухзонний, зі зворотним зв'язком по швидкості двигуна й діапазоном регулювання швидкості двигуна до 1000;

ЭПУ1М...Е — однозонний (керування по якорю двигуна), зі зворотним зв'язком по ЕРС, діапазоном регулювання швидкості двигуна до 20;

ЭПУ1М...М — однозонний, зі зворотним зв'язком по швидкості двигуна, діапазоном регулювання швидкості двигуна до 1000.

Структура умовної позначки: ЭПУ 1 М-Х-ХХ Х Х Х Х4

ЭПУ	- Електропривод постійного струму уніфікований
1	- Номер розробки
М	- Модернізований варіант
Х _{1,2}	- Виконання по реверсу: 1 - нереверсивний, 2 - реверсивний
ХХ	- Номінальний струм: 34 - 25 А; 37 - 50 А; 39 - 80 А; 40 - 100 А; 43 - 200 А; 46 - 400 А; 48 - 630 А
Х	- Номінальна вихідна напруга: 1-115 В, 2-230 В, 4-460 В
Х	- Напруга живильної мережі: 4-220 В, 50 Гц; 7-380 В, 50 Гц; 8-400В, 50 Гц; 9-415 В, 50 Гц; Р-220 В, 60 Гц, Ф-230 В, 60 Гц; С-380 В, 60 Гц, Ц-400 В, 60 Гц, Э - 415 В, 60 Гц; Т440 В, 60 Гц
Х	- Функціональна характеристика: П - подачі. - Головного руху: Д - двхзонний, Е - зі зворотним зв'язком по напрузі, М - зі зворотним зв'язком по швидкості
Х4	- Кліматичне виконання й категорія розміщення за ДСТ 15150-69: УХЛ4, 04

Електроприводи ЭПУ1М – це реверсивні й нереверсивні однозонні електроприводи зі зворотним зв'язком по швидкості (ВР) і по ЕРС двигуна, а також двухзонні зі зворотним зв'язком по швидкості (ВР). Тип зворотного зв'язку й вибір зони регулювання вибирається з пульта керування або задається через інтерфейс RS-485.

Задані статичні характеристики електропривод забезпечує в діапазонах регулювання швидкості: 1:2000 - (зі зворотним зв'язком по швидкості), 1:20 - (зі зворотним зв'язком по ЕРС).

Електропривод розрахований на роботу в умовах помірного й тропічного клімату в закритих приміщеннях.

Електропривод забезпечує роботу двигунів у режимах: тривалому (S1), короткочасному (S2) і повторно-короткочасному (S3) за ДСТ 183-74 відповідно до характеристик двигунів.

Електропривод забезпечує кратність робочого перевантаження щодо номінального струму якірного ланцюга до 2 протягом часу не більш 10 с у залежності від рівня швидкості й відповідно до характеристик двигуна. Середньоквадратичне значення струму навантаження у всіх режимах роботи не повинне перевищувати номінальний струм якірного ланцюга.

Для високомоментних двигунів електропривод допускає перевантаження до чотириразового номінального струму якірного ланцюга відповідно до характеристик двигуна, але не більш 1 с.

Технічні характеристики електропривода.

Реверсивний електропривод зі зворотним зв'язком по швидкості забезпечує смугу пропущення частот замкнутого контуру регулювання швидкості не менш 20 Гц.

Для реверсивного електропривода зі зворотним зв'язком по ЕРС смуга пропущення не регламентується.

Зміна швидкості при накиданні й скиданні навантаження $0,4 M_{\text{ном}}$ відносно $0,6 M_{\text{ном}}$ при $n = 0,1 n_{\text{макс}}$ не перевищує 10 %, час відновлення швидкості не перевищує 0,15 с.

Рівень шуму електропривода відповідає нормам ДСТУ 12.1.003-83 і не перевищує 85 дБ.

Номінальний коефіцієнт корисної дії якірного перетворювача не менш 0,95.

В електроприводі є електронні захисти:

- від неприпустимого зниження (у тому числі від обриву фази через згоряння запобіжників) сіткової напруги в ланцюзі керування;
- від перегріву перетворювача;

- від несправності (обриву або короткого замикання) у ланцюзі тахогенератора
- крім випадку підключення зі зворотним зв'язком по ЕРС (необхідно виключити цей захист);
- від перевищення припустимого часу струмового перевантаження якірного ланцюга (час - струмовий захист);
- від пробою тиристорів і від зникнення (у тому числі через згоряння запобіжників) сіткової напруги в силовому (якірному) ланцюгу;
- від перевищення максимального струму якірного ланцюга (максимально - струмовий захист);
- від обриву ланцюга збудження двигуна (у тому числі через згоряння запобіжників) - крім випадку підключення зі зворотним зв'язком по ЕРС (необхідно виключити цей захист);
- від неправильного чергування фаз живильної мережі в ланцюзі керування.

Захист якірного ланцюга, ланцюги збудження й ланцюги керування від короткого замикання здійснюється запобіжниками. Захист від комутаційних перенапруг здійснюється варисторами й Rc-Ланцюгами. Захист від радіоперешкод здійснюється споживачем у комплектному пристрої.

Рекомендується між кожною фазою живильної мережі й «землею» у комплектному пристрої підключити конденсатори типу МБГЧ ємністю 4 мкФ (4 шт. по 1 мкФ).

Електроприводи серії ЕПУ1М живляться від трифазної мережі напругою 220, 380, 400, 415 В частоти 50 Гц, силова частина перетворювача підключається до мережі через силовий трансформатор або мережний (струмообмежуючий або комутаційний) реактор.

ЕПУ1М мають систему імпульсно-фазового керування СІФУ, розширену діагностику, ПІ-регулятор швидкості, ПІ-регулятор струму в структурі електропривода, спрощену лінеаризацію в переривчастому режимі й т.п.

Перетворювачі ЕПУ1М з випрямленою напругою 115 і 230В підключаються до мережі 380В через трансформатор, що [ТС](#) або [ТС3](#).

Функціональна схема електропривода ЕПУ1М-2П (реверсивний, подачі) наведена на рисунку 2.1.

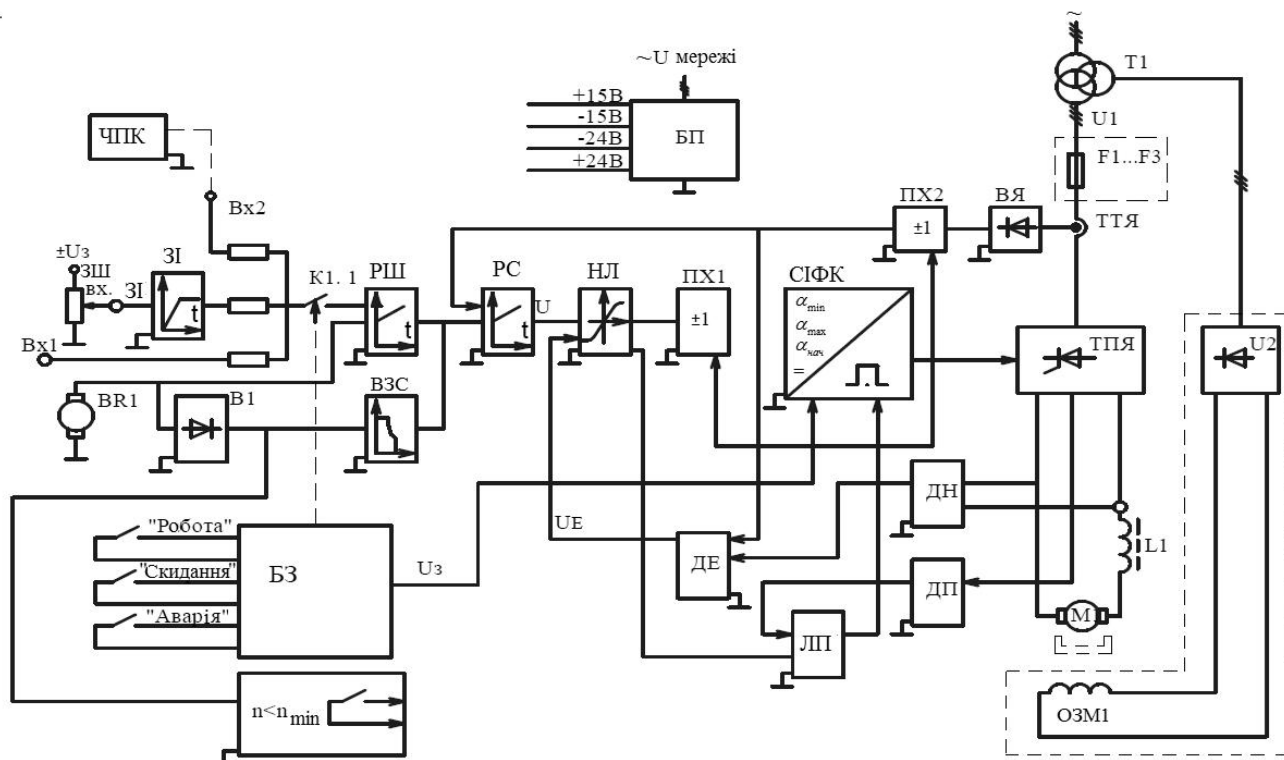


Рисунок 2.1 - Функціональна схема електропривода ЕПУ1М-2П

Реверсивний швидкодіючий електропривод (ЕПУ1М-2...П) складається із блоку керування БСМ3203...П (перетворювача), електродвигуна постійного струму М1 із вбудованим тахогенератором ВР1 погоджувального трансформатора Т1, блоку запобіжників U1, задатчика швидкості ЗШ, пускової апаратури (контакти «Робота», «Скидання захистів», «Аварія»). При необхідності в ланцюг якоря двигуна М1 включається згладжувальний реактор L1. У випадку використання електродвигуна з електромагнітним збудженням для живлення обмотки збудження ОЗМ1 використовується блок збудника U2.

Система регулювання електропривода виконана двоконтурною з ПІ-регуляторами швидкості РШ і струму РС із пристроєм лінеаризації характеристик (УЛХ) ТПЯ в режимі переривчастого струму (рпс). УЛХ містить нелінійну ланку НЛ, яка підключається до виходу РС і датчика ЕРС ДЕ. Зв'язок по ЕРС стосовно вихідного сигналу НЛ є позитивним.

Керування тиристорами ТПЯ проводиться від трьохканальної СІФК, що містить формувачі імпульсів ФІ1 -ФІЗ. Уведення керуючого сигналу в СІФК, регулювання кутів і їх обмеження ($\alpha_{\min}$, $\alpha_{\max}$, $\alpha_{нач}$) здійснюється за допомогою змінних резисторів у керуючому органі (КО) СИФУ. Перемикання імпульсів керування в перетворювачі ТПЯ проводиться блоком логічного пристрою ЛП, який працює у функції сигналу заданого напрямку струму й вихідного сигналу датчика провідності вентилів ДП. Сигнал заданого напрямку струму на вхід ЛП надходить із виходу нелінійної ланки НЛ. При цьому коефіцієнт передачі НЛ обернено пропорційний коефіцієнту передачі ТПЯ. Позитивний зв'язок по ЕРС на вхід НЛ із виходу ДЕ компенсує внутрішній негативний зв'язок по ЕРС двигуна. За допомогою пристрою лінеаризації здійснюється підтримка приблизно однакового коефіцієнта підсилення лінеаризованого в такий спосіб перетворювача.

На відміну від приводів ЭПУ1 у модернізованому варіанті виключені вузол ФПЕ, уведений РС, а позитивний зв'язок по ЕРС через ДН уводиться безпосередньо з якірного ланцюга (а не від тахогенератора). Останнє уніфікує структури одне- і двохзонного електропривода й спрощує налаштування привода (зв'язки по ЕРС) при переключенні двигунів, що працюють від одного перетворювача. У цьому випадку зв'язок по ЕРС настроєний на номінальну напругу двигуна й не залежить від рівня номінальної швидкості двигуна. Наявність РС дозволяє виключити ФПЕ.

Для узгодження реверсивного сигналу НЛ із нереверсивною регульовальною характеристикою КО служить перемикач характеристик ПХ1, керований ЛП. Аналогічний перемикач ПХ2 установлений у ланцюзі датчика струму (ТТЯ, ВЯ).

На вході РШ підсумовуються сигнали завдання швидкості із задатчика швидкості (або з виходу задатчика інтенсивності ЗІ) і зворотного зв'язку з тахогенератора ВР1. Замість задатчика швидкості регулятор РШ може підключатися до аналогового виходу системи з ЧПК. РШ має три входи: «Вх. 1», «Вх. 2» і «Вх. ЗІ». Контакт К1.1 служить для зняття напруги, що задає, із входу РШ при розмиканні контакту «Р» - «Робота», при цьому за рахунок зворотного зв'язку по швидкості відбувається гальмування двигуна М1.

Струмообмеження в даній системі регулювання забезпечується за рахунок обмеження вихідної напруги регулятора РШ. При цьому виключення кидків струму здійснюється за рахунок обмеження вихідної напруги РС.

Вузол залежного струмообмеження ВЗС забезпечує зниження уставки струмообмеження у функції швидкості. Сигнал на вхід ВЗС надходить із тахогенератора BR1 через дільник напруги ДН.

Блок захистів БЗ здійснює блокування виходу регулятора РШ і РС, а також зняття керуючих імпульсів при включенні й спрацюванні захистів.

Схема підключення перетворювача представлена на рисунку 2.3.

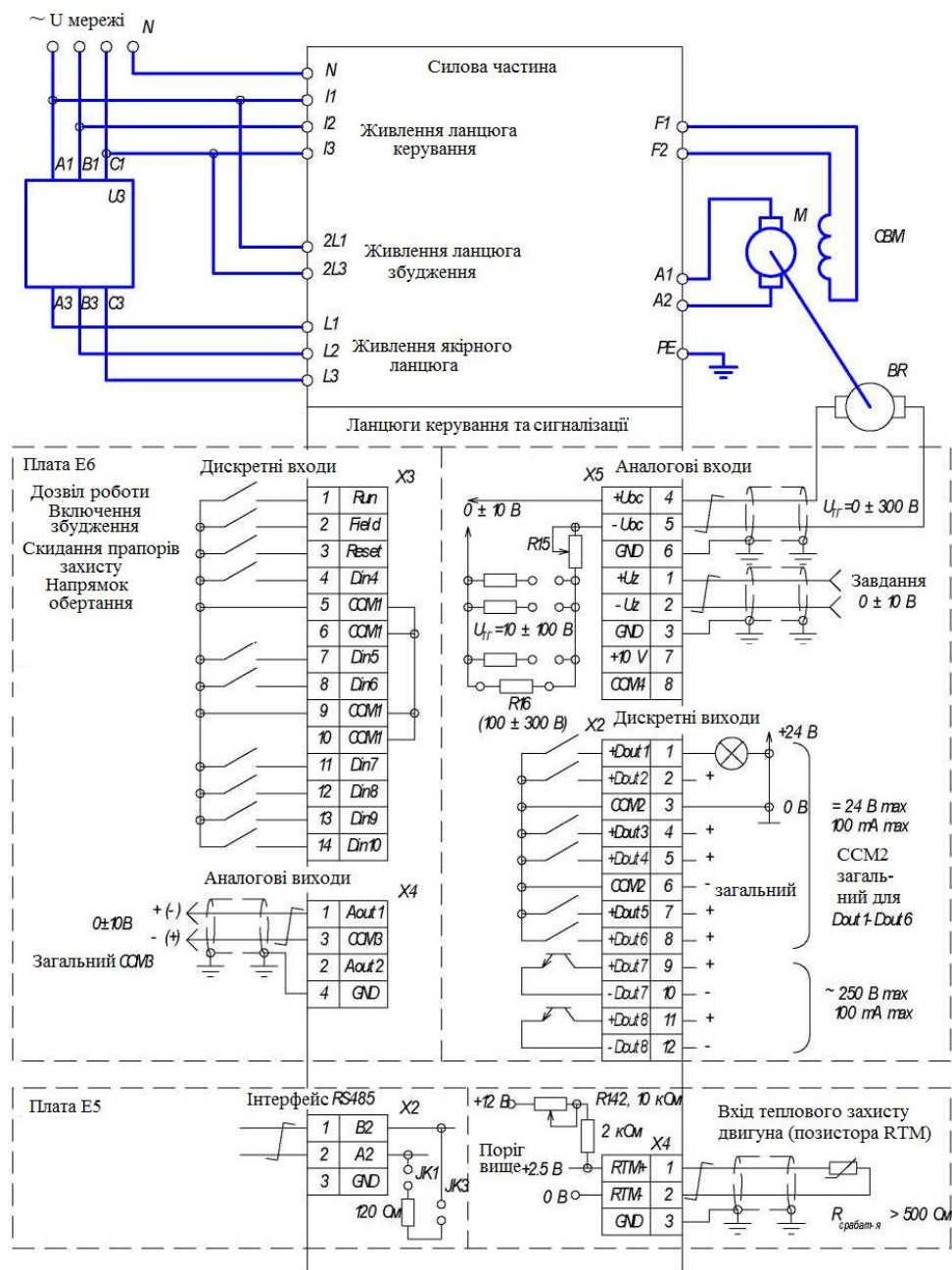


Рисунок 2.3 - Схема електрична підключення ЕПУІМ

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМІЩЕННЯ ПОРТАЛУ

Оптимальна реалізація керуючих пристроїв вимагає досить точного знання процесів, що протікають у керованій технологічній системі. Ці відомості одержують шляхом адекватного відображення цих процесів за допомогою математичних структур, тобто за допомогою систем рівнянь і нерівностей, що виражають взаємозв'язок між перемінними процесу. Математичний опис, що виконує зазначену функцію, називається математичною моделлю. На підставі приведенного вище опису функціональної схеми привода ЕПУ1М складемо математичну модель слідкуючої системи автоматичного керування.

3.1 Розрахунок параметрів математичної моделі для аналізу динамічних властивостей системи

3.1.1 Розрахунок параметрів тиристорного перетворювача

Випрямлене значення електрорушійної сили E_{on} , В

$$E_{on} = 1,1 \cdot U_L;$$

$$U_L = 220 \text{ В}; \quad E_{on} = 1,1 \cdot 220 = 242 \text{ В}.$$

Фазна ЕРС первинної обмотки трансформатора $E_{1\phi} = 220 \text{ В}$,

$$\text{вторинної } -E_{2\phi} = \frac{E_{on}}{1,17}; \quad \text{В}.$$

ЕРС вторинної обмотки визначаємо для нульової, трьохфазної схеми включення вентилів, дані наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Дані схеми включення вентилів [5]

Назва схеми	E_{on} , В	$U_{обр.мах}$, В	I_{ϕ} , А	$I_{2н}$, А	S_m , кВА
3-ф, нульова	$1,17 \cdot E_{2\phi}$	$2,09 \cdot E_{on}$	$0,33 \cdot I_{нп}$	$0,58 \cdot I_{нп}$	$1,46 \cdot P_{on}$

Коефіцієнт трансформації

$$q = \frac{E_{2\phi}}{E_{1\phi}}; \quad q = \frac{206,834}{220} = 0,94.$$

Для електропривода ЭПУ1М обираємо трансформатор за потужністю електродвигуна $S_m \geq 2,5 \cdot P_H$; $S_m = 2,5 \cdot 1,4 = 3,5$ кВА.

Обираємо трансформатор $S_m = 6$ кВА (із стандартного ряду потужностей)

$$I_{1H} = \frac{S_m}{3 \cdot E_{1\phi}}; \quad I_{1H} = \frac{6000}{3 \cdot 220} = 9,091 \text{ А};$$

$$I_{2H} = \frac{S_m}{3 \cdot E_{2\phi}}; \quad I_{2H} = \frac{6000}{3 \cdot 206,834} = 9,699 \text{ А};$$

$$P_{\kappa.3} = P_{\kappa.3.\min} + \frac{P_{\kappa.3.\max} - P_{\kappa.3.\min}}{S_{T\max} - S_{T\min}} (S_T - S_{T\min});$$

$$P_{\kappa.3} = 320 + \frac{550 - 320}{14,6 - 7,3} (6 - 7,3) = 279,041 \text{ Вт};$$

$$P_{x.x} = P_{x.x.\min} + \frac{P_{x.x.\max} - P_{x.x.\min}}{S_{T\max} - S_{T\min}} (S_T - S_{T\min});$$

$$P_{x.x} = 130 + \frac{140 - 130}{14,6 - 7,3} (6 - 7,3) = 128,219 \text{ кВт};$$

$$U_{\kappa.3} = U_{\kappa.3.\min} + \frac{U_{\kappa.3.\max} - U_{\kappa.3.\min}}{S_{T\max} - S_{T\min}} (S_T - S_{T\min});$$

$$U_{\kappa.3} = 4,7 + \frac{5,2 - 4,7}{14,6 - 7,3} (6 - 7,3) = 4,611 \%;$$

$$I_{x.x} = I_{x.x.\min} + \frac{I_{x.x.\max} - I_{x.x.\min}}{S_{T\max} - S_{T\min}} (S_T - S_{T\min});$$

$$I_{x.x} = 16 + \frac{10 - 16}{14,6 - 7,3} (6 - 7,3) = 17,068 \%;$$

$$R_1 = \frac{P_{\kappa.3}}{3 \cdot I_{2H}^2}; \quad R_1 = \frac{279,041}{3 \cdot 9,699^2} = 0,995 \text{ Ом}.$$

Активний опір фази трансформатора

$$R'_{\phi} = \frac{R_1}{2 \cdot q^2} ; \quad R'_{\phi} = \frac{0,822}{2 \cdot 0,94^2} = 0,563 \text{ Ом};$$

$$U = \frac{E_{1\phi} \cdot U_{\kappa.3}}{100} ; \quad U = \frac{220 \cdot 4,611}{100} = 10,144 \text{ В};$$

$$Z = \frac{U}{I_{1H}} ; \quad Z = \frac{10,144}{9,091} = 1,116 \text{ Ом};$$

$$x_1 = \sqrt{Z^2 - R_1'^2} ; \quad x_1 = \sqrt{1,116^2 - 0,822^2} = 0,755 \text{ Ом};$$

$$x'_{\phi} = \frac{x_1}{2 \cdot q^2} ; \quad x'_{\phi} = \frac{0,755}{2 \cdot 0,94^2} = 0,427 \text{ Ом.} \quad - \quad \text{індуктивний опір фази}$$

трансформатора.

Для 3-фазного нульового включення вентилів в тиристорному перетворювачі
 $R_{\phi} = R'_{\phi} ; \quad x_{\phi} = x'_{\phi} .$

Знайдемо еквівалентний внутрішній опір тиристорного перетворювача

$$R_{en} = \left[\frac{m}{2 \cdot \pi} \right] \cdot x_{\phi} + R_{\phi} ; \quad R_{en} = \left[\frac{3}{2 \cdot 3,14} \right] \cdot 0,427 + 0,755 = 0,959 \text{ Ом};$$

$$I_{np} = \frac{I_{2H}}{0,58} ; \quad I_{np} = \frac{9,699}{0,58} = 16,722 \text{ А};$$

$$E_{on} = U_{H} + R_{en} \cdot I_{np} ; \quad E_{on} = 220 + 0,959 \cdot 16,722 = 236,036 \text{ В} - \text{уточнене значення.}$$

$$E_{2\phi} = \frac{E_{on}}{1,17} ; \quad E_{2\phi} = \frac{236,036}{1,17} = 201,74 \text{ В.}$$

Еквівалентна індуктивність тиристорного перетворювача

$$L_{en} = \frac{x_{\phi}}{2 \cdot \pi \cdot f_{nep}} ; \quad L_{en} = \frac{0,427}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,00136 \text{ Гн.}$$

3.1.2 Розрахунок індуктивності реакторів

Обчислення зрівняльних струмів

Кутова швидкість електромагнітного поля статора ω_c , рад/с,

$$\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f_{nep} ; \quad \omega_c = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1}.$$

Амплітуда фазного випрямленого ЕРС

$$E_{faz} = \sqrt{2} \cdot E_{2\phi}; \quad E_{faz} = \sqrt{2} \cdot 201,74 = 285,303 \text{ В};$$

$$I_{3p} = k_{3p} \cdot I_{np}; \quad I_{3p} = 0,2 \cdot 16,722 = 3,344 \text{ А},$$

де $k_{3p} = 0,2$ – коефіцієнт діючого значення зрівняльного струму при $\alpha = 50^\circ$.

При узгодженому спільному керуванні індуктивність реакторів

$$L_{3p} = \frac{k_{3p} \cdot E_{faz}}{\omega_c \cdot I_{3p}} - L_{en}; \quad L_{3p} = \frac{0,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 201,74}{314 \cdot 3,344} - 0,00136 = 0,0530 \text{ Гн}.$$

Вибір тиристорів за граничними значеннями параметрів режиму максимального значення середнього струму у відкритому стані

$$I_{\epsilon} = 0,33 \cdot I_{np}; \quad I_{\epsilon} = 0,33 \cdot 16,722 = 5,518 \text{ А}.$$

Повторюваність імпульсу U в закритому стані

$$U_{закр} = 2,09 \cdot E_{он}; \quad U_{закр} = 2,09 \cdot 236,036 = 493,315 \text{ В}.$$

З додатку К (табл.К1) [5] обираємо тиристори з наступними параметрами (при виконанні $I_{oc,max} > I_{\epsilon}; U_{зcn} > U_{зmax}$), які наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Параметри тиристорів

Тип	$I_{ocmax}, \text{ А}$	$U_{зcn}, \text{ А}$	$I_{oc,ydp}, \text{ А}$
T112-10-5	10	500	150

$I_{oc,ydp}$ – струм, що ударно не повторюється у відкритому стані.

Обмеження струму через тиристори при КЗ на стороні постійного струму I_{noch} у момент КЗ при максимальному навантаженні

$$I_{noch} = I_{\epsilon} = 5,518 \text{ А};$$

$$I_{доп} = I_{удр} = 150 \text{ А} - \text{протягом півперіоду струму}.$$

Величина спільної індуктивності

$$L_{\Sigma К.З} = \frac{2,1 \cdot E_{2\phi}}{\omega_c \cdot (I_{доп} - I_{noch})}; \quad L_{\Sigma К.З} = \frac{2,1 \cdot 201,74}{314 \cdot (150 - 5,518)} = 0,0093 \text{ Гн}.$$

Індуктивність додаткового реактора

$$L_{dp1} = L_{\Sigma} - (L_{3p} + L_{en});$$

$$L_{dp1} = 0,0093 - (0,0530 + 0,00136) = -0,0451 \text{ Гн} \Rightarrow; \quad L_{dp2} = 0.$$

Отже, індуктивність електропривода і струмообмежуючих реакторів достатня для обмеження швидкості наростання аварійного струму, і додаткові реактори не потрібні.

Згладжування пульсацій для випрямленого струму $\alpha = 80^\circ$, $k = 1$.

Розрахунок індуктивності дроселя для схеми ведеться на основній гармоніці

$p = m = 3$ – число пульсацій за період;

$p_1 = 10\%$ – припустиме діюче значення основної гармоніки струму.

Амплітудне значення основної гармоніки

$$E_{n,\max} = \frac{2 \cdot E_{on} \cdot \cos(\alpha) \cdot \sqrt{1 + k^2 \cdot p^2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha)^2}}{k^2 \cdot p^2 - 1};$$

$$E_{n,\max} = \frac{2 \cdot 236,036 \cdot \cos(80) \cdot \sqrt{1 + 1^2 \cdot 3^2 \cdot \operatorname{tg}(80)^2}}{1^2 \cdot 3^2 - 1} = 174,638 \text{ В.}$$

Величина індуктивності кола випрямленого струму

$$L_{\Sigma n} = \frac{E_{n,\max} \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot k \cdot p \cdot \omega_c \cdot I_{np} \cdot p_1}; \quad L_{\Sigma n} = \frac{174,638 \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 314 \cdot 16,722 \cdot 10} = 0,0784 \text{ Гн};$$

$$L_{\text{я}} = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

$$L_{\text{дп2}} = L_{\Sigma n} - (L_{\text{я}} + L_{3p} + L_{\text{ен}});$$

$$L_{\text{дп2}} = 0,0784 - (0,0054 + 0,0530 + 0,00136) = 0,0186 \text{ Гн.}$$

Тоді еквівалентна індуктивність дорівнює

$$L_e = L_{\text{дп2}} + L_{\text{я}} + L_{3p} + L_{\text{ен}};$$

$$L_e = 0,0186 + 0,0054 + 0,0530 + 0,00136 = 0,0784 \text{ Гн}$$

Необхідно урахувати, що значення елементів, які одержані розрахунковим шляхом, не можуть врахувати такі фактори як розкид параметрів трансформатора, двигуна, дроселя, з'єднувальних дротів, контактів, відхилених від номінального

значення елементів, встановлених на платах керування. Тому більш точним способом є експериментальний.

3.2 Розробка структурної схеми системи керування.

Система керування електропривода представляє собою двоконтурну систему керування частоти обертання валу двигуна з підлеглим струмовим контуром [2,3].

Згідно з описом функціональної схеми комплектного електропривода ЕПУ1М (рисунок 2.1, розд.2) система керування представляє собою двоконтурну схему регулювання швидкості з підпорядкованим контуром струму та із задатчиком інтенсивності на вході в систему, яка наведена на рисунку 3.1.

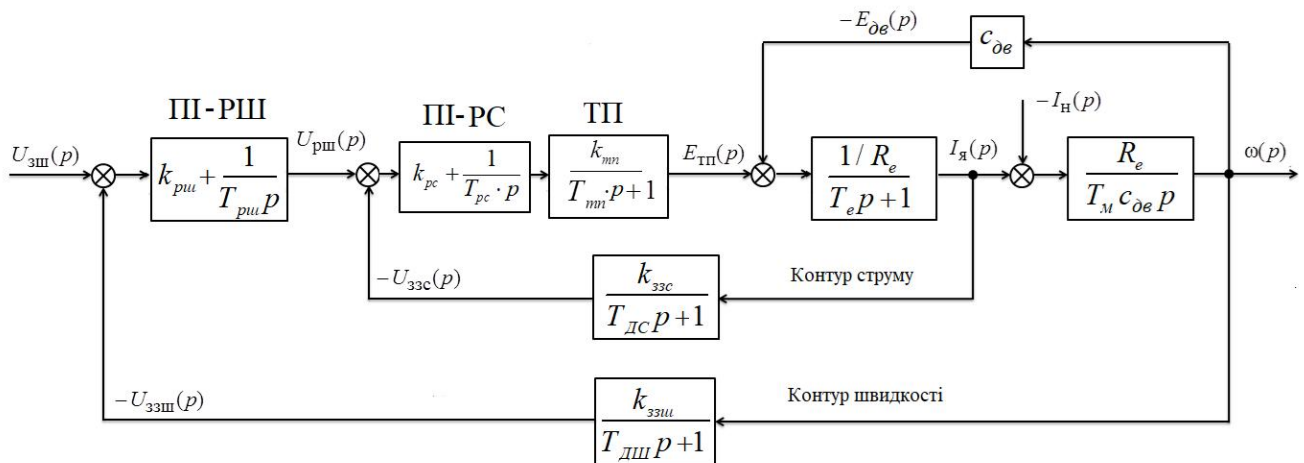


Рисунок 3.1 - Двоконтурна система підпорядкованого регулювання

В структурній схемі системи керування електропривода (рисунок 3.1) вихідний сигнал регулятора швидкості, включений у зовнішній контур, є задаючим для регулятора струму, включеного у внутрішній контур. Налаштування регуляторів відбувається незалежно і послідовно від внутрішнього контуру до зовнішнього. Особливістю системи підлеглого регулювання є рівність кількості регуляторів і замкнених контурів числу регульованих координат.

Система складається з декількох вкладених один в інший контурів. Число контурів дорівнює числу регульованих координат.

Структурна схема складається з пропорційно-інтегрального регулятора швидкості, пропорційно-інтегрального регулятора струму, тиристорного перетворювача, двигуна постійного струму та датчиків зворотнього зв'язку.

У цій системі зручно здійснювати налаштування регулятора, оскільки кожен контур, починаючи з внутрішнього, можна розглядати незалежно. Здійснюється таке налаштування за допомогою модульного оптимуму (МО) або симетричного оптимуму (СО).

Розрахунок параметрів структурної схеми здійснюється для реверсивної системи ТП-Д з трифазною мостовою схемою випрямлення.

Вихідні дані для розрахунку згідно з даними для двигуна серії ПБСТ-33МО представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Технічні дані двигуна ПБСТ-33МО [5]. (табл.Г8 Додаток Г)

Показник	Значення
Номінальна потужність, кВт	1,4
Максимальна потужність, кВт	2
Номінальна напруга, В	110
Номінальна частота обертання, об/хв.	1500
Максимальна частота обертання, об/хв.	3000
ККД, %	82.4
Опір якоря (при 15°C) $R_{я}$, Ом	0,31
Опір ДП, Ом	0,29
Індуктивність якоря $L_{я}$, мГн	5,4
Момент інерції якоря $J_{\partial в}$, кг·м ²	0,032
Номінальний момент на валу двигуна M_n , Н·м	9,1

Параметри об'єкту регулювання.

Стала двигуна $C_{дв}$,

$$C_{\partial в} = \frac{U_n - I_n \cdot \beta_t \cdot (R_{я} + R_{\partial п})}{\omega_n},$$

де $\beta_t = 1,24$ - температурний коефіцієнт.

$$C_{\partial\theta} = \frac{110 - 12,727 \cdot 1,24 \cdot (0,31 + 0,29)}{(1500 \cdot 2 \cdot 3,14) / 60} = 0,64 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

Номінальний струм двигуна I_n , А,

$$I_n = \frac{P}{U};$$

$$I_n = \frac{1,4 \cdot 10^3}{110} = 12,727 \text{ А}.$$

Еквівалентний опір якорного кола R_e , Ом,

$$R_e = R_{en} + \beta_t \cdot (R_{я} + R_{\partial n}) \cdot 1,5;$$

$$R_{екв} = 0,959 + 1,24 \cdot (0,31 + 0,29) \cdot 1,5 = 2,075 \text{ Ом}.$$

Електромагнітна стала часу якорного кола двигуна T_e ,

$$T_e = \frac{L_e}{R_e};$$

$$T_e = \frac{0,0784}{2,075} = 0,0378 \text{ с}.$$

Сумарний момент інерції привода J'_{np} , кг·м²,

$$J'_{np} = J'_{\Sigma} + J_{\partial\theta};$$

$$J'_{np} = 3,75 \cdot 10^{-4} + 0,032 = 0,032375 \text{ кг/м}^2.$$

Електромеханічна стала часу T_m ,

$$T_m = \frac{J'_{np} \cdot R_e}{C_{\partial\theta}^2};$$

$$T_m = \frac{0,032375 \cdot 2,075}{0,64^2} = 0,164 \text{ с}.$$

Коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача k_{mn} ,

$$k_{mn} = \frac{E_{on}}{U_{к. max}};$$

$$k_{mn} = \frac{236,036}{10} = 23,6.$$

Стала часу тиристорного перетворювача T_{mn} ,

$$T_{mn} = \frac{1}{p \cdot f_{мер}};$$

$$T_{mn} = \frac{1}{3 \cdot 50} = 0,0067 \text{ с.}$$

Для практичних розрахунків передатну функцію ТП можна представити у вигляді

$$W_n(p) = \frac{k_{mn}}{T_{mn}p + 1};$$

$$W_n(p) = \frac{23,6}{0,0067p + 1}.$$

Передатна функція двигуна складається з електромагнітної частини з передатною функцією $W_{e,дв}(p)$,

$$W_{e,дв}(p) = \frac{1 / R_e}{T_e p + 1},$$

$$W_{e,дв}(p) = \frac{1 / 2,07}{0,02 p + 1} = \frac{0,483}{0,02 p + 1},$$

та з електромеханічної частини з передатною функцією $W_{м,дв}(p)$,

$$W_{м,дв}(p) = \frac{R_e}{T_m c_{дв} p},$$

$$W_{м,дв}(p) = \frac{2,07}{0,069 \cdot 0,583 \cdot p} = \frac{2,07}{0,04 p}.$$

3.2.1 Розрахунок параметрів регулятора струму та елементів контуру регулювання струму

Тому що об'єкт регулювання в контурі струму поданий аперіодичними ланками, застосовується ПІ-регулятор струму, який настроюється по модульному (технічному) оптимумі [2,3,14].

Контур струму складається з об'єкту регулювання - ланцюга якоря двигуна, силового перетворювача і регулятора струму (рисунок 3.2). Контур замикається зворотнім зв'язком по величині напруги, що знімається з датчика струму в ланцюзі якоря.

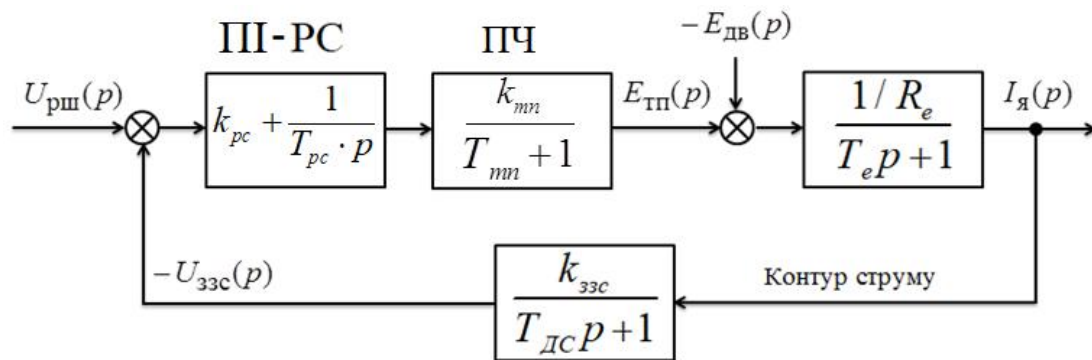


Рисунок 3.2 – Схема контуру регулювання струму

Максимально допустимий струм двигуна при перехідному процесі $I_{\max}$,

$$I_{\max} = 4 \cdot I_n;$$

$$I_{\max} = 4 \cdot 12,727 = 50,908 \text{ A.}$$

Передавальний коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом $k_{ззс}$,

$$k_{ззс} = \frac{U_{ззс}}{I_{\max}};$$

$$k_{ззс} = \frac{10}{50,908} = 0,196.$$

Еквівалентна стала часу контуру швидкості T_{μ} , с,

$$T_{\mu} = T_n + T_{дс};$$

$$T_{\mu} = 0,00667 + 0,00034 = 0,00701 \text{ с.}$$

Коефіцієнт передачі ПІ - регулятора струму k_{pc} ,

$$k_{pc} = \frac{R_e \cdot T_e}{2 \cdot T_{\mu} \cdot k_{mn} \cdot k_{ззс}};$$

$$k_{pc} = \frac{2,075 \cdot 0,0378}{2 \cdot 0,00701 \cdot 23,604 \cdot 0,196} = 1,210.$$

Стала часу ПІ - регулятора струму T_{pc} , с,

$$T_{pc} = \frac{T_e}{k_{pc}};$$

$$T_{pc} = \frac{0,0378}{1,210} = 0,0312 \text{ с.}$$

Розрахунок параметрів ПІ-регулятора струму, схема якого наведена на рисунку 3.3.

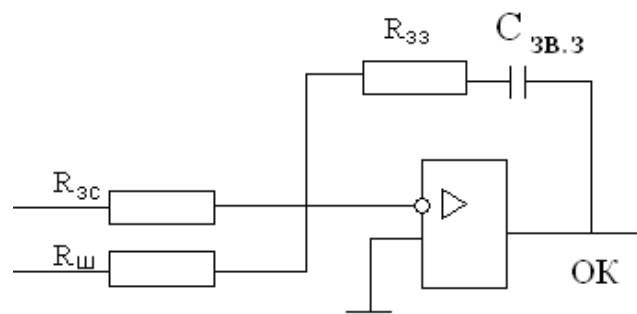


Рисунок 3.3 - ПІ-регулятор струму

$$I_{нш} = 20 \text{ А}; \quad k_{ш} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{I_{нш}};$$

$$k_{ш} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{20} = 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ - коефіцієнт передачі шунта};$$

$$k_{dc} = \frac{20}{75 \cdot 10^{-3}} = 0,267 \cdot 10^{-3} \text{ - коефіцієнт передачі датчика струму якоря};$$

$$C_{зз2} = 10^{-6} \text{ Ф - величина ємності}; \quad R_{зз2} = \frac{T_e}{C_{зз2}};$$

$$k_{зз2} = \frac{0,0288}{10^{-6}} = 28,8 \text{ кОм};$$

$$R_3 = \frac{T_{pc}}{C_{332}} ;$$

$$R_3 = \frac{0,0674}{10^{-6}} = 67,4 \text{ кОм};$$

$$R_4 = \frac{k_{uu} \cdot k_{dc} \cdot R_3}{k_{33c}} ;$$

$$R_4 = \frac{3,75 \cdot 0,267 \cdot 10^{-3} \cdot 67400}{0,196} = 341 \text{ Ом}.$$

3.2.2 Розрахунок параметрів регулятора швидкості та елементів регулювання контуру швидкості

Об'єктом регулювання зовнішнього контуру швидкості є замкнутий контур струму і ланка, що описує механічний опір двигуна (рисунок 3.4).

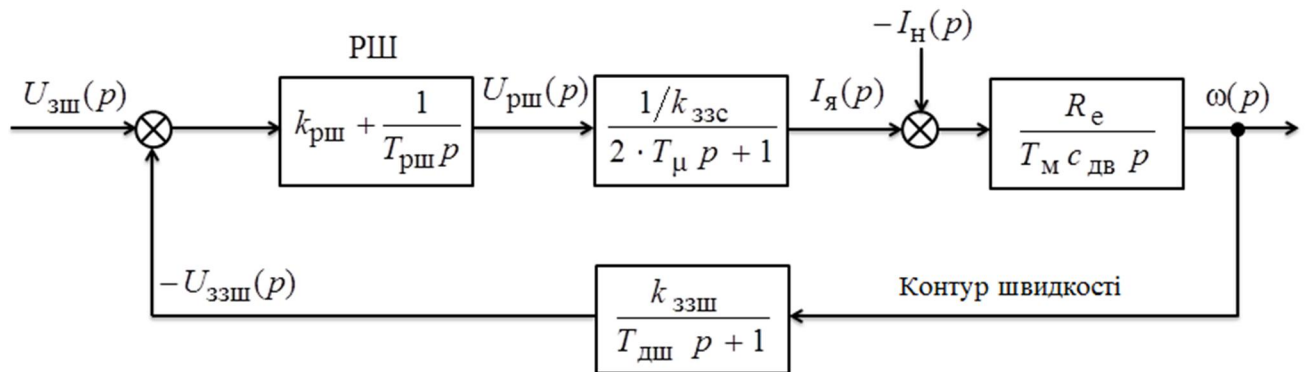


Рисунок 3.4 - Структурна схема регулятора контуру швидкості

Передатна функція об'єкту регулювання контуру швидкості $W_{орки}(p)$,

$$W_{орки}(p) = \frac{1/k_{33с}}{2 \cdot T_{\mu} p + 1} \cdot \frac{k_M}{T_M p},$$

де $k_M = \frac{R_e}{c_{дв}}; \quad k_M = \frac{2,07}{0,64} = 3,24 \text{ [4]}.$

Передатна функція зворотного зв'язку за швидкістю $W_{зш}(p)$,

$$W_{зш}(p) = \frac{k_{зш}}{T_{дш}p + 1},$$

де $k_{зш}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю, В·с;

$T_{дш}$ - стала часу фільтра датчика швидкості, $T_{дш} = 0,034$ с [5].

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю $k_{зш}$, В·с,

$$k_{зш} = \frac{U_{зш}}{\omega_{\max}},$$

$$U_{зш} = 10 \text{ В};$$

$$k_{зш} = \frac{10}{314} = 0,0318.$$

Розрахунок параметрів ПІ-регулятора швидкості (рисунок 3.5).

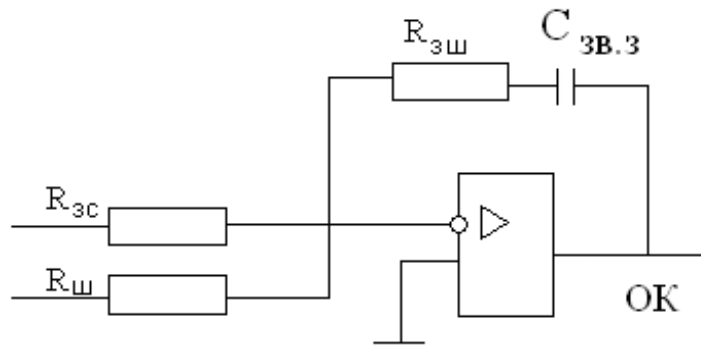


Рисунок 3.5 - ПІ-регулятор швидкості

$$C_{зш} = 10^{-6} \text{ Ф};$$

$$R'_{зш} = \frac{T'_{ш}}{C_{зш}} = \frac{4 \cdot T_{ш}}{C_{зш}}; \quad R'_{зш} = \frac{4 \cdot 0,0144}{10^{-6}} = 57600 \text{ Ом};$$

$$R'_1 = \frac{T_{ш}}{C_{зш}};$$

$$R'_1 = \frac{0,00532}{10^{-6}} = 5320 \text{ Ом};$$

$$R'_3 = \frac{k_{m\epsilon} \cdot R'_1}{k_{\text{зшл}}};$$

$$R_4 = \frac{0,0637 \cdot 5320}{0,0318} = 10657 \text{ Ом}.$$

3.3 Дослідження динамічних характеристик системи

Вихідні дані для дослідження даної системи наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів

Постійна ЕРС двигуна, В/с	$c_{\partial\epsilon} = 0,64$
Еквівалентний опір якірного ланцюга двигуна, Ом	$R_e = 2,075$
Електромеханічна стала часу якірного ланцюга, с	$T_m = 0,164$
Електромагнітна стала часу якірного ланцюга, с	$T_e = 0,0378$
Стала часу тиристорного перетворювача, с	$T_{mn} = 0,0067$
Коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача	$k_{mn} = 23,6$
Коефіцієнт підсилення ПІ – регулятора швидкості	$k_{\text{шл}} = 10,825$
Коефіцієнт передачі ПІ – регулятора струму, В/А	$k_{pc} = 1,21$
Стала часу ПІ - регулятора струму, с	$T_{pc} = 0,0312$
Передавальний коефіцієнт датчика струму	$k_{\text{зшл}} = 0,196$
Передавальний коефіцієнт датчика швидкості	$k_{\text{зшл}} = 0,0318$
Постійна часу датчика швидкості, с	$T_{\partial\text{шл}} = 0,034$
Постійна часу датчика струму, с	$T_{\partial\epsilon} = 0,00034$
Постійна часу ПІ – регулятора швидкості, с	$T_{\text{шл}} = 0,0053$
Еквівалентна стала часу контуру швидкості, с	$T_{\mu\text{шл}} = 0,0144$

Передатні функції ланок.

Електромагнітної частини двигуна

$$W_{e.\partial\theta}(p) = \frac{1 / R_e}{T_e p + 1}$$

$$W_{e.\partial\theta}(p) = \frac{1 / 2,07}{0,02 p + 1} = \frac{0,483}{0,02 p + 1}$$

Електромеханічної частини двигуна

$$W_{m.\partial\theta}(p) = \frac{R_e}{T_m c_{\partial\theta} p}$$

$$W_{m.\partial\theta}(p) = \frac{2,07}{0,069 \cdot 0,583 \cdot p} = \frac{2,07}{0,04 p}$$

Перетворювача частоти

$$W_n(p) = \frac{k_{mn}}{T_{mn} p + 1}$$

$$W_n(p) = \frac{23,6}{0,0067 p + 1}$$

Регулятора швидкості

$$W_{pu1}(p) = k_{pu1} + \frac{1}{T_{pu1} \cdot p} k_{mn}$$

$$W_{pu1}(p) = 10,825 + \frac{23,6}{0,0053 \cdot p}$$

Регулятора струму

$$W_{pc}(p) = k_{pc} + \frac{1}{T_{pc} \cdot p}$$

$$W_{pc}(p) = 1,21 + \frac{1}{0,0312 \cdot p}$$

Датчика струму

$$W_{\partial c}(p) = \frac{k_{\partial c}}{T_{\partial c} \cdot p + 1}$$

$$W_{\partial c}(p) = \frac{0,196}{0,0053 \cdot p + 1}$$

Датчика швидкості

$$W_{\partial u}(p) = \frac{k_{\partial u}}{T_{\partial u} \cdot p + 1}$$

$$W_{\partial u}(p) = \frac{0,318}{0,00034 \cdot p + 1}$$

Після розрахунків усіх величин, що входять у структурну схему (рисунок 3.1), вони були внесені у розрахункову модель для дослідження динаміки системи керування електропривода механізму переміщення порталу (рисунок 3.6).

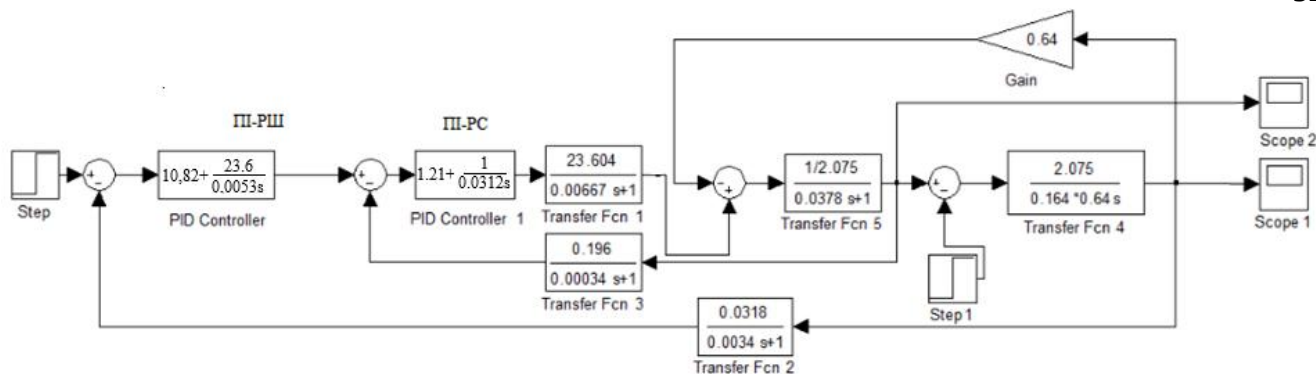


Рисунок 3.6 - Розрахункова динамічна модель системи керування

Моделювання виконувалося у середовищі програми Simulink пакету MathLab [18].

На схемі зображено:

«Transfer Fcn1» - реалізує передатну функцію частотного перетворювача;

«Transfer Fcn2» та «Transfer Fcn3» - датчики струму та швидкості відповідно.

«Transfer Fcn4» та «Transfer Fcn5» – реалізують лінеаризовану модель двигуна;

«Gain» - постійна ЕРС двигуна;

«Scope1» та «Scope2» - використовуються для отримання графіку перехідного процесу за швидкістю та струмом відповідно.

На основі структурної схеми електропривода (рисунок 3.3) та її параметрів за допомогою програмного забезпечення "MATLAB" здійснюємо побудову перехідних характеристик системи керування двигуном постійного струму.

На рисунках 3.7 та 3.8 наведені результати моделювання перехідних процесів при східчастому впливі величиною 10 В та при зміні на 30 % навантаження після режиму, що встановився.

На рисунку 3.7 наведена перехідна характеристика по швидкості.

На рисунку 3.8 наведена перехідна характеристика по струму

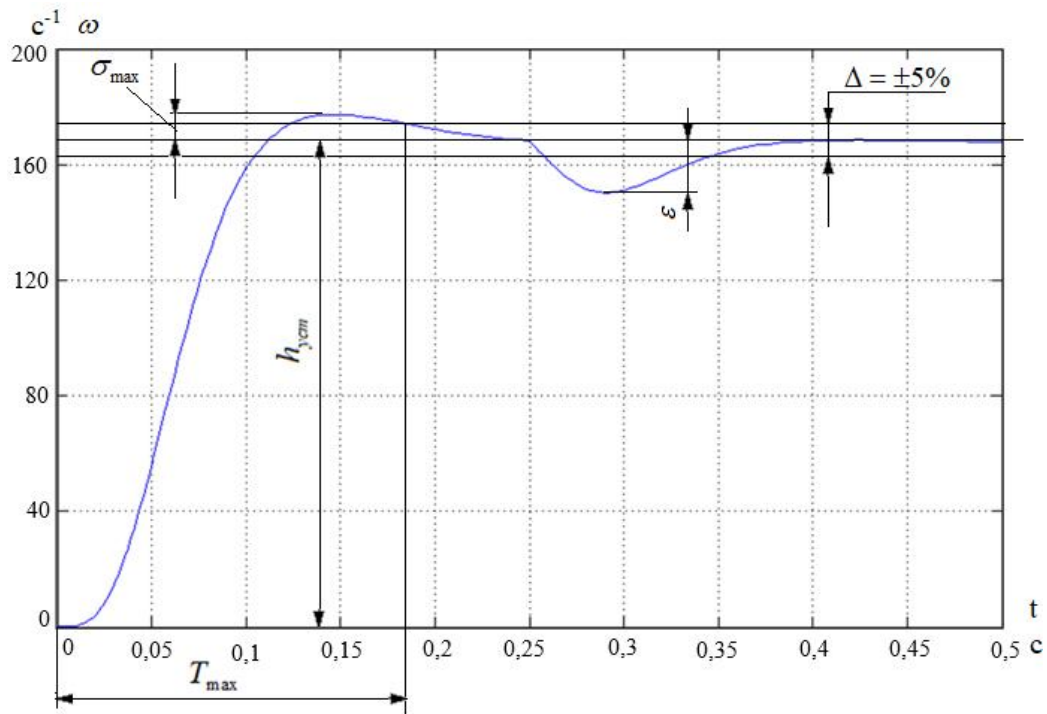


Рисунок 3.7 – Перехідний процес по швидкості в режимі переміщення Вакар кран-балка 2025

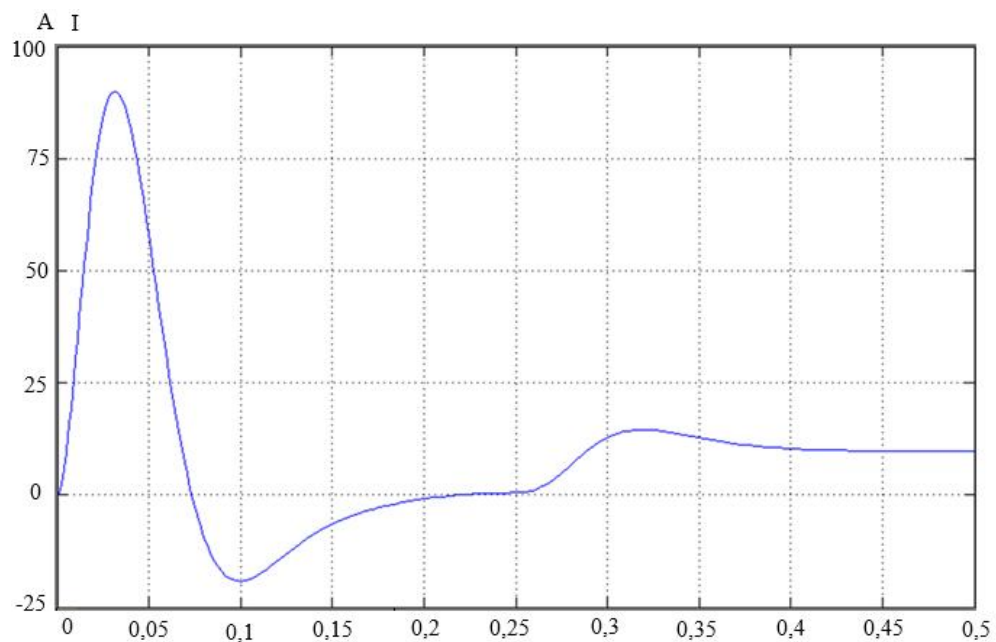


Рисунок 3.5 – Перехідна характеристика струму статора

З графіку перехідного процесу **по швидкості** (Рисунок 3.7) видно, що система має наступні показники якості керування швидкістю:

- час перехідного процесу менше 0,2 с ($T_{\max} = 0,18$ с);

- перерегулювання $\sigma_{\max} = \frac{h_{\max} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\% \quad \sigma = 5,15 \%$;

- похибка $\varepsilon = 0\%$;

- коливальність $N = 1$.

При зміні на 30 % навантаження після режиму, що встановився, перехідний процес повертається до заданого значення без помилки.

З графіку перехідного процесу **по струму** (Рисунок 3.8) видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм не перевищує допустимий струм короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний.

Після подання навантаження на вал двигуна струм виходить на номінальний режим.

Тому що такі показники якості задовольняють вимогам до системи керування, можна зробити висновок, що дана модернізація покращила динамічні властивості системи.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МАШИНИ ТЕРМІЧНОГО РІЗАННЯ МЕТАЛУ

Охорона праці - система правових, соціально - економічних, організаційно - технічних, санітарно - гігієнічних і лікувально-профілактичних мір і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці [10].

Цілком безпечних і нешкідливих виробництв не існує. Задачі охорони праці - звести до мінімуму імовірність поразки чи захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Охорона праці водночас вирішує дві задачі. Одна з них – інженерно-технічна, що передбачає запобігання небезпечним подіям під час трудового процесу.

Друга задача – соціальна, пов'язана з відшкодуванням матеріальної та соціальної шкоди, отриманої внаслідок нещасного випадку або роботи в несприятливих умовах, тобто захист працівника та його прав.

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, характерних для роботи на машині Кристал МППлП

Термічне різання виступає одним з найбільш оптимальних способів розкрою листового металу. У цьому випадку використовується технологія плавлення або окиснення сталі в місці її різку, що дозволяє працювати відносно швидко й з одержанням рівної кромки.

Устаткування, призначене для плазмового різання металу, має ряд особливостей, через що під час роботи на даному встаткуванні правила техніки безпеки трохи відрізняються від загальноприйнятих. Розглянемо, що необхідно зробити для того, щоб робота на верстатах плазмового різання металу була безпечною.

Як відомо, процес різання металу на розглянутому виді встаткування здійснюється за рахунок створення електричної дуги. Для того щоб створити таку дугу на верстат подається напруга в 10 кВт. Дана напруга є небезпечною для людини, тому необхідно ужити всіх заходів до того, щоб фахівець працюючий на верстаті не одержав ушкодження електричним струмом. Тобто встаткування повинне, як мінімум мати заземлення, і наявність заземлення необхідно перевіряти щораз перед початком роботи.

У якості плазмостворюючого газу в установці використовується повітря тиском до 0,6 мПа витратою до 1,95 л/с (витрата приведена до тиску 0,1 мПа).

Небезпечний виробничий фактор - такий виробничий фактор, вплив якого на працюючого у визначених умовах приведе до травми чи іншого раптово різкого погіршення здоров'я.

Правила охорони праці при термічній обробці металів поширюються на всі суб'єкти господарювання (далі - організації), які здійснюють термічну обробку або проектують у будівництві, реконструкцію та експлуатацію термічних цехів і ділянок, а також при конструюванні, виготовленні, монтажі і налагодженні нового обладнання; експлуатації, технічному обслуговуванні, ремонті і модернізації діючого устаткування для термічної обробки металів.

При організації та експлуатації на підприємствах цехів і ділянок термічної обробки металів, крім цих Правил, необхідно дотримуватися вимог діючого законодавства стосовно охорони праці.

Працівники під час прийняття на роботу і в процесі роботи проходять перевірку знань відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 N 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за N 231/10511 (НПАОП 0.00-4.12-05).

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори класифікуються відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 "Система стандартів безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация".

При роботі на машині Кристал МППлП можливий вплив на працівників різних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, у тому числі:

- незахищені рухливі елементи виробничого устаткування;
- заготовки, готові вироби або деталі, що пересуваються (далі - деталі);
- транспортні засоби, що рухаються;
- аерозолі фіброгенної дії (пилу);
- несприятливий мікроклімат робочої зони;
- підвищена температура поверхонь устаткування і матеріалів;
- знижена температура при обробці деталей холодом;
- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання (ультрафіолетового, видимого, інфрачервоного, лазерного, мікрохвильового, радіочастотного);
- підвищена напруженість магнітного поля;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- знижена освітленість робочого місця;
- пожежо- і вибухонебезпека;
- хімічні фактори загальнотоксичного, дратівного, канцерогенного впливу на організм працівника;
- важкість і напруженість праці.

Експлуатація машини Кристал МППлП зв'язана з використанням процесів плазмового і кисневого різання, а отже, з виділенням диму, газоподібних продуктів згоряння, зі світловим випромінюванням, шумом. На машину подається напруга перемінного струму 380В, палий газ (наприклад, ацетилен), кисень.

У процесі експлуатації при недотриманні засобів безпеки зазначені фактори становлять небезпеку для обслуговуючого персоналу.

4.2 Перелік заходів щодо безпечної експлуатації машини Кристал МППлП

Для нормальної експлуатації машини Кристал МППлП необхідно керуватися Правилами охорони праці при термічній обробці металів [13].

Згідно із правилами по охороні праці ділянка плазмового різання металу повинна розташовуватися в ізолюваному, спеціально обладнаному приміщенні. У даному приміщенні повинна бути присутнім вентиляція й зовсім не допускається зберігання легкозаймистих речовин. Крім цього, буде розумно змонтувати в цім приміщенні електрощит, через який у випадку екстреної необхідності стане можливим відключити подачу електроенергії на встаткування.

Санітарно-гігієнічне нормування умов мікроклімату здійснюється за ДСН 3.3.6.042199, які встановлюють оптимальні і допустимі параметри мікроклімату залежно від загальних енерговитрат організму при виконанні робіт і періоду року.

Стіни приміщення, де розміщені лазерні установки, повинні бути з матеріалу, непроникного для лазерного випромінювання.

Внутрішні поверхні приміщення повинні фарбуватися в матовий колір, що має мінімальний коефіцієнт відбивання і забезпечує максимальне розсіювання світла по довжині хвилі лазерного випромінювання.

Працівники, що обслуговують і експлуатують технологічні лазерні установки, повинні проходити медичний огляд згідно з Порядком проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затвердженим наказом Міністерства охорони здоров'я України від 21.05.2007 N 246, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 23.07.2007 за N 846/14113.

Працівники, що працюють з лазерними установками, повинні бути навчені правилам безпечного ведення робіт і правилам особистої гігієни, методам надання першої допомоги в разі ураження лазерним випромінюванням, електричним струмом, а також при впливі інших небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

На ділянці лазерної обробки металів повинні бути:

- інструмент з ізолюваними рукоятками;
- діелектричні рукавички і килимки;

- розрядні штанги;
- екрани непрозорі, що не дають відбиття лазерного випромінювання;
- засоби захисту очей;
- засоби захисту органів слуху;
- інструкція з охорони праці;
- інструкція з експлуатації установки;
- план розміщення установок із указівкою лазерної небезпечної зони.

Розміри лазерної небезпечної зони визначаються розрахунковим або експериментальним шляхом.

У зонах з підвищеною інтенсивністю лазерного випромінювання повинні бути вивішені попереджувальні знаки з написом "Обережно! Лазерне випромінювання" (за ДСТУ ISO 6309:2007).

Контроль лазерного випромінювання дозиметричним методом за ГОСТ 12.1.031-81 "Система стандартів безпеки труда. Лазеры. Методы дозиметрического контроля лазерного излучения" повинен здійснюватися центральною заводською лабораторією або санітарною лабораторією.

Технічні засоби контролю рівнів лазерного випромінювання повинні бути атестовані (забезпечені метрологічною перевіркою).

Видалення шкідливих і небезпечних речовин з повітряного середовища (або зниження їх до рівня ГДК) повинно здійснюватися загальнообмінною вентиляцією за ГОСТ 12.4.021 і СНиП 2.04.05.

Згідно з гігієнічним нормуванням шкідливих речовин (ГОСТ 12.1.005188, СН 245171) вимагається, щоб фактична концентрація забруднюючої речовини не перевищувала гранично допустимої концентрації в робочій зоні (ГДК_{рз}) ($C_{\text{факт}} \leq 1$).

Якщо при проведенні таких технологічних процесів не можливо підтримувати концентрацію шкідливих речовин у повітрі робочої зони на рівні ГДК, необхідно:

- застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання (респіратори та інші пристрої);

- забезпечити захист шкірних покривів від влучення аерозольних часток, які можуть мати велику швидкість і високу температуру, що може привести до опіку відкритих частин тіла;

- використовувати засоби захисту очей від аерозолів і лазерного випромінювання.

У разі виникнення при роботі лазерних установок електромагнітного поля високих і надвисоких частот, що можуть супроводжуватися м'яким рентгенівським випромінюванням, слід керуватися ДСП 6.177-2005-09-02.

Гранично допустимі рівні електромагнітних випромінювань, вимоги безпеки і методи контролю встановлені ГОСТ 12.1.006-84 та ДСН 3.3.6.096-2002.

Висока температура в зоні впливу лазерного випромінювання на деталі створює умови для можливого виникнення пожежі, тому слід дотримуватися вимог ДБН В.1.1-7-2002.

У пожежонебезпечних зонах будь-якого класу можуть застосовуватись електроустановки, що мають ступінь захисту відповідно до вимог ДНАОП 0.0011.32101.

При використанні лазерних установок відкритого типу для запобігання опромінення працівників повинні використовуватися огороження, маркування лазерної небезпечної зони, екранування відкритого променя лазера, винесення пульта керування з небезпечної зони.

Природне і штучне освітлення в приміщеннях термічних цехів повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28:2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення, затвердженим наказом Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 15.05.2006 N 168 (далі - ДБН В.2.5-28-2006).

Обслуговування освітлювальних установок (проведення оперативних переключень, ремонтних, монтажних або налагоджувальних робіт, очищення від пилу і бруду) повинно здійснюватися електротехнічним персоналом відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.01-97 і НПАОП 40.1-1.21-98 - Правила безпечної експлуатації електроустановок.

При роботі на машинах плазмового різання забороняється проводити обробку оцинкованих матеріалів і матеріалів, на яких є лакофарбове покриття, тому що ці матеріали при нагріванні виділяють небезпечні гази, вдихання яких може привести до ушкодження легенів людини.

Електротехнічні засоби з точки зору безпеки повинні відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98.

Напруга холостого ходу джерела струму для плазмового різання обробки при номінальній напрузі мережі не повинна перевищувати:

- 500 В – для пристроїв автоматичного різання;
- 300 В – для пристроїв для напіваавтоматичного різання або напилювання;

Напруги живлення електродвигунів не повинні перевищувати напруги холостого ходу джерела струму для плазмової обробки.

Для захисту від ураження струмом в аварійному режимі застосовують: заземлення, занулення, вимикання, подвійну ізоляцію.

Установки повинні мати осцилятор для збудження дуги.

Допускається при номінальній напрузі холостого ходу джерела струму до 180 В застосовувати для збудження дуги замість осцилятора вугільний або графітовий стрижень, що має рифлену рукоятку з електроізолюючого матеріалу довжиною не менш 100 мм.

Відкриті струмоведучі частини ручних плазмотронів повинні бути або електрично ізольовані від струмоведучих частин, або заземлені, або покриті електричним ізоляційним матеріалом.

Пристрої для автоматичної й напіваавтоматичної обробки повинні мати блокування, що виключає шунтування нормально розімкнутих контактів у ланцюзі живлення котушки пускача або контактора при відсутності зварювальної дуги.

Керування автоматичною й напіваавтоматичною плазмовою обробкою повинне проводитися дистанційно. Подача напруги холостого ходу на плазмотрон до появи чергової дуги повинна проводитися кнопкою «Пуск» контактора без самоблокування. Блокування кнопки «Пуск» повинне здійснюватися автоматично після збудження чергової дуги.

Не слід дивитися на дугу, що утворюється при різанні, незахищеними очима. Необхідно користуватися захисною маскою із світлофільтром.

В аварійних ситуаціях для запобігання виникнення пожеж необхідно дотримувати наступних вимог:

- не захаращувати доступи й проходи до протипожежного реманенту, вогнегасників, гідрантів;
- зберігати горючі й легкозаймисті речовини в спеціально відведених місцях з дотриманням заходів пожежної безпеки;
- використаний обтиральний матеріал зберігати в металевому ящику із кришкою, що щільно закривається;
- не проходити з відкритим вогнем до шлангів;
- не чистити й не прати робочий одяг бензином і іншими легкозаймистими рідинами.

Забороняється:

- працювати без заземлення установки;
- виходити на розрізуваний лист при роботі машини;
- допускати зіткнення плазмотрона з поверхнею металу;
- працювати на машині при несправному реле тиску;
- включати плазмотрон при відсутності циркуляції охолодної води;
- доторкатися до плазмотрону при включеній машині;
- робити ремонт установки під напругою;
- заходити за огороження технологічного встаткування;
- доторкатися до обірваних і з ушкодженою ізоляцією електропроводів;
- працювати без протишумних навушників;.

При ремонті, усуненні несправностей, чищеннях і оглядах необхідно:

- вивісити плакат «Не включати працюють люди!» поза машиною;
- знеструмити машину, тому що на неї подається напруга 380 В.

Робоче місце для плазмового різання необхідно відгородити екранами й ширмами з негорючих матеріалів для захисту від шуму, інфрачервоного випромінювання й бризів розплавленого металу.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена модернізації та дослідженню системи керування машини Кристал МППлП для плазмового різання металу.

Основні результати роботи можна сформулювати наступним чином:

- розглянуті призначення, склад, устрій, робота порталної машини плазмового різання, наведені її основні технічні дані і характеристики;
- виконаний розрахунок необхідної потужності та обраний електродвигун з незалежним збудженням серії ПБСТ-ЗЗМО для переміщення механізму порталу;
- на базі проведеного аналізу існуючих систем керування електродвигунами постійного струму для даного електродвигуна вибраний комплектний тиристорний електропривод серії ЕПУ1М, наведені загальні відомості, технічні характеристики електропривода та розглянутий принцип його роботи;
- на основі функціональної схеми обраного електропривода та проведених розрахунків всіх його елементів була складена структурна схема;
- на основі математичного опису та розрахунків елементів системи складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей;
- в результаті розрахунків були отримані такі параметри налаштування регуляторів, які забезпечили необхідні динамічні властивості системи;
- аналіз показників якості перехідного процесу показав, що перегулювання $\sigma_{\max} = 5,15 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,18$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка $\varepsilon = 0 \%$.

При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень.

Отримані результати підтверджують вирішення задач по вдосконаленню динамічних якостей системи керування машини для плазмового різання металу. Таким чином, основна мета роботи виконана.

В роботі розглянуті питання охорони праці при роботі з електрообладнанням машин Кристал МППлП, наведені заходи щодо збезпечної їх експлуатації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Баховець Б. О.** Автоматизований електропривод. Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2010. – 238 с.
2. **Васильєв, О. Г.** Методичні вказівки до виконання практичних і контрольних робіт з дисципліни "Системи керування електроприводами" / О. Г. Васильєв, С. О. Гаврилов, С. І. Ольшевський. – Миколаїв: НУК, 2016. - 42 с.
3. **Видмиш А.А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
4. **Грабко, В. В.** Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом постійного струму. Курсове та дипломне проєктування : навчальний посібник / М. П. Розводюк, В. В. Грабко. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 89 с.
5. **Васильєв О. Г.** Навчально-методичний посібник до виконання курсової роботи з дисципліни "Системи керування електроприводів" на тему: "Проектування електропривода подачі металорізальних верстатів" / О.Г. Васильєв, О. В. Савченко, А. П. Гуров – Миколаїв : НУК, 2025. – 144 с.
6. **Геворкян Е. С.** Інтегровані технології обробки матеріалів [Текст]: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофєєва, В.П. Нерубацький та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 238 с.
7. **Казачковський М. М.** Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти: Навчальний посібник / М. М. Казачковський. - Дніпропетровськ: НГА України, 2000. - 197 с.
8. Машина Кристал МППлП. Технічний опис. 336.1.383.000.00ТО.
9. Машина Кристал МППлП КПК. Формуляр.336.1.383.000.00 ФО.
10. Основи охорони праці / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. // За ред. **К. Н. Ткачука** і М. О. Халімовського. К.: Основа, 2006. – 448 с.
11. **Панкратов А.І.** Системи керування електроприводами. Видання 2: Навч.

посібник з дисципліни «Системи керування електроприводами» (для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології» денної і заочної форми навчання) / – Краматорськ: ДДМА, 2018. – 225 с.

12. **Биковський О. Г.** Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник / О. Г. Биковський. – К.: Основа, 2021. – 400 с.: іл., фот.

13. Правила охорони праці при термічній обробці металів від 18 грудня 2007 р. № 315.

14. **Регульований електропривод:** Підручник / [І. М. Голодний, Ю. М. Лавріненко, В. В. Козирський, Л. С. та ін.]; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.: іл.

15. **Теорія автоматичного керування :** навчальний посібник / П. В. Леонтьєв та ін. ; за заг. ред. П. В. Леонтьєва. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 296 с.

16. **Теорія різання** [Електронний ресурс] : Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.

17. Електропривод постійного струму уніфікований трифазний серії ЕПУ1М. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. [Электронный ресурс] Режим доступу: https://www.mashprom.com.ua/wp-content/uploads/2013/07/epu-1m_main.pdf.

18. **Гераїмчук М. Д.** Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK: Комп'ютерний практикум / М.Д. Гераїмчук, Ю.Ф. Лазарєв, Т.О. Толочко. – К.:, 2006. – 175с.

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Любчак Микола Павлович

Кваліфікаційна робота магістра на тему:

"Розробка системи керування електропривода різального
механізму верстата з розкрою листового матеріалу"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

Слайд 1 мультимедійної презентації

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

Актуальність теми. Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена модернізації машин плазмового різання типу Кристал МППЛП, які одержали широке поширення на виробництвах ВПК, авіапрому, атомної енергетики.

Тому актуальною є тема відновлення порталних машин минулих років випуску для різання листів і профілів металу на деталі за рахунок переоснащення існуючої системи керування на найбільш сучасну.

Мета роботи: модернізація системи керування електропривода переміщення порталу машини для плазмового різання металу. Робота полягає в переоснащенні існуючої системи керування на сучасну систему керування (ЧПК) із застосуванням нових комплектуючих елементів на базі старої металоконструкції виконавчого механізму.

Задачі роботи:

- розглянути автоматизовану систему керування електропривода машини плазмового, термічного різання металу;
- провести розрахунок та вибір типу електродвигуна для привода механізму переміщення порталу;
- провести аналіз існуючих, сучасних засобів та систем керування електродвигунами постійного струму і на базі цього аналізу вибрати найбільш підходящий електропривод для керування електродвигуном механізму портала;
- провести аналіз динамічних властивостей роботи системи керування;
- розглянути питання охорони праці при роботі з електрообладнанням машин плазмового різання металу.

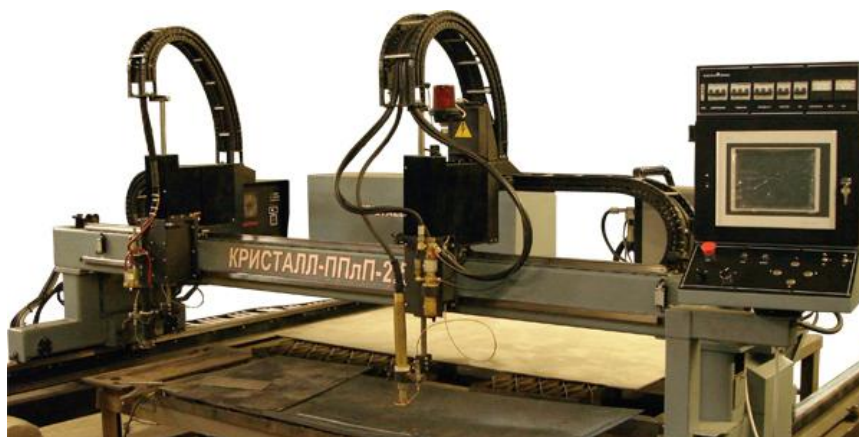
ПОРТАЛЬНА МАШИНА ДЛЯ ТЕРМІЧНОГО РІЗАННЯ

Установка для плазмового різання



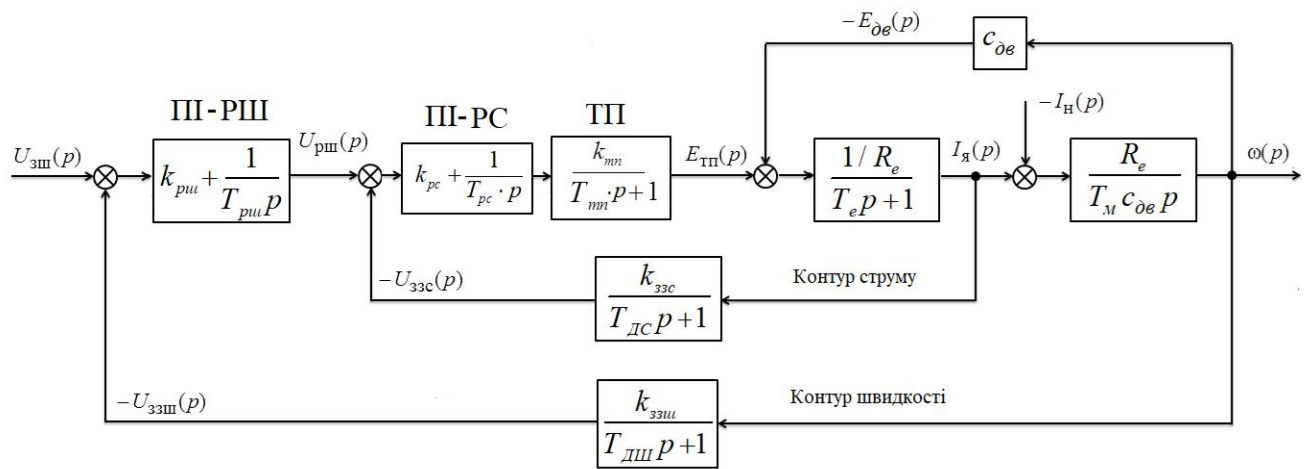
1 - траверса координати Х; 2 - портална машина (портал); 3 - шафа введення електроживлення (Щиток підключення); 4 - рейковий шлях; 5 – обробний стіл

Загальний вид машини термічного різання Кристал МППЛП

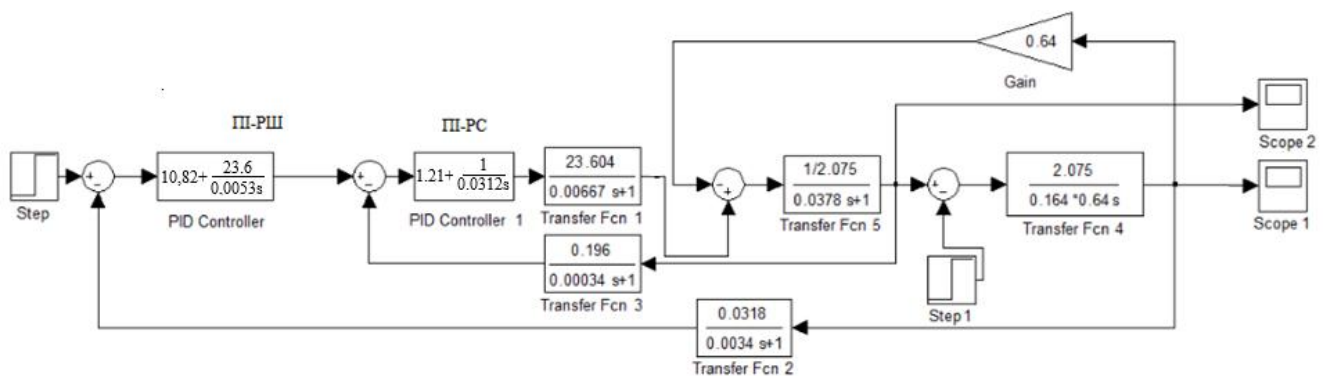


Слайд 3 мультимедійної презентації

СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА



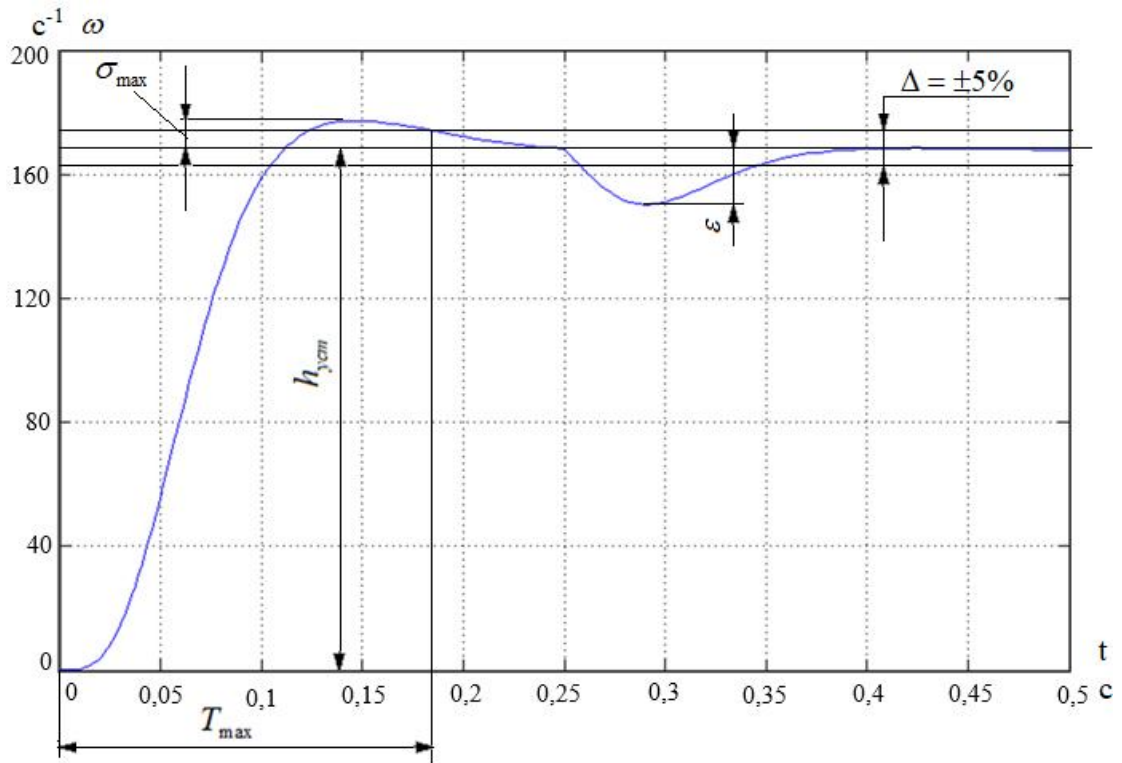
Структурна схема системи керування електропривода



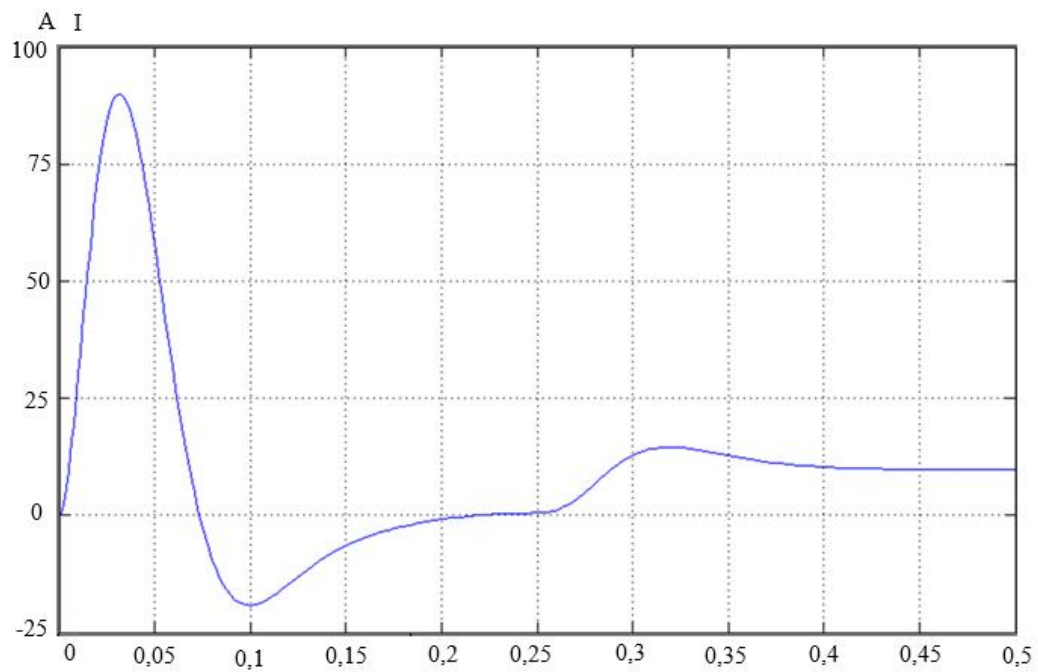
Розрахункова динамічна модель системи керування

Слайд 5 мультимедійної презентації

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Перехідний процес по швидкості



Перехідна характеристика струму

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена модернізації та дослідженню системи керування машини Кристал МППЛП для плазмового різання металу.

Основні результати виконаної роботи можна сформулювати наступним чином:

- розглянуті призначення, склад, устрій, робота порталної машини плазмового різання, наведені її основні технічні дані і характеристики;
- виконаний розрахунок необхідної потужності та обраний електродвигун з незалежним збудженням серії ПБСТ-33МО потужністю 1,4 кВт для переміщення механізму порталу;
- на базі проведеного аналізу існуючих систем керування електродвигунами постійного струму для даного електродвигуна вибраний комплектний тиристорний електропривод серії ЭПУ1М, наведені загальні відомості, технічні характеристики електропривода та розглянутий принцип його роботи;
- на основі функціональної схеми обраного електропривода та проведених розрахунків всіх його елементів була складена структурна схема ;
- на основі математичного опису та розрахунків елементів системи складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей;
- в результаті розрахунків були отримані такі параметри настроювання регуляторів, які забезпечили необхідні динамічні властивості системи;
- аналіз показників якості перехідного процесу показав, що перегулювання $\sigma_{\max} = 5,15 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,18$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка $\varepsilon = 0 \%$.

При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму та напруги не перевищують максимально допустимих значень. Отримані результати підтверджують вирішення задач по вдосконаленню динамічних якостей системи керування машини для плазмового різання металу. Таким чином, основна мета роботи виконана. В роботі розглянуті питання охорони праці при роботі з електрообладнанням машин Кристал МППЛП, наведені заходи щодо збезпечної їх експлуатації.