

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

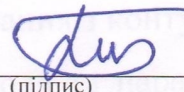
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

І. С. Білюк

« 15 » 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(код та назва спеціальності)

освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та
електропривод

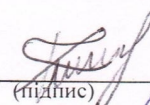
(назва освітньої програми)

на тему: «Модернізація електропривода головного руху токарного
верстата»

Виконав: студент групи 6371м

Філін Даниїл Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)



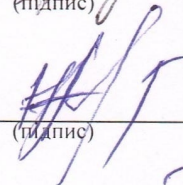
(підпис)

Керівник

доц. каф. автоматики, к.т.н.,

доц. Надточій А.В.

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



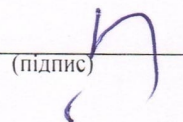
(підпис)

Рецензент

доц. каф. СЕЕС, к.т.н.,

доц. Ставинський Р.А.

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



(підпис)

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

Студент

(підпис)

м. Миколаїв – 2025 року

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 99с., 5 розд., 2 табл., 10 рис., 1 дод., 17 джерел.

Ключові слова: токарний верстат, електропривод, регулятор, передаточна функція, принципова схема, структурна схема, функціональна схема, показники якості керування.

Об'єкт дослідження – фізичні явища, які протікають в електроприводі постійного струму підпорядкованого регулювання з контуром потужності.

Мета роботи – на основі частотного метода та параметричного синтезу провести аналіз і синтез електропривода головного руху токарного верстата.

Перший розділ присвячений аналізу основних технічних характеристик вальцетокарного верстата. У другому розділі здійснено розрахунок та вибір елементів електропривода. У третьому розділі наведено синтез системи керування електроприводом головного руху вальцетокарного верстата.

У четвертому та п'ятому розділах розглянути питання з охорони праці та довкілля.

Додатки містять слайди мультимедійної презентації.

ABSTRACT

Qualification work: 99p., 5 chapters, 2 tables, 10 figures, 1 appendix, 17 sources.

Keywords: lathe, electric drive, regulator, transfer function, block diagram, structural diagram, functional diagram, control quality indicators.

The object of research is physical phenomena occurring in a DC electric drive with subordinate regulation and a power circuit.

The aim of the work is to analyse and synthesise the electric drive of the main movement of a lathe based on the frequency method and parametric synthesis.

The first section is devoted to the analysis of the main technical characteristics of a roll-forming machine. In the second section, the calculation and selection of electric drive elements are carried out. The third section presents the synthesis of the control system for the electric drive of the main movement of a roll-forming machine.

The fourth and fifth sections deal with occupational health and safety and the environment.

The appendices contain slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Стан питання та постановка задачі дослідження.....	8
1.1. Об'єкт дослідження та основні вимоги щодо умов його експлуатації.....	8
1.2. Основні технічні характеристики верстата і загальні вимоги до електроприводу.....	13
1.2.1. Вимоги до електроприводу головного руху.....	14
1.2.2. Загальні технічні вимоги до електроприводів подач токарних верстатів.....	17
1.3. Вимоги до мережі живлення.....	19
1.4. Постановка задачі дослідження.....	19
2. Вибір електродвигуна та розрахунок основних параметрів системи.....	20
2.1. Вибір і перевірка електродвигуна привода	20
2.2. Вибір параметрів тиристорного перетворювача.....	25
2.3. Розрахунок динамічних параметрів системи.....	26
3. Розробка системи керування.....	32
3.1. Принципи побудови математичної моделі системи.....	32
3.1.1. Математичний опис автоматичної системи керування електроприводом у матричній формі.....	32
3.1.2. Алгоритмізація і програмування задач моделювання автоматичної системи керування електроприводом.....	37
3.1.3. Алгоритмізація задачі обчислення функції чутливості перехідних характеристик.....	43
3.1.4. Розрахунок перехідних процесів у системі керування.....	45
3.2. Синтез коригувальних кіл електроприводу.....	47
3.2.1. Визначення структурної побудови системи.....	47
3.2.2. Розрахунок контуру струму.....	48
3.2.3. Розрахунок контуру швидкості.....	51
3.2.4. Розрахунок контуру потужності та процесу різання.....	53

3.3.	Розрахунок статичної характеристики системи.....	57
3.4.	Розробка датчика потужності.....	58
3.5.	Експериментальне дослідження динаміки системи та аналіз одержаних результатів.....	60
4.	Охорона праці.....	65
	Вступ.....	65
4.1.	Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	67
4.2.	Загальні відомості щодо виробничого освітлення.....	70
4.3.	Розрахунок захисного заземлення установки.....	70
4.4.	Заходи щодо техніки безпеки при експлуатації установки.....	75
4.4.1.	Експлуатаційні заходи щодо контролю параметрів системи.....	76
4.4.2.	Технічні заходи щодо забезпечення електробезпеки.....	77
4.4.3.	Організаційні заходи щодо забезпечення безпеки виробництва.	79
4.4.4.	Засоби протипожежної безпеки.....	79
4.5.	Засоби профілактики виробничих отруєнь.....	80
5.	Охорона навколишнього середовища.....	82
	Вступ.....	82
5.1.	Аналіз основних складових забруднення навколишнього середовища, що виникає в процесі виробництва.....	84
5.1.1.	Вплив штучних електромагнітних полів	84
5.1.2.	Шумове і вібраційне забруднення при роботі установки.....	86
5.1.3.	Чинники виникнення хімічного забруднення.....	87
5.2.	Заходи щодо запобігання виникненню забруднень.....	89
	Висновок.....	91
	Перелік джерел посилання.....	92
	Додатки.....	94

ВСТУП

Актуальність проблеми. У зв'язку із виходом виробників металопродукції на зовнішній ринок й виготовленням прокату за стандартами ASTM, DIN та іншим, до його якості і геометричних розмірів ставляться підвищені вимоги, які найчастіше дещо перевищують вимоги існуючих ГОСТів й технічних умов. Якість металопрокату, а також геометричні розміри профілів залежать від багатьох факторів, одним із яких є якість виготовлення і точність обробки поверхонь валків чорнових та чистових кліток прокатних станів. Згідно до робочих калібрувань й способу монтажу валків в токарній майстерні сортопрокатного цеху здійснюється обробка й росточка валків чорнових і чистових кліток. Для цієї мети й застосовується верстат типу ІК 825 Ф2, що призначається для обробки валків як сортових, так і листових прокатних станів.

При обробці валків, що мають неоднорідну структуру або різні фізико-механічні властивості, виникають скачки потужності різання, що згубно впливають на якість поверхонь валків та точність геометричних розмірів виготовленого прокату. У зв'язку з цим набуває актуальності проблема стабілізації потужності різання на заданому рівні, вирішення якої належним чином здійснить позитивний вплив на якість поверхонь валків, що обробляються. Аналіз існуючої літератури дає змогу неодноразово упевнитися в тому, що з появою нововведень в машинобудуванні, і в тому числі й у верстатобудуванні, питання керування процесами обробки деталей набувають нових труднощів і відтінків, які у свою чергу потребують знаходження більш раціональних та перспективних вирішень.

Тому основною метою магістерської роботи є розробка системи керування електроприводом токарного верстата типу ІК 825 Ф2, визначення максимально можливої потужності різання на ньому та знаходження необхідного рівня стабілізації потужності.

Мета і завдання дослідження. На основі частотного метода та параметричного синтезу провести аналіз і синтез електропривода головного руху токарного верстата.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз систем керування електроприводів постійного струму з контуром потужності.
2. Здійснити вибір елементів системи керування цього електропривода.
3. Провести синтез електроприводу головного руху токарного верстата через застосування контуру потужності.

Об'єкт дослідження — фізичні явища, які протікають в електроприводі постійного струму підпорядкованого регулювання з контуром потужності.

Предмет дослідження — параметри електропривода, що можна налаштовувати та корегувати в електроприводі токарного верстата.

Апробація результатів роботи. Основні результати магістерської роботи доповідалися та обговорювалися на XVI Міжнародній науково-технічній конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» (м. Миколаїв, 2025р).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано дві наукові тези у збірнику матеріалів міжнародній науково-технічній конференції Національного університету кораблебудування: «Шляхи удосконалення комплектних електроприводів», «Розрахунок системи з лінійним і нелінійним коригувальним пристроєм» (2025р).

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Об'єкт дослідження та основні вимоги щодо умов його експлуатації

Технічний прогрес в різних галузях промисловості безперервно пов'язаний з технологією виробництва, що постійно удосконалюється в залежності від вимог забезпечення точності виготовлення виробів та змінами в процесах їхньої обробки. Разом з тим зростає і обсяг виробництва, що надалі висуває вимоги підвищення продуктивності машин за рахунок збільшення як їхньої потужності так і швидкості обробки виробів. Тому системи керування технологічними процесами виробництва (тобто системи з ЧПК) постійно потребують розширення можливостей верстатів за рахунок введення додаткових блоків діагностики, обробки результатів, вимірів деталей, компенсації зносу інструменту, обробки результатів відпрацювань завдань в автоматичному режимі.

Завдання програмного керування верстатом полягає у видачі визначеної послідовності команд, що забезпечує необхідне функціонування органів верстата. При використанні ручного керування верстатом необхідну послідовність команд задає оператор з пульта керування, який заздалегідь вивчає креслення та технічну документацію, складає програму обробки деталі. Програма керування може бути записана на програмоносіях у вигляді перфокарти, перфострічки, гнучких магнітних дисків тощо. Програмоносій несе основну технологічну інформацію, що і визначає цикл роботи верстата: послідовність введення у роботу різноманітних інструментів, зміну режимів різання, вмикання чи відключення подачі мастильно – охолоджувальної рідини, затиск та розтиск виконавчих органів верстату.

Використання того чи іншого виду обладнання залежить від складності виготовленої деталі та серійності виробництва. Чим менша серійність

роздрібному виробництві при виготовленні деталей невеликими партіями більш зручно використовувати для автоматизації верстати з попереднім набором координат та цифровою індикацією. До складу верстатних установок подібного роду входить електронний пристрій, якому задаються координати потрібних точок (попередній набір) та хрестовий стіл, що оснащений датчиками положення, за допомогою яких відбувається перехід у задане положення. При цьому на екрані відображається кожне миттєве положення столу.

При виготовленні більш складних деталей найбільш ефективно застосовувати верстати з ЧПК [1,2,4,8,9]. Такі верстати дозволять досягти найбільшої точності обробки деталей при різанні, різьбленні, фрезеруванні, розточці металевих виробів. Основні переваги числового програмного керування полягають у забезпеченні досить високої швидкості відпрацювань завдань обробки, точності виготовлення, переналагодження основного та допоміжного обладнання систем з ЧПК тощо.

Підвищення точності обробки досягається високою точністю виготовлення та жорсткістю верстатів з ЧПК, що перевищує жорсткість інших верстатних установок. Статична та динамічна жорсткість підвищується при зменшенні довжин кінематичних ланцюгів. З цією метою для всіх робочих органів застосовують автономні приводи, а механічні передачі використовують в мінімально можливій кількості. Приводи повинні забезпечувати високу швидкодію органів верстату й установки в цілому. Підвищенню точності також сприяє зменшення зазорів в передатних механізмах приводів подач, зниження втрат на тертя в направляючих та інших механізмах, підвищення вібростійкості, зниження теплових деформацій, застосування систем керування зі зворотними зв'язками за швидкістю, потужністю тощо. Для зменшення теплових деформацій необхідно забезпечити рівномірний температурний режим в механізмах верстату, чому сприяє попередній розігрів верстату та гідросистеми.

Основним питанням по забезпеченню якісних показників роботи верстатів виступає забезпечення найбільш якісного керування системою відпрацювань завдань на робочих органах.

Для автоматичного керування комплексами обладнання верстатів застосовують ЕОМ, і, включаючи такі ланки до складу автоматизованих ділянок виробничих систем, таким чином забезпечують мінімальне втручання людини у процес виробництва.

Розглянемо комплекс основного та допоміжного обладнання системи керування процесом металообробки деталей у відповідності до заданого об'єкта дослідження. Загальна структура даного комплексу складається з 6 модулів обробки. Це:

- 1) Модуль обробки, що виконує основну функцію технологічного процесу – технологічний вплив на предмет обробки в автоматичному режимі, що досягається застосуванням програмно – керуючого обладнання, приладів завантаження – розвантаження, базування, закріплення, вимірювання та адаптації тощо. Модуль обробки взаємодіє з модулями: контролю якості продукції, адаптивного ведення технологічного процесу, робототехніки, міжопераційного транспортування, виведення відходів, охолодження.
- 2) Модуль інструментального забезпечення, що здійснює підготовку й розмірне настроювання, положення, доставку, повернення, діагностування та інші операції по забезпеченню системи інструментом, затискними та іншими пристроями та іншою оснасткою в режимі відпрацювання технологічного процесу.
- 3) Модуль міжопераційного транспортування, що забезпечує сполучення транспортних зв'язків модулів обробки, складування і комплектації, інструментального забезпечення. За допомогою одиниць даного модуля відповідно до середньодобового завдання проводиться навантаження – розвантаження, а також доставка вантажних транспортних одиниць.

4) Модуль виведення відходів матеріалів (стружки) від модуля обробки та доставка їх до зони сортування, переробки та утилізації. Виведення стружки з робочої зони виконується автоматично в спеціальну тару.

5) Модуль охолодження й змащення, що комплектує, готує, контролює допоміжні матеріали та захисні середовища (змащувально-охолоджувальні рідини, повітря, газ), необхідні для стабільного протікання технологічного процесу, а також подає їх до зони обробки або виводить з неї для подальшої регенерації чи утилізації. Очищення деталей проходить в спеціальній камері.

6) Модуль адаптивного ведення технологічного процесу, що виконує активний контроль та діагностування стану і працездатності системи верстат – пристрій – інструмент – деталь, визначає і контролює момент заміни інструмента, а також реагує на відхилення відпрацювань, забезпечуючи безаварійність та оптимальність режиму обробки.

Таким чином, зрозуміло, що процес обробки деталей є досить складним і потребує використання оперативних систем, що забезпечують підготовку програм безпосередньо на робочому місці на основі використання типових циклів, які зберігаються в пам'яті пристроїв.

Для забезпечення основних техніко-економічних показників верстатів: продуктивності, надійності, гнучкості, точності, а також для підвищення швидкості відпрацювань завдань більшість верстатних установок й обладуються електричними приводами.

Тож з удосконаленням верстатних машин зростають вимоги й до систем електроприводів, на які покладається задача здійснення складних переміщень робочих органів механізму. Під час реалізації цих переміщень виникає необхідність розгону, гальмування, реверсу електропривода, підтримки сталості величини, що підлягає регулюванню, а також зміни її відповідно до визначеного закону.

Автоматичні системи керування електроприводом підрозділяють на:

1. стабілізуючі, що мають за мету підтримання сталості керованої величини;

2. системи програмного керування, що забезпечують зміну керованої координати по заданому закону згідно до програми керування;
3. слідкуючі системи, що контролюють зміну керованої величини відповідно до раніш невідомого закону.

Системи керування електроприводами за принципом побудови підрозділяються на: замкнуті й розімкнені.

У системі замкнутого впливу керування, що діє на силову частину, змінюється при відхиленні дійсних значень вихідних змінних від заданих, що досягається шляхом введення зворотніх зв'язків з виходу системи на її вхід. Тому завдання замкнутої системи зводиться до забезпечення щонайвищої точності відповідності дійсного значення керованої координати до раніш заданого.

В сучасний час при проектуванні автоматизованих систем керування електроприводом основною тенденцією являється уніфікація елементів систем, тобто намагання використання типових структур систем, що серійно випускаються, апаратів, функціональних блоків, регуляторів тощо.

Потрібно також враховувати енергетичні можливості ряду елементів, тобто обмеження по потужності, що споживається, або енергії, що виділяється, а також за запасом енергії. З одного боку, енергетичні обмеження характеризують значення потужності, що споживається чи віддається, а з іншого – їхню експлуатаційну надійність та працездатність.

Згадані вище основні обмеження в залежності від характеру поставленого завдання визначають також і вибір раціонального методу дослідження систем керування електроприводом.

Досить вдалим є використання керування за допомогою тиристорного електропривода, тобто системи тиристорний перетворювач – електричний двигун.

Динаміка тиристорного перетворювача (ТП) характеризується двома його основними особливостями як елемента системи керування:

- 1) по-перше, в системі імпульсно-фазового управління аналоговий вхідний сигнал дискретно перетворюється в зсув керуючих імпульсів, тобто ТП керується не безперервно, а дискретно;
- 2) по-друге, перетворювач являє собою напівкерований пристрій, так як тиристор відкривається в момент подачі керуючого імпульсу, а зачиняється лише тоді, коли струм через нього стає рівним нулю.

Тиристорний перетворювач проявляє себе як нелінійна ланка, смуга пропускання якої обмежена і характер перехідного процесу в якому залежить від значення й знака вхідного сигналу, тому потрібно досягнути обмеження швидкості зміни сигналу на вході ТП. Використання ТП дозволяє регулювати зміни швидкості та потужності у процесі роботи системи.

1.2 Основні технічні характеристики верстата і загальні вимоги до електроприводу

Верстат токарний калібрувальний спеціальної моделі ІК 825 Ф2 з цифровою індикацією й керуванням (КЦІ) призначений для обробки та калібрування зовнішніх поверхонь прокатних валків в спеціальних калібрувальних люнетах. На верстаті не передбачено обробку деталей зі зміщеним центром ваги відносно осі обертання типу ексцентрикових та колінчастих валів, конусних деталей з неврівноваженими масами. Принципова електрична схема верстата приведена в додатку А1. Характеристика системи електроживлення, зовнішній вигляд та кінематична схема верстата наведена у [15]. Керування головними рухами верстата (переміщення супортів вздовж осей X та Z) здійснюється від пристрою цифрової індикації (ПЦІ). Операції, пов'язані з перемиканням ступенів головного привода, регулюванням швидкості обертання шпінделя і подач супорта, переміщення й фіксація задньої бабки, переміщення пінолі, установка й затиск вибору, установка люнети, установка й затиск ріжучого інструменту на супорті здійснюються від органів керування, розташованих

на цих збірних одиницях без урахування ПЦІ, тобто ці операції не програмуються. Обробка деталей може бути виконана у «ручному» режимі (ПЦІ виконує роль індикації) та у «програмному» (автоматичному) режимі згідно до програми, заданої ручним вводом завдання на пульт вводу ПЦІ з керуванням головним приводом і суппортами за допомогою органів керування, розташованх на пульті суппортів. Застосування ПЦІ К 525 підвищує продуктивність роботи у режимі індикації й попереднього набору, а в автоматичному режимі обробки за програмою звільняє оператора від використання універсального вимірювального інструмента, підвищує точність роботи й обробки деталей, а також знижує трудоемність процесу відпрацювання завдань, що дозволяє організувати оперативне обслуговування верстата. Технічні характеристики верстата ІК 825 Ф2 наведені у табл. 1.1.

1.2.1 Вимоги до електроприводу головного руху.

Вимоги до електроприводів й систем керування верстатами визначаються згідно до технології обробки та конструктивних можливостей верстата і ріжучого інструменту [11,15]. Основні технологічні вимоги - це забезпечення:

- широкого кола технологічних режимів обробки з використанням сучасного ріжучого інструменту;

Таблиця 1.1– Технічні характеристики токарного калібрувального верстата моделі ІК 825 Ф2

	Параметри	Величина
1	Максимальний діаметр заготовки, що встановлюється над суппортом, мм	1000

2	Граничний діаметр зовнішньої поверхні, що підлягає обробці, мм	600-1000
3	Найбільша маса заготовки, що встановлюється в центрах, кг	2500
4	Найбільший переріз державки різців, мм	63x43
5	Кількість позицій інструменту, шт.	1
6	Найбільша довжина виробу, мм	5000
7	Найбільше поперечне переміщення суппорта, мм	345
8	Діапазон частот обертання шпінделя, об/хв	0,46-0,25
9	Діапазон регулювання повздовжніх подач суппорта, мм/об	0,02-139,0
10	Діапазон регулювання поперечних подач суппорта, мм/об	0,01-55,0
11	Границі швидкісних установочних переміщень суппортів, м/хв	2,5
12	Число ступенів обертання шпінделя	без-ступеневе
13	Число ступенів робочих подач	без-ступеневе
14	Максимальне зусилля різання на один суппорт, кН	100
15	Максимальний обертальний момент на шпінделі, кН·м	90
16	Жорсткість зовнішньої поверхні, мкм	1,65
17	Продуктивність (по відношенню до заміненної моделі)	1,6
18	Питома маса металу, кг на одиницю продуктивності	0,76
19	Питомі витрати електроенергії, кВт·год на одиницю продуктивності	0,77
20	Встановлена безвідмовність напрацювання за добу, годин не менш ніж	16
21	Встановлена безвідмовність напрацювання за тиждень, годин не менш ніж	80
22	Встановлена безвідмовність напрацювання, годин не менш ніж	500

- максимального виробництва;
- найвищої точності обробки деталей;
- високої чистоти поверхонь, що підлягають обробці.

Виконання всіх цих й інших вимог залежить від характеристик верстата й ріжучого інструменту, потужності головного привода, а також від електромеханічних властивостей приводів подач і системи керування.

В сучасних верстатах з числовим програмним керуванням функції, що виконуються електроприводом головного руху, дещо ускладнені. Окрім

стабілізації частоти обертання, в силових режимах різання потрібно забезпечити позиціонування шпінделя при автоматичній зміні інструменту, що неминуче веде до збільшення потрібного діапазону регулювання частоти обертання.

Необхідний технологічний діапазон регулювання швидкості шпінделя з постійною потужністю, що дорівнює 20 — 50 при двохступінчастій коробці швидкостей, можна забезпечити при електричному регулюванні швидкості двигуна з постійною потужністю в діапазоні 5:1 — 10:1, що можна здійснити за допомогою сучасних двигунів постійного струму.

Стабільність роботи привода характеризується перепадом частоти обертання при зміні навантажень, напруги живлячої мережі, температури навколишнього повітря тощо.

Похибка частоти обертання для головного приводу токарного верстата моделі ІК 825 Ф2 повинна складати не більше:

- 1) 5%- сумарної похибки;
- 2) 2% - похибки при зміні навантаження;

Коефіцієнт нерівномірності, що визначається відношенням різниці максимальної та мінімальної миттєвих частот до середньої частоти обертання на холостому ході привода, повинен бути не більше 0,1.

В сучасних верстатах динамічні характеристики приводів головного руху по керуванню безпосереднім чином визначають і продуктивність роботи комплексу взагалі. При цьому час пуску і гальмування не повинен перевищувати 2,0 — 4,0 с. При наявності зазорів в кінематичному ланцюзі головного привода перерегулювання призводить до додаткових затрат часу на позиціонування, тому виникає необхідність забезпечення монотонного аперіодичного характеру зміни швидкості.

Динамічні характеристики електропривода практично й визначають точність й чистоту обробки виробу, а також стійкість інструменту. Стійкий процес різання при необхідній точності й чистоті поверхонь можливий у тому випадку, коли параметри настройки привода забезпечують при

накиданні номінального моменту навантаження максимальний провал швидкості не більше 40%, при цьому період відновлення не повинен перевищувати 0,25с.

Відмінною особливістю головного привода верстатів с ЧПК є необхідність застосування реверсивного привода навіть в тих випадках, коли за технологією обробки не вимагається реверс. Вимоги забезпечення ефективного гальмування при зниженні частоти обертання і режимів підтримання постійної швидкості різання призводить до необхідності застосування реверсивного привода с метою отримання потрібної якості перехідних процесів.

1.2.2 Загальні технічні вимоги до електроприводів подач токарних верстатів

Приводи подач за способом виконання силового перетворювача підрозділяються на: тиристорні, що діють на основі реверсивних керованих випрямлячів; на транзисторні (транзисторно - тиристорні), що побудовані на основі реверсивних широтно – імпульсних перетворювачів.

Частота власних коливань механізму, який переміщується приводом подач залежить від лінійних розмірів верстату. Коефіцієнт верстату дорівнює добутку ваги рухомих частин на довжину ходу. Привід подач може забезпечити мінімальний час переміщення з однієї позиції в іншу з високою точністю останову. Схема керування приводом повинна забезпечити необхідну характеристику розгону і гальмування.

До складу електроприводів входять :

- 1) електродвигун постійного струму зі збудженням від постійних моментів з вмонтованим датчиком швидкості, вмонтованим електромашинним гальмом, датчиком температури та датчиком шляху;
- 2) напівпровідниковий перетворювач, включає силовий блок, який забезпечує перетворення змінного струму у постійний; регулятори, що

забезпечують регулювання швидкості двигуна в широкому діапазоні з високою точністю; блоки живлення, захисту та діагностики;

3) силовий трансформатор (автотрансформатор) для узгодження напруги живлячої мережі з напругою електродвигуна, обмеження струму короткого замикання в приводі і зниження впливу перешкод або струмообмежуючий реактор, що обмежує струм короткого замикання;

4) комутаційні реактори для зниження взаємного впливу приводів при багатокоординатному виконанні і живлення їх від одного силового трансформатора (або через струмообмежуючі реактори);

5) зрівняльні реактори або реактори, що згладжують для обмеження зрівняльних струмів при спільному керуванні випрямляючими і інверсними групами тиристорів і для згладжування пульсацій струму якоря двигуна, чим забезпечується зниження нагріву і поліпшення комутацій двигуна;

6) автоматичний вимикач для відхилення приводу від мережі в аварійних режимах [15].

Основні вимоги до механізму приводу подачі верстата:

1) Виконання механізму подачі з мінімально можливим зазором;

2) Забезпечення найбільшої величини відношення рухомого моменту до приведеного моменту інерції;

3) Забезпечення високої жорсткості механізму подачі для збільшення його власної частоти;

4) Зменшення сил сухого тертя в направляючих, передачах, опорах і забезпечення плавності переміщення при малих швидкостях;

5) Виключення резонансу елементів механізму подачі і всієї системи приводу зі збуреним впливом;

6) Виконання механізму подачі окремих координат з ідентичними характеристиками;

7) Зменшення зносу механічних вузлів і збільшення стабільності параметрів приводу;

8) Зменшення нагрівання елементів приводу.

1.3 Вимоги до мережі живлення

Живлення електроприводу проводиться від трьохфазної промислової мережі змінного струму напругою 220/ 380В з частотою 50 (60) Гц. Повинна бути передбачена можливість заземлення електрообладнання. Електроприводи повинні забезпечувати роботу при відхиленнях : напруги мережі живлення на $(-15)\% - (+10) \%$ номінального значення; частоти мережі живлення на $\pm 2\%$ номінального значення і короткочасних провалах миттєвих значень напруги живлення, які характеризуються добутком $(\gamma \cdot \Delta U) \leq 400$, де кут комутації γ , град; ΔU – падіння напруги при провалі у відсотках миттєвого значення, причому максимальне значення провалу миттєвого значення напруги живлення не повинно перевищувати 100%, а його тривалість 40° [15].

1.4 Постановка задачі дослідження

Проведений аналіз основних технічних характеристик верстатів і умов їхньої експлуатації дозволяє здійснити наступну постанову задачі дослідження:

- обрати основні параметри елементів системи керування електроприводом верстата ІК825Ф2;
- розробити математичну модель для синтезу системи керування;
- визначити параметри регуляторів;
- розробити контур потужності;
- розрахувати перехідні процеси верстата та провести зрівняльний аналіз запропонованого поліпшення технічного рішення.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ

2.1 Вибір і перевірка електродвигуна привода

Початковим етапом розрахунку електропривода є вибір виконавчого двигуна. Від правильного вибору двигуна залежить забезпечення всіх технологічних режимів обробки і необхідних діагностичних характеристик, а також конструкція механічної частини привода.

Вилучення силового редуктора обумовило зниження загального моменту інерції механізму і збільшення припустимого для привода за умовами механічної міцності прискорення. Це дозволить скоротити час перехідних процесів, обумовить збільшення продуктивності верстату та поліпшення якості обробки внаслідок підвищення швидкодії усієї електромеханічної системи привода подачі як за керуючим впливом, так і за навантаженням.

Для правильного вибору двигуна необхідно враховувати вимоги щодо необхідності забезпечення параметрів, що підлягають дослідженню, а також знати закони регулювання і керування електроприводом в перехідних режимах. Закон керування при роботі і гальмуванні реалізується системою керування верстатом.

Так як, головним питанням при дослідженні системи є досягнення необхідного рівня стабілізації потужності різання токарного калібрувального верстата моделі ІК 825Ф2, то при виборі двигуна вирішальним є вибір за потужністю.

В електроприводах головного руху токарних верстатів згідно потужність електродвигуна визначається необхідною потужністю різання. Для визначення потужності різання згідно з [9] визначимо швидкість різання

V і тангенціальну складову сили різання F_z для найважчого варіанту роботи — для зовнішньої чорнової обробки валу діаметром 1000 мм, виготовленого з конструкційної сталі марки 60ХН різцями з швидкорізальної сталі марки Т14К8:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v, \quad (2.1)$$

де $C_v = 340$ — емпіричний коефіцієнт;

$T = 60$ хв — стійкість різця;

$t = 12$ мм — глибина різання;

$S = 34$ мм/об — повздовжня подача;

$m = 0.2$; $x = 0.15$; $y = 0.45$ — емпіричні коефіцієнти;

K_v - поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання.

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv}, \quad (2.2)$$

де $K_{pv} = 1$ — коефіцієнт, що відображає стан поверхні заготовки — без кірки;

$K_{iv} = 0.8$ — коефіцієнт, що враховує якість матеріалу інструменту, (використовується різець марки Т14К8);

K_{mv} — коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу (та його фізико-механічні властивості) і визначається як:

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_B} = 1 \cdot \left(\frac{750}{1100} \right)^{1.75} = 0.52, \quad (2.3)$$

$K_r = 1$ — коефіцієнт, який залежить від матеріалу, що обробляється, і матеріалу самого інструменту;

$\sigma_B = 1100$ МПа — межа міцності оброблюваного матеріалу;

$n_B = 1.78$ — показник ступеня, що залежить від оброблюваного матеріалу і матеріалу інструменту.

Тоді, підставивши (2.3) в (2.2), одержимо:

$$K_v = 0.52 \cdot 1 \cdot 0.8 = 0.41, \quad (2.4)$$

Тоді, з урахуванням (2.1) — (2.4), одержимо:

$$V = \frac{340}{60^{0.2} \cdot 12^{0.15} \cdot 34^{0.45}} \cdot 0.41 = 8.66 \text{ м/хв}, \quad (2.5)$$

Тоді, знаючи швидкість різання V , визначимо тангенціальну складову сили різання F_z :

$$F_z = 10 \cdot C_p \cdot t_x \cdot S_y \cdot V_n \cdot K_p, \quad (2.6)$$

де $C_p = 200$ — емпіричний коефіцієнт;

$x = 1$; $y = 0.75$; $n = 0$ — емпіричні коефіцієнти.

K_p — поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання.

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{1p} \cdot K_{2p} \cdot K_{rp} \cdot K_{3p}; \quad (2.7)$$

де K_{1p} , K_{2p} , K_{rp} , K_{3p} - поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту на становлячі сили різання (різець виготовлений із швидкорізальної сталі мазкі Т14К8);

$K_{1p} = 1.15$ — передній кут в плані ($12-15^\circ$);

$K_{2p} = 1$ — кут нахилу головного леза (15°);

$K_{rp} = 0.93$ — радіус при вершині $r = 1$ мм;

$K_{3p} = 1$ — головний кут в плані (45°);

K_{mp} — поправочний коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності.

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{1100}{750} \right)^{0.75} = 1.33, \quad (2.8)$$

де $\sigma_B = 1100$ МПа — межа міцності оброблюваного матеріалу;

$n = 0.75$ — показник ступеня, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності.

Тоді, підставивши (2.8) в (2.7), одержимо:

$$K_p = 1.33 \cdot 1.15 \cdot 1 \cdot 0.93 \cdot 1 = 1.425 \quad (2.9)$$

Підставивши (2.1) — (2.5), (2.7) — (2.9) в (2.6), одержимо:

$$F_z = 10 \cdot 200 \cdot 121 \cdot 340.75 \cdot 8.660 \cdot 1.425 = 481670 \text{ кН}. \quad (2.10)$$

Тоді, знаючи швидкість різання V і тангенціальну складову сили різання F_z , визначимо необхідну потужність різання (з урахуванням коефіцієнта корисної дії системи рівного 0.9):

$$P = \frac{F_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{481670 \cdot 8.66}{1020 \cdot 60} = 68.157 \text{ кВт.} \quad (2.11)$$

Оскільки розрахунок вівся для найважчого варіанту, то можна вибирати двигун, який підходить по потужності для цього варіанту.

Вибираємо двигун [4,5,7] серії 4ПН 400 - 22 МУЗ з наступними параметрами:

- номінальний струм двигуна $I_n = 350 \text{ А}$;
- номінальна напруга живлення $U_n = 220 \text{ В}$;
- момент інерції двигуна $J_{\text{дв}} = 8.25 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- мінімальна швидкість обертання $n_{\text{min}} = 250 \text{ об/хв}$;
- номінальна швидкість обертання $n_n = 750 \text{ об/хв}$;
- максимальна швидкість обертання $n_{\text{max}} = 1500 \text{ об/хв}$;
- пускова перевантажувальна здатність $\xi_n = 2$;
- номінальний коефіцієнт корисної дії $\eta_n = 93\%$.

Проведемо перевірку вибраного двигуна за нагрівом згідно тахограми і діаграми навантаження, приведених у додатку Б1.

Звідки знаходимо:

$t_1 = 1 \text{ с}$ — час розгону електродвигуна;

$t_2 = t_4 = 2 \text{ с}$ — час роботи електродвигуна на холостому ходу;

$t_3 = 3000 \text{ с}$ — час роботи електродвигуна з номінальним навантаженням;

$t_5 = 1 \text{ с}$ — час гальмування електродвигуна;

$I_1 = 2I_n = 700 \text{ А}$ — пусковий струм двигуна;

$I_2 = 0.1I_H = 35 \text{ A}$ — струм холостого ходу електродвигуна;

$I_3 = 0.95I_H = 332 \text{ A}$ — номінальний робочий струм двигуна;

$I_4 = 0.1I_H = 35 \text{ A}$ — струм холостого ходу електродвигуна;

$I_5 = 1.9I_H = 665 \text{ A}$ — гальмівний струм електродвигуна.

Тоді:

$$I_e = \sqrt{\frac{t_1(2I_1)^2 + (t_2 + t_4)(0.1I_4)^2 + t_3(0.95I_3)^2 + t_5(1.9I_5)^2}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}} = \quad (2.12)$$

$$= \sqrt{\frac{1 \cdot 700^2 + (2 + 2) \cdot 35^2 + 3000 \cdot 333^2 + 1 \cdot 665^2}{1 + 2 + 3000 + 2 + 1}} = 333 \text{ A}$$

Оскільки отриманий еквівалентний струм менше номінального струму двигуна, то за нагрівом даний двигун підходить і вибраний вірно.

2.2 Вибір параметрів тиристорного перетворювача

Для живлення двигуна вибираємо комплектний тиристорний перетворювач [2,5,7] серії ЕПУ1-2-4347 ДУХЛ4 з наступними параметрами:

- $P_H = 92 \text{ кВт}$ — номінальна потужність перетворювача;
- $U_H = 230 \text{ В}$ — номінальна вихідна напруга ТП;
- $I_H = 400 \text{ А}$ — номінальний вихідний струм перетворювача.

Для живлення тиристорного перетворювача обираємо ввідний трансформатор [4,6] ТСЗП - 160 / 0.743 з наступними параметрами:

- $P_H = 143 \text{ кВА}$ — номінальна споживана потужність трансформатора;
- $U_1 = 380 \text{ В}$ — напруга первинної обмотки трансформатора;

- $U_{2\phi} = 230 \text{ В}$ — напруга вторинної обмотки трансформатора;
- $I_{2\phi} = 500 \text{ А}$ — струм вторинної обмотки трансформатора;
- $P_{xx} = 795 \text{ Вт}$ — втрати холостого ходу в трансформаторі;
- $P_{кз} = 2400 \text{ Вт}$ — втрати при короткому замиканні в трансформаторі;
- $U_{кз} = 4.5\%$ — напруга короткого замикання трансформатора;
- $I_{xx} = 5.2\%$ — струм холостого ходу трансформатора.

Для згладжування пульсацій випрямленої напруги вибираємо згладжуючий реактор [4,6] ФРОС - 125 / 0.5 УЗ з наступними параметрами:

- $I_H = 500$ — номінальний струм згладжуючого реактора;
- $L_H = 0.75 \text{ мГн}$ — номінальна індуктивність згладжуючого реактора;
- $R_H = 3 \text{ мОм}$ — номінальний опір реактора.

2.3 Розрахунок динамічних параметрів системи

У додатку А.2 приведена розрахункова схема системи. Розрахунок проводимо згідно математичної моделі системи, що приведена у цьому додатку. Визначимо за емпіричними формулами згідно [3] необхідні дані. Номінальна кутова швидкість обертання двигуна:

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = \frac{\pi \cdot 750}{30} = 78.54 \quad 1/\text{с}, \quad (2.13)$$

Сумарний активний опір якірного ланцюга електродвигуна визначимо з умови розподілу втрат, вважаючи, що половина втрат в двигуні йде на нагрів обмоток. Тоді:

$$R_{\Sigma} = \frac{P_H(1 - \eta_H)}{2\eta_H I_H^2} = \frac{70000 \cdot (1 - 0.93)}{2 \cdot 0.93 \cdot 350^2} = 0.0215 \text{ Ом} . \quad (2.14)$$

Визначимо значення номінального магнітного потоку:

$$C\Phi_H = \frac{U_H - I_H R_{\Sigma}}{\omega} = \frac{220 - 350 \cdot 0.0215}{78.54} = 2.705 \text{ В} \cdot \text{с} \quad (2.15)$$

Час регулювання, тобто час, за який завершиться перехідний процес, складе:

$$t_p = \frac{\kappa_j \cdot J_{дв} \cdot \omega_H}{C\Phi_H \cdot I_{пус}} = \frac{2.5 \cdot 8.25 \cdot 78.54}{2.705 \cdot 2 \cdot 305} = 0.821 \text{ с} \quad (2.16)$$

Визначимо коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача як відношення середнього значення випрямленої напруги U_{d0} до максимальної напруги керування $E_{кер}$ (оскільки планується використання стандартної блокової системи регуляторів, та максимально допустима напруга $U_{кер}$ складає 8 В):

$$\kappa_{тп} = \frac{U_{d0}}{U_{ум}} = \frac{537.4}{8} = 67.17, \quad (2.17)$$

$$U_{d0} = \frac{U_{2\phi}}{K_u} = \frac{230}{0.428} = 537.4, \quad (2.18)$$

де $K_u = 0.428$ — коефіцієнт схеми випрямлення напруги.

Постійну часу тиристорного перетворювача приймаємо рівною 0.007 с — час, достатній для відновлення замикаючих властивостей тиристорів після проходження напівхвилі напруги через 0.

Визначимо активний опір фази трансформатора:

$$r_{\text{мп}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} \cdot U_{2\text{л}}^2}{P_{\text{нтр}}} = \frac{2400 \cdot 398.4^2}{143000^2} = 18.6 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}, \quad (2.19)$$

де

$$U_{2\text{л}} = U_{2\text{ф}} \cdot \sqrt{3} = 230 \cdot \sqrt{3} = 398.4 \text{ В}. \quad (2.20)$$

Тоді повний опір фази трансформатора складе:

$$z_{\text{мп}} = \frac{U_{\text{кз}\%} \cdot U_{2\text{ф}}}{100 \cdot I_2} = \frac{4.5 \cdot 230}{100 \cdot 500} = 20.7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}, \quad (2.21)$$

а індуктивний опір фази трансформатора буде дорівнювати:

$$x_{\text{мп}} = \sqrt{z_{\text{мп}}^2 - r_{\text{мп}}^2} = \sqrt{(20.7 \cdot 10^{-3})^2 - (18.6 \cdot 10^{-3})^2} = 9.1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}. \quad (2.22)$$

Індуктивність фази трансформатора:

$$L_{\text{мп}} = \frac{x_{\text{мп}}}{\omega_c} = \frac{x_{\text{мп}}}{2\pi \cdot f_{\text{м}}} = \frac{9.1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 28.92 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (2.23)$$

Визначимо індуктивність якоря двигуна за емпіричною формулою:

$$L_{\text{я}} = K \frac{30 \cdot U}{\pi \cdot n_{\text{н}} p I_{\text{н}}} = 0.5 \cdot \frac{30 \cdot 220}{\pi \cdot 750 \cdot 2 \cdot 350} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} , \quad (2.24)$$

де $p = 2$ — число пар полюсів двигуна.

Визначимо сумарну індуктивність якірного кола двигуна:

$$L_{\Sigma} = L_{\text{ср}} + 2L_{\text{тр}} + L_{\text{я}} = 0.75 + 2 \cdot 0.02892 + 2 = 2.808 \text{ мГн} \quad (2.5)$$

Визначимо сумарний активний опір якірного ланцюга двигуна:

$$R_{\Sigma} = R_{\text{я}} + r_{\text{ср}} + a \cdot r_{\text{д}} + b \cdot r_{\text{тр}} + c \cdot r_{\text{зр}} + r_{\text{к}} \quad (2.6)$$

де $r_{\text{ср}}$ — активний опір згладжуючого реактора;

$r_{\text{д}}$ — динамічний опір тиристорів;

$r_{\text{зр}}$ — активний опір зрівняльного реактора;

$r_{\text{к}}$ — комутаційний опір;

$a = 2, b = 2, c = 1$ — коефіцієнти, що залежать від схеми випрямлення напруги.

$r_{\text{д}} = 0.45 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$ — визначається згідно паспортних даних.

$$r_{\text{ср}} = \frac{r_{\text{мп}}}{m_{\text{мп}}} \approx r_{\text{зр}} = \frac{0.186 \cdot 10^{-3}}{3} = 0.062 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} , \quad (2.27)$$

$$r_{\text{к}} = \frac{m \cdot x_{\text{мп}}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 9.1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi} = 8.68 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (2.28)$$

Підставивши в (2.6), одержимо:

$$R_{\Sigma} = (21.5 + 0.062 + 2 \cdot 0.45 + 2 \cdot 0.186 + 1 \cdot 0.62 + 8.68) \times 10^{-3} = 31.576 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (2.29)$$

Визначимо граничний кут відмикання тиристорів:

$$\alpha_{\max} = \arccos\left(\frac{C_e \cdot n_{\min} + I_H \cdot R_{\gamma}}{U_{d0}}\right) \quad (2.30)$$

де C_e - коефіцієнт пропорційності між швидкістю і ЕРС двигуна.

$$C_e = \frac{U_H - I_H R_{\gamma}}{n_H} = \frac{220 - 350 \cdot 0.0215}{750} = 0.283 \frac{\text{В} \cdot \text{об}}{\text{хв}} \quad (2.31)$$

Тоді, підставивши (2.31) в (2.30), одержимо граничний кут відмикання тиристорів рівним:

$$\begin{aligned} \alpha_{\max} &= \arccos\left(\frac{0.283 \cdot 250 + 350 \cdot 0.0215}{537.4}\right) = \\ &= \arccos(0.1457) = 81.62^\circ = 81^\circ 37' \end{aligned} \quad (2.32)$$

Визначимо сталі часу, що отримані під час розрахунків системи.

Електромагнітна постійна якірного ланцюга двигуна:

$$T_e = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{2.808 \cdot 10^{-3}}{31.576 \cdot 10^{-3}} = 0.0889 \text{ с} \quad (2.33)$$

Електромагнітна постійна якоря двигуна:

$$T_{\gamma} = \frac{L_{\gamma}}{R_{\gamma}} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{21.5 \cdot 10^{-3}} = 0.093 \text{ с} \quad (2.34)$$

Електромеханічна постійна системи:

$$T_M = \frac{J_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma}}{(C\Phi_H)^2} = \frac{20.625 \cdot 21.5 \cdot 10^{-3}}{(2.705)^2} = 0.0606 \text{ с}, \quad (2.35)$$

$$\text{де} \quad J_{\Sigma} = K_j \cdot J_{\text{дв}} = 2.5 \cdot 8.25 = 20.625 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.36)$$

K_j — коефіцієнт динамічності системи електроприводу, який показує в скільки разів система електроприводу має більшу інерційність, ніж двигун. Для важких токарних верстатів $2 < K_j < 3$.

Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1– Динамічні параметри системи

Найменування	Позна- чення	Величина
Електромагнітна постійна часу системи	T_e	0.0899 с
Електромагнітна постійна часу якірного ланцюга двигуна	T_y	0.093 с
Електромеханічна постійна часу системи	T_m	0.0606 с
Постійна часу тиристорного перетворювача	$T_{тп}$	0.007 с
Сумарний опір якірного ланцюга електродвигуна	R_{Σ}	0.031576 Ом
Сумарний момент інерції системи електроприводу	J_{Σ}	20.625 кг · м ²
Коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача	$K_{тп}$	67.17
Максимальний кут відмикання тиристорів	$\alpha_{\max}$	81° 37'

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Принципи побудови математичної моделі системи

3.1.1 Математичний опис автоматичної системи керування електроприводом у матричній формі

Математичне моделювання АСУ ЕП – це процес вивчення динамічних властивостей автоматичних систем керування електроприводами на основі рішення диференціальних рівнянь, що адекватно описують властивості реальних систем. Широко розповсюдженою задачею моделювання АСУ ЕП є визначення реакції систем керування на типові входні впливи $u(t)$, під якими надалі розуміються: східчасті $u(t) = u_0$; ті, що лінійно змінюються $u(t) = u_a + kt$, причому в окремому випадку u_0 може дорівнювати нулю; експонентні $u(t) = U_0[1 - \exp(-t/T)]$, де постійна часу T визначає темп зміни $u(t)$ по експонентному закону; синусоїдальні $u(t) = u_0 \cdot \sin \omega \cdot t$, де u_0 – амплітуда гармонійного входного впливу, а $\omega = 2\pi/T$ задає період його зміни; косинусоїдальні $u(t) = u_0 \cdot \cos \omega \cdot t$. Методи і специфіка рішення цього класу задач моделювання багато в чому визначаються видом і формою математичного опису АСУ ЕП.

Будь-яка лінійна АСУ ЕП, поведження якої описується звичайним диференціальним рівнянням порядку n , завжди може бути представлена математичним описом у виді системи n лінійних диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= a_{11}x_1(t) + a_{12}x_2(t) + \dots + a_{1n}x_n(t) + b_{11}u_1(t) + \\ &+ b_{12}u_2(t) + \dots + b_{1m}u_m(t); \\ \dot{x}_2(t) &= a_{21}x_1(t) + a_{22}x_2(t) + \dots + a_{2n}x_n(t) + b_{21}u_1(t) + \\ &+ b_{22}u_2(t) + \dots + b_{2m}u_m(t); \\ \dot{x}_n(t) &= a_{n1}x_1(t) + a_{n2}x_2(t) + \dots + a_{nn}x_n(t) + b_{n1}u_1(t) + \\ &+ b_{n2}u_2(t) + \dots + b_{nm}u_m(t). \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

Після введення позначень:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nm} \end{bmatrix};$$

$$x(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \dots x_n(t)]^T; \quad u(t) = [u_1(t) \ u_2(t) \dots u_m(t)]^T$$

розглянутий математичний опис приводиться до векторно-матричної форми

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad (3.2)$$

де x – n -вектор стану системи; u – m -вектор зовнішніх впливів; A – матриця системи розміром $n \times n$; B — матриця входу розміром $n \times m$. Застосування перетворення Лапласа до рівняння (3.2) дозволяє записати його в операторному виді:

$$s \cdot x - x(0) = Ax + B, \quad (3.3)$$

де n -вектор $x(0)$ – задає початкові умови. Графічним аналогом рівняння (3.3) є матрична структурна схема на рис. 3.1, а.

На практиці часто АСУ ЕП характеризуються одним керуючим u_y , і одним, що обурює M_0 , впливами, а початкові умови — $x(0) = 0$. У цих випадках матрицю входу B доцільно розділити на два n -вектора: B_n і B_m , а рівняння (3.3) представити як

$$\dot{x} = Ax + B_u u_y + B_m M_c. \quad (3.4)$$

Структурна схема, що відповідає виразу (3.4), зображена на мал. 3.1, б.

Векторно-матричний опис АСУ ЕП має велике практичне значення. Такий опис, власне кажучи, представляє систему нормальних диференціальних рівнянь. Це дозволяє на основі чисельних методів рішення диференціальних рівнянь першого порядку вирішувати диференціальні рівняння порядку n . Крім того, векторно-матричний опис широко застосовується в сучасній теорії керування при аналітичному конструюванні регуляторів, розробці оптимальних систем керування. Проектування АСУ ЕП ведеться комплексно, шляхом сполучення ручних методів розрахунку з застосуванням засобів обчислювальної техніки. Тому важливо, щоб всі етапи проектування виконувалися на основі єдиної форми математичного опису. Нарешті, векторно-матричний опис дозволяє досить просто формалізувати рішення багатьох важливих задач, що безумовно є достоїнством при роботі з ЕОМ.

До недоліків векторно-матричної форми опису варто віднести труднощі фізичної інтерпретації результатів розрахунків і досліджень АСУ ЕП, тому при їхньому проектуванні векторно-матрична форма опису

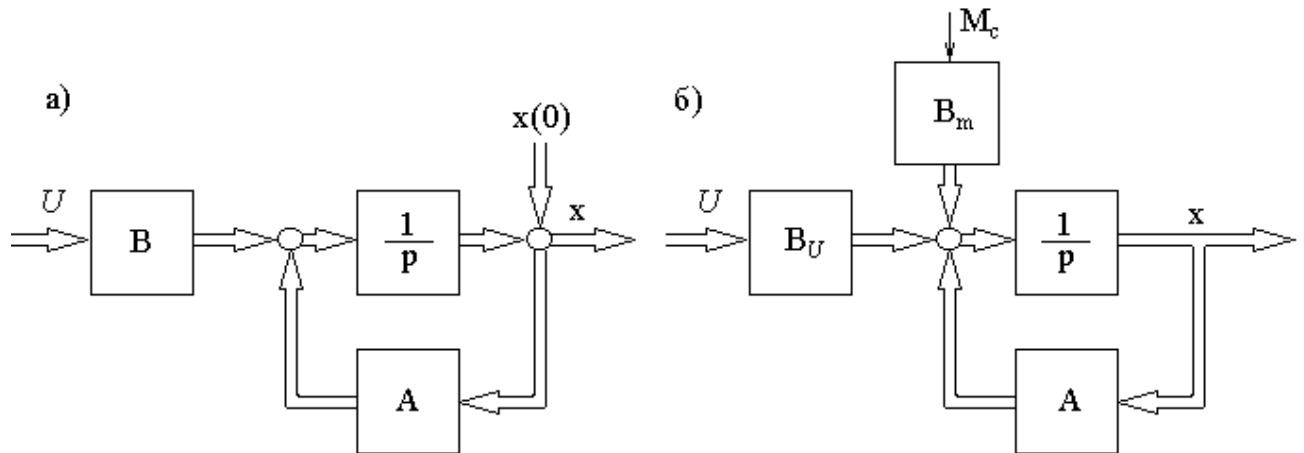


Рисунок 3.1–Матрична структурна схема

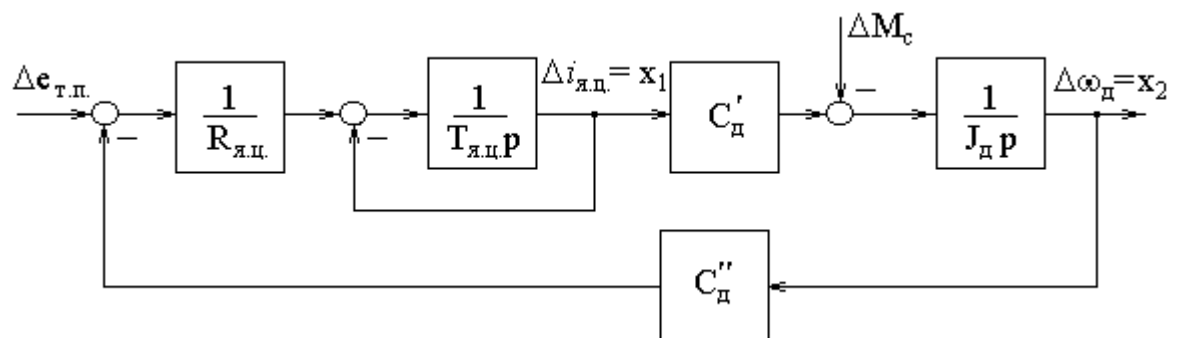


Рисунок 3.2–Структурна схема двигуна постійного струму незалежного збудження

сполучається з описом у виді ДСС. Така форма математичного опису, власне кажучи, є докладною графічною інтерпретацією векторно-матричного опису. Отже, перехід від ДСС до векторно-матричній формі опису і, навпаки, складання ДСС по відомому векторно-матричному описі не викликає практичних утруднень. Наприклад, якщо на лінеаризованій ДСС двигуна постійного струму з незалежним збудженням (Рис.3.2) виходи інтегруючих ланок позначити як змінні стану: струм якірного ланцюга $\Delta i_{я.ц.} = x_1$, швидкість обертання двигуна, $\Delta \omega_{д.} = x_2$, то безпосередньо з ДСС може бути складена система нормальних диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= -\frac{1}{T_{я.ц}}x_1 - \frac{c_{\partial}''}{R_{я.ц}T_{я.ц}}x_2 + \frac{1}{R_{я.ц}T_{я.ц}}\Delta e_{mn}; \\ \dot{x} &= \frac{c_{\partial}'}{J_{\partial}}x_1 + 0x_2 - \frac{1}{J}\Delta M_c,\end{aligned}\quad (3.5)$$

відкіля випливає, що матриці, що відповідають опису (3.4):

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_{я.ц}} & -\frac{c_{\partial}''}{R_{я.ц}T_{я.ц}} \\ \frac{c_{\partial}'}{J_{\partial}} & 0 \end{bmatrix}; \quad B_u = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_{я.ц}T_{я.ц}} \\ 0 \end{bmatrix}; \quad B_m = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{J_{\partial}} \end{bmatrix}. \quad (3.6)$$

Таким чином, однієї із самих прогресивних форм математичного представлення лінійних АСУ ЕП можна вважати сполучення векторно-матричного опису з відповідними ДСС.

Іншою часто застосовуваною формою математичного опису лінійних АСУ ЕП, маючи в виду широке поширення частотних методів аналізу і синтезу систем керування електромеханічними об'єктами, є передатні функції виду

$$W(p) = \frac{\Delta y(p)}{\Delta u(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0}, \quad (3.7)$$

де y — досліджувана вихідна змінна системи; u — вхідний вплив; p — оператор диференціювання; n, m — відповідно порядок знаменника і чисельника передатної функції, причому $n > m$. При моделюванні нелінійних АСУ ЕП прийнято розрізняти два типи нелінійностей: гладкі, наприклад, $y = kx^2$ і негладкі — типу "люфт", "реле" і т.д.. У цій главі за методичними

Дійсно, якщо відома процедура рішення одномірного диференціального рівняння, то, застосовуючи її по черзі до кожного з рівнянь, що входять у математичний опис АСУ ЕП, можна вирішити диференціальне рівняння будь-якого порядку. Природно, що при цьому обов'язково математичний опис повинний бути представлений у виді системи нормальних диференціальних рівнянь. Для чисельного рішення задачі Коші широко використовуються однокрокові методи інтегрування й у першу чергу метод Рунге-Кутта 4-го порядку з фіксованим кроком інтегрування, що задається системою наступних п'яти співвідношень:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{n+1} = x_n + \frac{\Delta t}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + 2k_4); \\ k_1 = f(t_n, x_n); \\ k_2 = f(t_n + \frac{\Delta t}{2}, x_n + \frac{\Delta t}{2}k_1); \\ k_3 = f(t_n + \frac{\Delta t}{2}, x_n + \frac{\Delta t}{2}k_2); \\ k_4 = f(t_n + \Delta t, x_n + \Delta tk_3), \end{array} \right. \quad (3.9)$$

де Δt — крок інтегрування; n — порядковий номер ітерації. При отриманні рішення на заданому тимчасовому інтервалі від 0 до t число ітерацій складає $n = t / \Delta t$.

Для моделювання АСУ ЕП на основі методу Рунге-Кутта 4-го порядку пропонується три програми: РРМ (програма 1, [Додаток А1]), РР (програма 2, [Додаток А2]),) і DIFEQ (програма 3, [Додаток А3]). Програми РРМ і РР призначені для моделювання лінійних систем. Математичний опис досліджуваних АСУ ЕП у програму РРМ вводиться у векторно-матричній формі, а для програми РР — задається передатними функціями. Основним призначенням програми DIFEQ є моделювання нелінійних АСУ ЕП, представлених у виді (3.8). Кожна з перерахованих програм складається з трьох логічних частин: введення вихідних даних, рішення задачі і висновку

результатів. Введення вихідних даних програмно реалізовано у виді відповідей користувача на питання програми на екрані термінального пристрою.

Рішення задачі ґрунтується на чисельному методі інтегрування Рунге-Кутта 4-го порядку, реалізованому окремою підпрограмою RKF4. Алгоритмічне розходження програм визначається специфікою перетворення різних форм математичного опису до виду системи нормальних диференціальних рівнянь, на підставі якої виробляється обчислення похідних вектора стану системи x . Таке перетворення в програмах PPM і PP здійснюється відповідно підпрограмами DERPPM и DERPP. При моделюванні нелінійних АСУ ЕП, тобто використанні програми DIFEQ, підпрограма DER для обчислення похідних вектора стану системи x створюється користувачем для кожного конкретного математичного опису.

Специфіка обчислення значень похідних вектора стану x при векторно-матричній формі математичного опису АСУ ЕП визначається тим, що матриця системи A , як правило, має значне число нульових елементів. Тому, щоб не виконувати порожніх операцій, підпрограма DERPPM використовує допоміжний масив IA , попередньо сформований підпрограмою SAFRM. Елементи цього масиву містять наступну інформацію про матрицю A :

$IA(1) = m_1$ — число ненульових елементів у першому рядку; $IA(2), IA(3), \dots$
 $IA(m_1 + 1)$ — індекси ненульових елементів у першому рядку в порядку їхнього зростання; $IA(m_1 + 2)$ — число ненульових елементів другого рядка; $IA(m_1 + 3), IA(m_1 + 4), \dots IA(m_1 + m_2 + 2)$ — індекси ненульових елементів другого рядка в порядку їхнього зростання і т.д.

Задача моделювання по передатних функціях АСУ ЕП оцінюється в такий спосіб. Спочатку задана передатна функція (3.7) нормована щодо коефіцієнта при старшій похідній:

$$W(p) = \frac{\frac{b_m}{a_n} p^m + \frac{b_{m-1}}{a_n} p^{m-1} + \dots + \frac{b_1}{a_n} p + \frac{b_0}{a_n}}{p^n + \frac{a_{n-1}}{a_n} p^{n-1} + \dots + \frac{a_1}{a_n} p + \frac{a_0}{a_n}} = \frac{B_1(p)}{A_1(p)}$$

і представлена у вигляді

$$W(p) = \frac{\Delta y(p)}{\Delta u(p)} = \frac{1}{A_1(p)} \left(\frac{b_m}{a_n} p^m + \frac{b_{m-1}}{a_n} p^{m-1} + \dots + \frac{b_1}{a_n} p + \frac{b_0}{a_n} \right). \quad (3.10)$$

Потім чисельно оцінюється диференціальне рівняння, що відповідає передавальній функції

$$W_1(p) = \frac{1}{A_1(p)} = \frac{\Delta x_1(p)}{\Delta u(p)}.$$

Для цього в підпрограмі DERPP значення похідних визначаються на основі обчислення правих частин наступної системи нормальних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2; \\ \dot{x}_2 = x_3; \\ \dots \\ \dot{x}_{n-1} = x_n; \\ \dot{x}_n = u - \left(\frac{a_{n-1}}{a_n} x_n + \dots + \frac{a_1}{a_n} x_2 + \frac{a_0}{a_n} x_1 \right) \end{cases} \quad (3.11)$$

де $(n - 1)$ -змінні, крім x_i , є фіктивними, тобто не мають фізичного змісту.

Тоді, шукане рішення формується відповідно до алгебраїчного виразу:

$$\dot{B}(t) = \frac{b_0}{a_n} x_1(t) + \frac{b_1}{a_n} x_2(t) + \dots + \frac{b_m}{a_n} x_{m+1}(t). \quad (3.12)$$

При математичному описі лінеаризованому АСУ ЕП перетворення, необхідні для обчислення значень похідних вектора стану x (підпрограми DERPPM и DERPP), цілком формалізовані і є складовою частиною загального алгоритму рішення задачі моделювання. Отже, програми PPM і PP можуть експлуатуватися у виді завантажувальних модулів.

При нелінійному математичному описі АСУ ЕП формалізувати обчислення правих частин системи рівнянь (3.8) у загальному випадку не вдається. Тому при рішенні задач моделювання нелінійних АСУ ЕП приходиться в кожному конкретному випадку створювати свою підпрограму DER для обчислення похідних вектора x . Маючи у виді, що підпрограма DER є складовою частиною пропонованої програми DIFEQ, при її складанні необхідно дотримувати визначені правила. Наприклад, нехай потрібно вирішити нелінійне диференціальне рівняння $\dot{x} = kx^2 + u$, тоді програму обчислення похідних варто скласти у вигляді:

```
SUBROUTINE DER(N,T,X,DX)
REAL X(20),DX(20)
COMMON/PARM/A(50)
DX(1)=A(1)*X(1)**2+U
RETURN
END
```

Усі рядки розглянутої підпрограми, крім четвертої, є обов'язковими при моделюванні будь-який АСУ ЕП за допомогою програми DIFEQ. Через заголовок у підпрограму DER передається наступна інформація: N — порядок системи, дорівнює числу нормальних диференціальних рівнянь, з яких складається математичний опис АСУ ЕП; T - поточне значення часу; X-масив значень вектора-стану моделіруємої системи. Результатом обчислень,

виконуваних підпрограмою DER, є масив DX, що містить поточне значення похідних вектора стану. Через масив A(50) з головної програми DIFEQ блоку пам'яті, поименованого як PARM, у підпрограму передаються значення параметрів. У розглянутому прикладі як параметр прийнятий коефіцієнт k .

Алгоритми, реалізовані в програмах PPM і PP, забезпечують розрахунок необхідного кроку чисельного інтегрування на основі аналізу коренів (поліусів) характеристичного рівняння моделіруємої системи. У загальному випадку характеристичне рівняння, що відповідає стійкій системі m -го порядку, має m речовинних $(a_1, a_2, \dots, a_m)$ і $(n-m)/2$ комплексно-сполучених пар коренів виду: $\alpha_i \pm j\beta_i$, де $i = 1, 2, \dots, (n-m)/2$. Для вибору кроку інтегрування обчислюються корені характеристичного рівняння системи і формується послідовність:

$$|a_1|, |a_2|, \dots, |a_m|, \left| \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2} \right|, \dots, \left| \sqrt{\alpha_{(n-m)/2}^2 + \beta_{(n-m)/2}^2} \right|.$$

З цієї послідовності вибирається максимальне значення s , крок чисельного інтегрування варто приймати рівним $\Delta t = 0.5 / s$. При роботі з програмою DIFEQ крок інтегрування задається користувачем. Рішення задач моделювання АСУ ЕП у програмах PPM, PP, DIFEQ оформлено в підпрограмах: SOLDEM, SOLTF і SOLDEQ відповідно.

Основною формою висновку результатів моделювання є таблиця. Крім цього, при необхідності інформацію можна вивести на екран термінала. На етапі висновку використовуються підпрограми TAB1 і GRTI – висновку результатів у табличній і графічній формі. Розрахункова схема електроприводу наведена у додатку А.2.

3.1.3 Алгоритмізація задачі обчислення функцій чутливості перехідних характеристик

Реальні значення параметрів АСУ ЕП майже завжди відрізняються від розрахункових, що порозумівається неточністю ідентифікації об'єктів керування і багатьма іншими причинами, тому на стадії розробки алгоритмів керування важливо враховувати можливі зміни тих чи інших параметрів АСУ ЕП. Ступінь впливу зміни окремих параметрів на різні характеристики системи оцінюється за допомогою чутливості, під якою розуміється деякий показник, що характеризує властивість системи змінювати режим роботи при відхиленні того чи іншого її параметра від номінального чи вихідного значення.

Нехай математичний опис системи керування представлено векторно-матричним рівнянням виду (3.4), у якому розглядається один із зовнішніх впливів, наприклад u_y , а $M_c = 0$

$$\dot{x} = A \cdot x + B_u \cdot u_y \quad . \quad (3.13)$$

Маючи у виді, що частина коефіцієнтів матриці A и вектора B_u залежать від деякого параметра α , рішення (3.13) при заданому вхідному впливі і значенні параметра $\alpha = \alpha^0$ може бути представлено як:

$$x^0 = F(t, \alpha^0).$$

Функція $F(t, \alpha^0)$ описує рух змінних станів системи, у якої всі параметри рівні розрахунковим. Такі рухи одержали назву основних [8].

При зміні значення параметра α^0 на величину $\Delta\alpha$ рішення рівняння (3.13) може бути записане у вигляді:

$$x = F(t, \alpha^0 + \Delta\alpha),$$

що визначає рух змінної стану у варійованій системі. Різниця між варійованим рухом і основним, віднесена до величини $\Delta\alpha \rightarrow 0$, являє собою частинну похідну вектора стану x по варіації $\Delta\alpha$ і називається вектором функцій чутливості тимчасових характеристик системи:

$$x_\alpha = \frac{\partial x}{\partial \alpha} = \frac{F(t, \alpha^0 + \Delta\alpha) - F(t, \alpha^0)}{\Delta\alpha}. \quad (3.14)$$

Зміна самих функцій x_α в тимчасовій області визначаються рішенням рівняння чутливості, що є результатом диференціювання (3.13) за параметром вібрації:

$$\dot{x}_\alpha = \frac{\partial A}{\partial \alpha} x + A x_\alpha + \frac{\partial B_\alpha}{\partial \alpha} u y$$

або, вводячи позначення: $A_\alpha = \partial A / \partial \alpha$ і $B_\alpha = \partial B / \partial \alpha$, (3.15)

$$\dot{x}_\alpha = A_\alpha x + A x_\alpha + B_\alpha u y.$$

Функції чутливості (3.14) використовуються при розробці АСУ ЕП як міра зміни виду перехідних процесів у системах при варіюванні їхніх параметрів і можуть бути обчислені шляхом інтегрування розширеної системи диференціальних рівнянь, сформованої з (3.13) і (3.15):

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{x}_\alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ A_\alpha & A \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ x_\alpha \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_u \\ B_\alpha \end{bmatrix} u y. \quad (3.16)$$

Для чисельного рішення (3.16), а отже, обчислення як перехідних характеристик системи, так і відповідних їм функцій чутливості, пропонується програма 8 з ідентифікатором SENSI.

Алгоритмічні відмінності програм SENSI від раніше розглянутої програми PPM визначаються необхідністю формування розширеного опису(3.16). Таке формування виконується підпрограмою FORM виходячи з припущення, що значення ненульових елементів матриць A_α і B_α обчислюються і задаються користувачем у виді вихідних даних.

3.1.4 Розрахунок перехідних процесів у системі керування

Відомі передатні функції W_y та W_M , що характеризують зміну кутового положення виконавчого органа φ_E при керуючому впливі $\Delta\varphi_B$ і впливі, що обурює у виді моменту статичних опорів M_C цю систему відповідно:

$$W_y(p) = \frac{\Delta\phi_u(p)}{\Delta\phi_B(p)} = \frac{G_y(p)}{H(p)};$$

$$W_M(p) = \frac{\Delta\phi_u(p)}{\Delta M_C(p)} = \frac{G_M(p)}{H(p)},$$

$$\begin{aligned} \text{де } G_y(p) &= 2.2192 \cdot 10^7 p^4 + 1.3876 \cdot 10^{10} p^3 + 1.4484 \cdot 10^{12} p^2 + \\ &+ 2.9439 \cdot 10^{13} p + 1.1685 \cdot 10^{14}; \quad G_M(p) = 0.8696 p^6 + 829 p^5 + \\ &+ 2.3363 \cdot 10^5 p^4 + 3.3316 \cdot 10^7 p^3 + 2.0268 \cdot 10^9 p^2 + 2.8949 \cdot 10^{10} p, \quad (3.17), \\ \text{а характеристичне рівняння системи } H(p) &= p^8 + \\ &+ 9.5333 \cdot 10^2 p^7 + 2.6893 \cdot 10^5 p^6 + 3.8561 \cdot 10^7 p^5 + 2.5307 \cdot 10^9 p^4 + \\ &+ 1.0932 \cdot 10^{11} p^3 + 2.5581 \cdot 10^{12} p^2 + 2.9439 \cdot 10^{13} p + 1.1685 \cdot 10^{14}. \end{aligned}$$

Потрібно визначити реакцію вихідної змінної на східчастий керуючий вплив $\Delta\phi_B = 0,02$ рад і момент, що обурює $M_C = 10$ Н·м.

Рішення задачі за допомогою програми РР може бути представлено протоколом див. додаток АЗ.

Відповідно до рішень, отриманих в табличному вигляді, на рис. 3.3. побудовані криві руху вихідної змінної $\Delta\varphi_E$ при відпрацюванні системою східчастого керування $\Delta\varphi_B = 0,02$ рад (крива 1) і збурювання

$M_c = 10$ Н·м (крива 2). Зміна кутового положення $\Delta\varphi_E$ при переході системи з одного стійкого стану в інший характеризується часом перехідного процесу $t_{\bar{r}} = 0,4$ с і величиною перерегулювання, рівної 24%. Максимальне відхилення $\Delta\varphi_E$ від заданого положення при відпрацьовуванні системою впливу, що обурює, складає 1.26 рад.

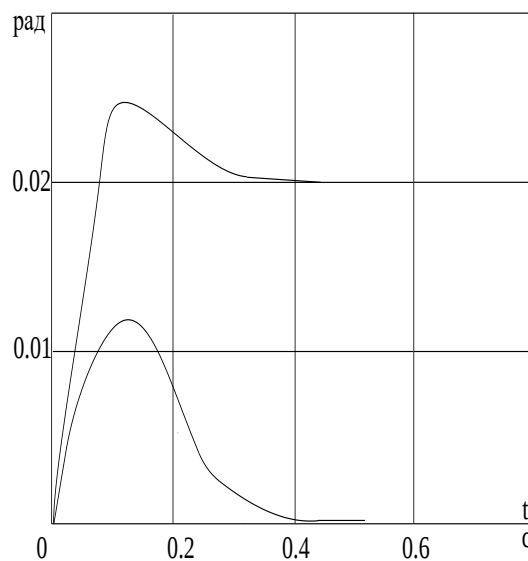


Рисунок 3.3 – Розрахункові результати

3.2 Синтез коригувальних кіл електроприводу

3.2.1 Визначення структурної побудови системи

Головним завданням приводу постійного струму є підтримання частоти обертання двигуна на заданному рівні або відслідкування із заданною точністю зміни величини, що задана. При цьому слід обмежувати струм якірного ланцюга двигуна привода та не допускати перенавантажень перетворювача.

Для забезпечення необхідних статичних і динамічних параметрів необхідно провести синтез системи. Для початку визначимо необхідну структуру системи.

Оскільки необхідно регулювати потужність різання, то система повинна мати контур потужності. Для забезпечення достатньої динаміки системи необхідно ввести контури струму і швидкості.

Оскільки спеціальні вимоги до статичної помилки за швидкістю не ставляться, то можна використовувати пропорційний (П) регулятор швидкості. Регулятор струму у будь-якому випадку — пропорційно—інтегральний (ПІ).

Враховуючи те, що основною вимогою до потужності є стабілізація її на заданому рівні з точністю 5%, то необхідно застосувати пропорційно—інтегрально—диференціальний (ПІД) — регулятор потужності, якщо при цьому інтегральна і диференціальна 2 частини регулятора будуть досить значні.

Таким чином, маємо систему підпорядкованого регулювання параметрів, в якій задаючий сигнал кожного наступного регульованого параметра відповідає виходу попереднього регулятора.

Система дозволяє налаштовувати кожен параметр окремо, починаючи із внутрішнього, незалежно від настройки зовнішнього параметра, а також дуже просто здійснювати обмеження значень параметрів шляхом обмеження вихідного

сигналу попереднього параметру. Основна вимога до даної системи – це забезпечення якості регулювання в уставленному та перехідному режимах.

3.2.2 Розрахунок контуру струму

Регулятор струму організований за пропорційно-інтегральним (ПІ) законом керування з настройкою на модульний оптимум. Регулятор для забезпечення необхідних динамічних параметрів повинен компенсувати електромагнітну постійну часу системи T_{em} , а також малу постійну часу контуру струму $T_{Oстр}$.

Тоді передавальна функція регулятора струму матиме вигляд:

$$W_{Pстр}^{mo}(p) = K_{Pстр} \cdot \frac{\tau_{Pстр} \cdot p + 1}{\tau_{Pстр} \cdot p} \quad (3.18)$$

де $\tau_{Pстр}$ — постійна часу струмового контуру;

$$\tau_{Pстр} = \frac{K_{Pстр}}{T_e} \quad (3.19)$$

$K_{Pстр}$ — пропорційна частина регулятора струму, визначається за формулою:

$$K_{Pстр} = \frac{T_e \cdot R_{\Sigma}}{K_{mn} \cdot K_{Oстр} \cdot T_{Oстр}} \quad (3.20)$$

де $T_{Oстр}$ — мала постійна часу струмового контуру;

$$T_{Oстр} = 2 \cdot T_{mn} = 2 \cdot 0.007 = 0.014 \text{ с} \quad (3.21)$$

$K_{Oстр}$ — коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом, що визначається за формулою:

$$K_{Oстр} = K_{Дстр} \cdot K_{ш} = 60.95 \cdot 1.875 \cdot 10^{-4} = 1.143 \cdot 10^{-2} \quad (3.22)$$

де $K_{Дстр}$ — коефіцієнт підсилення датчика струму;

$$K_{Дстр} = \frac{U_{\max}}{K_{ш} \cdot I_{\max}} = \frac{8}{1.5 \cdot 10^{-4} \cdot 2.5 \cdot 350} = 60.95 \quad (3.23)$$

$K_{ш}$ — коефіцієнт підсилення вимірювального шунта;

$$K_{ш} = \frac{U_{Hш}}{I_{Hш}} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{400} = 1.875 \cdot 10^{-4} \quad (3.24)$$

Підставивши (3.21) — (3.24) в (3.20), одержимо:

$$K_{Рстр} = \frac{T_e \cdot R_{\Sigma}}{K_{mn} \cdot K_{Oстр} \cdot T_{Oстр}} = \frac{0.0889 \cdot 0.031567}{67.17 \cdot 1.143 \cdot 10^{-2} \cdot 0.014} = 0.2612 \quad (3.25)$$

Підставивши (3.24) в (3.19), одержимо:

$$\tau_{Рст} = \frac{K_{Рстр}}{T_e} = \frac{0.2612}{0.0889} = 2.9382 \quad (3.26)$$

Згідно схем реалізації регулятора струму запишемо рівняння відповідності динамічних параметрів системи і фізичних параметрів схеми реалізації:

$$\left\{ \begin{array}{ll} K_{Oстр} = \frac{R_{зстр}}{R_{стр}} \cdot K_{Дстр} \cdot K_{ш} & 1 \\ T_e = R_{зстр} \cdot C_{зстр} & 2 \\ \frac{T_e}{K_{Рстр}} = R_{зстр} \cdot C_{зстр} & 3 \end{array} \right. \quad (3.27)$$

Задамося ємністю конденсатора $C_{зстр} = 1 \text{ мкФ}$.

Тоді, згідно рівняння 2 системи (3.27), опір $R_{зстр}$ складе:

$$R_{зстр} = \frac{T_e}{C_{зстр}} = \frac{0.0889}{1 \cdot 10^{-6}} = 88.9 \text{ кОм} \quad (3.28)$$

Підставивши значення $C_{зстр}$ в рівняння 3 системи (3.27), знайдемо, що опір $R_{стр}$ складе:

$$R_{стр} = \frac{T_e}{K_{Рстр} \cdot C_{зстр}} = \frac{0.0889}{0.2612 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 340 \text{ кОм} \quad (3.29)$$

Підставивши (3.29) в 1 рівняння системи (3.27), одержимо, що опір $R_{стр}$ складе:

$$R_{стр} = \frac{R_{зстр} \cdot K_{Дстр} \cdot K_{ш}}{K_{Oстр}} = \frac{340 \cdot 60.95 \cdot 1.875 \cdot 10^{-4}}{1.143 \cdot 10^{-2}} \approx 340 \text{ кОм} \quad (3.30)$$

Структурна та принципова схеми контуру струму наведені у додатку А.3.

3.2.3 Розрахунок контуру швидкості

Регулятор швидкості організований за пропорційним (П) законом керування з настройкою на модульний оптимум. Регулятор для забезпечення необхідних динамічних параметрів повинен компенсувати електромеханічну постійну часу системи T_m , а також малу постійну часу контуру швидкості $T_{осп}$.

Тоді передавальна функція регулятора швидкості матиме вигляд:

$$W_{Pшв}^{MO}(p) = K_{Pшв} = \frac{K_{Oсп} \cdot T_m \cdot C\Phi_n}{R_\Sigma \cdot K_{зшв} \cdot T_{зз}} \quad (3.31)$$

де $T_{Oсп}$ – мала постійна часу струмового контура;

$$T_{Oсп} = 4 \cdot T_{mn} = 4 \cdot 0.007 = 0.028 \text{ с.} \quad (3.32)$$

$K_{зшв}$ – коефіцієнт зворотнього зв'язку за швидкістю, що визначається за формулою:

$$K_{зшв} = \frac{U_{зшв \max}}{\omega_{\max}} = \frac{8}{78.54} = 0.10186 \text{ В} \cdot \text{с} \quad (3.33)$$

Підставивши динамічні параметри системи, а також (3.31) — (3.33) в (3.31), одержимо:

$$K_{Pшв} = \frac{K_{Oсп} \cdot T_m \cdot C\Phi_n}{R_\Sigma \cdot K_{зшв} \cdot T_{Oсп}} = \frac{1.143 \cdot 10^{-2} \cdot 0.0606 \cdot 2.705}{0.031567 \cdot 0.10186 \cdot 0.028} = 20.8 \quad (3.34)$$

Відповідно до схеми реалізації контуру струму запишемо рівняння відповідності динамічних параметрів системи і фізичних параметрів схеми реалізації:

$$\left\{ \begin{array}{ll} K_{33_{шв}} = \frac{R_{3_{шв}}}{R_{шв}} \cdot K_{Дшв} & 1 \\ K_{Ршв} = \frac{R_{33_{шв}}}{R_{3_{шв}}} & 2 \end{array} \right. , \quad (3.35)$$

де $K_{Дшв}$ — коефіцієнт датчика швидкості, що визначається згідно до відношення:

$$K_{Дшв} = \frac{U_{y \max}}{\omega_n} = \frac{8}{78.54} = 0.10186 \text{ В} \cdot \text{с} . \quad (3.36)$$

Задаємося опором $R_{33_{шв}} = 100 \text{ кОм}$.

Тоді, згідно рівняння 2 системи (3.35), опір $R_{3_{шв}}$ складе:

$$R_{3_{шв}} = \frac{R_{33_{шв}}}{K_{Ршв}} = \frac{100}{20.8} = 4.8 \text{ кОм} \quad (3.37)$$

Підставивши значення $R_{3_{шв}} = 4.8 \text{ кОм}$ в рівняння 1 системи (3.35), знайдемо, що опір $R_{шв}$ складе:

$$R_{шв} = \frac{R_{3_{шв}} \cdot K_{Дшв}}{K_{33_{шв}}} = \frac{4.8 \cdot 0.10186}{0.10186} = 4.8 \text{ кОм} \quad (3.38)$$

Структурна та принципова схеми контуру швидкості наведені у додатку А.4.

3.2.4 Розрахунок контуру потужності і процесу різання

Контур потужності будемо розраховувати на стабілізацію рівня потужності різання в межах 5% номінальної потужності двигуна, що складе 4% потужності різання. Такий розрахунок цілком ймовірний, оскільки для розрахунку необхідної потужності двигуна був прийнятий теоретично найважчий варіант роботи — з важко оброблюваного, але часто використовуваного матеріалу різцями з швидкорізальної сталі при максимальному діаметрі заготовки і величині подачі різця.

Згідно (2.1) — (2.11), в даному конкретному випадку потужність різання визначається наступним виразом:

$$P_{\text{різ}} = 7870.66975 \cdot V, \text{ кВт}, \quad (3.39)$$

де V — швидкість різання.

Швидкість різання, що вимагається в даному випадку, згідно (2.5) складає 8.66 м/хв. Розрахуємо коефіцієнт передачі передавального механізму (коробки швидкостей):

$$K_{\text{пм}} = \frac{V}{\omega_n} = \frac{8.66}{78.54} = 0.11026 \text{ м} \cdot \text{с} / \text{хв}. \quad (3.40)$$

Постійна процесу різання згідно [8–11] визначається таким чином:

$$T_p = \frac{60}{n_{ш}} \quad (3.41)$$

де $n_{ш}$ — швидкість обертання шпінделя, що визначається за формулою:

$$n_{ш} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_{дет}} = \frac{1000 \cdot 8.66}{\pi \cdot 1000} = 2.757 \text{ об/хв} \quad (3.42)$$

де $D_{дет}$ — діаметр встановлюваної в центрах заготовки.

Підставивши (3.42) в (3.41), одержимо:

$$T_p = \frac{60}{2.757} = 21.766 \text{ с} \quad (3.43)$$

Для стабілізації потужності без затягування перехідного процесу наростання потужності необхідно, щоб зворотний зв'язок по потужності включався при перевищенні потужністю рівня стабілізації (тобто максимально допустимої потужності), для чого необхідна зона нечутливості по потужності. Оскільки уніфікована блокова система регуляторів (УБСР) розрахована на максимальну напругу 8 В, то і обмеження по потужності, виконане на елементах УБСР, відповідатиме $U_{сп} = 8\text{В}$. Тоді коефіцієнт датчика потужності можна розрахувати з наступних міркувань, що при потужності, рівній потужності стабілізації, напруга зворотного зв'язку по потужності повинна досягти напруги порівняння, тобто:

$$K_{он} = \frac{U_{сп}}{P_{ст}} = \frac{8}{60000} = 1.333 \cdot 10^{-4} \text{ В / Вт} \quad (3.44)$$

де $P_{ст}$ — рівень стабілізації потужності.

Для розрахунку регулятора потужності необхідно розрахувати максимальне завдання, яке буде подане на вхід регулятора потужності для досягнення рівня стабілізації. Це завдання розраховується з умови того, що при потужності стабілізації завдання відповідає максимальній потужності, а при максимальній потужності завдання на потужність рівне нулю. Таким чином, необхідну напругу завдання можна визначити по формулі:

$$U_{зм} = (P_{\max} + P_{cm}) \cdot K_{\partial n} = (68160 - 60000) \cdot 1.33 \cdot 10^{-4} = 1.088 \quad (3.45)$$

Оптимізація контуру потужності ведеться за симетричним оптимумом.

Оскільки датчик потужності виконується на базі датчиків струму і швидкості, то він матиме деяку інерційність. Постійна часу датчика потужності стандартної реалізації знаходиться в межах 0.003—0.006 с. Оскільки в даному випадку датчик потужності реалізується з використанням мікросхем, що прискорює роботу, приймемо постійну часу датчика потужності $T_{\partial n} = 0.004$ с.

Для компенсації всіх постійних необхідна наступна передавальна функція регулятора потужності:

$$W_{pn}^{co}(p) = \frac{(T_p p + 1) \cdot (T_{\partial n} p + 1) \cdot K_{ззшв}}{K_p \cdot K_{\partial n} \cdot K_{nn} \cdot 2 \cdot T_{op}} = \frac{T_p \cdot T_{\partial n} \cdot K_{ззшв}}{K_p \cdot K_{\partial n} \cdot K_{nn} \cdot 2 \cdot T_{op}} p^2 + \frac{(T_p + T_{\partial n}) \cdot K_{ззшв}}{K_p \cdot K_{\partial n} \cdot K_{nn} \cdot 2 \cdot T_{op}} p + \frac{K_{ззшв}}{K_p \cdot K_{\partial n} \cdot K_{nn} \cdot 2 \cdot T_{op}} \quad (3.46)$$

Підставивши значення постійних часу і коефіцієнтів передачі, одержимо:

- 1) пропорційна частина регулятора потужності $K_{npr} = 7.3529$;
- 2) інтегральна частина регулятора потужності $K_{ipn} = 0.0338$;
- 3) диференціальна частина регулятора потужності $K_{\partial pn} = 0.0029$.

Таким чином, інтегральна і диференціальна частини виявилися не досить значними в порівнянні з пропорційною частиною регулятора потужності, звідки витікає, що для забезпечення необхідних показників якості як в динаміці, так і в статиці досить пропорційного інтегратора потужності.

Запишемо рівняння відповідності динамічних параметрів системи і фізичних параметрів схеми реалізації регулятора потужності:

$$\left\{ \begin{array}{ll} K_{on} = \frac{R_{3n}}{R_n} \cdot K_{\partial n} & 1 \\ K_{pn} = \frac{R_{33n}}{R_{3n}} & 2 \end{array} \right. , \quad (3.47)$$

де $K_{\partial n}$ — коефіцієнт датчика потужності.

Задамося опором $R_{33n} = 100$ кОм. Тоді, згідно рівняння 2 системи (3.47), опір R_{3n} складе:

$$R_{3n} = \frac{R_{33n}}{K_{pn}} = \frac{100}{7.35924} = 13.6 \text{ кОм} \quad (3.48)$$

де K_{pn} — пропорційна частина регулятора потужності.

Підставивши значення $R_{3n} = 13.6$ кОм в рівняння 1 системи (3.47), знайдемо, що опір R_n складе:

$$R_n = \frac{R_{3n} \cdot K_{\partial n}}{K_{on}} = \frac{13.6 \cdot 1.33 \cdot 10^{-4}}{1.596 \cdot 10^{-5}} = 113.6 \text{ кОм} \quad (3.49)$$

де K_{on} — коефіцієнт зворотного зв'язку по потужності, що розраховується з умови відповідності максимального завдання на потужність максимальної потужності, тобто:

$$K_{on} = \frac{U_{zn \max}}{P_{\max}} = \frac{1.088}{68160} = 1.596 \cdot 10^{-5} \quad (3.50)$$

Структурна та принципова схеми контуру потужності наведені у додатку А.5.

3.3 Розрахунок статичної характеристики системи

Стабільність роботи приводу в установленному режимі характеризується відхиленнями швидкості при зміні навантаження, напруги мережі живлення та температури навколишнього середовища.

Запишемо рівняння швидкості руху електроприводу в статиці:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{K_{P_{шв}} \cdot \frac{1}{K_{O_{стр}}} \cdot \infty}{1 + \frac{K_{P_{шв}} \cdot K_{O_{шв}} \cdot \infty}{K_{O_{стр}}}} \cdot U_{ст} - \frac{\infty}{1 + \frac{K_{P_{шв}} \cdot K_{O_{шв}} \cdot \infty}{K_{O_{стр}}}} \cdot I_e = \\ &= \frac{1}{K_{O_{шв}}} \cdot U_{ст} - \frac{K_{O_{стр}}}{K_{P_{шв}} \cdot K_{O_{шв}}} \cdot I_e = \omega_0 - \Delta \omega_c \end{aligned} \quad (3.51)$$

де ω_c — швидкість обертання двигуна;

ω_0 — швидкість холостого ходу двигуна:

$$\omega_0 = \frac{U_{ст}}{K_{O_{шв}}} = \frac{8}{0.10186} = 78.54 \text{ 1/с}, \quad (3.52)$$

де

U_c — статичне падіння швидкості при статичному струмі.

Тоді:

$$\Delta\omega_c = \frac{K_{Oстр} \cdot I_e}{K_{Pшв} \cdot K_{Oшв}} = \frac{1.143 \cdot 10^{-2} \cdot 333}{20.8 \cdot 0.10186} = 1.7 \text{ 1/c} \quad (3.53)$$

Вираз (3.53) розкритий із застосуванням правил Лопітала для розкритті невизначеностей вигляду $\left[\frac{\infty}{\infty} \right]$.

3.4 Розробка датчика потужності

У проєктованій системі електроприводу необхідно мати сигнал, пропорційний потужності різання. Прямим способом виміряти потужність різання неможливо. Тому її вимірюють побічно.

Для вимірювання потужності різання можна використовувати сигнали, пропорційні струму двигуна, швидкості обертання двигуна, ЕДС двигуна.

В даному випадку пропонується використовувати сигнали, пропорційні струму і швидкості обертання двигуна. Після перемножування цих сигналів на виході вийде сигнал, пропорційний потужності різання. До складу спроектованого датчика потужності входить інтегральна мікросхема (ІМС) [15] К525ПС2А, що являє собою чотирьохквадрантний аналоговий перемножувач(АП) сигналів і має наступні параметри:

- 1)споживаний струм — не більш 6 мА;
- 2)похибка перемножування — не більш 1%;
- 3)нелінійність перемножування:
 - по входу Х — не більше 0.8%;
 - по входу Y — не більше 0.5%;
- 4) залишкова напруга:
 - по входу Х — не більше 80 мВ;
 - по входу Y — не більше 60 мВ;
- 5) вхідний струм:

- по входу X — не більше 4 мкА;
- по входу Y — не більше 6 мкА;
- 6) смуга перетворення по входах — не менше 0.7 МГц;
- 7) вихідна напруга — не більш 10.5 В.

Стабілітрон у вхідному ланцюзі операційного підсилювача розрахуємо з наступних міркувань. Напруга спрацьовування стабілітрона повинна відповідати значенню досягнення потужності різання рівня стабілізації. Цьому рівню відповідатимуть статичний струм двигуна $I_s = 333$ А і швидкість обертання двигуна $\omega_n = 78.54$ 1/с. Оскільки датчик струму розрахований на пусковий струм, то в номінальному режимі його вихідна напруга складе:

$$U_{Дстр} = K_{Дстр} \cdot K_{ш} \cdot I_e = 60.95 \cdot 1.875 \cdot 10^{-4} \cdot 333 = 3.8 \text{ В} \quad (3.54)$$

Сигнал з тахогенератора складе:

$$U_{Дшв} = K_{Дшв} \cdot \omega_n = 0.10186 \cdot 78.54 = 8 \text{ В} \quad (3.55)$$

Тоді сигнал на виході ІМС складе:

$$U_{вих} = \frac{U_{Дстр} \cdot U_{Дшв}}{10} = \frac{3.8 \cdot 8}{10} = 3.04 \approx 3 \text{ В} \quad (3.56)$$

Таким чином, напруга стабілізації вхідного стабілітрона повинна складати 3 В, що забезпечить правильну роботу зворотного зв'язку за потужністю. Зворотний зв'язок вмикається через 1.5 с після включення двигуна, що забезпечують контакти реле часу. Це необхідно для того, щоб при пуску зворотний зв'язок за потужністю не спрацьовував.

3.5 Експериментальне дослідження динаміки системи та аналіз одержаних результатів

Метою експериментальних досліджень системи автоматичного керування на ЕОМ є пошук оптимальних структур, характеристик і законів керування автоматизованої системи керування електропривода, що проектується.

Проектований електропривод являє собою систему підлеглого регулювання струму, швидкості обертання вала електродвигуна ат потужності різання на верстаті. При синтезі системи керування вважаємо, що структура системи відома і вирішуємо задачу параметричного синтезу, тобто визначення параметрів налагодження регуляторів.

Розглянемо графіки перехідних процесів.

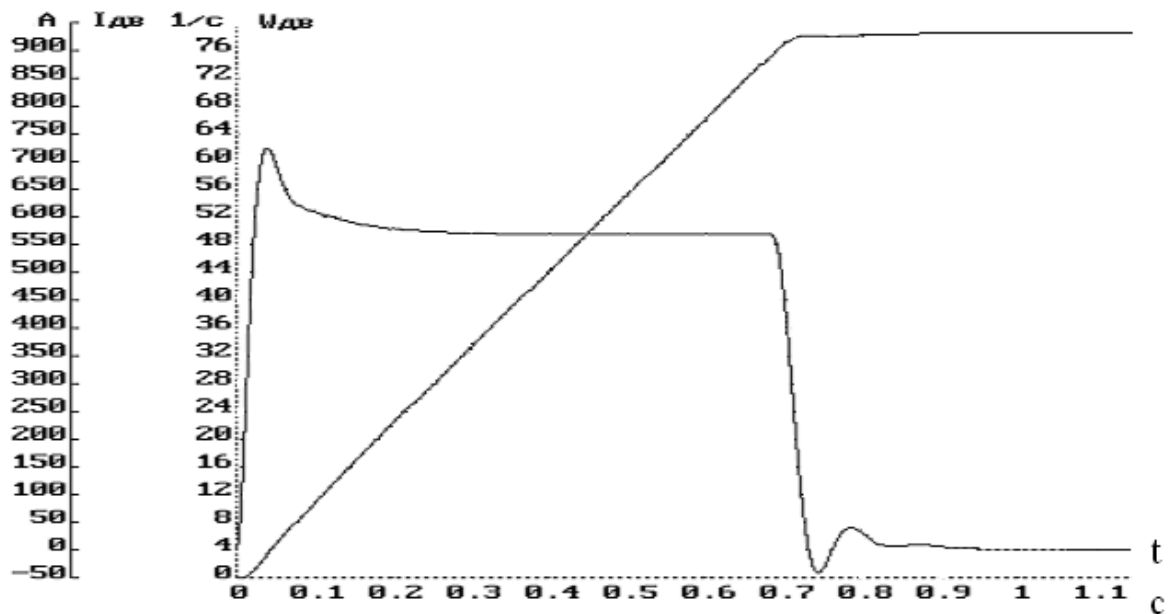


Рисунок 3.4— Перехідний процес пуску електродвигуна

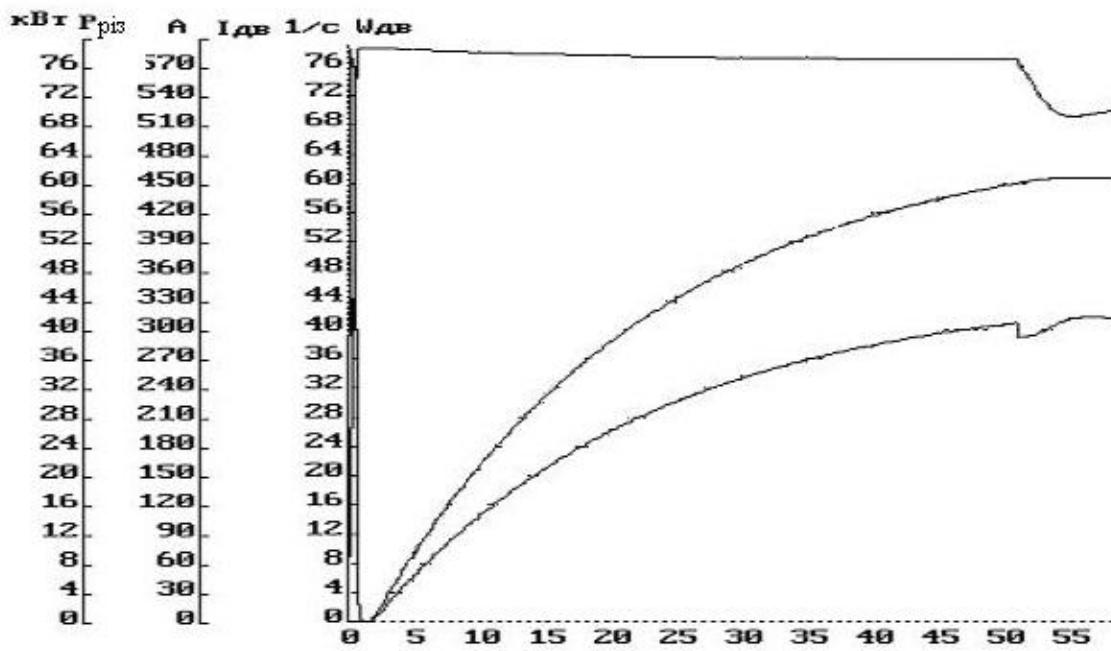


Рисунок 3.5– Перехідний процес стабілізації потужності

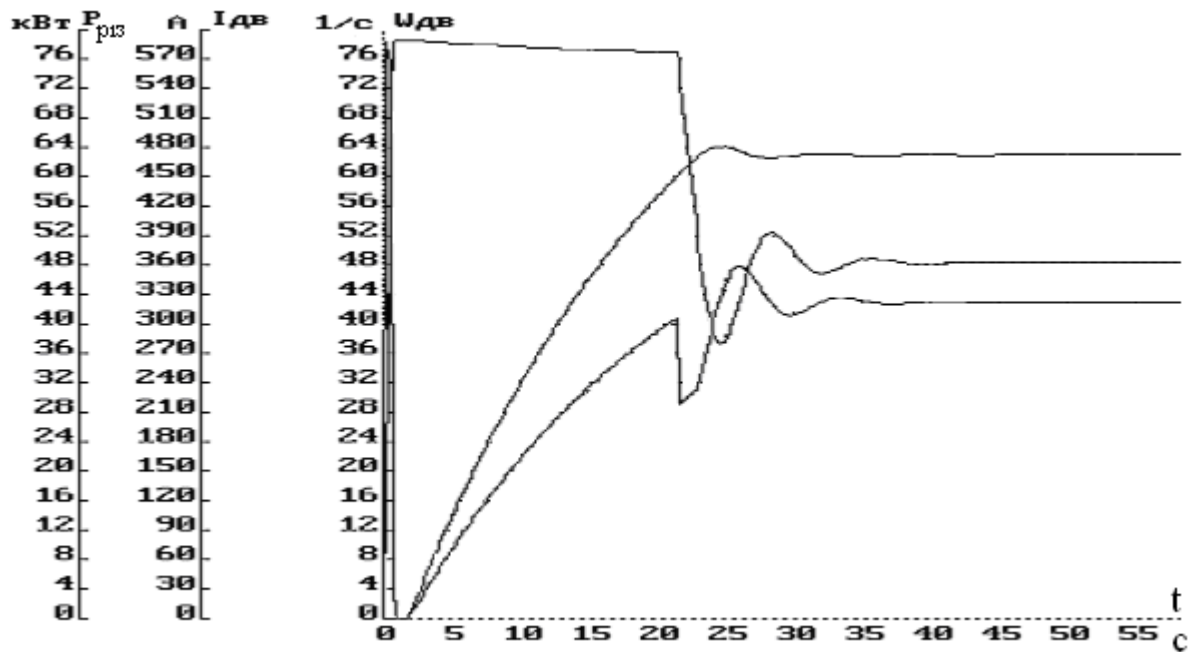


Рисунок 3.6– Перехідний процес стабілізації потужності при збільшенні K_p на 50%

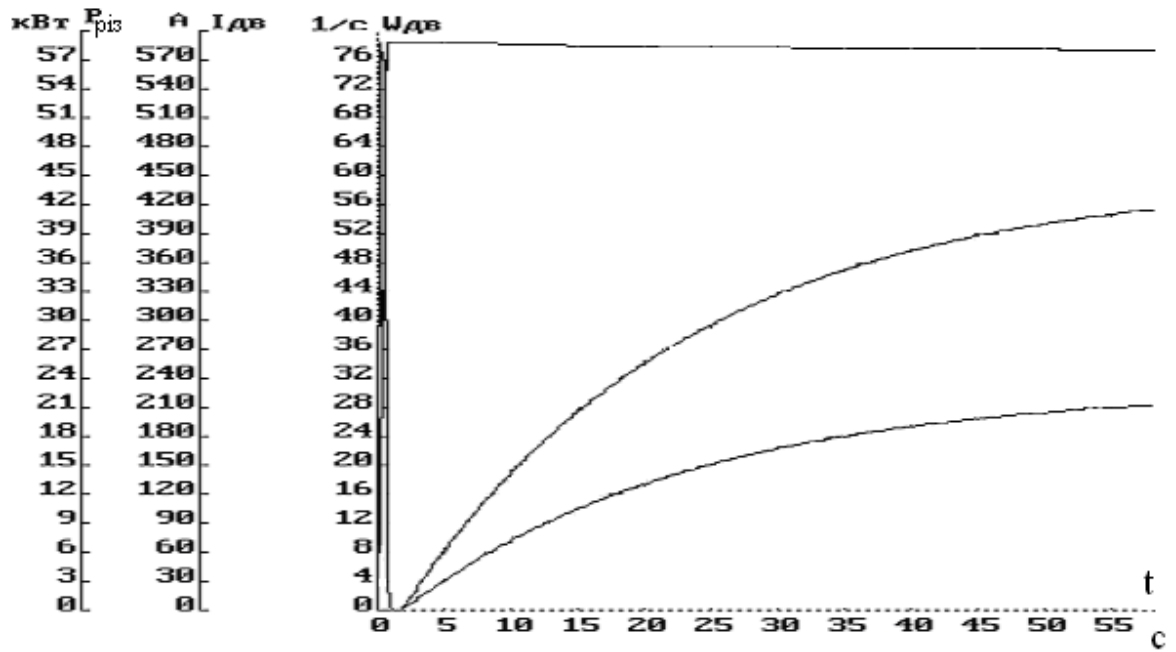


Рисунок 3.7—Перехідний процес стабілізації потужності при зменшенні K_p на 50%

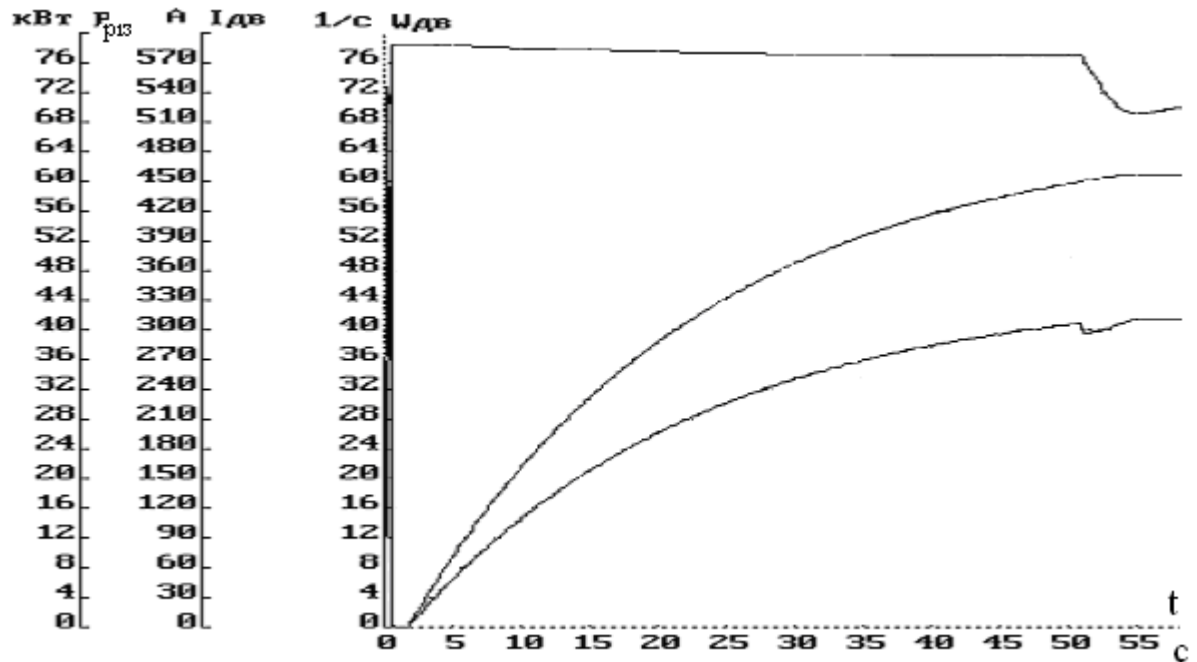


Рисунок 3.8— Перехідний процес стабілізації потужності при зменшенні T_m на 10%

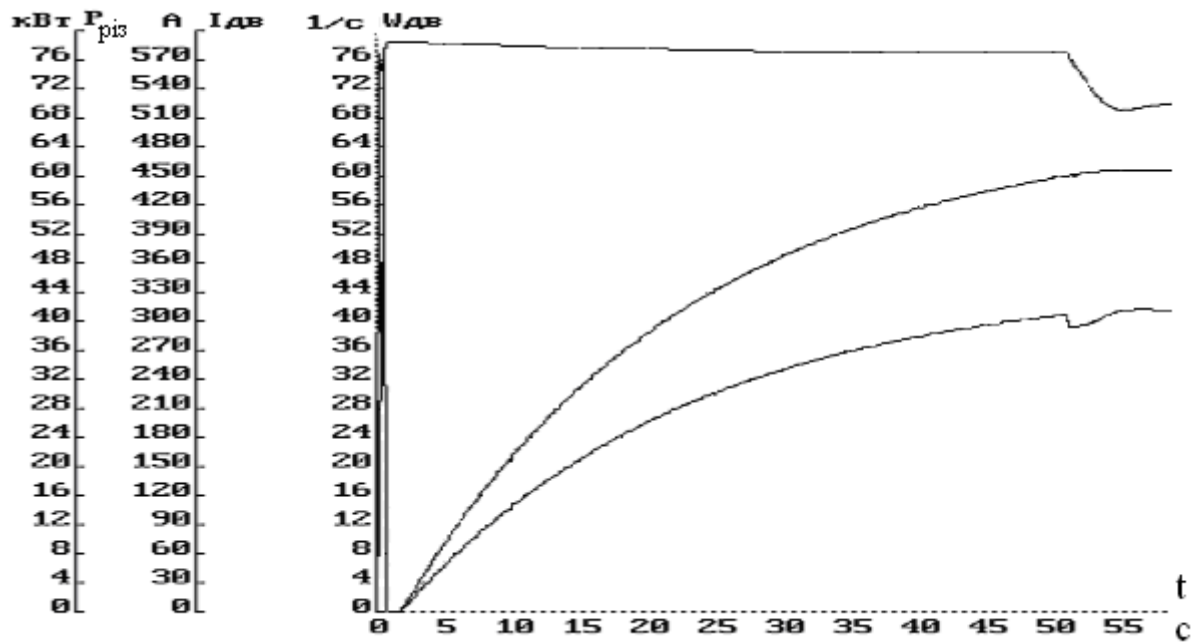


Рисунок 3.9– Перехідний процес стабілізації потужності при зменшенні T_m на 20%

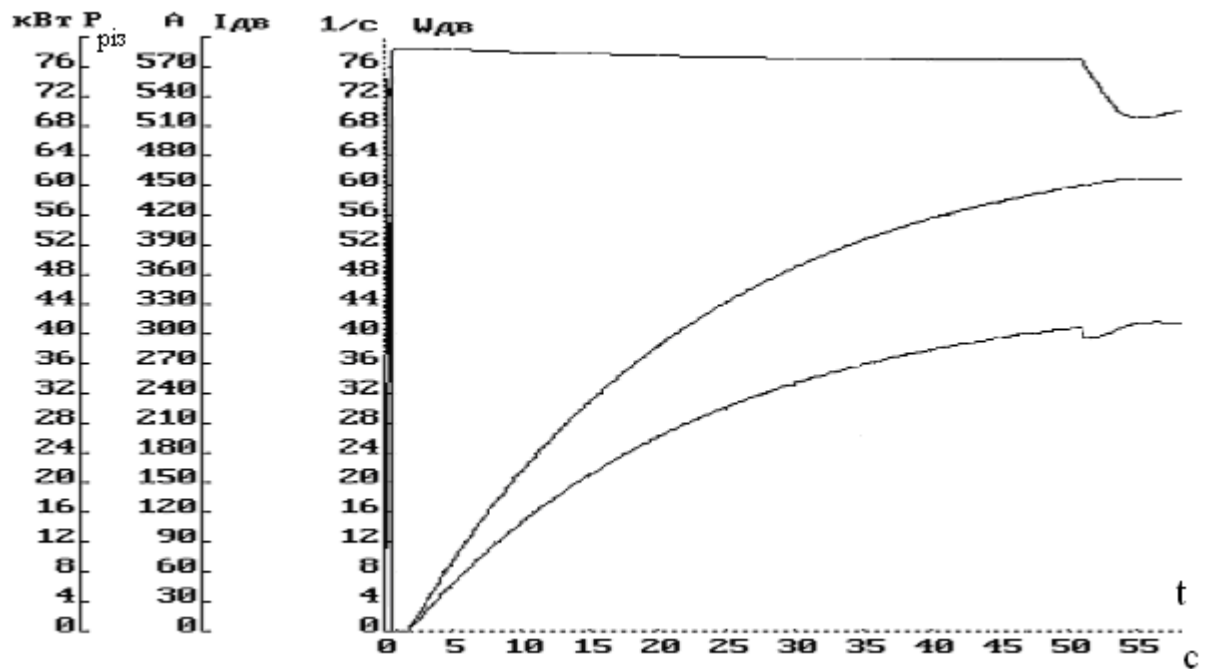


Рисунок 3.10– Перехідний процес стабілізації потужності при зменшенні T_m на 30%

Основні показники якості отриманої системи визначаємо як:

$$\sigma_{\max} = \frac{X_{\max} - X_y}{X_y} \cdot 100\% \quad - \text{максимальне перерегулювання;}$$

$T_{\max}$ – швидкодія системи;

N – коливальність контуру регулювання.

Проводячи аналіз отриманих результатів слід відзначити наступне:

- статизм системи за швидкістю при розімкненому зворотному зв'язку за потужністю, тобто поки потужність не виходить за рівень стабілізації і складає при номінальному навантаженні 1.7 л/с, що складає 2.16% від швидкості холостого ходу, що забезпечується не тільки контурами регулювання струму і швидкості, але і добрими статичними властивостями самого двигуна;
- похибка при стабілізації потужності при найважчому варіанті, коли теоретична потужність різання перевищує на 15% рівень стабілізації потужності(тобто при обробці в'язкого матеріалу з великими подачами) складає 1178 Вт або 1,96% від рівня стабілізації, що цілком можна вважати задовільною роботою системи;
- час перехідного процесу пуску, завдяки застосуванню ПІ-регулятора струму, зменшився в порівнянні з розрахунковим з 2.0с до 0.9с в модельованій системі, тобто даний показник знизився на 55%, що дозволяє зменшити час обробки одного валка;
- перерегулювання за струмом складає при найважчому режимі 5.1%;
- перерегулювання за швидкістю складає при найважчому режимі 4.98%;
- перерегулювання за потужністю складає при найважчому режимі 4.6%.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Вступ

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності (Закон України “Про охорону праці”).

Згідно до статті 31 розділу VI Закону України “Про охорону праці” державне управління охороною праці здійснюють:

- Кабінет Міністрів України;
- спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з нагляду за охороною праці;
- міністерства та інші центральні органи виконавчої влади;
- Рада міністрів Автономної Республіки Крим, місцеві державні адміністрації та органи місцевого самоврядування.

Державна політика в галузі охорони праці спрямована на створення належних, безпечних і здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням та базується на принципах:

- пріоритету життя і здоров'я працівників, повної відповідальності роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;
- підвищення рівня промислової безпеки шляхом забезпечення суцільного технічного контролю за станом виробництв, технологій та продукції, а також сприяння підприємствам у створенні безпечних та нешкідливих умов праці;
- комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавної, галузевих, регіональних програм з цього питання

та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони довкілля;

- соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;

- встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств та суб'єктів підприємницької діяльності незалежно від форм власності та видів діяльності;

- адаптації трудових процесів до можливостей працівника з урахуванням його здоров'я та психологічного стану;

- використання економічних методів управління охороною праці, участі держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці, залучення добровільних внесків та інших надходжень на ці цілі, отримання яких не суперечить законодавству;

- інформування населення, проведення навчання, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;

- забезпечення координації діяльності органів державної влади, установ, організацій, об'єднань громадян, що розв'язують проблеми охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між роботодавцями та працівниками (їх представниками), між усіма соціальними групами під час прийняття рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях.

На державних підприємствах створюються служби охорони праці та комісії з питань охорони праці підприємства, головними завданнями яких є забезпечення пропорційної участі працівників у вирішенні будь-яких питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища.

Тож відповідно до законодавчої бази будь-які проекти виробничих об'єктів, розробки нових технологій, засобів виробництва тощо повинні провадитися з урахуванням вимог щодо охорони праці.

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під небезпечним виробничим фактором розуміють такий виробничий фактор, дія якого на людину, що працює в певних умовах, призводить до травми або до іншого різкого погіршення здоров'я. Результатом впливу небезпечного виробничого фактору на людину являється нещасний випадок.

В свою чергу, шкідливий виробничий фактор призводить до виникнення захворювання, зниження працездатності або часткової чи загальної її втрати. Тобто, результатом впливу на людину даного фактору є захворювання.

Загальна сукупність травм, отриманих на виробництві, отримала назву виробничого травматизму. Згідно статистики 45% випадків травмування при роботі з електроустановками та устаткуванням пояснюється недоліками в експлуатації обладнання, що призводить до зниження опору ізоляції та виникнення напруги на неструмоведучих частинах устаткування, 25-30% електричних травм виникають через незадовільну організацію робочого місця, елементарні порушення правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок, через невміння своєчасно надати першу медичну допомогу, і 30-35% випадків ураження електричним струмом виникають у зв'язку з недоліками констркцій та монтажу електрообладнання.

Тож слід зауважити, що неостанню роль в забезпеченні безпеки виробничого процесу відіграє й так званий людський фактор, пов'язаний в першу чергу з відповідальністю і суворим дотриманням елементарних правил безпечної експлуатації електрообладнання.

Розглянемо умови праці виробничого персоналу в вальцетокарній майстерні, де й експлуатується проектована установка.

Вальцетокарна майстерня відноситься до пожежонебезпечних приміщень із небезпечними зонами класу П, Ш, в яких обертаються горючі рідини (масла) з температурою спалаху 61С і тверді горючі речовини. В такому приміщенні можливе виникнення пожежі внаслідок іскріння в

електричних апаратах та машинах, під час виникнення струмів короткого замикання та струмових перевантажень провідників, що призводить до плавлення та загорання їх ізоляції, через незадовільні контакти в місцях електричних з'єднань чи через виникнення електричної дуги при розриві контактів, внаслідок перевантажень обмоток машин тощо.

Установка знаходиться в запыреному, вологому, брудному приміщенні вальцетокарної майстерні, що відноситься до особливо небезпечних з погляду поразки електричним струмом. Процес точіння металу пов'язаний з викидом металевої стружки високої температури та постійної наявності розжареного масла. Отже, приміщення характеризується категорією В за пожежною безпекою.

Потенційні небезпеки, пов'язанні з технологічним процесом створюють:

- 1) наявність розжарених матеріалів;
- 2) наявність рухомих частин машин і механізмів;
- 3) наявність шумів та вібрацій виконавчих органів;
- 4) можливість поразки електричним струмом;
- 5) неухажне поводження з рухомими частинами устаткування;
- 6) можливість виникнення пожежі із-за присутності горючих сумішей у повітрі, що виникають у процесі випалювання металу під час різання;

Наслідки можливої дії будь-якої небезпеки на обслуговуючий персонал - механічні травми, при одержанні яких можлива часткова або повна втрата працездатності, смертельний результат.

Так, до розжарених предметів і матеріалів відносять різець і заготовку, які в процесі різання можуть досягати температури 500С. Під дією цих факторів на людину можливе одержання опіків та механічних травм, а також, як наслідок, можлива тимчасова втрата працездатності.

Шум, що виникає при роботі цеху, ширококутовий постійний і при тривалій дії на людину призводить до перенапруження нервової системи, до втрати працездатності, виникнення відчуття втоми, розвитку професійних

захворювань, пов'язаних із втратою слуху, що також приводить до втрати працездатності. Боротьбі з шумом слід приділяти особливу увагу, використовуючи поглинаючі екрани та фільтри, безшумні механізми, змінюючи технології виробництва і динаміку транспортних потоків конвеєрного випуску продукції. У разі перевищення допустимого рівня звукового тиску необхідне застосування індивідуальних та колективних засобів захисту: вушні заглушки, навушники, шоломи.

Вібрації виникають при входженні різця в метал і при виході з нього та при надмірно великих подачах. Тривалі вібрації завдають великої шкоди здоров'ю – від сильної втоми і не дуже значних змін багатьох функцій організму до струсу мозку, розриву тканин, порушення серцевої діяльності, нервої системи, деформації м'язів і кісток, порушення чутливості шкіри, кровообігу тощо.

Для зменшення впливу вібрації використовують віброізоляцію, вібродемфування, пружні основи й опори, віброгасні рукавички, прокладки, килимки. Допустимий рівень звукового тиску для оператора складає 65 дБ при частоті шуму вище 1000 Гц.

У приміщенні майстерні існує ймовірність збішення тиску повітря, коли навіть нормальний відсотковий вміст газів у повітрі стає небезпечним. Небезпечні зміни вдихувальної суміші при збільшеному тиску призводять до швидкого погіршення працездатності людини. Особливу групу складають екстремальні умови, що виникають внаслідок дії шкідливих газових сумішей повітря. Дія шкідливих сумішей на організм людини різна. Вона може призвести і до важких соматичних пошкоджень і до психічних розладів. Нерідко з'являється біль у різних органах, перешкоди у прийнятті інформації та мислення, сильний головний біль. Дія шкідливих факторів на працюючих полягає у тому, що в дихальні шляхи і легені організму людини постійно потрапляє пил, забруднюються пори шкіри та погіршуються теплообмінні властивості організму з навколишнім середовищем.

4.2 Загальні відомості щодо виробничого освітлення

Освітлення виробничих приміщень – один із основних факторів зовнішнього виробничого середовища, що впливають на людину у процесі праці. Безпечною і високопродуктивною праця може бути лише за умови гарного освітлення робочих місць. Недостатнє і нерівномірне освітлення робочих місць призводить до перенапруги зору, перевтоми організму, до виникнення надмірної нервової дратівливості, ослаблення уваги тощо. Тому на виробництві освітленість повинна нормуватись згідно існуючих правил ДВН В. 2.5–28–2006.

Робоче освітлення вальцетокарної майстерні - штучне і природне, аварійне - штучне. Штучне освітлення в обох випадках загальне, забезпечене світильниками, розміщеними у верхній частині вальцетокарної майстерні (верхній зоні) рівномірно.

У кабіні оператора робоче освітлення загальне, забезпечене світильниками з люмінесцентними лампами, розташованими у верхній частині кабінки. Евакуаційне освітлення - штучне, загальне.

Розряд зорової роботи у вальцетокарній майстерні - VI, до якого відносять розгляд предметів більше 5 мм.

Норма освітленості рівна 200 Лк, а коефіцієнт природного освітлення при сумісному освітленні - 1.8 відповідно до III поясу.

Мінімальна освітленість робочої поверхні виробничих приміщень і територій підприємства, що вимагають обслуговування при аварійних режимах, складає 5% від освітленості, що є нормою для робочих приміщень при системі загального освітлення, але не менше 2 Лк.

4.3 Розрахунок захисного заземлення установки

У приміщенні, де експлуатується проектована установка, обов'язковим є виконання захисного заземлення, що має на меті виключення можливості

ураження персоналу електричним струмом при випадковому вошкодженні ізоляції та переході напруги зі струмоведучих частин обладнання на металічні неструмоведучі частини корпусу установки.

Згідно ПУЕ є обов'язковим виконання захисного заземлення при напрузі змінного струму 380В.

Захисному заземленню підлягають:

- корпуси електричних машин і трансформаторів;
- кожухи пускачів реостатів;
- командоконтролери;
- станції управління магнітних контролерів;
- пульт керування.

Необхідно також забезпечити ізоляцію відкритих струмоведучих частин, установку захисних електричних і механічних блокувань; установок пристроїв автоматичного відключення, що реагують на напругу або струм замикання на корпус (землю).

Тож електродвигун, тиристорний перетворювач, трансформатор в даній установці заземлені. Для цього відповідні болти заземлення підключені до контура заземлення мідним дротом перетином не менше 2.5 мм².

В якості заземлювачів використовуємо:

- вертикальні забиті сталеві труби діаметром 50 мм і завдовжки 2.5м;
- протягнуті в землі сталеві смуги шириною 0,05 м.

Опір заземляючого пристрою має бути не більше 4 Ом.

Опір вертикального заземлювача (труби) визначимо за формулою:

$$R_{\text{тр}} = \frac{\rho}{2\pi d_{\text{мп}}} \left(\ln \frac{2l_{\text{м}}}{d} + 0.5 \ln \frac{4t + l_{\text{тр}}}{4t - l_{\text{т}}} \right) \text{Ом} \quad (4.1)$$

де ρ - питомий опір ґрунту, Ом·м;

$l_{\text{мп}}$ - довжина труби, м;

d - зовнішній діаметр труби, м;

h - глибина проникнення труби, м.

Задаємося наступними значеннями параметрів:

Грунт складається із двох типів середовищ : чорнозем – глина. Тому питомий опір ґрунту визначиться згідно з формулою:

$$\rho = \frac{l}{\frac{\Delta l_1}{\rho_1} + \frac{\Delta l_2}{\rho_2}}, \quad (4.2)$$

де $\Delta l_1, \Delta l_2$ - глибини проникнення у кожен шар ґрунту;

ρ_1, ρ_2 - питомі опори відповідних шарів ґрунту.

$\rho_1 = 30 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – для чорнозему згідно з таблицею 2.3 [13];

$\rho_2 = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ - для глини.

$l_{mp} = 2,5 \text{ м};$

$d = 0,05 \text{ м};$

$t = 0,7 \text{ м}.$

Тоді питомий опір ґрунту складе:

$$\rho = \frac{l}{\frac{\Delta l_1}{\rho_1} + \frac{\Delta l_2}{\rho_2}} = \frac{2,5}{\frac{1,25}{30} + \frac{1,25}{60}} = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.3)$$

Отже, опір вертикального заземлювача (труби) визначиться як :

$$R_{\text{тр1}} = \frac{40}{2\pi \cdot 2,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,05} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{4 \cdot 1,95 - 2,5} \right) = 12,6 \text{ Ом}$$

При $R_{\text{тр1}} > R_{\text{доп}}$ необхідно застосовувати декілька заземлювачів.

Необхідне число заземлювачів визначимо за формулою:

$$n' = - \frac{R_1}{n_g \cdot R_{\text{доп}}}, \quad (4.4)$$

де n_g – коефіцієнт використання заземлювача;

Задаємося значенням $n_g = 1$.

Тоді одержимо, що

$$n' = \frac{12.6}{1.4} = 3.2 \approx 3.$$

Знаходимо фактичний коефіцієнт використання заземлювача:

$$R_\phi = \frac{R_1}{n_\phi \cdot n}, \quad (4.5)$$

де $n_\phi = 0.76$ згідно таблиці 2.4[].

Підставивши численні значення, отримаємо:

$$R_\phi = \frac{R_1}{n_\phi \cdot n} = \frac{12.6}{0.76 \cdot 3} = 5.5$$

Для сполучення вертикальних заземлювачів застосовуємо з'єднувальну смугу, опір розтіканню якої визначимо як:

$$R_{1n} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \cdot \frac{l^2}{b \cdot t}, \quad (4.6)$$

де $l = 1.05 \cdot a \cdot n$.

n - число заземлювачів;

a - відстань між вертикальними електродами.

$b = 0.05\text{м}$

Приймаємо, що: $a = l_{\text{ел.}}$

Тоді:

$$l = 1.05 \cdot 2.5 \cdot 3 = 7.9 \text{ м.}$$

Тоді:

$$R_{1n} = \frac{40}{2 \cdot \pi \cdot 7.9} \ln \cdot \frac{7.9^2}{0.05 \cdot 0.7} = 6.00 \text{ Ом}$$

З урахуванням коефіцієнта використання, знайденного за таблицею 2.5[12]

$\eta_n = 0.77$ опір розтіканню для смуги:

$$R_n = \frac{R_{1n}}{\eta_n} = \frac{6.0}{0.77} = 7.8 \text{ Ом} \quad (4.7)$$

Визначаємо фактичне значення опору заземляючого пристрою:

$$R_3 = \frac{R_{\text{с.ф}} \cdot R_n}{R_{\text{с.ф}} + R_n}, \quad (4.8)$$

Підставивши численні значення, одержуємо що:

$$R_3 = \frac{5.5 \cdot 7.8}{5.5 + 7.8} = 3.2 \text{ Ом}$$

Отримане значення еквівалентного опору знаходиться у допустимих межах:

$$R_3 \leq R_{\text{дон}}.$$

Тобто пристрій заземлення складається із трьох вертикальних заземлювачів, що являють собою вертикальні забиті в землю труби і з'єднані з'єднувальною смугою. Опір пристрою складає 3.2Ом.

4.4 Заходи щодо техніки безпеки при експлуатації установки

Практика експлуатації електроприводів показує, що найбільша кількість нещасних випадків відбувається при виявленні несправностей та під час наладки системи електропривода під струмом. Для запобігання цього роботи слід проводити в гумових галошах або стояти на ізолюючій основі. При ремонті електропривода напруга попередньо знімається з головного розподільовального щита шляхом відключення. На вимикачі вивішується надпис: “Не вмикати! Працюють люди.”

Допустимі параметри електричного струму:
ГОСТ 12.1.038-82 встановлює гранично допустимі рівні напруги та струмів доторкання. При нормальних режимах роботи електроустановок змінний струм, що діє на людину, не повинен перевищувати 0,3мА, а постійний – 1,0мА при загальній тривалості дії не більше 10хв за добу. В аварійних режимах допустимі рівні сили струму змінюються в доволі широких межах в залежності від тривалості його дії. Так, допускається дія змінного струму частотою 50Гц 500мА протягом 0,1с і 6мА більше 1с. Постійний струм в 3 – 4 рази безпечніше.

Для персонала, що обслуговує електроустановку і що знаходиться в зоні впливу створюваного ними електричного поля, ГОСТ 12.1.002-84 встановлює гранично допустимий рівень напруженості електричного поля частотою 50Гц - 25кВ/м; перебування людини в електричному полі більшої напруженості без застосування засобів захисту заборонено.

Протягом робочого дня можна знаходитися в електричному полі напруженості до 5кВ/м; при напруженості 20 – 25 кВ/м час перебування персонала в електричному полі не повинно перевищувати 10хвилин.

Обов'язковим є застосування захисного заземлення, що призначене для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом.

Згідно ПУЕ повинні бути передбачені наступні заходи щодо забезпечення електробезпеки електроустановки:

- 1) режим контролю живлячої мережі;
- 2) захист від випадкового проникнення до струмоведучих частин електроустановки;
- 3) контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- 4) захисне заземлення;
- 5) захисне відключення;
- 6) застосування захисних засобів;
- 7) організаційні і технічні заходи.

4.4.1 Експлуатаційні заходи щодо контролю параметрів системи

Мережа між двигуном і тиристорним перетворювачем є дводротяною з ізованими дротами. Це є необхідним з технічних міркувань і незалежно від небезпеки поразки електричним струмом застосовується саме ця схема.

Живлення тиристорного перетворювача серії КТЕУ здійснюється від розподільної шини 380 В через розділовий трансформатор, розподільна шина розташована вздовж стіни на висоті 3 м на ізоляторах. Ошиновка підключена до масляного вимикача, з другого боку до якого прикріплені дроти, що живлять тиристорний перетворювач. Кабель прокладено в підземний бетонований кабельний канал, накритий зверху рифленими листами заліза. Краї каналів закріплені металевими заземленими куточками.

Тиристорний перетворювач поміщений в металеву шафу, в якій також розміщений розділовий трансформатор. Двері шафи й огорожі оснащені блокуванням, яке забезпечує відключення масляного вимикача при відкритті дверей огорожі або шафи.

Підведення живлення до електродвигуна здійснюється за допомогою кабелю, укладеного в підземний кабельний канал.

Кабелі для живлення тиристорного перетворювача і двигуна - броньовані для захисту від можливих механічних пошкоджень.

Контроль ізоляції ланцюга 380 В здійснюється періодично при відключеній установці. При цьому вимірюється опір ізоляції окремих ділянок мережі, трансформаторів, електричних апаратів, двигуна. Вимірюються опір кожної фази відносно землі захисним апаратом.

Нормальним опором ізоляції кабелю нижче 1000 В вважається 0.5 МОм, вимірювання здійснюється мегомметром на напругу 1000 В.

Контроль ізоляції мережі між двигуном і тиристорним перетворювачем, а також мережі напругою 380 В здійснюється постійно, оскільки пошкодження і пробій ізоляції призводять до виникнення підвищеної небезпеки поразки людини електричним струмом. Опір ізоляції двигуна і тиристорного перетворювача складають 0.5 МОм у нормальному стані, трансформатора - 1.5 МОм, і вимірюється мегомметром на 500 В і 1000 В.

Захисне відключення забезпечує відключення установки при виникненні аварійних режимів.

Також постійно здійснюється контроль напруги на корпусі трансформатора та перетворювача, а також - фази двигуна привода відносно землі за допомогою відповідних захисних схем.

Для захисту перетворювача від режиму короткого замикання в кабельній лінії, що живить двигун, в КТЕУ застосований автоматичний вимикач, що розриває ланцюг при замиканні будь-якої з ліній на землю або між собою.

При спрацьовуванні будь-якого з перерахованих захистів передбачена світлова сигналізація, що має свідчити про несправність тієї або іншої частини установки.

4.4.2 Технічні заходи щодо забезпечення електробезпеки

До таких заходів належать:

- 1) відключення електроустаткування, що підлягає ремонту, і вживання заходів протипомилкового його включення;
- 2) установка тимчасових огорож струмоведучих частин і вивішування заборонних плакатів “Не вмикати - працюють люди” або “Не вмикати - роботи на лінії”;
- 3) приєднання переносного заземлення до заземлюючої шини стаціонарного заземлюючого пристрою і перевірка відсутності напруги на струмоведучих частинах, які для безпеки здійснення робіт підлягають замиканню накоротко і заземленню;
- 4) накладення переносних заземлень на відключені струмоведучі частини електроприводу відразу після перевірки відсутності напруги або вмиканні спеціальних заземлюючих роз'єднувачів;
- 5) огорожа робочого місця і вивішування на огорожі напису: “Працювати тут”.

Безпека роботи в електроустановках забезпечується застосуванням електротехнічних засобів захисту.

При роботі з електричними ланцюгами напругою до 1000 В застосовуються наступні основні захисні засоби:

- 1) діелектричні рукавиці;
- 2) вимірювальні оперативні штанги;
- 3) кліщі електровимірювань;
- 4) покажчики напруги;
- 5) слюсарний - монтажний інструмент.

До додаткових захисних засобів в електроустановках нижче 1000 В відносять галоші, гумові килимки, ізолюючі підставки. Всі електротехнічні захисні засоби періодично проходять перевірку і на них вказується термін безпечного застосування.

4.4.3 Організаційні заходи щодо забезпечення безпеки виробництва

До таких заходів відносять:

- 1) оформлення роботи нарядом або розпорядженням;
- 2) оформлення в наряді допуску до роботи;
- 3) нагляд під час роботи;
- 4) оформлення в наряді закінчення роботи;
- 5) закриття наряду.

Усі технічні заходи виконує допущений до роботи працівник з числа оперативного ремонтного персоналу з кваліфікаційною групою не нижче III з дозволу особи, що віддає розпорядження на здійснення робіт[12–14]. Для запобігання аваріям роботи по терміновому усуненню неполадок виконуються оперативно - ремонтним персоналом без наряду.

4.4.4 Засоби протипожежної безпеки

Пожежі являють собою особливу небезпеку, оскільки зв'язані з великими матеріальними втратами. Пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалення. Горючими компонентами є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів, тощо.

Протипожежний захист - це комплекс організаційних і технічних заходів, направлених на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожежі, обмеження його розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі. Організаційні заходи щодо пожежної профілактики проводять з метою забезпечення правильної експлуатації електроустановки і проведення протипожежного інструктажа серед оперативно - ремонтного персоналу. Для запобігання можливого спалаху в небезпечних зонах вальцетокарної майстерні оболонки електричних апаратів, приладів, шаф, виконані зі ступенем

захисту IP44. Також використовується ряд інших первинних засобів пожежогасіння, таких як пісок, ломи, багри, відра, що знаходяться на пожежних щитах або біля них. Комплектні тиристорні електроприводи серії КТЕУ призначені для роботи в закритих приміщеннях за відсутності безпосередньої дії сонячної радіації, агресивних середовищ, з концентрацією струмопровідного пилу не більш 0.7 мг/м³. Будівля вальцетокарної майстерні більшою мірою забезпечує відносно чисту, суху і ізольовану площу для установки такого роду електроустаткування. Приміщення для постійного перебування обслуговуючого персоналу комфортабельне, з кондиціонуючим повітрям. Це приміщення побудоване з дотриманням будівельних норм і правил СНІП II-12-77 і передбачає захист акустичним методом електроустаткування головного приводу спеціального вальцетокарного верстата моделі ІК 825 Ф2. Прохід між електроприводом та стіною будівлі вальцетокарної майстерні чи агрегатом, що встановлений поруч, складає не менше 0.6 м (оскільки установка має висоту більше 1 м). Для запобігання потраплянню персоналу під механічні частини устаткування верстата, що обертаються, простір навколо верстата захищений металевою сіткою з осередком 25х25 мм. Для створення сприятливого мікроклімату в приміщенні оператора передбачене кондиціонування повітря. Для запобігання виникненню пожежі в приміщенні передбачена електрична пожежна сигналізація, що складається із сповіщаючих датчиків, встановлених в приміщенні вальцетокарної майстерні. Для швидкої ліквідації вогнищ загоряння використовуються вогнегасники типа ОХП-4 і ОУ-2А, які розташовуються в безпосередній близькості від верстата.

4.5 Заходи профілактики виробничих отруєнь

Для профілактики виробничих отруєнь застосовують комплекс технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних заходів.

До технічних заходів відносяться:

- засоби індивідуального захисту органів дихання (протигази, респіратори), спецодяг, спецвзуття, засоби захисту рук (рукавички, напальнички), обличчя, очей (захисні окуляри), шкіри (дерматологічні мазі, миючі речовини);
- вентиляція та кондиціонування виробничих приміщень;
- очистка виробничих викидів;
- заміна токсичних речовин нетоксичними або менш токсичними;
- автоматизація, механізація, дистанційне управління з метою усунення контакту працюючого з токсичними речовинами;
- винесення обладнання на відкрите повітря;
- систематичний контроль вмісту в повітрі токсичних речовин.

До санітарно-гігієнічних заходів відносяться:

- додержання встановленого режиму праці і відпочинку;
- заняття спортом;
- раціональне харчування.

До лікувально-профілактичних заходів відносяться:

- проведення медичних оглядів;
- профілактичне і санаторно-курортне лікування;
- використання санаторіїв-профілакторіїв.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Вступ

Інтенсивний розвиток господарської діяльності людей, деградація природних екосистем, аварії і катастрофи на промислових і оборонних об'єктах згубно відобразилися на стані навколишнього середовища і привели природу до стану кризи, що загрожує екологічною катастрофою. Тому перед людством постала задача раціонального природокористування в поєднанні з ефективним зниженням негативної дії промислового виробництва на навколишнє природне середовище. Поняття навколишнє середовище трактується як сукупність всіх матеріальних тіл, сил і явищ природи, її речовина і простір, будь-яка діяльність людини. Воно включає в себе сукупність об'єктів та умов природи, в яких протікає діяльність якого-небудь суб'єкта. У зв'язку з цим виникає ряд питань, пов'язаних з якісними характеристиками навколишнього середовища і життя людини. Ця область і є предметом екології. Термін «екологія» (із грецької – “коріння”) запропонував в 1866 р. німецький біолог Е. Геккель. Екологія – це наука про взаємовідносини між живими організмами і середовищем їх існування. Сучасна екологія вивчає також взаємодію людини і біосфери, суспільного виробництва з навколишнім природним середовищем і інші проблеми. В даний час екологія є науковою базою для розвитку прикладної екології: охорони навколишнього середовища, захисту біосфери, інженерної екології, промислової екології, екологічної безпеки і інших самостійних підрозділів, що становлять багатопланову дисципліну екології. До цього комплексу відносяться законодавчі, організаційні, санітарно-гігієнічні, інженерно-технічні і інші заходи, що зменшують шкідливу дію результатів діяльності людини на біологічні системи. У нашій країні з метою подолання негативних тенденцій у сфері охорони навколишнього природного середовища,

використання і відтворення природних ресурсів, розвитку мінерально-сировинного комплексу, підвищення ефективності державного управління, вдосконалення системи координації і контролю за діяльністю органів виконавчої влади, підприємств, установ та організацій у цій сфері та відповідно до пункту 15 частини першої статті 106 Конституції України Указом Президента України від 6 березня 2004 року №317/2004 спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань охорони навколишнього природного середовища, екологічної безпеки, заповідної справи, а також гідрометеорологічної діяльності є Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. До складу Міністерства охорони навколишнього природного середовища входять урядові органи державного управління - Державна екологічна інспекція, Державна служба заповідної справи і Державна гідрометеорологічна служба.

Також в Україні створена державна система моніторингу довкілля, що являє собою систему спостереження, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розроблення науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки. Головними пріоритетами функціонування даної системи є захист життєво важливих екологічних інтересів людини і суспільства; збереження природних екосистем, відвернення кризових змін екологічного стану довкілля та запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям. Тож розуміло, що кожен аспект діяльності людини в галузі промисловості повинен відповідати нормативним вимогам безпеки використання та захисту природного середовища, екологічної безпеки, постійного контролю по збереженню ресурсної бази природних комплексів та сприяння їх відновлення.

5.1 Аналіз основних складових забруднення навколишнього середовища, що виникає в процесі виробництва

5.1.1 Вплив штучних електромагнітних полів

Бурхливий розвиток науки і техніки призвів до того, що рівень електромагнітних полів, створених людиною в окремих районах, у сотні разів вище чим середній рівень природних полів. Джерелом виникнення таких полів є розгалуджена система електроенергопостачання, зокрема лінії електропередач.

У діапазоні звукових електромагнітних полів, струми промислової частоти (50 Гц) – це основне джерело електромагнітних хвиль. Виміри напруги поля в районах проходження високовольтних ліній електропередач показали, що під лінією вона може досягати декількох десятків тисяч В/м. Хвилі цього діапазону дуже поглинаються ґрунтом, тому на невеликому віддалені від ліній (50 – 100 м) напруга поля падає до декількох десятків В/м.

Вивчення характеру поширення електромагнітного поля, створюваного ЛЕП 330, 500, 750 кВ, дозволяє зробити висновок, що високовольтні ЛЕП служать лінійним джерелом електромагнітного поля промислової частоти, якому присутня біологічна активність. Його несприятливий вплив на живий організм може проявитися при напрузі електромагнітного поля рівній 1000 В/м. Найбільш чутливою до такого впливу є нервова система біологічних організмів, функціональна зміна якої спричиняє зміну інших систем, зокрема ендокринного апарату, а також порушень обмінних процесів.

Електричне поле промислової частоти небезпечне для навколишнього середовища, тому що характер зміни його у часі має коливальний характер, що згубно діє на процес обміну речовин у клітках рослин і живих організмів.

Установка, що розглядається в проекті, працює від промислової мережі 220/380В частоти 50 Гц. Електромагнітні поля, що наводяться поблизу

функціонування і місця розташування установки, можуть створювати електричні розряди у місцях найбільшого накопичення електромагнітного потенціалу та в місцях виходу струмів розтікання від заземлювачів. Випадкові розряди, що проходять через нейтраль заземлення обмоток двигуна, під час проникнення в шари ґрунту, вбивають найменші живі мікроорганізми та біологічні мікросистеми рослинного світу. Поширення штучних електромагнітних полів у просторі негативно впливає на рослинний світ землі, що може визвати пошкодження кори дерев, висушення трави із-за значного нагрівання атмосферних шарів внаслідок дії напруженості електромагнітних полів.

Таким чином, поширення електромагнітної енергії та її широке застосування в усіх сферах діяльності людини призвело до появи порівняно нового комплексу забруднювачів, що одержали назву "електромагнітного смогу", під яким розуміють сукупність електромагнітних полів і різних випромінювань, що виникають під час роботи електромагнітного устаткування.

Науковцями встановлено, що в даний час на Землі виникли великі електромагнітні "плями", що є наслідками виникнення суперміст, що цілком змінили зовнішній геофізичний вигляд нашої планети.

На значних територіях України напруженість електричних і магнітних полів зростає від двох до п'яти порядків, створюючи тим самим реальну небезпеку для людей, тваринного і рослинного світу.

Взагалі на думку експертів Всесвітньої організації охорони здоров'я сьогодні ступінь електромагнітного забруднення навколишнього середовища виходить на рівень, характерний для нинішнього забруднення її шкідливими хімічними речовинами.

5.1.2 Шумове і вібраційне забруднення при роботі установки

Шум і вібрація - це форми фізичного (хвильового) забруднення природного середовища, адаптація живих організмів до якого практично неможлива. Шумове забруднення – це забруднення, що виникає внаслідок перетворення механічної енергії взаємодіючих між собою організмів в енергію акустичних коливань повітря.

Джерелами шумів є усі види транспорту, промислові об'єкти, телерадіоапаратура, музичні інструменти, юрби людей тощо.

В системі, що є предметом розробки даного проекту, шум виникає від роботи двигунів, від взаємодії зубчастих колес у редукторах, від тертя гальмових колодок об вал двигуна при його зупинці, від тертя в підшипниках виконавчих механізмів, від зіткнення робочого органу з матеріалом, що підлягає обробці, (при входженні різця в метал заготовки або при виході з нього) а також при надмірно великих подачах виконавчого органу.

Вібраційне забруднення – це забруднення, що виникає внаслідок перетворення взаємодіючих між собою механізмів у механічну енергію коливань стін, стель і устаткування, що поруч знаходиться.

Розглянемо вплив шумового і вібраційного забруднення на навколишнє середовище.

Відомо, що елементарною часткою живої матерії є клітка. Усі представники рослинного і живого світу мають клітинну будову. Життєві процеси в клітці здійснюються завдяки складним біохімічним реакціям і супроводжуються нахождением необхідних хімічних речовин у клітці і виведенням продуктів розпаду за межі клітки. Обмін речовин у клітці з зовнішнім середовищем відбувається через цитоплазменну мембрану. Рушійними силами цього процесу є осмотичний тиск – різниця концентрації речовин по різні сторони від мембрани і каліє-натрієвий насос. Принцип роботи каліє-натрієвого насоса базується на різниці електродних потенціалів між

іонами Na і K. Тож зміна фізичних параметрів шумового і вібраційного впливу в часі приводить до порушення стабільної роботи каліє-натрієвого насосу, а отже, до зміни обмінних процесів на клітинному рівні, що приводить до зниження життєдіяльності і загибелі клітки.

Виходячи з усього вище описаного можна зрозуміти, що живі організми і рослинність, що знаходяться в безпосередній близькості від промислового устаткування, піддаються великій небезпеці, яка при тривалому впливі загрожує рослинному і тваринному світу поступовим вимиранням.

Забруднення вібраційним впливом згубно позначається також на стані ґрунту. При тривалих коливаннях земної поверхні спостерігається явище, назване ерозією ґрунту. Ерозія ґрунту являє собою руйнування її цілісності. Якщо вчасно не попередити ерозію, то наслідки її можуть бути просто катастрофічними – аж до глобальної зміни ландшафту місцевості. При руйнуванні цілісності ґрунту виникає загроза виникнення зсувів, розливів рік, зниження родючості землі.

5.1.3 Чинники виникнення хімічного забруднення

Під час промислового виробництва на його проміжних етапах до навколишнього середовища потрапляє чимало найрізноманітніших відходів. Це й оксиди сірки, азоту, вуглецю, і фреони, сульфати, і речовини з поверхнево-активними властивостями.

Усі ці шкідливі речовини, потрапляючи до атмосферного повітря, до водоймищ або до ґрунтів, безперечно забруднюють їх. Тому дуже важливим є здійснення постійного контролю за дотриманням допустимих норм граничних концентрацій шкідливих хімічноактивних речовин в навколишньому середовищі.

Розглянемо граничнодопустимі концентрації шкідливих речовин у майстерні, де експлуатується проектована установка.

Виробничий процес точіння металу пов'язаний з викидом металевої стружки високої температури та наявністю розжареного масла. У зв'язку з цим у робочій зоні механізму будуть присутні наступні шкідливі речовини: мідно-графітний пил, пил оксидів заліза, сірки, вуглецю. Джерелами мідно-графітного пилу є колекторні пластини електричних машин, а пил оксидів сірки, заліза, вуглецю одержується в процесі різання металу у вигляді дрібних частинок. Оксид сірки утворюється в результаті випалювання сірки з металу у процесі різання.

У кабіні оператора присутні такі шкідливі речовини, як оксид вуглецю, оксид сірки, пил оксиду заліза. Вуглекислий газ утворюється в результаті дихання самого оператора, а також в результаті випалювання вуглецю ним металу в процесі різання.

Гранично допустимі концентрації:

- | | |
|--|--------------------------|
| 1) мідно - графітного пилу | 4.0 мг/м ³ ; |
| 2) оксиду заліза (Fe ₂ O ₃) | 6.0 мг/м ³ ; |
| 3) діоксиду вуглецю (CO ₂) | 20.0 мг/м ³ ; |
| 4) оксиду сірки (SO ₃) | 0.5 мг/м ³ . |

Наявність таких речовин в атмосферному повітрі спричиняють його забруднення через присутність як часточок пилу (чи попелу), так і через різноманітні газоподібні речовини. Особливо небезпечним є перевищення допустимої норми концентрації сірчастого газу CO₂.

З погляду впливу хімічного забруднення ґрунтів, наземних та підземних вод слід відзначити, що постійне збільшення обсягів промислового виробництва призводить до скорочення площ ґрунтів, придатних до землеробства. Зрозуміло, що протиріччя між природним середовищем та промисловим виробництвом почалися формуватись ще з самого початку виникнення виробництва, оскільки за своєю суттю воно більш відчужене від природних процесів порівняно з сільським господарством.

Тому постійно спостерігається процес деградації ґрунтів із втратою їхньої основної властивості – родючості. Для ґрунтів є небезпечним накопичення в них металів.

Під час роботи установки можливий викид металевої стружки на землю, а також витік мастильних рідин. Це призводить до забруднення як підземних вод, за рахунок відходів відпрацьованих рідин, та стічних вод, а також - до забруднення ґрунтового шару.

5.2 Заходи щодо запобігання виникненню забруднень

Для захисту від дії електромагнітних випромінювань застосовуються наступні заходи:

- зменшення випромінювання безпосередньо біля джерела (досягається збільшенням відстані між джерелом направленої дії і робочим місцем, зменшенням потужності випромінювання);
- дистанційний контроль і управління передавачами в екранованому приміщенні (для візуального спостереження за передавачами застосовуються оглядові вікна, захищені металевою сіткою);
- екранування джерел випромінювання і робочих місць (застосування заземлених екранів у вигляді листу або сітки з металу, що володіє високою електропровідністю, що відображають, — алюмінію, мідь, латунь) Екранування — найефективніший спосіб захисту.

Електромагнітне поле ослабляється екраном унаслідок створення в товщі його поля протилежного напрямку.;

- організаційні заходи (проведення дозиметричного контролю інтенсивності електромагнітних випромінювань — не рідше одного разу на 6 місяців;

Для зниження шуму при роботі електроприводів існують наступні рекомендації:

- застосування звукопоглинаючих матеріалів;
- винесення особливо гучних виробництв із житлової зони;
- встановлення шумопоглинаючих екранів;
- якісне змащення частин електроустаткування, що рухаються;
- у разі необхідності можлива зміна технології виробництва та динаміки транспортного виробничого процесу;
- насадження зелених смуг.

Для зниження вібраційного забруднення при роботі електроприводів рекомендується проводити наступні заходи:

- застосування віброізолюючих підставок для устаткування;
- застосування пружних опор та основ в місця установки віброактивних частин електрообладнання;
- вібродемпфірування.

Для зменшення впливу хімічного забруднення слід проводити наступні заходи:

- здійснювати постійний контроль за вмістом хімічноактивних речовин у продуктах виробничого процесу;
- обережно поводитися із шкідливими речовинами при обслуговуванні та експлуатації системи;
- застосовувати системи очистки відпрацьованих речовин;
- правильно застосовувати комплекси утилізації відходів.

ВИСНОВОК

Підводячи підсумки виконаного дослідження, можна зробити наступні висновки:

- 1) статизм системи за швидкістю при розімкненому зворотному зв'язку за потужністю, тобто поки потужність не виходить за рівень стабілізації і складає при номінальному навантаженні 1.7 л/с, що складає 2.16% від швидкості холостого ходу, що забезпечується не тільки контурами регулювання струму і швидкості, але і добрими статичними властивостями самого двигуна;
- 2) похибка при стабілізації потужності при найважчому варіанті, коли теоретична потужність різання перевищує на 15% рівень стабілізації потужності (тобто при обробці в'язкого матеріалу з великими подачами) складає 1178 Вт або 1,96% від рівня стабілізації, що цілком можна вважати задовільною роботою системи;
- 3) час перехідного процесу пуску, завдяки застосуванню ПІ-регулятора струму, зменшився в порівнянні з розрахунковим з 2.0с до 0.9с в модельованій системі, тобто даний показник знизився на 55%, що дозволяє зменшити час обробки одного валка;
- 4) перерегулювання за струмом складає при найважчому режимі 5.1%;
- 5) перерегулювання за швидкістю складає при найважчому режимі 4.98%;
- 6) перерегулювання за потужністю складає при найважчому режимі 4.6%.

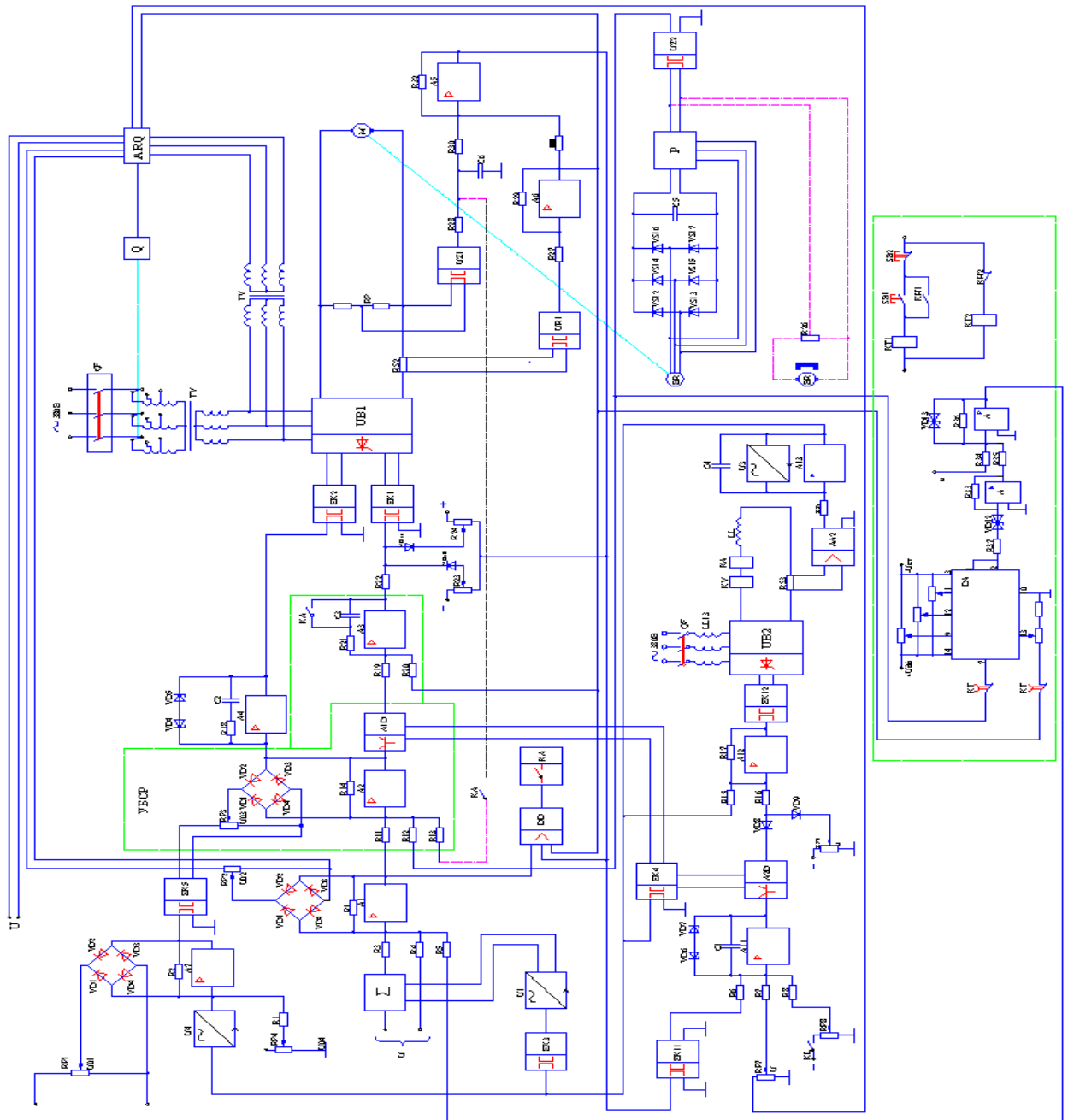
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Довідник технолога машинобудівника. У 2х томах. Видання перераб. і доп. Під ред. А. Р. Косилової. — М.: Машинобудування, 1988г.
2. Комплектні тиристорні електроприводи: Довідник / І. Х. Евзеров, А. З. Горобець, Би. І. Мошковіч і ін. Під ред. В.М. Перельмутера. — М.: Энергоатоміздат, 1998г. — 319с.
3. Фішбейн В.Г. Розрахунок систем підпорядкованого регулювання вентильного електроприводу постійного струму. — М.: Енергія, 1972г. — 134с.
4. Довідник по автоматизованому електроприводу / Під ред. У. А. Елісєєва і А. У. Шинянського. — М.: Энергоатоміздат. 1983г. — 616с.
5. Вибір елементів реверсивних тиристорних перетворювачів електроприводів постійного струму. / В.Т. Пілецький. — ДО.:ІСДО, 1994г.
6. Електроустаткування крана: Довідник / Ю. У. Алексєєв, А. П. Богословський, Е. М. Певзнер і др.; Під ред. А. А. Рабіновича. — М.: Енергія, 1979г. — 240 с.
7. Соколов Н.Г. Основи конструювання електроприводів. — М.: Енергія, 1971г. — 256 с.
8. Башарін Н.К., Новіков В.А., Соколовський Г.Г. Управління електроприводами: Навчальний посібник для вузів. — Л.: Енергоіздат, 1982г. — 392с.
8. Шапарев Н.К. Розрахунок автоматизованих електроприводів систем управління металообробкою: Навчань. допомога. — 2е видавництво, перераб. і доп. — ДО.: Либідь, 1992г. — 272с.
10. Капунцов Ю.Д., Елісєєв В.А., Ільяшенко А.А. Електроустаткування і електропривод промислових установок: Підручник для вузів / Під ред. проф. М. М. Соколова. — М.: Висш. школа, 1979г. — 359с.

- 11.Сандлер А.С. Електропривод і автоматизація металорізальних верстатів. Навчань. допомога для вузів. — М.: Висш. школа, 1972г. — 440с.
- 12.Долін П.А. Основи техніки безпеки в електроустановках: Навчань. допомога для вузів. — М.: Энергия, 1979г. — 408с.
- 13.Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів.
- 14.Технологічна інструкція напівбезперервного стану 600. — Алчевськ, 1980 р.
- 15.Керівництво по експлуатації. Верстат токарний калібрувальний спеціальний. Модель ІК 825 Ф2. — Краматорськ, 1986г.
16. Шарейко Д. Ю., Зозулін В.В. Шляхи удосконалення комплектних електроприводів / Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XVI Міжнародна науково-технічна конференція : матеріали. – Миколаїв : НУК, 2025. – С. 540-543.
17. Шарейко Д. Ю., Ячменьов Р. М. Розрахунок системи з лінійним і нелінійним коригувальним пристроєм / Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XVI Міжнародна науково-технічна конференція : матеріали. – Миколаїв : НУК, 2025. – С. 543-547.

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація



Принципова схема електропривода головного руху токарного верстата

Рисунок А.1 – Слайд 1 мультимедійної презентації

Розрахункова структурна схема математичної моделі системи

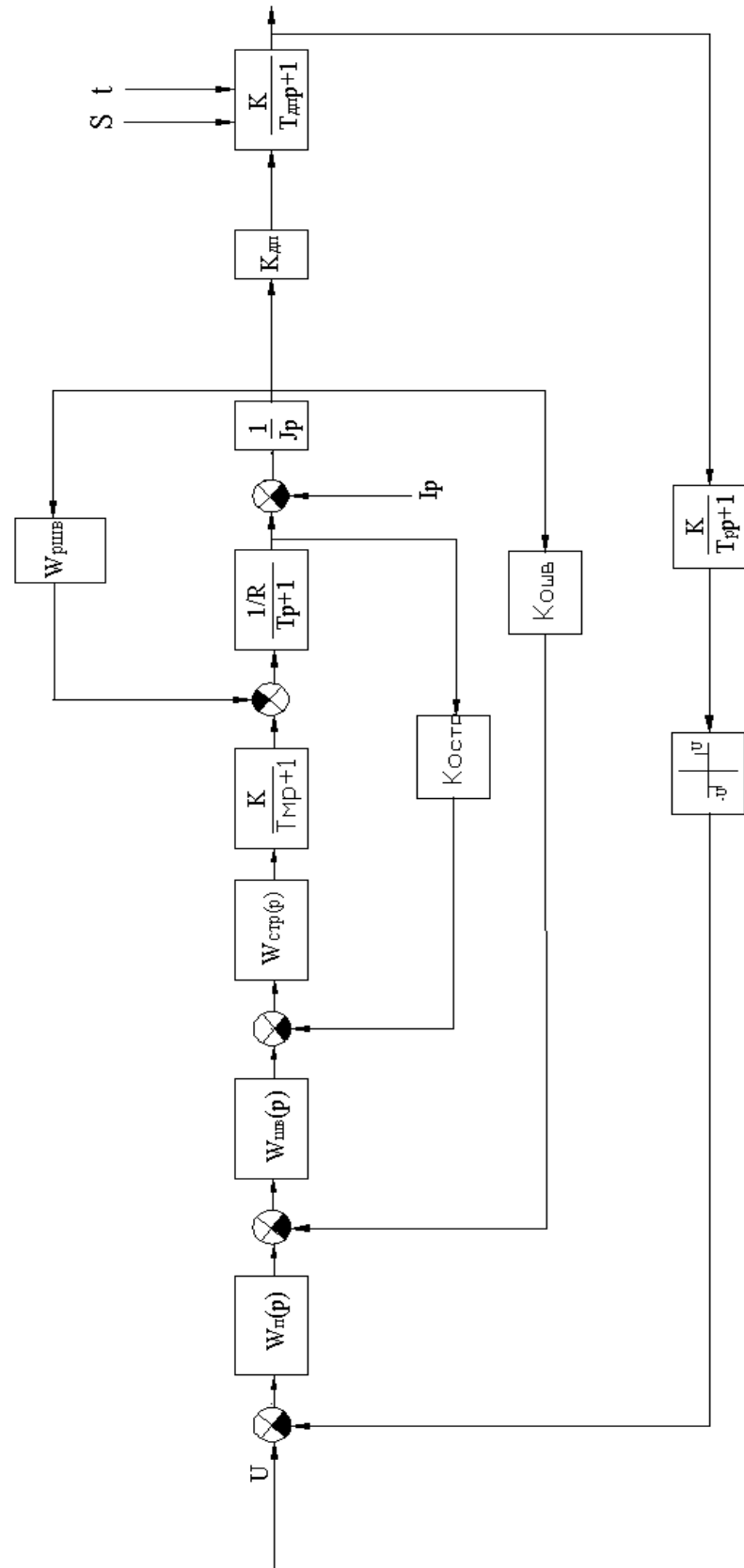


Рисунок А.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

Структурна схема контура струму

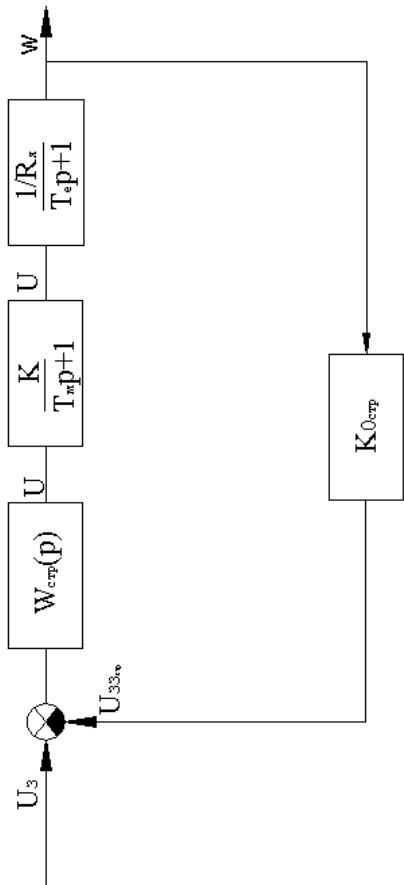
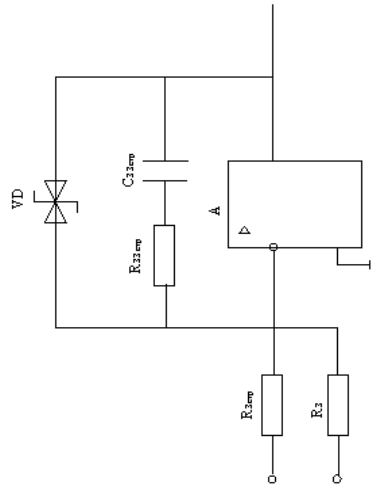


Схема реалізації регулятора струму



Структурна схема регулятора струму

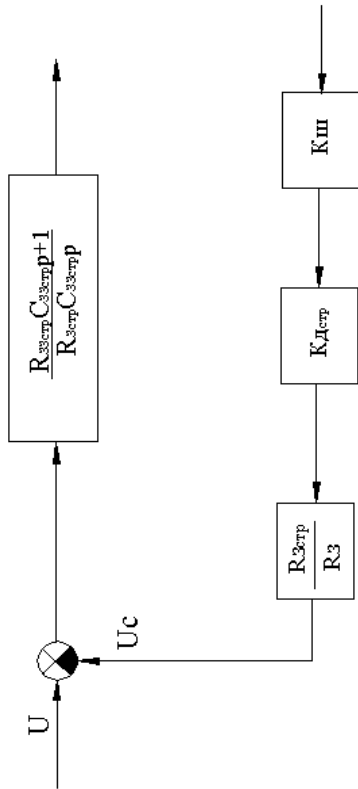


Рисунок А.3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

Структурна схема контура швидкості

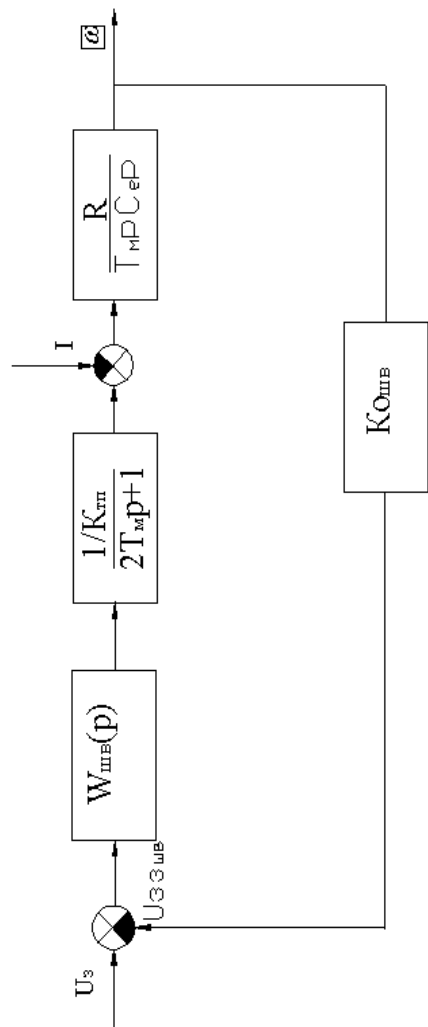
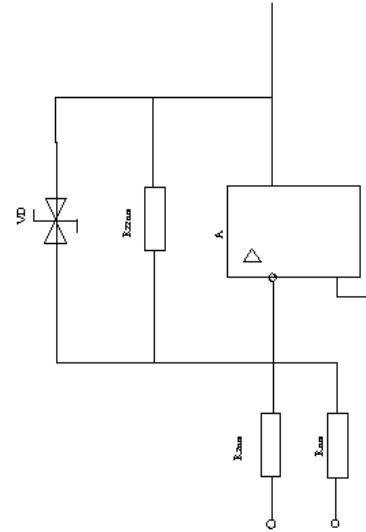


Схема реалізації регулятора швидкості



Структурна схема регулятора швидкості

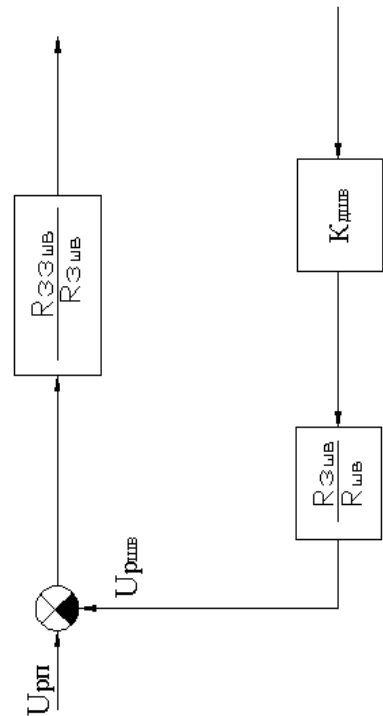


Рисунок А.4 – Слайд 4 мультимедійної презентації

Структурна схема контура потужності

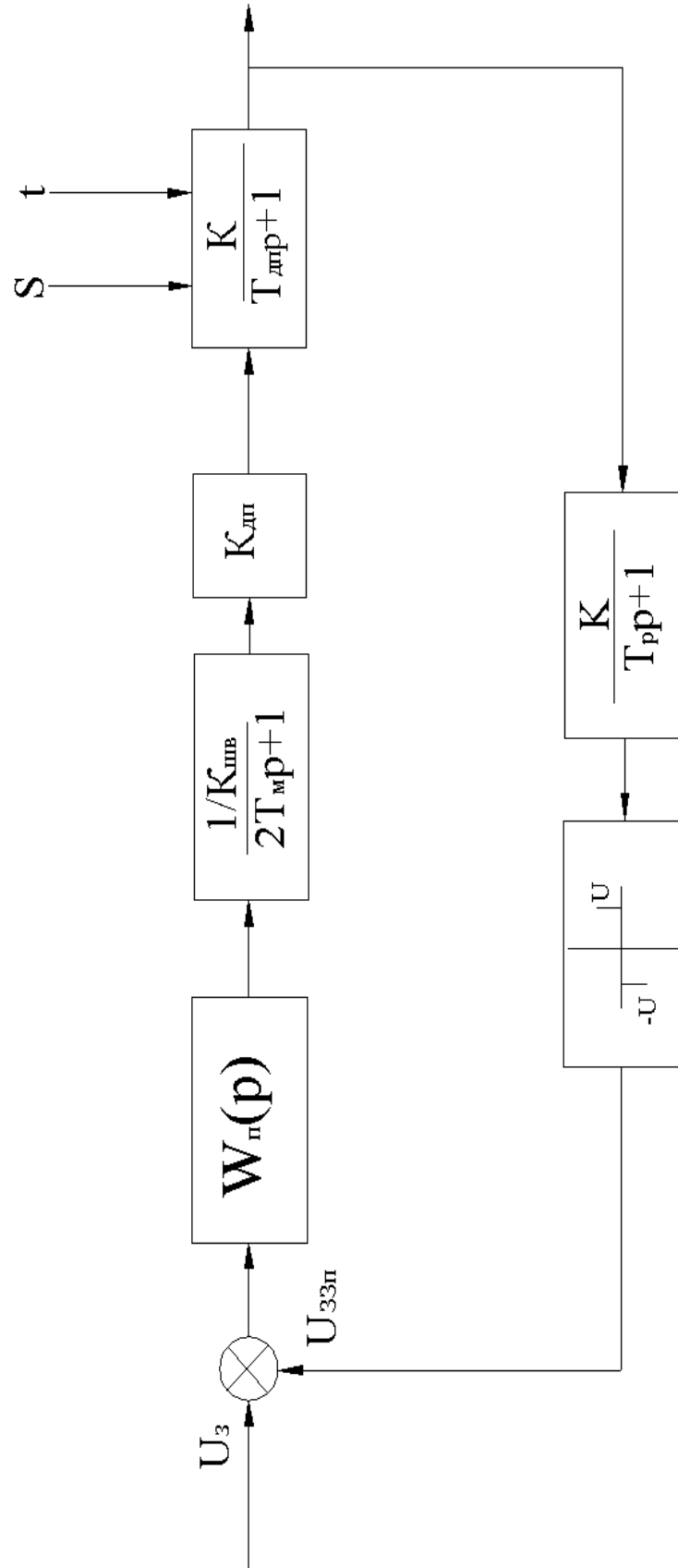
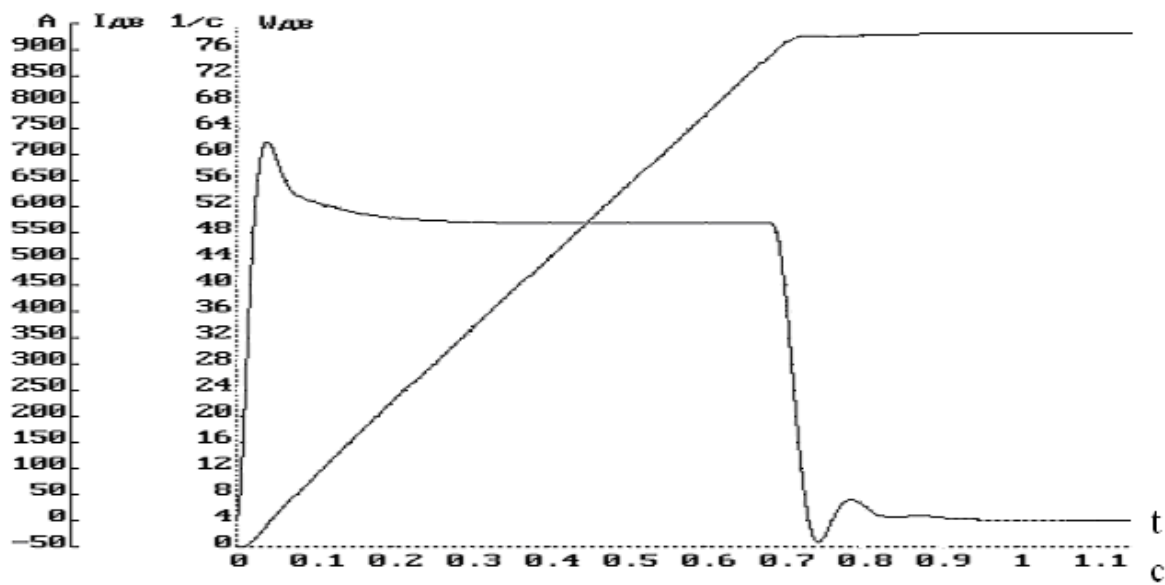


Рисунок А.5 – Слайд 5 мультимедійної презентації

Перехідний процес пуску електродвигуна на холлостом ходу



Перехідний процес стабілізації потужності при навантаженні

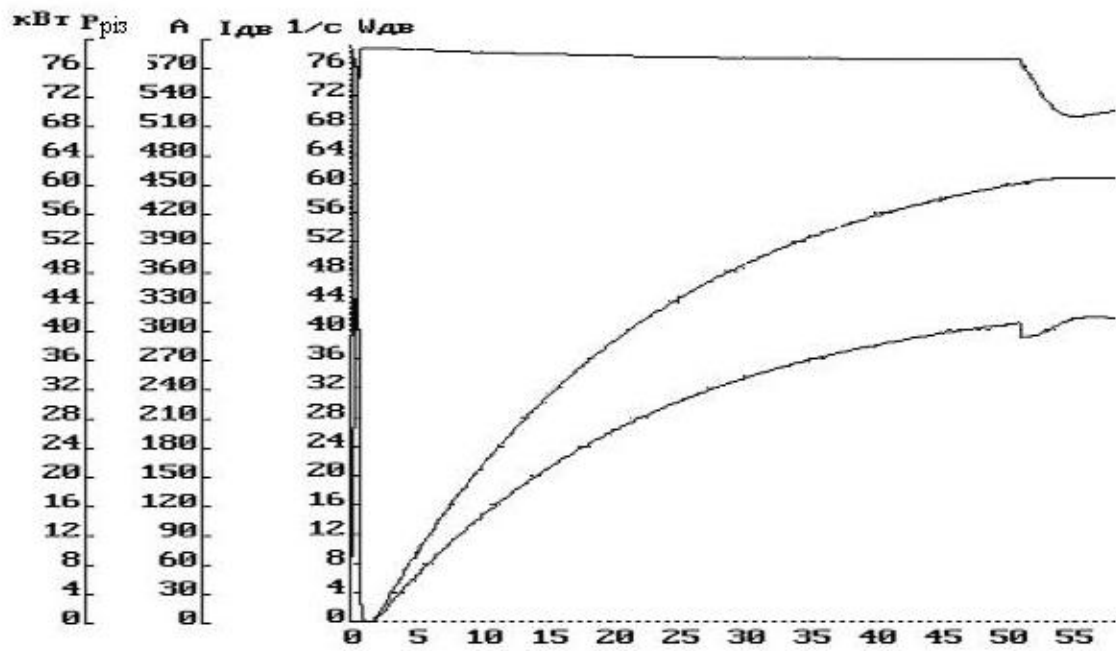


Рисунок А.6 – Слайд 6 мультимедійної презентації