

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
НТУ "Дніпровська політехніка"

Електротехнічний
(факультет)

Кафедра Електропривода
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
дипломного проекту (роботи)
бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань 0507електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва галузі знань)

напрямок підготовки 6.05070204 «Електромеханіка»
(код і назва напряму підготовки)

освітній рівень бакалавр
(назва освітнього рівня)

кваліфікація фахівець у галузі електромеханіки
(код і назва кваліфікації)

на тему «*Електрообладнання поздовжньо-стругального верстату з детальною розробкою електропривода переміщення столу*»

Виконавець:

студент 4 курсу, групи ЕМ-14-1

(підпис)

Шикута С.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту розділів	.		
Технологічна частина	<i>Казачковський М.М.</i>		
Автоматизований електропривод	<i>Казачковський М.М.</i>		
Техніко-економічне обґрунтування	<i>Тимошенко Л.В.</i>		
Охорона праці	<i>Голінько В.І.</i>		
Рецензент			
Нормоконтроль	<i>Казачковський М.М.</i>		

Дніпро
2018

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
НТУ «Дніпровська політехніка»

ЗАТВЕРДЖЕНО:

Завідувач кафедри

електроприводу

(повна назва)

Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« 29 » 01 2018 року

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект

бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

студенту ЕМ-14-1 Шикуті С.Ю.

(група)

(прізвище та ініціали)

Тема дипломного проекту «Електрообладнання поздовжньо-стругального верстату з детальною розробкою електропривода переміщення столу»

затверджена наказом ректора ДВНЗ НТУ "Дніпровська політехніка" від

07.05.2018 № 568-л

Розділ	Зміст	Термін виконання
Технологічна частина	<i>Приведена коротка загальна характеристика поздовжньо-стругального верстату</i>	15.05.2018
Автоматизований електропривод	<i>Розробкою електропривода переміщення столу поздовжньо-стругального верстату</i>	30.05.2018
Техніко-економічне обґрунтування	<i>Розрахунок основних техніко-економічних показників впровадження дипломного проекту.</i>	05.06.2018
Охорона праці	<i>Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, заходи щодо їх усунення та розрахунок системи заземлення.</i>	06.06.2018

Завдання видав

(підпис)

Казачковський М.М.

(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Шикута С.Ю.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 29.01.2018

Термін подання дипломного проекту до ДЕК 22.06.2018

РЕФЕРАТ

Дипломний проект на тему «Електрообладнання поздовжньо-стругального верстату з детальною розробкою електропривода переміщення столу».

Даний дипломний проект має 4 листа графічної частини формату А1. Вона містить лист №1 – загальний вигляд поздовжньо-стругального верстата; №2 – схема електрично-принципова поздовжньо-стругального верстата; №3 – схема електрично-принципова транзисторного перетворювач “Danfoss” VLT-5052; №4 – тривимірні графіки залежностей даних коефіцієнтів від різних напруг та частот.

До графічної частини додається пояснювальна записка, яка складається з 4 розділів. Вона містить коротку загальну характеристику поздовжньо-стругального верстату; опис технологічного процесу обробки деталі на поздовжньо-стругальному верстаті, принцип роботи та особливості конструкції верстата, визначення затрат на модернізацію системи керування електроприводом головного руху поздовжньо-стругального верстата, визначення поточних річних затрат в процесі експлуатації верстата, а також розділи з охорони праці та економічної частини.

Результатом дипломного проекту є висновки та пропозиції, наведені в кінці пояснювальної записки. В цілому пояснювальна записка містить ___ аркушів друкованого тексту.

Вступ

Сучасний металоріжучий верстат обладнаний складною системою автоматизованого електроприводу, що включає в себе багато електричних машин, як генератори, так і двигуни, різні підсилюючі та перетворюючі устрої, багаточисленну апаратуру.

В сучасних важких та унікальних верстатах число електричних машин досягає декількох десятків. Такі верстати – це високо розвинуті машини, що включають у себе велику кількість механізмів й використовують механічні, електричні, електронні, гідравлічні, пневматичні й інші методи здійснення рухів й керування циклом.

Велике поширення отримали верстати із програмним керуванням, у тому числі багатоцільові, що забезпечують високу мобільність виробництва, точність й продуктивність обробки. Автоматика все ширше застосовується не лише для підвищення продуктивності процесу обробки, але й для отримання його високих якісних показників.

Швидкий розвиток техніки викликало появу досить складних й різних систем комплексної автоматизації у верстатобудуванні, таких, як системи слідкуючого електропривода, програмні, самоналагоджувальні системи та ін.

Пошук доцільних рішень являє собою нелегку технічну й економічну задачу. Найбільш складною ця задача стає при виборі систем електропривода й способу регулювання швидкості механізму верстата. Виникає необхідність технічних й економічних розрахунків систем автоматизованого електропривода.

Бурний технічний прогрес останніх років дає можливість сучасним електричним системам задовольняти майже будь-яким технічним вимогам. Нові безконтактні елементи, також як і магнітні й напівпровідникові підсилювачі, тверді некеровані й керовані вентилі й інші елементи автоматики, дозволяють створювати достатньо надійні системи комплексної автоматизації.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Електрообладнання поздовжньо-стругального верстату з детальною розробкою електропривода переміщення столу	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Шикуга С.					4	1
<i>Перевір.</i>		Казачковський						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н.Контр.</i>		Казачковський						
<i>Затверд.</i>								
						НТУ «ДП» гр..ЕМ-14-1		

Зміст

1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічного процесу обробки деталі на поздовжньо-стругальному верстаті	8
1.2 Опис поздовжньо-стругального верстата моделі 7A210	10
1.3 Технічні вимоги до автоматизації процесу обробки деталі на поздовжньо-стругальному верстаті	14
2 Автоматизований електропривод	16
2.1 Розрахунок механічної частини електропривода головного руху верстата	17
2.2 Визначення передавальної функції асинхронного двигуна при частотному керуванні	26
2.3 Розробка системи автоматичного керування електроприводом головного руху верстата	47
3 Техніко-економічне обґрунтування	55
3.1 Обґрунтування модернізації системи керування	56
3.2 Визначення затрат на модернізацію системи керування електроприводом головного руху поздовжньо-стругального верстата	59
3.3 Розрахунок річного фонду часу роботи поздовжньо-стругального верстата	60
3.4 Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності	60
3.5 Визначення поточних річних затрат в процесі експлуатації верстата	64
3.6 Розрахунок вартості машино-години роботи системи автоматичного керування	65

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електрообладнання поздовжньо-стругального верстату з детальною розробкою електропривода переміщення столу	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Шикута С.						
Перевір.		Казачковський					5	2
Реценз.						НТУ «ДП» гр..ЕМ-14-1		
Н.Контр.		Казачковський						
Затверд.								

3.7 Розрахунок вартості технологічної операції для одиниці продукції	65
3.8 Визначення економічного ефекту від проведення модернізації	67
4 Охорона праці	68
4.1 Організація безпечних умов праці	71
4.2 Розрахунок захисного заземлення	76
4.3 Розрахунок занулення	81
4.4 Технічні вказівки із забезпечення безпеки при обслуговуванні та ремонті електрообладнання верстата	81
Висновки	85
Література	87
Додатки	

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1 Технологічна частина

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Електрообладнання поздовжньо-стругального верстату з детальною розробкою електропривода переміщення столу	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Розроб.</i>	Шикуга С.						7	8
<i>Перевір.</i>	Казачковський							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н.Контр.</i>	Казачковський							
<i>Затверд.</i>						НТУ «ДП» гр..ЕМ-14-1		

1.1 Опис технологічного процесу обробки деталі на поздовжньо-стругальному верстаті

Стругальні верстати призначені для обробки різцями площин та фасонних лінійчатих поверхонь. Вони поділяються на поперечно-стругальні, поздовжньо-стругальні та довбіжні [1]. Перші застосовуються при виготовленні мілких та середніх за розмірами деталей, другі для порівняно великих або для одночасного стругання декількох деталей середнього розміру. Верстати мають робочий хід, під час якого відбувається різання, та зворотний хід, коли інструмент повертається у вихідне положення.

У звичайних конструкціях поздовжньо-стругальних верстатів деталь встановлюють на столі, що має зворотно-поступальний рух, а супорти із різцями закріплюють на нерухомих стійках. При такій конструкції довжина стругання не впливає на величину й характер зусиль, що виникають у супортах та стійках верстата. Оскільки супорти мають лише рух подачі, зручно обробляти деталь одночасно декількома інструментами, що дуже важливо для обробки крупногабаритних деталей. Таким чином, дана компоновка верстата більш підходить для обробки деталей великих розмірів [2].

Верстати універсальні поздовжньо-стругальні моделі 7A210 призначені для обробки методом стругання різних поверхонь із прямолінійчастими утворюючими на крупногабаритних виробх індивідуального, мілкосерійного й серійного виробництва у металообробній промисловості. На верстатах цієї моделі можуть бути оброблені горизонтальні, вертикальні й похилі площини, а також поздовжні пази різного профілю із чорних та кольорових металів або деяких видів пластмас. Верстати також можуть бути використані для відділочної обробки поверхонь виробів [3].

З точки зору технологічної та економічної ефективності першочергове значення має призначення раціонального режиму різання при роботі на поздовжньо-стругальному верстаті. Раціональний режим полягає у виборі

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

найбільш вигідного сполучення глибини різання, подачі й швидкості різання (числа подвійних ходів за хвилину), що забезпечує для даних організаційно-технічних виробничих умов найбільшу продуктивність праці й найменшу вартість операції.

При заданому верстаті, інструменті й технічних умовах на обробку призначення режиму різання проводиться у такій послідовності: [4]

Призначається глибина різання й число проходів.

Призначається подача, яка перевіряється на міцність державки різця й міцність пластинки твердого сплаву.

Визначається швидкість різання, що допустима заданим періодом стійкості ріжучого інструмента, тяглова сила й потужність, які потрібні для різання.

Вибраний режим різання коректується за паспортними даними верстата.

Глибина різання й число проходів визначаються припуском на обробку й потужністю верстата. При чорновому струганні слід намагатися, щоб зняти увесь припуск на обробку за один прохід. Поділ припуску на чорнову й напівчистову обробку доцільно проводити із таким розрахунком, щоб число проходів було мінімальним. При струганні під наступне шліфування й для досягнення напівчистових поверхонь глибину різання слід встановлювати не більш як 3 мм. При струганні широким різцем у залежності від його ширини глибина різання приймається 0,2 – 0,5 мм [4].

Чим більше величина подачі, тим більш продуктивно працює верстат. Факторами, що обмежують величину подачі, є чистота поверхні, що оброблюється, потужність й тяглова сила верстата, а також міцність державки різця й ріжучої частини різця.

Після вибору глибини різання й подачі призначають швидкість різання, силу різання й потрібну для цього потужність [4].

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1.2 Опис поздовжньо-стругального верстата моделі 7A210

1.2.1 Принцип роботи та особливості конструкції верстата

Виріб, що оброблюється на верстаті, встановлюється й кріпиться на столі, що має повздовжнє переміщення за напрямними станини. Цикли зворотно-поступального руху столу із періодичною подачею супортів на початку робочого ходу, відводом ріжучого інструменту у кінці робочого ходу й поверненням ріжучого інструменту в робоче положення на початку робочого ходу столу здійснюється у автоматичному режимі. Рух столу у напрямку порталу верстата – робочий хід. Рух столу в протилежному напрямку – зворотний хід [3].

Для попередження сходу столу зі станини (у випадку виходу рейки привода столу із зачеплення з рейковою шестернею в результаті відмов у роботі механізму реверса й кінцевих вимикачів аварійної зупинки столу) на кінцях станини встановлені блоки різців, а до столу прикріплені упори. Гальмування столу у цьому аварійному випадку досягається за рахунок різання планки під дією одного із цих упорів [3].

Вибором відповідного виду різців, кута їх встановлення, а також напрямку подачі супорта або його повзуна на виробі можна обробити: горизонтальні, вертикальні, й похилі плоскі поверхні, різні повздовжні пази на цих поверхнях, а також фасонні поверхні із прямолінійною повздовжньою утворюючою.

Привод столу здійснюється від асинхронного електродвигуна із короткозамкненим ротором через дводіпазонну коробку швидкостей. Рух столу забезпечує плавне врізання різця у виріб на початку робочого ходу й уповільнений вихід його із виробу у кінці робочого ходу. Швидкість зворотного ходу столу регулюється незалежно від швидкості робочого ходу.

Механізми подачі забезпечують широкий діапазон періодичних подач супортів, а також незалежні установочні переміщення кожного із супортів. Вибір напрямку руху кожного супорта однорукояточний.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Керування основними рухами верстата здійснюється із підвісного пульта. Кінематична схема та загальний вигляд верстата зображені на рисунку 1.2 та 1.2.

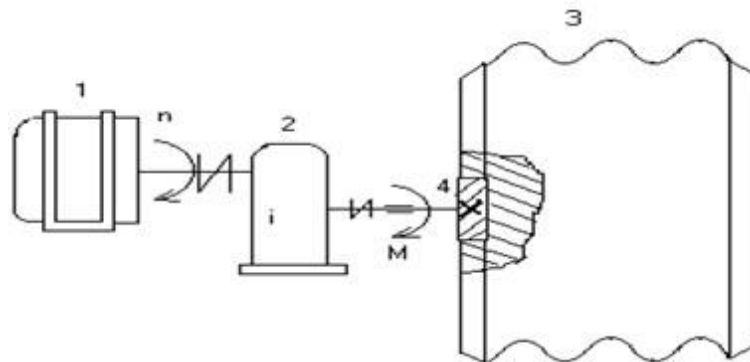


Рисунок 1.1- Кінематична схема поздовжньо-стругального верстата
1-електродвигун, 2-редуктор, 3-стіл, 4-ходова шестерня.

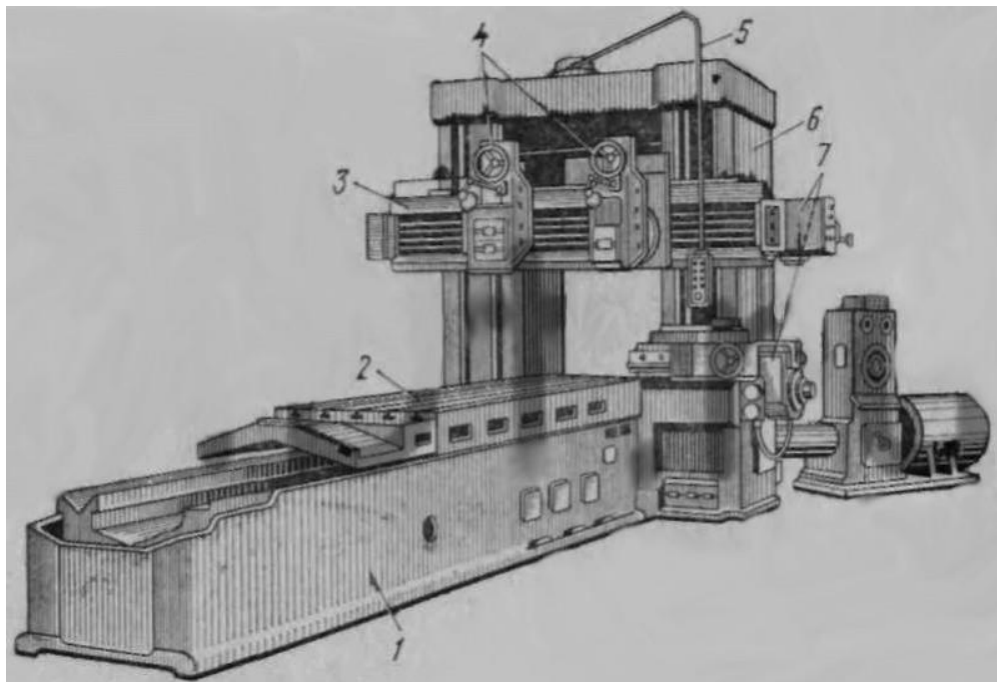


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд поздовжньо-стругального верстата

Основними вузлами поздовжньо-стругального верстата є: станина 1 (рисунок 1.2), стіл 2, траверса (поперечина) 3, вертикальні супорти 4, портал 5, коробка подач 7 вертикальних і бічного супортів, бічна стійка.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Технічні характеристики поздовжньо-стругального верстата 7A210 [3]:

Граничні розміри зовнішньої поверхні, що обробляється, найбільші, мм:

1. ширина 1000, висота 900
2. Найбільша маса заготовки, що обробляється, кг: 4500
3. Відстань між стійками, мм: 1100
4. Найбільше переміщення столу, мм: 3200
5. Кількість супортів на поперечині, шт: 2
6. Кількість бокових супортів, шт: 1
7. Граничні швидкості робочого та зворотного ходу столу, м/хв:
I діапазон: 3,2...80
II діапазон: 2...50

1.2.2 Електрообладнання верстата

Живлення електрообладнання верстата здійснюється від мережі трифазного змінного струму. Напряга ланцюгів керування – 220 В постійного струму й 110 В змінного струму, напруга місцевого освітлення – 24 В змінного струму. Керування електрообладнанням верстата – дистанційне. Електрична апаратура керування розміщена у підвісному пульті й станції керування [5].

При ввімкненні ввідного автоматичного вимикача F1 подається живлення на все електрообладнання верстата. Одночасно на дверці шафи керування запалюється сигнальна лампа Н1 “Верстат під напругою”. Ввідний вимикач має дистанційний розчіплювач, який використовується для аварійного відключення верстата кнопкою S11, що встановлена на підвісному пульті керування.

Також має місце дверне блокування, що здійснюється перемикачем S18 й кінцевими вимикачами дверцят шафи комплектного пристрою S12...S17. При положенні S18 “наладка” (1) хоча б одна із дверцят повинна бути відкрита, інакше подається напруга на котушку розчеплювача ввідного автомата F1. При положенні S18 “робота” (0) усі дверцята повинні бути зачинені [5].

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

У старій конструкції верстата привод столу здійснювався двигуном постійного струму. Електропривод столу виконаний на базі реверсивного тиристорного перетворювача із зворотним зв'язком за швидкістю. Частота обертання двигуна регулювалась зміною напруги, що підводилась до якоря від тиристорного перетворювача. На вхід пристрою повздовжніх переміщень (фазовий дискримінатор) надходив сигнал із сельсина-задатчика В1 (В3) та з сельсина-датчика В2. Вихідний сигнал із фазового дискримінатора, пропорційний різності фаз сельсинів В1 (В3) та В2, надходив на формувач параболічного закону, вихідний сигнал якого порівнювався із сигналом задатчика швидкості R1V (R2V), й менший з них вважався керуючим для тиристорного перетворювача [5].

Основним недоліком електроприводу старої конструкції було використання двигуна постійного струму, який має низькі експлуатаційні показники.

Після модернізації привід переміщення столу здійснюється від асинхронного двигуна із короткозамкненим ротором М1. Регулювання частоти обертання електродвигуна відбувається за рахунок зміни частоти та напруги, що надходить до двигуна від перетворювача частоти. Робота верстата можлива у двох режимах: установочному та автоматичному.

В установочному режимі пуск столу здійснюється кнопками S2 “Назад” та S1 “Вперед”. Обмеження ходу столу здійснюють кінцеві вимикачі S6 та S7. Швидкість руху столу стала й дорівнює приблизно 4 або 6,3 м/хв, в залежності від ввімкненого діапазону коробки швидкостей.

В автоматичному режимі стіл здійснює зворотно-поступальні рухи. Точки реверса столу задаються сельсинами В1 та В3 із пульта керування. Інформація про положення столу надходить із сельсина-датчика В2. Сельсини В1, В2 та В3 ввімкнені у режимі фазообертача, тобто фаза вихідного сигнала кожного сельсина залежить від кута повороту його ротора.

Резистором R8 виставляється величина максимальної швидкості столу, а резисторами R12 та R13 – мінімальна швидкість “Вперед” та “Назад” відповідно. Резистором R3V визначається потрібна інтенсивність гальмування.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конденсатори С1...С3 покращують форму вихідної напруги сельсинів [5].

Електродвигун приводу столу М1 захищається від неприпустимих скачків струмів й коротких замикань за допомогою реле максимального струму К18F та автоматичного вимикача F1.

Електродвигуни змінного струму, що працюють у тривалому режимі, захищаються автоматом F5 й тепловими реле, а двигуни, що працюють у короткочасному режимі, захищаються від коротких замикань за допомогою автоматичного вимикача F5. Захист трансформаторів й ланцюгів керування здійснюється за допомогою автоматичних вимикачів та запобіжників.

1.3 Технічні вимоги до автоматизації процесу обробки деталі на поздовжньо-стругальному верстаті

З точки зору автоматизації процесу обробки деталі на вказаному типі верстата основними вимогами до технологічного процесу є отримання заданої шорсткості поверхні [2]. Цю задачу вирішує система автоматизації верстата. Діапазон регулювання головних приводів поздовжньо-стругальних верстатів, як приводів, що здійснюють зворотно-поступальний рух є порівняно невеликим, а саме (10-30):1. У нашому випадку має місце діапазон 25:1.

Параметрична схема обробки заготовки, яка отримується на основі досвіду експлуатації, представлена на рисунку 1.3 [2].

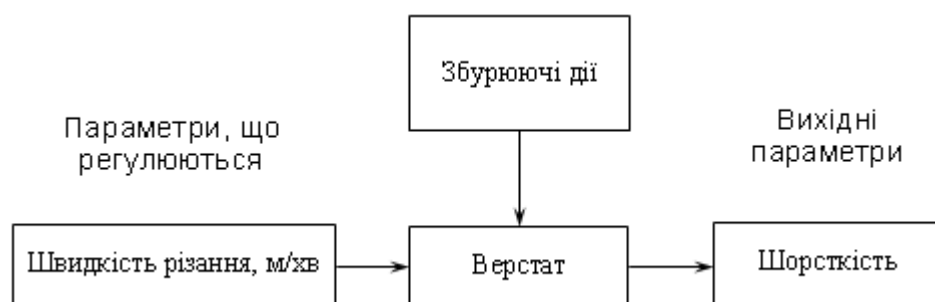


Рисунок 1.3 - Параметрична схема обробки деталі

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Висновки: У даному проекті розглядається модернізація головного (електропривода верстата. З точки зору технології електропривод верстата повинен забезпечувати:

Плавне регулювання швидкості обертання валу двигуна у діапазоні 60÷1500 об/хв;

Підтримання заданої швидкості обертання валу з точністю $\pm 0,1$ об/хв.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2 Автоматизований електропривод

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	Шикута С.				Електрообладнання поздовжньо-стругального верстату з детальною розробкою електропривода переміщення столу	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Переєір.</i>	Казачковський						16	
<i>Реценз.</i>						НТУ «ДП» гр..ЕМ-14-1		
<i>Н.Контр.</i>	Казачковський							
<i>Затверд.</i>								

2.1 Розрахунок механічної частини електропривода головного руху верстата

2.1.1 Розрахунок кінематичної схеми

Як вказувалося раніше, привод головного руху верстата здійснюється від асинхронного електродвигуна із короткозамкненим ротором через дводіапазонну коробку швидкостей. Регулювання швидкості валу електродвигуна – безступінчасте, що дозволяє встановити будь-яку швидкість у вибраному діапазоні. Коробка швидкостей складається із трьох валів – вхідного, проміжного та вихідного. Вхідний вал механічно з'єднаний із валом електродвигуна, а на вихідному валу знаходиться зубчасте колесо із косими зубцями, що приводить у рух рейку столу верстата.

Передавальні числа між вхідним та проміжним валами у різних діапазонах становлять: у першому діапазоні, що забезпечує більшу швидкість, але менше

зусилля – $\frac{25}{55}$, у другому діапазоні, що забезпечує меншу швидкість, але більше

зусилля – $\frac{18}{62}$. Передавальне число між проміжним та вихідним валами в обох

діапазонах однакове і становить $\frac{18}{57}$. Для того, щоб розрахувати лінійну швидкість рейки столу потрібно швидкість вихідного валу помножити на передавальне число, яке дорівнює 0,377 [3].

Отже, проведемо розрахунки швидкостей валів коробки та лінійної швидкості столу. Перший діапазон.

Максимальна швидкість вихідного валу [6]

$$n_{вих.max} = n_{ex.max} \cdot i_I \cdot i_{II} \quad (2.1)$$

де $n_{вх}$ – максимальна швидкість вхідного валу (швидкість вала електродвигуна),

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

i_I – передавальне число між першим та проміжним валом,
 i_{II} – передавальне число між проміжним та вихідним валом.

$$n_{вих. max} = 1500 \cdot \frac{25}{55} \cdot \frac{18}{57} \approx 216 \quad \text{об/хв}$$

Аналогічно розраховуємо мінімальну швидкість вихідного валу

$$n_{вих. min} = n_{вх. min} \cdot i_I \cdot i_{II} = 60 \cdot \frac{25}{55} \cdot \frac{18}{57} \approx 8,6 \quad \text{об/хв}$$

Другий діапазон.

За формулою (2.1) розраховуємо максимальну швидкість вихідного валу

$$n_{вих. max} = 1500 \cdot \frac{18}{62} \cdot \frac{18}{57} \approx 138 \quad \text{об/хв}$$

Аналогічно розраховуємо мінімальну швидкість вихідного валу

$$n_{вих. min} = 60 \cdot \frac{18}{62} \cdot \frac{18}{57} \approx 5,5 \quad \text{об/хв}$$

Тепер можна розрахувати лінійну швидкість руху столу.

Загальна формула [6]

$$v = i_{лін} \cdot n_{вих} \quad (2.2)$$

де $i_{лін}$ – передавальне число між вихідним валом коробки швидкостей та рейкою столу верстата.

Перший діапазон.

$$v_{max} = 0,377 \cdot 216 = 81 \quad \text{м/хв}$$

$$v_{min} = 0,377 \cdot 8,6 = 3,2 \quad \text{м/хв}$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Другий діапазон.

$$v_{\max} = 0,377 \cdot 138 = 52 \text{ М/ХВ}$$

$$v_{\min} = 0,377 \cdot 5,5 = 2 \text{ М/ХВ}$$

Зобразимо розраховані швидкості графічно на рисунку 2.1.1.

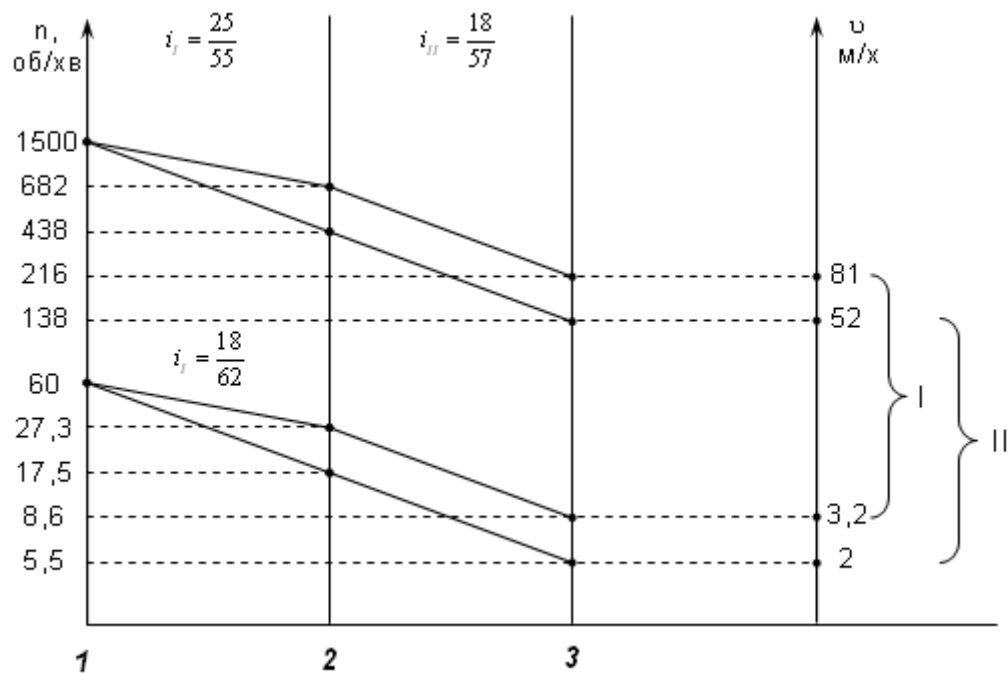


Рисунок 2.1. Залежності швидкостей лінійного руху столу від частоти обертання валу електродвигуна при різних діапазонах коробки швидкостей

Для подальшого вибору електродвигуна головного привода нам необхідно розрахувати значення найбільшого допустимого моменту, яке повинен розвивати цей двигун. Для цього слід користуватись формулою [4]

$$Q'_T \leq Q_T \quad (2.3)$$

де Q_T – значення найбільшого допустимого зусилля на рейці столу;

Q'_T – значення потрібного тяглового зусилля для обробки виробів, що розраховується за формулою [4]

$$Q'_T = K \cdot F_x + Q_{xx} \quad (2.4)$$

де F_x – значення розрахованої повздовжньої складової зусилля різання за нормативами режимів різання, що вибираються, сумарне у випадку застосування двох або більше різців;

K – коефіцієнт, який враховує опір різання від дії бокової та вертикальної складових зусилля різання;

Q_{xx} – значення тяглого зусилля, що витрачається на подолання сил тертя у напрямлюючих станини від дії маси столу ($G_{ст}$) та виробу ($G_{вир}$)

$$Q_{xx} = \mu \cdot (G_{ст} + G_{вир}) \quad (2.5)$$

де μ – коефіцієнт опору напрямних станини: $\mu \approx 0,15...0,18$ – середнє значення із врахуванням граничного тертя у парі “текстоліт – чавун” та V-подібної форми напрямної у період їх початкової експлуатації.

Таким чином, формула (2.3) запишеться у вигляді

$$Q'_T = K \cdot F_x + \mu \cdot (G_{ст} + G_{вир}) \leq Q_T \quad (2.6)$$

Проведемо конкретні розрахунки для найбільш важкого режиму різання:

виріб, що оброблюється – сталний прокат із часовим опором $\sigma_v = 65$ кгс/мм²;

маса виробу – 4500 кг;

маса столу – 3520 кг;

різці із швидкоріжучої сталі з $\varphi = 450$ та $\varphi_1 = 150$;

період стійкості різців, $T = 120$ хв;

глибина різання, $t = 20$ мм;

подача, $S = 0,5$ мм за подвійний хід столу;

обробку проводимо одночасно двома різцями.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Швидкість різання при обробці площин розраховується за формулою [4]

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}}, \text{ [м/хв]} \quad (2.7)$$

Значення коефіцієнтів C_v , x_v , y_v , та m беремо із довідника [4]. Для нашого випадку вони дорівнюють: $C_v = 61,1$; $x_v = 0,25$; $y_v = 0,66$; $m = 0,12$.

Отже, значення швидкості дорівнює

$$v = \frac{61,1}{120^{0,12} \cdot 20^{0,25} \cdot 0,5^{0,66}} = 25,7 \text{ (м/хв)}$$

Тяглова сила різання для обробки одним різцем розраховується [4]

$$F_x = C_{F_x} \cdot t^{x_{F_x}} \cdot S^{y_{F_x}} \cdot 10, \text{ [Н]} \quad (2.8)$$

Значення коефіцієнтів C_{F_x} , x_{F_x} , y_{F_x} беремо із довідника [4]. Для нашого випадку вони дорівнюють: $C_{F_x} = 191$; $x_{F_x} = 1$; $y_{F_x} = 0,75$.

Отже, значення сили буде дорівнювати

$$F_x = 191 \cdot 20^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 10 = 22714 \text{ (Н)}$$

Тепер можна розрахувати сумарне зусилля, яке виникає на рейці столу, враховуючи всі умови обробки за формулою (2.1.6)

$$Q_T = 1,1 \cdot 2 \cdot 23 + 0,18(35,2 + 45) \approx 65 \text{ (кН)}$$

2.1.2 Розрахунок та вибір електродвигуна

Великі можливості відкриваються при використанні асинхронного електродвигуна з коротко замкнутим ротором в асинхронних електроприводах.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Асинхронний електродвигун, як відомо, в порівнянні з двигуном постійного струму ДПС при одній і тій же потужності й частоті обертання в 1,5-2 рази легше, момент інерції його ротора більш ніж у 2 рази менше й вартість його істотно нижче приблизно в три рази. Оскільки асинхронний двигун з короткозамкненим ротором є безконтактною машиною, то він є більш надійним у порівнянні з ДПС, який має колектор, який ускладнює експлуатацію та обмежує за умовами комутації динамічні навантаження.

Розраховану вище тяглову силу у 65 кН приймемо крайньою для використання II діапазону коробки швидкостей привода при максимальній лінійній швидкості столу у 52 м/хв. Знаючи найбільшу швидкість столу при I діапазоні (81 м/хв), можна розрахувати і найбільше зусилля у цьому діапазоні, користуючись співвідношенням [20]

$$Q_{II} \cdot v_I = Q_{I} \cdot v_{II} \quad (2.9)$$

де Q_{I} – найбільше зусилля при використанні I діапазону;

v_I – найбільша швидкість при використанні I діапазону;

Q_{II} – найбільше зусилля при використанні II діапазону;

v_{II} – найбільша швидкість при використанні II діапазону.

Після розрахунків знаходимо, що найбільше зусилля при використанні I діапазону коробки швидкостей дорівнює 42 кН.

Зобразимо графічно значення швидкостей та зусиль при різних діапазонах.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

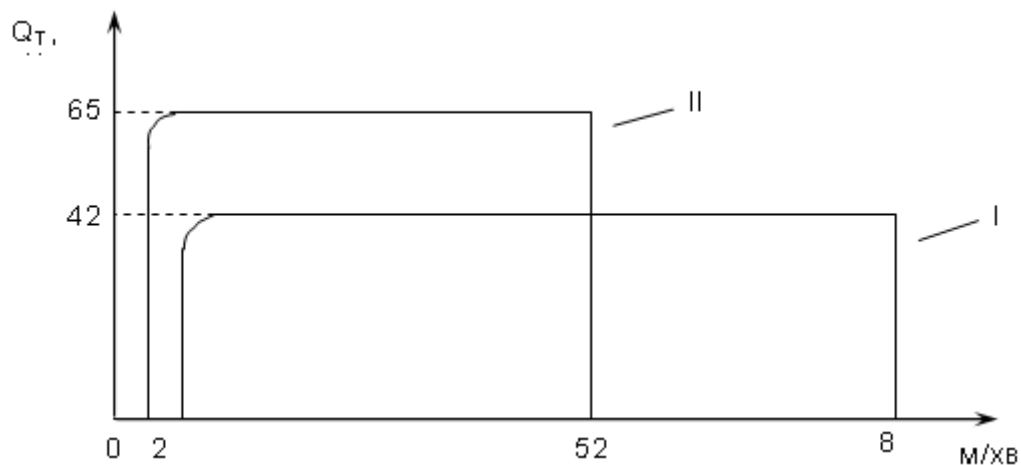


Рисунок 2.2 Графік залежності тяглового зусилля на рейці столу від встановленої швидкості його робочого ходу при номінальному навантаженні електропривода.

Тепер можна розрахувати максимальну потужність, яка споживається на операцію різання при встановлених швидкості та зусиллі різання [4].

$$P = \frac{v \cdot Q_T}{61200} \quad (2.10)$$

$$P = \frac{52 \cdot 65000}{61200} = 55, \text{ кВт.}$$

Користуючись двома основними показниками, а саме максимальною швидкістю обертання валу та максимальною потужністю за довідником [7] вибираємо асинхронний електродвигун марки 4A225M4У3. Технічні показники даного двигуна зведені у таблицю 2.1

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Таблиця 2.1 Технічні дані електродвигуна 4A225M4У3

Номинальна потужність, кВт	55
Синхронна швидкість n_0 , об/хв	1500
Номинальна швидкість $n_{ном}$, об/хв	1470
Здатність до перевантаження за струмом, I_p/I_n	7
Номинальне ковзання $S_{ном}$, %	1,4
Критичне ковзання $S_{кр}$, %	10
Коефіцієнт корисної дії, %	92,5
$\cos \varphi$	0,90
Маховий момент інерції J_d , кг·м ²	0,64
Активний опір статора R_1 , Ом	0,05934
Реактивний опір статора X_1 , Ом	0,189
Активний приведений опір ротора $R'2$, Ом	0,032967
Реактивний приведений опір ротора $X'2$, Ом	0,3077

2.1.3 Вибір перетворювача частоти

Для вибраного електродвигуна потужністю 55 кВт вибираємо перетворювач частоти фірми “Danfoss”, а саме – моделі VLT 5052, що має наступні технічні показники [21].

Живлення від мережі трифазної напруги 380-500 В.

Максимальний момент перевантаження – 160%.

Вихідний номінальний струм у діапазоні напруги 380-440 В – 103,5 А.

Вихідний максимальний струм у діапазоні напруги 380-440 В – 350,4 А.

Вихідний номінальний струм у діапазоні напруги 460-500 В – 158,3 А.

Вихідний максимальний струм у діапазоні напруги 460-500 В – 312 А.

Повна номінальна потужність у діапазоні напруги 380-440 В – 78 кВт·А.

Повна номінальна потужність у діапазоні напруги 460-550 В – 83,7 кВт·А.

Типова потужність на валу – 55 кВт.

Частотний перетворювач перетворює змінну напругу електричної мережі у постійну, а потім цю напругу перетворює у змінну із змінною амплітудою та

										Арк.
										24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.05070204 ДП01 266148 ПЗ					

частотою. Таким чином, на двигун надходить змінна напруга й частота, що дозволяє вільно регулювати швидкість стандартного трифазного двигуна [8].

Спрощена структурна схема перетворювача подана на рисунку 2.3 [9].

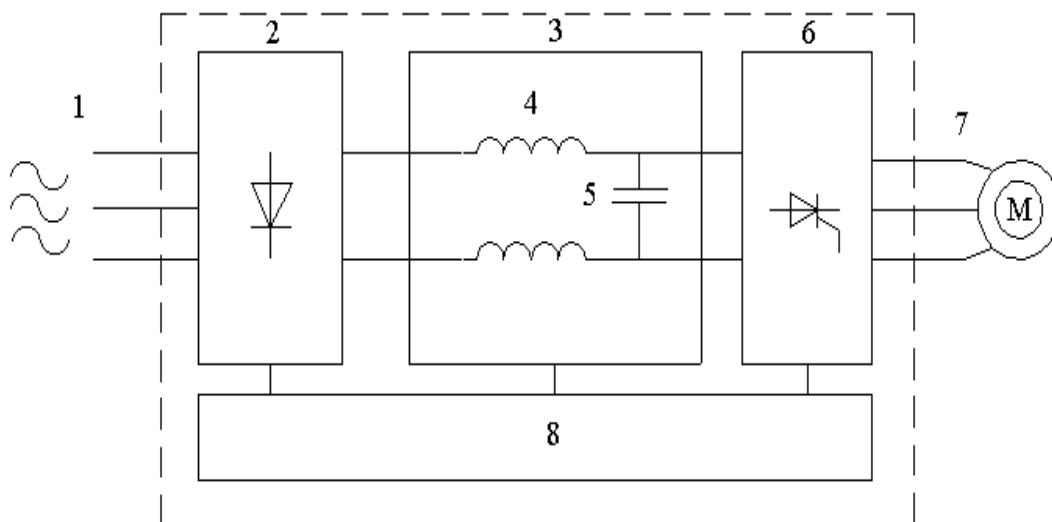


Рисунок 2.3- Спрощена структурна схема транзисторного перетворювача VLT5052.

Цифри на рисунку позначають: напруга мережі – $3 \times 380-500$ В, 50/60 Гц.

Випрямляч. Трифазний випрямний місток, що перетворює змінну напругу мережі на постійну.

Проміжне коло. Постійна напруга дорівнює $\sqrt{2}$ × напругу електричної мережі.

Дроселі проміжного кола. Згладжують струм проміжного кола й обмежують навантаження на мережу й компоненти (мережний трансформатор, дроти, запобіжники та контактори).

Конденсатори проміжного кола. Згладжують напругу проміжного ланцюга.

Інвертор. Перетворює постійну напругу на змінну із змінною частотою й амплітудою.

Напруга двигуна. Змінна напруга, 0 – 100% напруги мережі. Змінна частота 0,5 – 1000 Гц.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Плата керування. Це місце, де знаходиться комп'ютер, який керує інвертором за допомогою імпульсної послідовності, яка задає змінну вихідну напругу й частоту.

2.2 Визначення передавальної функції асинхронного двигуна при частотному керуванні

Частотне керування асинхронним двигуном передбачає одночасну зміну напруги АД та частоти живлячої напруги за визначеним законом [10]. Розглянемо випадок незалежної та одночасної зміни напруги АД та частоти живлячої напруги без інерційного перетворювача частоти, вважаючи, що всі змінні є функціями ковзання S , напруги U та частоти f_1 живлячої напруги АД. Передавальну функцію (ПФ) АД $W(p)$ будемо знаходити у координатах $[U, f_1, \omega_2]$.

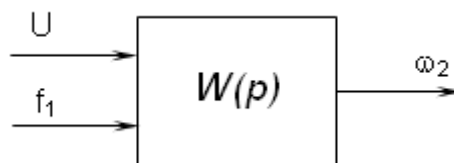


Рисунок 2.4 - Передавальна функція АД при керуванні частотою (напругою) у загальному випадку

2.2.1 Керування швидкістю вала електродвигуна за допомогою зміни напруги U при постійній частоті f_1

Розглянемо випадок керування напругою U АД у координатах $[U, \omega_2]$.

У цьому випадку ПФ АД буде мати вигляд рис. 2.5.

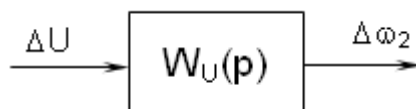


Рисунок 2.5 - Передавальна функція АД при керуванні напругою мережі U .

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

В загальному випадку рівняння руху АД в операторній формі можна записати так [11]

$$Jp\omega_{2U} = M - M_C \quad (2.11)$$

де J – момент інерції АД;

$p = \frac{d}{dt}$ – оператор диференціювання;

ω_{2U} – швидкість обертання вала АД;

M – електромагнітний момент АД;

M_C – момент опору на валу АД.

Для усталеного руху АД рівняння (2.2.1) спрощується

$$M - M_C = 0 \quad (2.12)$$

Припустимо, що у деякий момент часу напруга на статорі АД змінилась на деяку величину ΔU . При цьому частота живлячої напруги мережі f_1 не змінилась, тобто, $f = f_0 = \text{const}$.

$$U = U_0 + \Delta U \quad (2.13)$$

де U_0 – початкова напруга АД;

ΔU – приріст напруги АД;

Тоді, кутова швидкість АД ω_{2U} також зміниться

$$\omega_{2U} = \omega_0 + \Delta\omega_{2U} \quad (2.14)$$

де ω_{2U} – кутова швидкість АД при зміненій напрузі АД $U = U_0 + \Delta U$;

$\Delta\omega_{2U}$ – приріст кутової швидкості АД за рахунок зміни напруги ΔU .

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівняння руху АД (2.11) при зміні напруги U запишемо, розкладаючи функції M та M_c у ряд Тейлора навколо початкової робочої точки U_0, ω_0 та знехтуємо похідними другого та вищих порядків [11]

$$Jp(\Delta\omega_{2U}) = M + \frac{\partial M}{\partial\omega_{2U}}\Delta\omega_{2U} + \frac{\partial M}{\partial U}\Delta U - M_c - \frac{\partial M_c}{\partial\omega_{2U}}\Delta\omega_{2U} \quad (2.15)$$

Рівняння (2.15) у загальному випадку є нелінійним диференціальним рівнянням у частинних похідних за кутовою швидкістю ω_{2U} та напругою U .

Для спрощення покладемо $M_c = \text{const}$; $\frac{\partial M_c}{\partial\omega_{2U}} = 0$.

Віднімаючи від рівняння (2.15) рівняння усталеного руху (2.10), отримаємо рівняння руху АД у різницях координат

$$Jp(\Delta\omega_{2U}) = \frac{\partial M}{\partial\omega_{2U}}\Delta\omega_{2U} + \frac{\partial M}{\partial U}\Delta U \quad (2.16)$$

Перетворимо (2.16) до вигляду [7]

$$\left(Jp - \frac{\partial M}{\partial\omega_{2U}} \right) \Delta\omega_{2U} = \left(\frac{\partial M}{\partial U} \right) \Delta U \quad (2.17)$$

Тоді із (2.17) визначимо передавальну функцію АД у випадку керування напругою

$$W_U(p) = \frac{\Delta\omega_{2U}}{\Delta U} = \frac{\frac{\partial M}{\partial U}}{Jp - \frac{\partial M}{\partial\omega_{2U}}} = \frac{\frac{\partial M}{\partial U}}{-\frac{\partial M}{\partial\omega_{2U}} \left(-\frac{J}{\frac{\partial M}{\partial\omega_{2U}}} p + 1 \right)} = \frac{-\frac{\frac{\partial M}{\partial U}}{\frac{\partial M}{\partial\omega_{2U}}}}{-\frac{J}{\frac{\partial M}{\partial\omega_{2U}}} p + 1} = \frac{K_U}{T_U p + 1} \quad (2.18)$$

де

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$K_U = \frac{\frac{\partial M}{\partial \omega_{2U}}}{\frac{\partial U}{\partial M}}$$

$\frac{\partial \omega_{2U}}{\partial M}$ – коефіцієнт передачі АД при керуванні напругою;

$$T_U = -\frac{J}{\frac{\partial M}{\partial \omega_{2U}}}$$

$\frac{\partial \omega_{2U}}{\partial M}$ – постійна часу АД при керуванні напругою.

Розмірності коефіцієнта передачі $[K_U] = [\frac{rad}{B \cdot c}]$ і сталої часу $[T_U] = [c]$.

Тоді, структурну схему АД при керуванні напругою U можна зобразити так (рис. 2.6)[11]

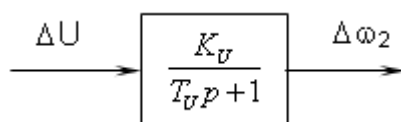


Рисунок 2.6 Структурна схема АД при керуванні напругою мережі U

Переходимо від змінної ω_{2U} до змінної s_U

$$\omega_{2U} = \omega_1 (1 - s_U) \quad (2.19)$$

Кутова швидкість обертання магнітного поля статора ω_1 постійна величина і пов'язана із частотою живлячої мережі співвідношенням [12]

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p_\tau} \quad (2.20)$$

де p_τ – кількість пар полюсів АД.

Диференціюючи вираз (2.19) по s_U маємо

$$\frac{\partial \omega_{2U}}{\partial s_U} = -\omega_1 = -\frac{2\pi f_1}{p_\tau} \quad (2.21)$$

Тоді, вирази коефіцієнтів передачі і постійної часу АД при керуванні напругою запишуться у вигляді [11]

$$K_U = \omega_1 \frac{\frac{\partial M}{\partial U}}{\frac{\partial M}{\partial s_U}} = \frac{2\pi f_1}{p_\tau} \cdot \frac{\frac{\partial U}{\partial M}}{\frac{\partial M}{\partial s_U}}; \quad T_U = \omega_1 \frac{J}{\frac{\partial M}{\partial s_U}} = \frac{2\pi f_1}{p_\tau} \cdot \frac{J}{\frac{\partial M}{\partial s_U}} \quad (2.22)$$

Запишемо аналітичні співвідношення для K_U та T_U . Для цього використаємо функцію моменту, яка пов'язує параметри Г-подібної схеми із вихідними фізичними величинами у вигляді [11]

$$M = \frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi f_1 s_U \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U} \right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right]} \quad (2.23)$$

Тут m_1 – кількість фаз АД;

R_1, L_1 – активний опір та індуктивність розсіювання Г-подібної еквівалентної приведенної схеми статорної обмотки АД;

R'_2, L'_2 – приведені активний опір та індуктивність розсіювання приведенної схеми роторної обмотки АД.

Візьмемо похідну від (2.2.13) по напрузі U

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial U} &= \frac{2m_1 U R'_2 p_\tau}{2\pi f_1 s_U \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U} \right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right]} = \frac{m_1 U R'_2 p_\tau}{\pi f_1 s_U \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U} \right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right]} = \\ &= \frac{m_1 U R'_2 p_\tau}{\pi f_1 s_U Z^2} \end{aligned} \quad (2.24)$$

$$Z = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U}\right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2}$$

де — повний опір робочого кола спрощеної Г-

подібної приведенної схеми АД.

Аналогічно візьмемо похідну від (2.24) по ковзанню s_U

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial s_U} &= \frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi f_1} \cdot \frac{\partial}{\partial s_U} \cdot \frac{1}{s_U \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U}\right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right]} = \\ &= \frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi f_1} \cdot \frac{- \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U}\right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right] - s_U \cdot 2 \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U}\right) \left(-\frac{R'_2}{s_U^2}\right)}{s_U^2 \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U}\right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right]^2} = \\ &= \frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi f_1} \cdot \frac{\frac{2R'_2}{s_U} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U}\right) - \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U}\right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right]}{s_U^2 \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U}\right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right]^2} = \\ &= \frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi f_1} \cdot \frac{\frac{2R'_2}{s_U} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U}\right) - Z^2}{s_U^2 \cdot Z^4} \end{aligned} \quad (2.25)$$

Підставимо вирази (2.24), (2.25) у (2.22) і отримаємо аналітичні залежності K_U , та T_U від параметрів схеми заміщення АД [11]

$$\begin{aligned} K_U &= \frac{2\pi f_1}{p_\tau} \cdot \frac{\frac{\partial M}{\partial s_U}}{\frac{\partial M}{\partial s_U}} = \frac{2\pi f_1}{p_\tau} \cdot \frac{m_1 U R'_2 p_\tau}{\pi f_1 s_U Z^2} \cdot \frac{s_U^2 Z^4}{\frac{2R'_2}{s_U} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U}\right) - Z^2} \cdot \frac{2\pi f_1}{m_1 U^2 R'_2 p_\tau} = \\ &= \frac{4\pi f_1 s_U \cdot Z^2}{p_\tau U} \cdot \frac{1}{\frac{2R'_2}{s_U} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U}\right) - Z^2} \end{aligned}$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

У розгорнутому вигляді K_U виглядає так [11]

$$K_U = \frac{\frac{4\pi f_1 s_U}{p_\tau U} \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U} \right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right]}{\frac{2R'_2}{s_U} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U} \right) - \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U} \right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right]} \quad (2.26)$$

Для сталої часу T_U отримаємо таку формулу [11]

$$T_U = \frac{2\pi f_1 J}{p_\tau \cdot \frac{\partial M}{\partial s_U}} = \frac{2\pi f_1 J}{p_\tau} \cdot \frac{2\pi f_1 \cdot s_U^2 \cdot Z^4}{m_1 U^2 R'_2 p_\tau \left[\frac{2R'_2}{s_U} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U} \right) - Z^2 \right]} =$$

$$= \frac{J}{m_1 R'_2} \cdot \left(\frac{2\pi f_1 \cdot s_U \cdot Z^2}{p_\tau U} \right)^2$$

$$= \frac{2R'_2}{s_U} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U} \right) - Z^2$$

У розгорнутому вигляді T_U можна записати так [11]

$$T_U = \frac{\frac{J}{m_1 R'_2} \left(\frac{2\pi f_1 s_U}{p_\tau U} \right)^2 \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U} \right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right]}{\frac{2R'_2}{s_U} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U} \right) - \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U} \right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right]} \quad (2.27)$$

Аналізуючи вирази (2.26) та (2.27) можна зробити висновки, що стала часу T_U і коефіцієнт передачі K_U більше нуля при умові [13]

$$\frac{2R'_2}{s_U} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U} \right) - \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_U} \right)^2 - (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 > 0 ;$$

$$\frac{2R_1 R'_2}{s_U} + \frac{2R'^2_2}{s_U^2} - R_1^2 - \frac{2R_1 R'_2}{s_U} - \frac{R'_2}{s_U^2} - (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 > 0 ;$$

					6.05070204 ДПО1 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$R_1^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 < \frac{R_2'^2}{s_U^2} ;$$

$$s_U^2 < \frac{R_2'^2}{R_1^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2} ;$$

$$s_U < \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2}} < s_{KP}(f_1) \quad (2.28)$$

Із (2.28) видно, що T_U та K_U більше нуля при ковзаннях АД менших від критичного, яке залежить від частоти f_1 .

Знак “ - ” відноситься до генераторного режиму, а знак “ + ” – до режиму двигуна.

2.2.2 Керування швидкістю валу електродвигуна за допомогою зміни частоти мережі f_1 при постійній напрузі U

Розглянемо випадок керування АД частотою живлячої мережі f_1 у координатах $[f_1, \omega_{2f}]$. У цьому випадку ПФ АД буде мати вигляд рис. 2.7[13]

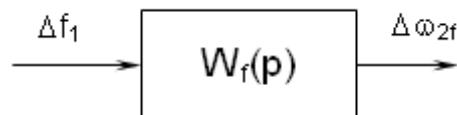


Рисунок 2.7 - Передавальна функція АД при керуванні частотою живлячої мережі f_1

Припустимо, що в деякий момент часу частота живлячої мережі f_1 змінилась на деяку величину Δf . При цьому напруга живлячої мережі U не змінилась, тобто $U = U_0 = \text{const}$.

$$f_1 = f_0 + \Delta f \quad (2.29)$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Тоді, кутова швидкість АД ω_{2f} також зміниться

$$\omega_{2f} = \omega_0 + \Delta\omega_{2f} \quad (2.30)$$

де ω_0, f_0 – початкова кутова швидкість АД та початкова частота живлячої мережі;

ω_{2f} – кутова швидкість АД при зміні частоти f_1 ;

$\Delta\omega_{2f}$ – приріст кутової швидкості АД за рахунок зміни частоти Δf_1 .

Тоді, аналогічно, розділу 4.1, розкладаючи функції M та M_C навколо початкової робочої точки АД f_0, ω_0 у ряд Тейлора та нехтуючи похідними другого та вищого порядків, рівняння руху АД при зміні частоти f_1 у різницях координат можна записати у вигляді: [13]

$$J_p(\Delta\omega_{2f}) = M + \frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}} \Delta\omega_{2f} + \frac{\partial M}{\partial f_1} \Delta f_1 - M - \frac{\partial M_C}{\partial \omega_{2f}} \Delta\omega_{2f} \quad (2.31)$$

Рівняння (2.31) є нелінійним диференціальним рівнянням у частинних похідних за кутовою швидкістю ω_{2f} та частотою f_1 .

Для спрощення покладемо $M_C = \text{const}$. Тоді $\frac{\partial M_C}{\partial \omega_{2f}} = 0$.

Враховуючи це та віднімаючи від (2.31) рівняння усталеного руху (2.32) отримаємо таке рівняння руху АД

$$J_p(\Delta\omega_{2f}) = \frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}} \Delta\omega_{2f} + \frac{\partial M}{\partial f_1} \Delta f_1 \quad (2.32)$$

Перетворимо (2.32) до вигляду

$$\left(J_p - \frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}} \right) \Delta\omega_{2f} = \left(\frac{\partial M}{\partial f_1} \right) \Delta f_1 \quad (2.33)$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Тоді, із (2.33) визначимо передавальну функцію АД у випадку керування частотою [13]

$$W_f(p) = \frac{\Delta\omega_{2f}}{\Delta f_1} = \frac{\frac{\partial M}{\partial f_1}}{Jp - \frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}}} = \frac{\frac{\partial M}{\partial f_1}}{-\frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}} \left(-\frac{J}{\frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}}} p + 1 \right)} = \frac{-\frac{\frac{\partial M}{\partial f_1}}{\frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}}}}{-\frac{J}{\frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}}} p + 1} = \frac{K_{0f}}{T_{0f} p + 1} \quad (2.34)$$

Тут

$$K_{0f} = \frac{\frac{\partial M}{\partial f_1}}{\frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}}}$$

$\frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}}$ – коефіцієнт передачі АД при керуванні частотою;

$$T_{0f} = -\frac{J}{\frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}}}$$

$\frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}}$ – стала часу АД при керуванні частотою.

Коефіцієнт передачі K_{0f} безрозмірний, а стала часу має розмірність [с].

Тоді структурну схему АД при керуванні частотою f_1 можна зобразити такою структурною схемою (рис. 2.8).

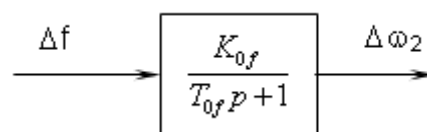


Рис. 2.8 Передавальна функція АД при керуванні частотою живлячої мережі f_1

Переходимо від змінної ω_{2f} до змінної s_f

$$\omega_{2f} = \omega_1(1 - s_f) \quad (2.35)$$

Кутова швидкість обертання магнітного поля статора ω_1 пов'язана із частотою живлячої мережі співвідношенням [12]

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p_\tau} \quad (2.36)$$

де p_τ – кількість пар полюсів АД.

Диференціюючи функцію моменту M по ω_{2f} необхідно враховувати, що при зміні частоти f_1 змінюються як ω_{2f} так і s_f , тобто

$$\frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}} = \left. \frac{\partial M}{\partial s_f} \right|_{f_1=\text{const}} \cdot \frac{\partial s_f}{\partial \omega_{2f}} + \left. \frac{\partial M}{\partial f_1} \right|_{s=\text{const}} \cdot \frac{\partial f_1}{\partial \omega_{2f}} \quad (2.37)$$

Візьмемо похідну від (2.37) по s_f та f_1

$$\frac{\partial \omega_{2f}}{\partial f_1} = \frac{2\pi}{p_\tau} (1-s_f) ; \quad \frac{\partial \omega_{2f}}{\partial s_f} = -\frac{2\pi f_1}{p_\tau} \quad (2.38)$$

Підставляючи (2.38) у (2.39), маємо [13]

$$\frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}} = -\frac{p_\tau}{2\pi f_1} \cdot \left. \frac{\partial M}{\partial s_f} \right|_{f_1=\text{const}} + \frac{p_\tau}{2\pi(1-s_f)} \cdot \left. \frac{\partial M}{\partial f_1} \right|_{s=\text{const}} \quad (2.39)$$

Підставимо (2.39) у вирази коефіцієнта передачі АД за частотою K_{0f} та сталої часу АД T_{0f} при керуванні частотою [13]

$$K_{0f} = \frac{\frac{\partial M}{\partial f_1}}{\frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}}} = \frac{-\frac{\partial M}{\partial f_1}}{-\frac{p_\tau}{2\pi f_1} \cdot \left. \frac{\partial M}{\partial s_f} \right|_{f_1=\text{const}} + \frac{p_\tau}{2\pi(1-s_f)} \cdot \left. \frac{\partial M}{\partial f_1} \right|_{s=\text{const}}} \quad (2.40)$$

Для сталої часу T_{0f} аналогічно запишемо перетворення [13]

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$T_{0f} = -\frac{J}{\frac{\partial M}{\partial \omega_{2f}}} = -\frac{J}{-\frac{p_\tau}{2\pi f_1} \cdot \frac{\partial M}{\partial s_f} \Big|_{f_1=const} + \frac{p_\tau}{2\pi(1-s_f)} \cdot \frac{\partial M}{\partial f_1} \Big|_{s=const}} \quad (2.41)$$

Одержимо аналітичні формули для розрахунку коефіцієнта передачі K_{0f} та сталої часу T_{0f} . Для цього візьмемо похідну від (2.41) по частоті f_1 [13]

$$\frac{\partial M}{\partial f_1} = \frac{\partial M}{\partial f_1} \Big|_{s=const} + \frac{\partial M}{\partial s_f} \Big|_{f_1=const} \frac{\partial s_f}{\partial f_1} \quad (2.42)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial f_1} \Big|_{s=const} &= \frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi s_f} \cdot \frac{\partial}{\partial f_1} \cdot \frac{1}{f_1 \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right]} = \\ &= -\frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi s_f} \cdot \frac{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 + 2(2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2}{f_1^2 \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right)^2 + (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right]^2} = \\ &= -\frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi} \cdot \frac{Z^2 s_f + 2s_f (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2}{s_f^2 f_1^2 Z^4} \quad (2.43*) \end{aligned}$$

Для похідної $\frac{\partial M}{\partial s_f}$ використаємо похідну, знайдену у (4.1.15) і замінимо в ній

позначення s_U на s_f . Похідна $\frac{\partial s_f}{\partial f_1}$ дорівнює: $\frac{\partial s_f}{\partial f_1} = \frac{\omega_{2f} p_\tau}{2\pi f_1^2} = \frac{1-s_f}{f_1}$.

А похідна $\frac{\partial M}{\partial f_1}$ має такий вигляд [13]

$$\frac{\partial M}{\partial f_1} = -\frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi} \cdot \frac{Z^2 s_f + 2s_f (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2}{s_f^2 f_1^2 Z^4} - \frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi f_1} \cdot \frac{Z^2 - \frac{2R'_2}{s_f} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right)}{s_f^2 \cdot Z^4} \cdot \frac{1-s_f}{f_1} =$$

$$\begin{aligned}
&= -\frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi} \cdot \left(\frac{s_f \left(Z^2 + 2(2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right) + \left(Z^2 - \frac{2R'_2}{s_f} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right) \right) (1-s_f)}{f_1^2 s_f^2 Z^4} \right) = \\
&= -\frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi} \cdot \frac{Z^2 + 2s_f (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 - 2R'_2 \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right) \left(\frac{1-s_f}{s_f} \right)}{f_1^2 s_f^2 Z^4} \quad (2.44^{**})
\end{aligned}$$

Підставляючи (2.44**), (2.25) у (2.22), (2.23) маємо [13]

$$\begin{aligned}
K_{0f} &= \frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi} \left(\frac{Z^2 + 2s_f (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 - 2R'_2 \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right) \left(\frac{1-s_f}{s_f} \right)}{f_1^2 s_f^2 Z^4} \right) \rightarrow \\
&= \frac{p_\tau}{2\pi} \left(-\frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi} \cdot \frac{Z^2 - \frac{2R'_2}{s_f} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right)}{f_1^2 s_f^2 Z^4} \right) + \\
&\rightarrow \frac{p_\tau}{2\pi(1-s_f)} \left(-\frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi} \cdot \frac{Z^2 s_f + 2s_f (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2}{f_1^2 s_f^2 Z^4} \right) = \\
&= \frac{2\pi}{p_\tau} \cdot \frac{Z^2 + 2s_f (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 - 2R'_2 \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right) \left(\frac{1-s_f}{s_f} \right)}{Z^2 - \frac{Z^2 s_f + 2s_f (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2}{(1-s_f)} - \frac{2R'_2}{s_f} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right)} = \\
&= \frac{2\pi}{p_\tau} \cdot \frac{Z^2 + 2s_f (2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 - 2R'_2 \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right) \left(\frac{1-s_f}{s_f} \right)}{Z^2 - \left(\frac{s_f}{1-s_f} \right) \left(Z^2 + 2(2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right) - \frac{2R'_2}{s_f} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right)} \quad (2.45)
\end{aligned}$$

$$T_{0f} = -\frac{J}{-\frac{p_\tau}{2\pi f_1} \cdot \frac{\partial M}{\partial s_f} \Big|_{f=const} + \frac{p_\tau}{2\pi(1-s_f)} \cdot \frac{\partial M}{\partial f_1} \Big|_{s=const}} =$$

$$\begin{aligned}
&= - \frac{J}{2\pi f_1 \left(-\frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi f_1} \right)} \cdot \frac{Z^2 - \frac{2R'_2}{s_f} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right)}{Z^4 s_f^2} \rightarrow \\
&\rightarrow \frac{p_\tau}{2\pi(1-s_f)} \left(-\frac{m_1 U^2 R'_2 p_\tau}{2\pi s_f} \right) \cdot \frac{Z^2 + 2(2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2}{Z^4 f_1^2} = \\
&= \frac{2\pi}{p_\tau} \cdot \frac{2\pi}{m_1 U^2 R'_2 p_\tau} \cdot \frac{J}{Z^2 - \frac{2R'_2}{s_f} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right)} = \\
&= \left(\frac{2\pi f_1 s_f Z^2}{p_\tau U} \right)^2 \cdot \frac{1}{m_1 R'_2} \cdot \frac{J}{\frac{s_f}{1-s_f} \left[Z^2 + 2(2\pi f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2 \right] + \frac{2R'_2}{s_f} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_f} \right) - Z^2}
\end{aligned} \tag{2.46}$$

2.2.3 Одночасне керування швидкістю обертання валу двигуна за допомогою напруги U та частоти f₁

Враховуючи, що керування швидкістю АД за напругою та частотою відбувається одночасно, повна зміна ковзання АД визначиться повним диференціалом [13]

$$d\omega_2 \approx \Delta\omega_2 \approx \Delta\omega_{2U} + \Delta\omega_{2f} = \frac{\partial\omega_{2U}}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial\omega_{2f}}{\partial f_1} \Delta f_1 \tag{2.47}$$

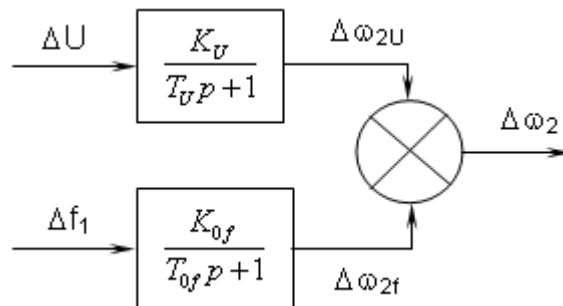


Рис. 2.9 Структурна схема АД при одночасному керуванні частотою та напругою

Із рівняння (2.31) витікає, що в цьому випадку передавальна функція складається із суми передавальних функцій за напругою $W_U(p)$ та за частотою $W_f(p)$, які визначаються рівняннями (2.18) та (2.26) відповідно. Структурна схема АД при цьому має вигляд, що показаний на рисунку 2.31 та складається із двох аперіодичних ланок ввімкнених паралельно, параметри яких у загальному випадку визначаються рівняннями (2.26), (2.27) та (2.35), (2.36) і є функціями від ковзання. [13]

$$W(p) = W_U(p) + W_f(p) = \frac{K_U}{T_U p + 1} + \frac{K_{of}}{T_{of} p + 1} \quad (2.48)$$

2.2.4 Обчислення та аналіз параметрів передавальних функцій АД у координатах $[U, f_1, \omega_2]$

Проведемо розрахунок та аналіз залежностей параметрів передавальної функції вибраного асинхронного електродвигуна марки 4A225M4У3, технічні дані якого наведені у таблиці 3.2.1.

Використовуючи отримані аналітичні залежності (2.27), (2.26), (2.35), (2.36) і підставляючи параметри даного двигуна, отримаємо розрахункові коефіцієнти ПФ при керуванні напругою та частотою у координатах $[U, f_1, \omega_2]$. У загальному випадку, обчислені дані являють собою сукупність коефіцієнтів передачі та сталих часу при зміні ковзання S від 0 до $S_{кр}$ (критичне ковзання) та вхідних діях: $U = 180 \dots 260$ В; $f_1 = 20 \dots 80$ Гц, де U – напруга мережі живлення, В; f_1 – частота мережі живлення, Гц. Розмірність коефіцієнтів ПФ АД у координатах $[U, f_1, \omega_2]$ наступна

$$[K_U] = \left[\frac{\text{рад}}{\text{В} \cdot \text{с}} \right]; [T_U] = [c]; [K_{of}] \text{ – безрозмірний}; [T_{of}] = [c].$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Проведемо розрахунки номінальних параметрів: нехай напруга живлення мережі $U = 220$ В, частота живлячої мережі $f_1 = 50$ Гц. Тип двигуна 4A225M4У3. Розрахуємо коефіцієнти передачі та сталі часу передавальної функції АД при частотному керуванні у координатах $[U, f_1, \omega_2]$.

У аналітичних залежностях (2.27), (2.28), (2.35), (2.36) $R_1, L_1, X_1, R'_2, L'_2$ та X'_2 можна розрахувати наступним чином [7]

$$R_1 = R'_1 \cdot \frac{U}{I_{1H}} = 0,027 \cdot \frac{220}{100,1} = 0,05934 \text{ Ом,}$$

де $U = 220$ В – номінальна напруга живлення АД.

$$I_{1H} = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{55000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,925 \cdot 0,9} = 100,1$$

A – номінальний струм АД,

$$R'_2 = R''_2 \cdot \frac{U}{I_{1H}} = 0,015 \cdot \frac{220}{100,1} = 0,032967 \text{ Ом.}$$

$$L_1 = \frac{X_1}{2\pi \cdot 50} = \frac{0,189}{2\pi \cdot 50} = 0,0006016 \text{ Гн.}$$

$$L'_2 = \frac{X'_2}{2\pi \cdot 50} = \frac{0,3077}{2\pi \cdot 50} = 0,00097944 \text{ Гн,}$$

де X_1, X'_2 – індуктивні опори робочого кола спрощеної Γ -подібної приведеної схеми АД.

$$X_1 = X'_1 \cdot \frac{U}{I_{1H}} = 0,086 \cdot \frac{220}{100,1} = 0,189 \text{ Ом.}$$

$$X'_2 = X''_2 \cdot \frac{U}{I_{1H}} = 0,14 \cdot \frac{220}{100,1} = 0,3077 \text{ Ом.}$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед тим, як розраховувати коефіцієнти ПФ слід зазначити, що у формулах (2.27), (2.27), (2.35), (2.36) значення ковзання при заданому номінальному навантаженні буде залежати від величин напруги та частоти керування. Знайдемо цю залежність.

Система керування електроприводом повинна забезпечувати постійний момент на валу двигуна. Ковзання, яке відповідає постійному номінальному навантаженню визначається за повною формулою Клоса.

Значення електромагнітного моменту асинхронного двигуна M для довільних значень напруги та частоти мережі живлення можна розрахувати за наступною формулою [14]

$$M = \frac{3U_1^2 R'_2 p_\tau}{2\pi f_1 S \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{S} \right)^2 + (2\pi L_1 f_1 + 2\pi L_2 f_1)^2 \right]} \quad (2.49)$$

Запишемо також формули для максимального моменту та критичного ковзання для номінального режиму АД [14]

$$M_{\max} = \frac{3U_H^2 p_\tau}{4\pi f_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (2\pi L_1 f_1 + 2\pi L_2 f_1)^2} \right]} \quad (2.50)$$

$$S_{\text{кр}} = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (2\pi L_1 f_1 + 2\pi L_2 f_1)^2}} \quad (2.51)$$

Тепер для знаходження значення ковзання розділимо вираз (2.51) на вираз (2.52), та врахувавши вираз (2.53), отримаємо повну формулу Клоса

$$\frac{M}{M_{\max}} = \left(\frac{U_1}{U_H} \right)^2 \cdot \frac{2 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R'_2} \cdot S_{\text{кр}} \right)}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S} + \frac{R_1}{R'_2} \cdot S_{\text{кр}}} \quad (2.54)$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Розв'язуючи це рівняння відносно S отримаємо

$$S = 0,5S_{кр} \left(b - 2 \frac{R_1}{R'_2} S_{кр} \right) - 0,5 \sqrt{\left[S_{кр} \left(b - 2 \frac{R_1}{R'_2} S_{кр} \right) \right]^2 - 4S_{кр}^2} \quad (2.55)$$

де

$$b = \left(\frac{U}{U_H} \right)^2 \cdot \frac{M_{\max}}{M} \cdot \left(2 + 2 \frac{R_1}{R'_2} S_{кр} \right)$$

Після цього можна розраховувати параметри передавальної функції АД при довільних напругах U та частотах f керування у такій послідовності:

задаються довільні нові значення напруги U та частоти мережі f1;

за формулами (4.4.2) та (4.4.3) визначаються значення M_{\max} та $S_{кр}$;

за формулою (4.4.5) визначається значення ковзання S, яке відповідає заданому моменту АД M та новим значенням напруги та частоти;

за формулами (4.1.17), (4.1.18), (4.2.15), (4.2.16) та знайденим значенням ковзання S знаходяться параметри передавальної функції асинхронного двигуна для нових значень напруги та частоти.

При номінальному режимі роботи ($U = 220$ В та $f = 50$ Гц) підставляючи все вище розраховане у формули (4.1.17), (4.1.18), (4.2.15), (4.2.16) отримаємо

$$K_U = 0,0227 \frac{\text{рад}}{\text{В} \cdot \text{с}} ;$$

$$T_U = 4,49 \cdot 10^{-3} \text{ с} ; \quad K_{of} = 2,9918 ; \quad T_{of} = 4,42 \cdot 10^{-3} \text{ с} .$$

Тривимірні графіки залежностей даних коефіцієнтів від різних напруг та частот подані в графічній частині та на рис. 2.10. Дані розрахунків для побудови цих графічних залежностей зведені у таблиці Д1 – Д4 додатків.

Усі розрахунки проводились за допомогою Mathcad 2000 Professional.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

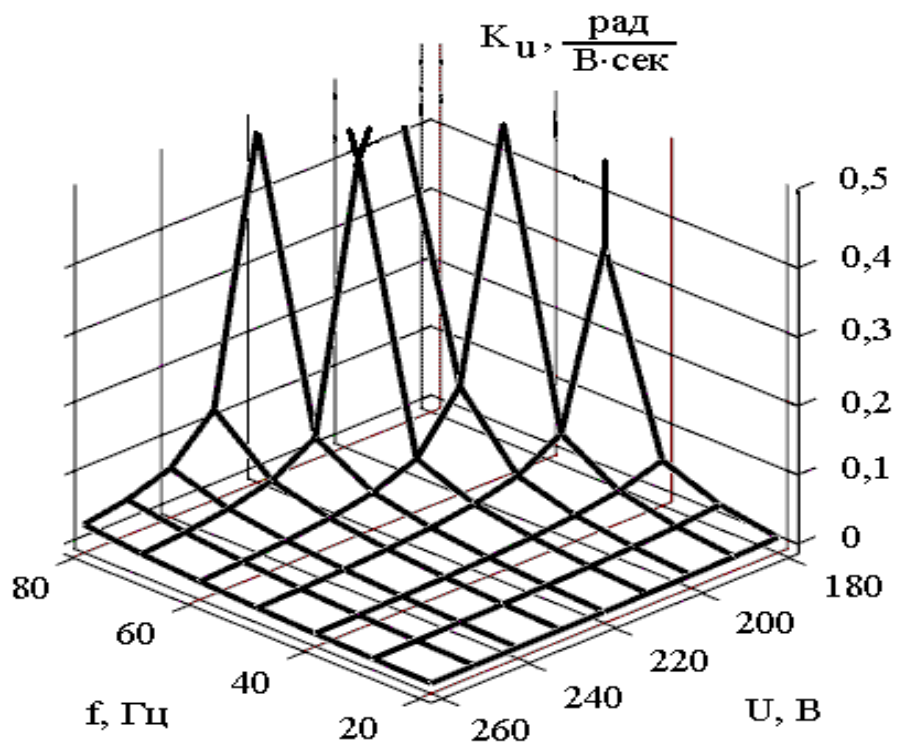


Рис. 2.10 а) Залежність коефіцієнта K_u від керуючих частоти та напруги

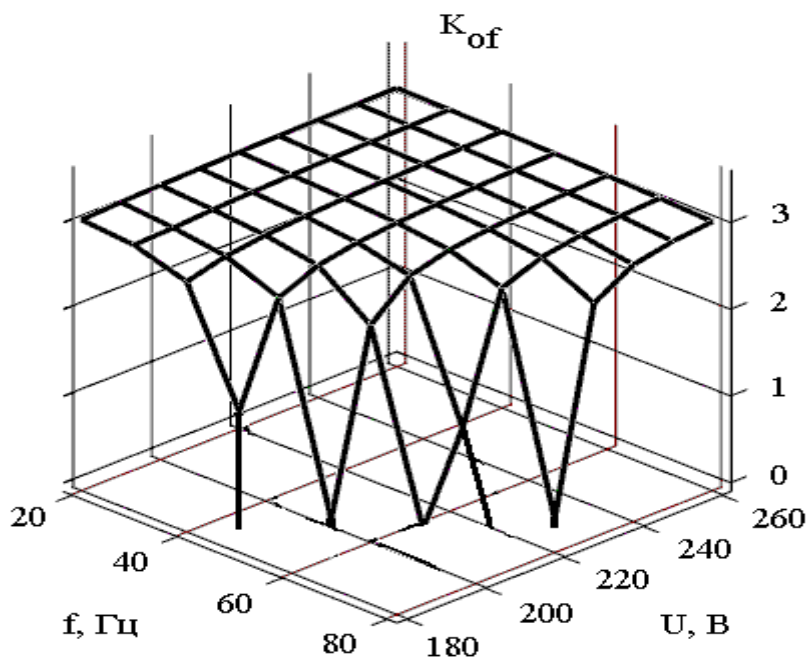


Рис. 2.10 б) Залежність коефіцієнта K_{of} від керуючих частоти та напруги

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

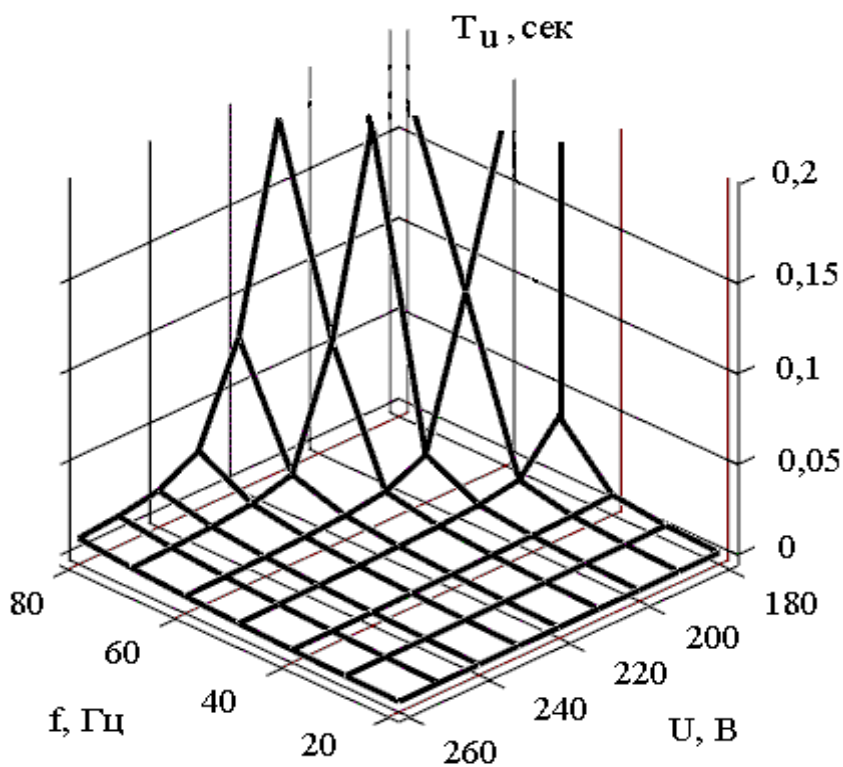


Рис. 2.10 в) Залежність сталої часу T_u від керуючих частоти та напруги

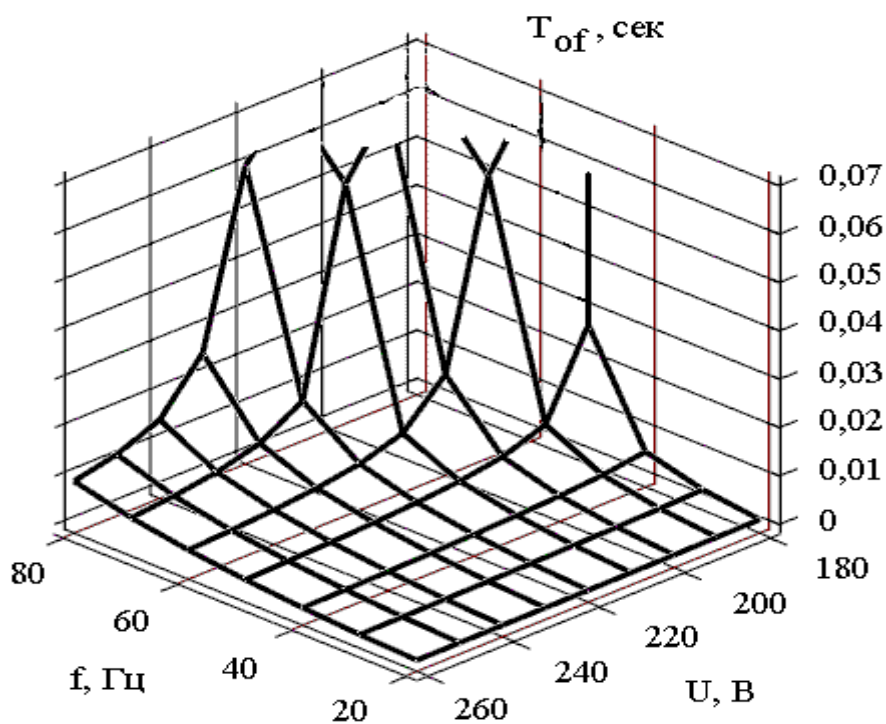


Рис. 2.10 г) Залежність сталої часу T_{of} від керуючих частоти та напруги

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Аналізуючи отримані аналітичні залежності для коефіцієнтів K_u , T_u , K_{of} , T_{of} можна побачити, що усі коефіцієнти передачі та сталі часу, окрім T_{of} , є плавно зростаючими функціями від ковзання, причому, при $S = 0$ усі коефіцієнти ПФ дорівнюють нулю. Сталі часу при зростанні ковзання більше нуля. Стала часу T_u та коефіцієнт передачі K_u , як видно із (2.17), (2.18) при зростанні ковзання від нуля зберігають свій знак і зростають при збільшенні ковзання, яке визначається із умови

$$\frac{2R'_2}{s} \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right) - Z^2 > 0 \quad (2.56)$$

коли знаменник більше нуля.

Розв'язуючи цю нерівність отримаємо співвідношення (2.57), яке показує, що стала часу $T_u > 0$ і коефіцієнти передачі $K_u > 0$ при усіх ковзаннях менших від критичного ($S_{кр}$)

$$s < \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (2\pi \cdot f_1)^2 (L_1 + L'_2)^2}} = \pm S_{кр} \quad (2.57)$$

Знак “ + ” характеризує режим двигуна. Знак “ – ” відноситься до генераторного режиму.

При досягненні ковзання критичної величини $S = S_{кр}$ K_u та T_u змінюють свій знак на протилежний та при подальшому зростанні S асимптотично зменшуються за модулем, прямуючи до нуля.

Таким чином, асинхронний двигун при частотному керуванні у координатах $[U, f_1, \omega_2]$ можна зобразити структурною схемою, наведеною на рис. 4.3.1 тільки у випадках зміни ковзання S меншого від критичного ($S < S_{кр}$).

Взята нами математична модель асинхронного двигуна із [11] також дає результати, які відповідають дійсності для усіх сталих моделі АД лише в області площини (f, U) , де $S < S_{кр}$. Це пов'язано з тим, що для коефіцієнтів передачі та

сталих часу при збільшенні частоти ($f_1 > 70$ Гц) зростає й ковзання і при $f_1 = 78$ Гц модель АД за [7] не працює через неможливість визначити ковзання за повною формулою Клоса при номінальному навантаженні M_n та напрузі $U=220$ В. [15]

2.3 Розробка системи автоматичного керування електроприводом головного руху верстата

2.3.1 Вибір та опис системи автоматичного керування (САК)

Враховуючи результати глав 3 та 4, для забезпечення постійної швидкості вихідного валу електродвигуна ω_2 запропонована система автоматичного керування, структурна схема якої приведена на рисунку 5.1.1. [16]

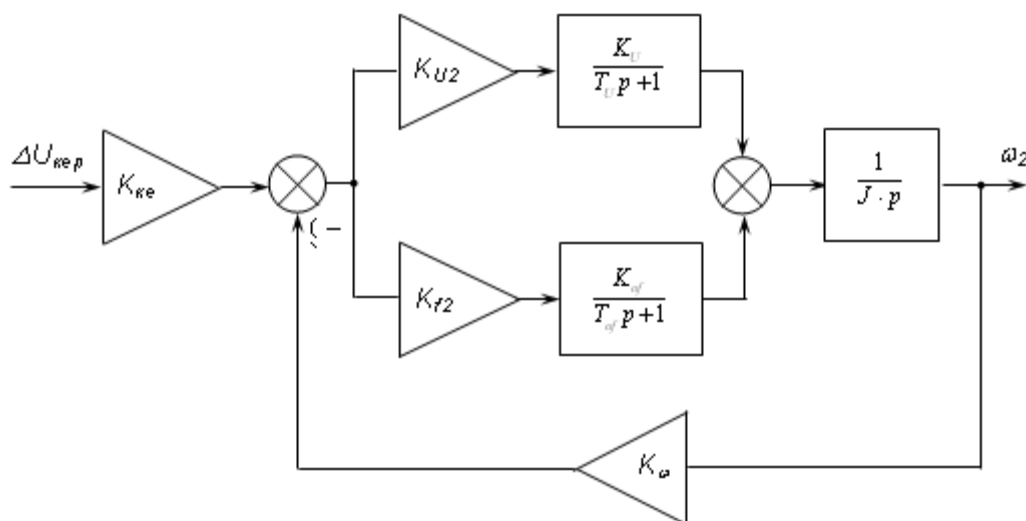


Рисунок 2.11 Спрощена структурна схема системи автоматичного керування.

Позначенням на схемі відповідають:

$\Delta U_{кер}$ – задаючий сигнал;

$K_{кер}$ – коефіцієнт, що корегує значення задаючого сигналу;

K_U – коефіцієнт передачі регулятора швидкості за напругою;

T_U – стала часу регулятора швидкості за напругою;

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

K_{of} – коефіцієнт передачі регулятора швидкості за частотою;

T_{of} – стала часу регулятора швидкості за частотою;

J – момент інерції валу двигуна;

K_{ω} – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю;

K_{U2} – коефіцієнт, що забезпечує постійне відношення керуючої напруги до керуючої частоти;

K_{f2} – коефіцієнт, що складається із двох передаточних функцій:

Передаточна функція електромагнітної системи, що встановлює зв'язок відхилень швидкості обертання магнітного поля $\Delta\omega_0$ асинхронного двигуна й частоти задаючого генератора

$$W_{EM}(p) = \frac{\Delta\omega_0}{\Delta f_{\Gamma}} = \frac{2\pi}{3p_{\tau}} \quad (2.58)$$

де p_{τ} - число пар полюсів двигуна. Оскільки частота задаючого генератора у три рази перевищує частоту напруги на статорній обмотці приводного двигуна, то у знаменнику мається трійка.

Передаточна функція задаючого генератора в автономному інверторі – безінерційної й лінійної ланки виражається коефіцієнтом передачі

$$W_{\Gamma 1}(p) = \frac{\Delta f_{\Gamma}}{\Delta U_c(p)} = K_{\Gamma} \quad (2.59)$$

Таким чином, коефіцієнт K_{f2} буде дорівнювати

$$K_{f2} = W_{EM}(p) \cdot W_{\Gamma}(p) = \frac{2\pi}{3p_{\tau}} \cdot K_{\Gamma} \quad (2.60)$$

Значення коефіцієнтів передачі та сталих часу K_u , T_u , K_{of} , T_{of} при номінальному режимі були розраховані у розділі 4.4. Їхні значення при режимах, відмінних від номінального подані у таблицях Д1 – Д4 додатків.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Значення електромеханічної сталої часу двигуна ТЕМ можна розрахувати за формулою [17]

$$T_{EM} = \frac{J \cdot \omega_{ном}}{M_{ном}} \quad (2.61)$$

де J – момент інерції двигуна, кг·м²;

$\omega_{ном}$ – номінальна кутова швидкість двигуна, с⁻¹;

$M_{ном}$ – номінальний навантажувальний момент двигуна, Н·м;

Підставляючи всі вищеперераховані дані для нашого двигуна у формулу (2.61) отримаємо

$$T_{EM} = \frac{0,64 \cdot 157,08}{355,88} = 0,28 \text{ с.}$$

Для забезпечення якості перехідного процесу коефіцієнт зворотного зв'язку K_{ω} можна підібрати шляхом математичного моделювання за допомогою ПЕОМ. За завданням до дипломного проекту значення перерегулювання σ не повинно перевищувати 10%, а час регулювання τ не повинен перевищувати 0,5 с.

2.3.2 Оцінка якості перехідних процесів САК за допомогою ПЕОМ

Серед відомих методів дослідження електромеханічних систем в даний час широкого поширення набув метод комп'ютерного моделювання, що пов'язано з бурним розвитком обчислювальної техніки. Більш того, в багатьох випадках, особливо при аналізі і синтезі складних нелінійних систем, він є єдиною можливим методом, що дозволяє найбільш адекватно і детально відобразити процеси, що відбуваються у реальних системах.

Для моделювання розробленої системи керування електропривода використовуємо програму Matlab, що є досить універсальною і орієнтована на розрахунок перехідних процесів у неперервних, дискретних, дискретно-неперервних, лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних системах.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Перехідні процеси можуть бути побудовані як у функції часу, так і у фазовій площині. Модель системи задається у вигляді набору передавальних функцій ланок, крок інтегрування вводиться користувачем. Задавальні та збурювальні дії на систему, що моделюється, можуть бути задані як ряд гармонійних сигналів, або у вигляді синусоїдальних коливань. Результат розрахунків виводиться у вигляді графіків, при чому можна отримати вихідний сигнал на виході будь-якої ланки модельованої системи.

За допомогою модельованої програми дослідимо реакцію системи на вхідну задавальну дію у вигляді одиничної ступеневої функції $U_3 = 1$.

Вибрана нами система автоматичного керування електроприводом головного руху верстата дозволяє змінювати якість перехідного процесу за допомогою зміни значення коефіцієнту зворотного зв'язку K_{ω} . Його значення можна змінювати й отримувати нові, більш зручні значення перерегулювання та часу регулювання приводу. Крім того, на якість перехідного процесу істотний вплив здійснюють й коефіцієнти K_{U2} та K_{f2} . Отже, змінюючи у сукупності всі три вище перераховані коефіцієнти, отримаємо розрахункові залежності показників якості перехідного процесу.

Проводячи розрахункові дослідження, побудуємо графічні залежності значень перерегулювання та часу регулювання від коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω} при восьми парах сполучень коефіцієнтів K_{U2} та K_{f2} : $K_{U2} = 1,5$ та $K_{f2} = 1$;

$K_{U2} = 1,5$ та $K_{f2} = 2,5$; $K_{U2} = 1,5$ та $K_{f2} = 4$; $K_{U2} = 1,5$ та $K_{f2} = 6,8$; $K_{f2} = 6,8$ та $K_{U2} = 0,1$; $K_{f2} = 6,8$ та $K_{U2} = 100$; $K_{f2} = 6,8$ та $K_{U2} = 500$; $K_{f2} = 6,8$ та $K_{U2} = 1000$.

Графічні залежності приведені на рисунках 2.12 – 2.15. Табличні дані для побудови цих графіків наведені у таблицях Д5 – Д12 додатків.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

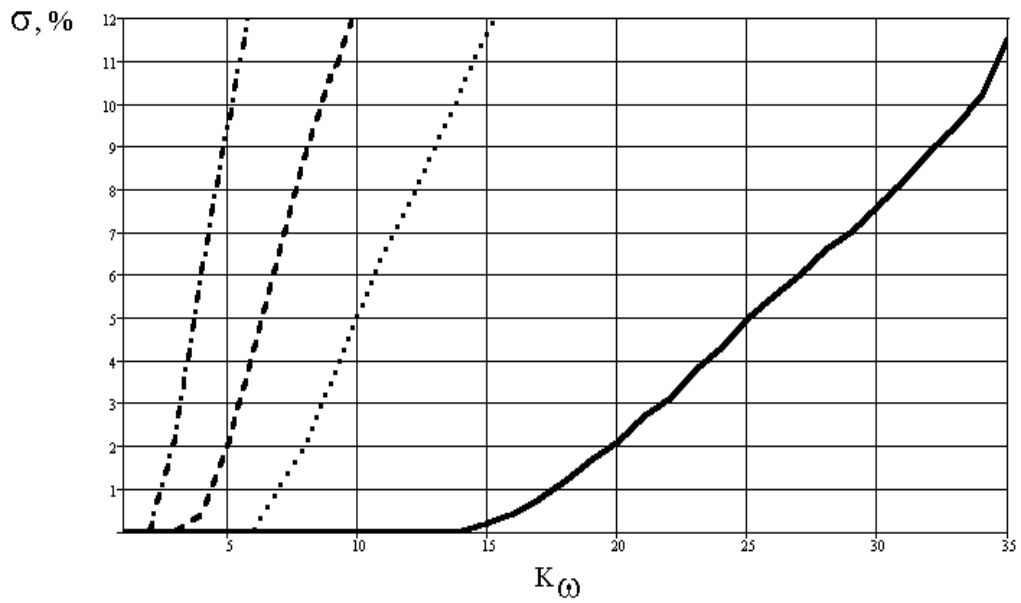


Рис. 2.12. Залежності значення перерегулювання σ від коефіцієнта зворотного зв'язку при $K_{U2} = 1,5$;

$K_{f2} = 1$; — $K_{f2} = 2,5$; $K_{f2} = 4$; - - - $K_{f2} = 6,8$. - . - .

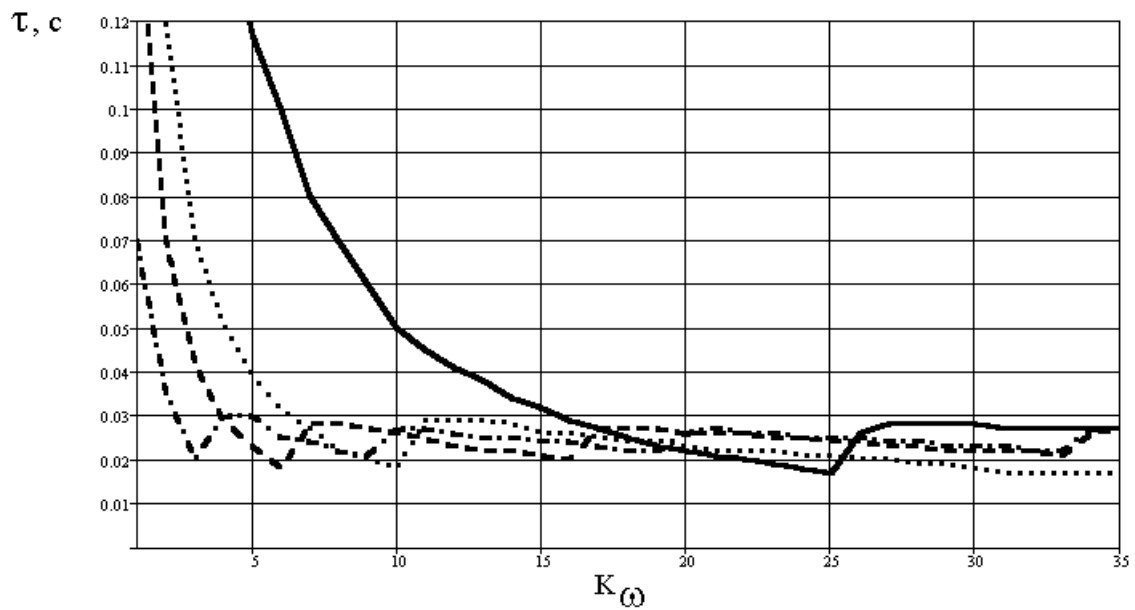


Рис. 2.13 Залежності часу регулювання τ від коефіцієнта зворотного зв'язку при $K_{U2} = 1,5$;

$K_{f2} = 1$; — $K_{f2} = 2,5$; $K_{f2} = 4$; - - - $K_{f2} = 6,8$. - . - .

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

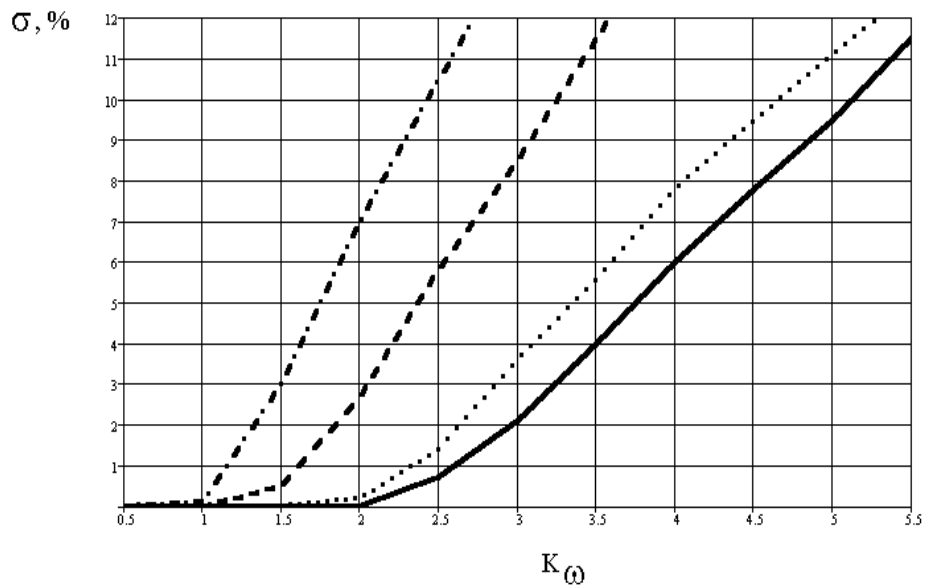


Рис. 2.14 Залежності значення перерегулювання σ від коефіцієнта зворотного зв'язку при $K_{f2} = 6,8$.

$K_{U2} = 0,1$; — $K_{U2} = 100$; $K_{U2} = 500$; - - $K_{U2} = 1000$. - . - .

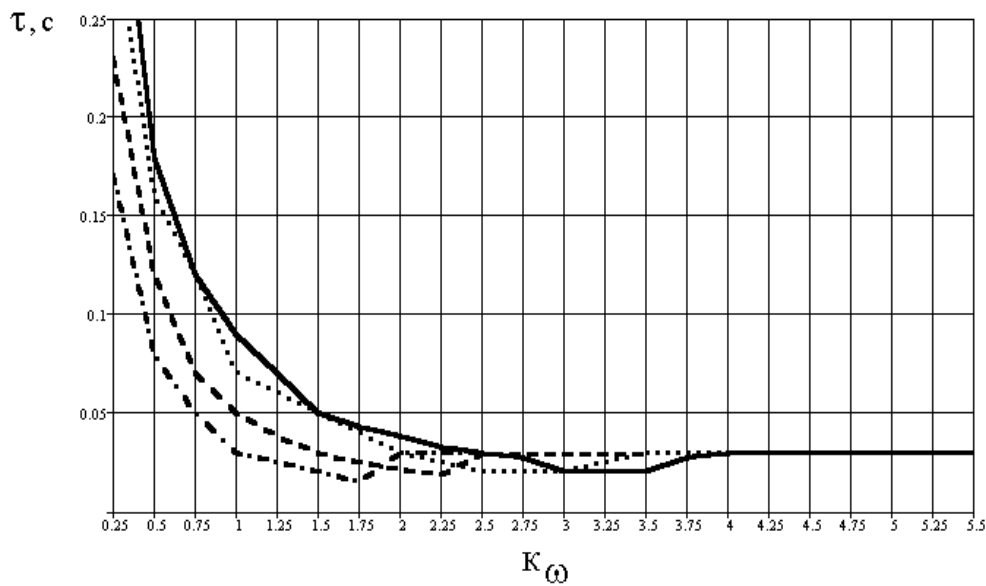


Рис. 2.15 Залежності часу регулювання τ від коефіцієнта зворотного зв'язку при $K_{f2} = 6,8$.

$K_{U2} = 0,1$; — $K_{U2} = 100$; $K_{U2} = 500$; - - $K_{U2} = 1000$. - . - .

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

За отриманими графічними залежностями можна зробити висновки, що значення величини перерегулювання зростає із зростанням коефіцієнта зворотного зв'язку. При чому величина коефіцієнта K_{f2} більше впливає на характер зміни графічної залежності як перерегулювання так і часу регулювання системи. Значення часу регулювання навпаки, плавно спадає із зростанням коефіцієнта зворотного зв'язку. При чому можна бачити, що при збільшенні K_{ω} графік перехідного процесу змінює свій характер із аперіодичного на коливальний, і час регулювання змінюється, асимптотично прямуючи до сталого значення.

Щоб отримати значення перерегулювання σ та часу регулювання τ відповідно до завдання до дипломного проекту нами були прийняті значення коефіцієнтів у номінальному режимі: $K_{f2} = 6,8$; $K_{U2} = 1,5$; $K_{\omega} = 5$.

На рисунку 2.16 зображений графік перехідного процесу системи автоматичного керування із оптимізованими параметрами.

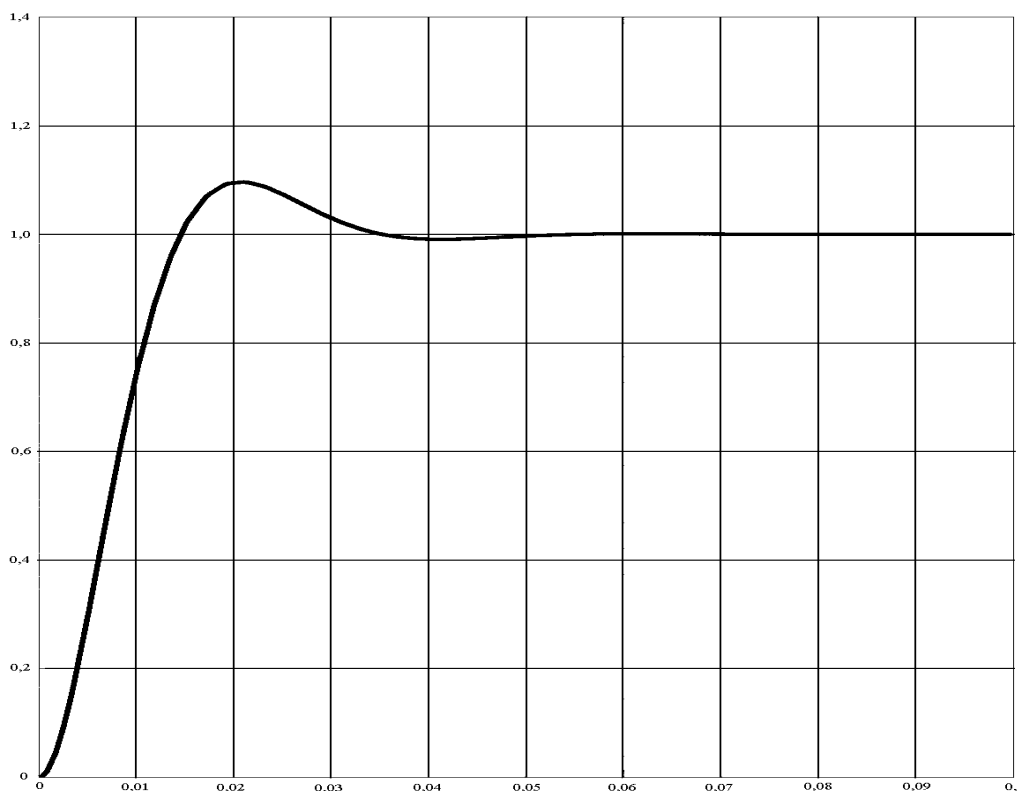


Рис. 2.16 Графік перехідного процесу.

По графічній залежності перехідного процесу оцінимо якість процесу регулювання системи. Основними показниками якості перехідного процесу є час регулювання, перерегулювання, коливальність, ступінь затухання коливань.

Час регулювання τ визначає тривалість (швидкодію) перехідного процесу. Приймають, що по закінченні часу τ відхилення регульованої величини від значення, що встановилось, повинне бути не більше заданої величини ε (прийmemo $\varepsilon = 5\%$), тоді, аналізуючи швидкодію перехідного процесу час регулювання $t_p = 0,028$ с.

Перерегулюванням називається максимальне відхилення регульованої величини від усталеного значення, виражене у процентах [17]

$$\sigma\% = \frac{h_{\max} - h_0}{h_0} \cdot 100\% = \frac{A_1}{h_0} \cdot 100\% \quad (2.62)$$

Для нашого графіка перерегулювання становить: $\sigma = 9,6\%$.

Коливальність системи характеризується числом коливань регульованої величини за час регулювання τ . Для досліджуваної системи коливальність становить 1.

Період коливань в системі становить $T = 0,02$ с.

Таким чином, отримані високі показники перехідного процесу забезпечують достатню швидкодію і стійкість системи електроприводу головного руху поздовжньо-стругального верстата.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Техніко-економічне обґрунтування

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Електрообладнання поздовжньо-стругального верстату з детальною розробкою електропривода переміщення столу	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Шикута С.					55	7
<i>Перевір.</i>		Тимошенко						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н.Контр.</i>		Казачковський						
<i>Затверд.</i>						НТУ «ДП» гр..ЕМ-14-1		

3.1 Обґрунтування модернізації системи керування

Предметом вдосконалення в даній роботі є електропривод головного руху поздовжньо-стругального верстата моделі 7A210. У старій моделі вказаного верстата в якості електродвигуна головного руху використовувався двигун постійного струму із керуванням за допомогою транзисторного перетворювача частоти із застосуванням зворотного зв'язку за швидкістю. Використання двигуна постійного струму із великою потужністю пов'язане із виникненням деяких технологічних проблем. По-перше, він споживає більше електроенергії ніж асинхронний електродвигун, по-друге, він не забезпечує достатньої швидкодії із-за великого моменту інерції на валу, по-третє, кількість браку перевищує допустиму норму.

На підставі вищеприписаного було прийнято рішення про заміну двигуна постійного струму на асинхронний електродвигун із керуванням за допомогою транзисторного перетворювача частоти. Встановлений транзисторного перетворювач фірми "Danfoss" – це сучасний транзисторного перетворювач, який може задовольняти майже будь-яким умовам роботи та технологічним вимогам, він дозволяє привести у відповідність реальні та нормативні характеристики технологічного процесу, а також забезпечує економію засобів, що направляються на фінансування вказаних затрат.

В даній частині економічного обґрунтування проведемо розрахунок зміни річних експлуатаційних затрат споживача при використанні ним порівнюючих об'єктів. Головними елементами економії в результаті впровадження системи керування виступають:

- зниження затрат електроенергії на виробництво деталей;
- зменшення затрат на ремонт електричного обладнання;
- зменшення на виході кількості бракованих деталей.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Визначення затрат на модернізацію системи керування електроприводом головного руху поздовжньо-стругального верстата

3.2.1 Визначення затрат на придбання комплектуючих

Для знову створеної системи автоматичного керування закуплені комплектуючі, перелік яких зведений у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 - Затрат на придбання комплектуючих

Найменування	Кількість	Ціна, грн.
Двигун асинхронний 4A225M4У3	1	15600
Транзисторного перетворювач "Danfoss" VLT-5052	1	35300
Усього		50900

Таким чином, затрати на придбання комплектуючих для системи автоматичного керування головним електроприводом верстата дорівнюють:

$$Z_k = 50900 \text{ (грн.)}$$

3.2.2 Розрахунок заробітної платні з нарахуваннями

Для встановлення електрообладнання приводу головного руху верстата необхідно виконати роботи по його встановленню, монтажу системи керування, демонтажу старого обладнання, налагоді та пуску системи. Вказані роботи будуть проводити два слюсарі КВПіА четвертого розряду на протязі двох днів.

Витрати на заробітну плату з нарахуваннями визначимо за формулою

$$S_{ЗПМ} = K_{нз} \cdot \lambda \cdot t \cdot \sum_{i=1}^m C_{ii} (1 + H) \quad (3.1)$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

де $K_{\text{нз}}$ – коефіцієнт, який враховує накладні витрати на заробітну плату, $K_{\text{нз}} = 1,3$;

λ – коефіцієнт, який враховує премії, $\lambda = 1,25$;

t – час виконання робіт, год;

$C_{\text{ті}}$ – часова тарифна ставка працівника і-го розряду,

H – єдиний соціальний внесок, $H = 0,22$;

m – кількість робочих, чол.

$$S_{\text{зпм}} = 1,3 * 1,25 * 16 * 2,56 * 2 * (1 + 0,22) = 162 \text{ (грн)}$$

3.2.3 Визначення загальної суми затрат на модернізацію

Витрати на модернізацію системи автоматичного керування електроприводом визначимо як суму витрат на купівлю комплектуючих та витрат на заробітну плату з нарахуваннями робітникам, які проводять модернізацію

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{к}} + Z_{\text{зпм}} \quad (3.2)$$

$$Z_{\text{м}} = 50900 + 162 = 51062 \text{ (грн)}$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Розрахунок річного фонду часу роботи поздовжньо-стругального верстата

Розрахунок річного фонду часу роботи верстата проведемо за формулою

$$T_p = \frac{T_\phi}{\frac{1}{t_{cm} \cdot K_{cm}} + D_p} \quad (3.3)$$

де T_ϕ – річний фонд робочого часу, $T_\phi = 256$ (днів);

t_{cm} – тривалість зміни в машино-годинах, $t_{cm} = 8$;

K_{cm} – коефіцієнт змінності роботи устаткування, $K_{cm} = 2$;

D_p – простой в машино-днях у всіх видах технічного обслуговування і ремонту, який приходить на одну машино-годину, визначимо за формулою:

$$D_p = \frac{\sum_{i=1}^n d_{pi} \cdot a_{pi}}{T_{\text{ц}}} \quad (3.4)$$

де n – число різновидів технічних обслуговувань та ремонтів за міжремонтний період, $n = 1$;

d_{pi} – тривалість перебування в i – му ремонті або технічних обслуговувань, $d_{pi} = 0,5$ (год);

$T_{\text{ц}}$ – час міжремонтного циклу, $T_{\text{ц}} = 4096$ (год) ;

a_{pi} – кількість ремонтів або технічних обслуговувань за міжремонтний період – 24.

$$D_p = \frac{1 \cdot 0,5 \cdot 24}{4096} = 0,00293 \left[\frac{\text{маш} \cdot \text{днів}}{\text{маш} \cdot \text{год}} \right]$$

Річний фонд часу роботи до і після модернізації дорівнює

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_p = \frac{256}{\frac{1}{8 \cdot 2} + 0,00293} = 3912,58 \quad (\text{год})$$

3.4 Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності

Річна експлуатаційна продуктивність поздовжньо-стругального верстату визначається за формулою

$$B = B_{\text{Е.Г.П}} \cdot T_p \cdot K_{\text{ПР}} \quad (3.5)$$

де $B_{\text{Е.Г.П}}$ – годинна експлуатаційна продуктивність, (од. прод./год),

$K_{\text{ПР}}$ – коефіцієнт, що враховує простоювання, не враховані в часовій експлуатаційній продуктивності.

Таким чином, річна експлуатаційна продуктивність склала:

$$B = 1 \cdot 3912,58 \cdot 0,8 = 3130 \quad (\text{од. прод./рік})$$

3.5 Визначення поточних річних затрат в процесі експлуатації верстата

Поточні річні експлуатаційні затрати визначаються для системи автоматичного керування до і після модернізації.

3.5.1 Розрахунок заробітної платні з нарахуваннями

Заробітна плата працівників, що приймають участь в експлуатації поздовжньо-стругального верстата визначається за формулою (3.2). До та після модернізації верстата число працівників не змінилося й складає один стругальник, що має четвертий розряд. Витрати на заробітну плату до та після модернізації склали

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

$$S_{зп}=1,3*1,25*3912,58*1,57*(1+0,22)=15298 \text{ (грн)}$$

3.5.2 Визначення витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт системи автоматичного керування електроприводом

Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт системи автоматичного керування електроприводом визначимо за формулою

$$S_{ТО} = S_{ТОЗ} + S_{ТОМ} \quad (3.6)$$

де $S_{ТОЗ}$ – витрати на заробітну плату ремонтників з нарахуваннями;

$S_{ТОМ}$ – витрати на матеріали та запасні частини.

Витрати на заробітну плату ремонтних робітників з нарахуваннями визначаються за формулою

$$S_{ТОЗ} = \frac{T_P}{T_{Ц}} \cdot K_{НЗ} \cdot \lambda \cdot C_P \cdot \sum_{i=1}^m a_{pi} \cdot \chi_{pi} \cdot (1 + H) \quad (3.7)$$

де C_P – середня тарифна ставка ремонтного робітника, що обслуговують верстат, грн/год;

a_{pi} – кількість техобслуговувань і поточних ремонтів без капітального ремонту;

χ_{pi} – трудоемність i – го технічного обслуговування та поточного ремонту, $\chi_{pi} = 1,57$.

Витрати на матеріали та запасні частини визначаються за формулою:

$$S_{ТОМ} = K_{Ш} \cdot \frac{S_{ТОЗ} \cdot (1 - H)}{K_{НЗ}} \cdot K_{ЗР} \quad (3.8)$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $K_{\text{П}}$ – норма накладних розходів по всім видам витрат, крім заробітної плати, $K_{\text{П}} = 1,1$;

$K_{\text{ЗР}}$ – коефіцієнт переходу від витрат на заробітну плату до витрат на матеріали та запасні частини, $K_{\text{ЗР}} = 1,25$.

До та після встановлення на верстат частотного перетворювача технічне обслуговування буде проводити один слюсар КВПіА четвертого розряду. Таким чином, витрати на заробітну плату ремонтних робітників дорівнюють:

до та після модернізації

$$S_{\text{ТОЗ}} = \frac{3912,58}{4096} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 2,8 \cdot 24 \cdot 1,57 \cdot (1 + 0,375) = 225,18 \quad (\text{грн})$$

Відповідно витрати на матеріали та запасні частини до та після модернізації

$$S_{\text{ТОМ}} = 1,1 \cdot \frac{225,18 \cdot (1 - 0,375)}{1,3} \cdot 1,25 = 138,22 \quad (\text{грн})$$

Таким чином, витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт до та після модернізації складають:

$$S_{\text{ТО}} = 225,18 + 138,22 = 363,40 \quad (\text{грн})$$

3.5.3 Визначення витрат на електроенергію

Величину витрат на електроенергію визначимо за формулою

$$S_{\text{ЕЛ}} = K_{\text{П}} \cdot W_{\text{ЕЛ}} \cdot Ц_{\text{ЕЛ}} \cdot T_{\text{Р}} \quad (3.9)$$

де $Ц_{\text{ЕЛ}}$ – ціна 1 кВт/год електроенергії коштує 1,2 грн;

$W_{\text{ЕЛ}}$ – витрата за годину енергії, кВт/год.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

На модернізованому верстаті було встановлено асинхронний електродвигун потужністю 55 кВт, та впроваджена система групового збереження електроенергії у цеху, що дозволяє значно зменшити витрати на електроенергію шляхом значного підвищення коефіцієнта потужності $\cos\phi$ майже до одиниці.

Відповідно, витрати на електроенергію до модернізації становлять

$$S_{\text{ЕЛ1}}=1,1*160*1,2*3912,58=826336 \text{ (грн)}$$

Після модернізації витрати на електроенергію складають

$$S_{\text{ЕЛ2}}=1,1*110*1,2*3912,58=568106 \text{ (грн)}$$

3.5.4 Визначення витрат внаслідок браку продукції

Після впровадження нової системи автоматичного керування електроприводом головного руху поздовжньо-стругального верстата було проведено експериментальне дослідження, внаслідок чого було встановлено, що процент бракованих деталей зменшився від 1,5% до 0,35%. Визначимо витрати від браку за формулою:

$$S_B = B \cdot K_B \cdot Ц \quad (3.10)$$

де K_B – процент браку, %;

$Ц$ – ціна деталі, яка становить 450 грн/од.

Таким чином, витрати на брак до модернізації становили:

$$S_{B1} = 3130 \cdot 0,015 \cdot 450 = 21127,50 \text{ (грн)}$$

Витрати на брак після модернізації становлять:

$$S_{B2} = 3130 \cdot 0,0035 \cdot 450 = 4929,75 \text{ (грн)}$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5.5 Розрахунок загальної суми річних витрат

Розрахунок суми річних витрат на експлуатацію системи автоматичного керування електроприводом головного руху поздовжньо-стругального верстата зведений у таблицю 3.2

Таблиця 3.2- Річні витрати на експлуатацію системи автоматичного керування

Найменування статті витрат	Величина витрат, грн	
	до модернізації	після модернізації
ЗП з нарахуваннями	15298,80	15298,80
ТО і ПР	225,18	363,40
Електроенергія	826336	568106
Брак	21127,50	4929,75
Всього	862987,48	588559,73

3.6 Розрахунок вартості машино–години роботи системи автоматичного керування

Розрахунок вартості машино–годин системи автоматичного керування електроприводом головного руху верстата розрахуємо за формулою

$$S_{MG} = \frac{S}{T_P} \quad (3.11)$$

До модернізації вартість однієї машино-години складала

$$S_{MG1} = 862987,48 / 3912,58 = 220,6 \text{ (грн/год)}$$

Після модернізації вартість однієї машино-години змінилась і складає

$$S_{\text{мг}2}=588559,73/3912,58=150,4 \text{ (грн/год)}$$

3.7 Розрахунок вартості технологічної операції для одиниці продукції

Вартість технологічної операції для одиниці продукції визначається за формулою

$$S_{\text{п}} = \frac{S}{B} \quad (3.12)$$

До модернізації вартість складала

$$S_{\text{п}1}=862987,48/3130=275,7 \text{ (грн)}$$

Після модернізації вартість складає

$$S_{\text{п}2}=588559,73/3130=188 \text{ (грн)}$$

3.8 Визначення економічного ефекту від проведення модернізації

Річний економічний ефект від проведення модернізації визначається за формулою:

$$E = (S_{\text{п}1} - S_{\text{п}2}) \cdot B \quad (3.13)$$

$$E=(275,7-188)*3130=27450 \text{ (грн/рік)}$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Термін окупності витрат по модернізації розраховуємо за формулою

$$T = \frac{Z_M}{E} \quad (3.14)$$

$$T = 51062 / 27450 = 1,8 \quad (\text{року})$$

Якщо перевести 1,8 року у місяці, то отримаємо 16 місяців та 26 днів.

Висновки

Виходячи із проведених розрахунків можна зробити наступні висновки:

- витрати на модернізацію склали 51062 грн;
- витрати на заробітну плату робітників, які експлуатують верстат не змінилися;
- витрати на ТО і ПР після проведення модернізації не змінилися;
- витрати на електроенергію після проведення модернізації зменшились на 45,45%;
- вартість машино-години роботи системи після модернізації знижена на 50,42%;
- вартість технологічної операції для одиниці продукції після модернізації знижена на 50,42%;
- економічний ефект від проведення модернізації склав 27450 гривень на рік;
- термін окупності витрат для модернізації склав майже 19 місяців.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Охорона праці

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Електрообладнання поздовжньо-стругального верстату з детальною розробкою електропривода переміщення столу	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Розроб.</i>	Шикуга С.						67	19
<i>Перевір.</i>	Голінько							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н.Контр.</i>	Казачковський							
<i>Затверд.</i>						НТУ «ДП» гр..ЕМ-14-1		

4.1 Організація безпечних умов праці

Покращення умов праці – одне із найважливіших напрямків економічної й соціальної політики нашої держави, що закріплене конституцією України й регламентоване спеціальними правилами й нормами.

Охорона праці – складний комплекс заходів, що охоплює широке коло питань: від прийому трудящих на роботу до організації їхнього побуту й відпочинку. Доручаючи роботу, керівник (від бригадира й вище) зобов'язаний викласти не лише об'єм й строки виконання робіт, але й які необхідно прийняти заходи по охороні праці. Трудова діяльність людей протікає в рамках виробничої системи «людина – знаряддя праці – предмети праці – виробнича середовище». Ефективність, безпека й санітарно-гігієнічні умови праці залежать від того, наскільки всі елементи системи досконалі, надійні й безпечні.

Продуктивність роботи стругальника в значній мірі залежить від правильної організації та технічного обслуговування робочого місця. Верстат, інвентар, комплект пристосувань та інструментів, що передані у безпосереднє розпорядження стругальщика, разом із закріпленою ділянкою виробничої площі цеха утворюють робоче місце стругальщика.

Основним обладнанням робочого місця стругальщика є стругальний верстат (або група верстатів) із запобіжним та допоміжним обладнанням та постійним комплектом приладдя до нього. До складу допоміжного обладнання та оснащення робочого місця входять:

комплект технологічного оснащення постійного користування (пристосування, ріжучий, вимірювальний та допоміжний інструмент);

комплект технічної документації, що постійно знаходиться на робочому місці (інструкції, довідники, допоміжні таблиці та ін.);

комплект предметів уходу за робочим місцем (мастила, щітки та ін.);

комплект допоміжного обладнання, або так званого організаційно-технічного оснащення;

підніжні решітки;

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

табуретки чи стільці.

Правильне планування робочого місця є найважливішою ланкою в організації робочого процесу. Воно створює умови для високопродуктивної та безпечної роботи. Раціональне планування робочого місця повинно задовольняти наступним вимогам:

Забезпечення умов продуктивної роботи при максимальній економії сил та робочого часу стругальника;

Раціональне та економне використання виробничої площі;

Забезпечення умов для зручності обслуговування робочого місця (доставка заготовок й транспортування оброблених деталей, ремонт та ін.);

Суворе дотримання правил й вимог охорони праці та техніки безпеки.

Економія сил та робочого часу стругальника за рахунок раціонального планування робочого місця досягається при такому розташуванні верстата та предметів організаційно-технічного оснащення, коли для всіх робіт по установці та зняттю деталей, керуванню верстатом та інше забезпечується:

найбільш короткі та маловтомлюючі рухи;

зниження до мінімуму нахилів та поворотів корпусу;

виключення зайвих переміщень робочого;

виключення зайвих трудових рухів, наприклад перекладання інструментів та деталей із однієї руки в іншу;

рівномірне, а по можливості й одночасне виконання трудових рухів обома руками.

На безпеку працівника також впливає планування його робочого місця. Планування залежить від багатьох умов: від типу, габаритів та призначення верстата; від ваги, розмірів та конфігурації оброблюваних деталей; від типу й організації виробництва; від прийнятої системи обслуговування робочих місць, способу доставки заготовок на робоче місце й транспортування оброблених деталей та ін. Найбільш важливими факторами, що визначають номенклатуру й конструкцію організаційно-технічного оснащення на робочому місці та його

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

планування, є: тип виробництва (масове, серійне, одиничне), конфігурація, розміри та вага оброблюємих деталей.

Забезпечення безпеки роботи на стругальних верстатах є також однією із основних умов правильної організації робочого місця. Кожен стругальник повинен бути ознайомлений із основними правилами техніки безпеки при роботі на стругальних верстатах. При сучасних інтенсивних режимах стругання техніка безпеки приймає особливо важливе значення.

Необхідні технічні заходи, які в першу чергу передбачають міри захисту працівника від нанесення травм при транспортуванні, закріпленні заготовок, встановленні та знятті різців, допоміжних пристосувань.

При обробці на верстаті виробів, що мають значну висоту, робоче місце слід обладнати помостом відповідної висоти, але не вище дзеркала столу.

Основним джерелом небезпеки при роботі на поздовжньо-стругальному верстаті є робочий стіл, на якому закріплена заготовка і який рухається в напрямку портала верстата, де нерухомо закріплені різці, що знімають стружку із заготовки. Під час свого руху стіл може нанести травму працівникові, тому слід дотримуватися дистанції відносно столу, слідкувати, щоб одяг працівника не зачепилася за заготовку чи стіл під час руху останнього. Небезпеку також являє собою й стружка, що знімається із заготовки. На підлозі попереду та зліва від верстата вкладені дерев'яні підніжні решітки, що запобігають ноги стругальника від холодної підлоги та по можливості посковзнутись на підлозі. В простір між рейками решітки падають випадкові предмети та стружка, що також усуває перепони при переміщеннях працівника.

Для транспортування заготовки передбачений спеціальний підйомний пристрій. Заготовки вагою до 30 кг на відстані не більшій ніж 2 м встановлюються на столі вручну, при вазі більшій за 30 кг або при відстані більшій за 2 м застосовується підйомний пристрій.

Закріплення заготовки на робочому столі та різців на державках супортів проводиться при вимкненому верстаті.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення призначається для захисту від ураження електричним струмом при дотику до неструмопровідним металевим частинам електроустановок, що опинились під напругою, й застосовується в електроустановках напругою до 1000 В змінного струму із ізольованою нейтраллю й постійного струму із ізольованою середньою точкою, а також напругою вище 1000 В змінного й постійного струму із будь-яким режимом нейтралі.

Фізична суть захисного заземлення полягає у тому, що попередньо створене між металевим корпусом захищеного обладнання й землею електричне з'єднання досить малого у порівнянні із тілом людини опору дозволяє знизити силу струму через тіло людини до допустимого значення. Ідея захисного заземлення заключається у створенні паралельно тілу людини з'єднання корпусів обладнання із землею з опором, що значно менший за опір тіла людини, з тим, щоб при дотику до частин обладнання, що опинились під напругою, струм через тіло людини не досягав небезпечних значень. Принципова схема захисного заземлення приведена на рисунку 4.1.

У відповідності із вимогами ПУЕ найбільший допустимий опір заземлюючого пристрою захисного заземлення установок напругою до 1000 В із ізольованою нейтраллю складає 10 Ом – при сумарній потужності джерел живлення даної мережі не більше 100 кВ·А й 4 Ом – в інших випадках.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

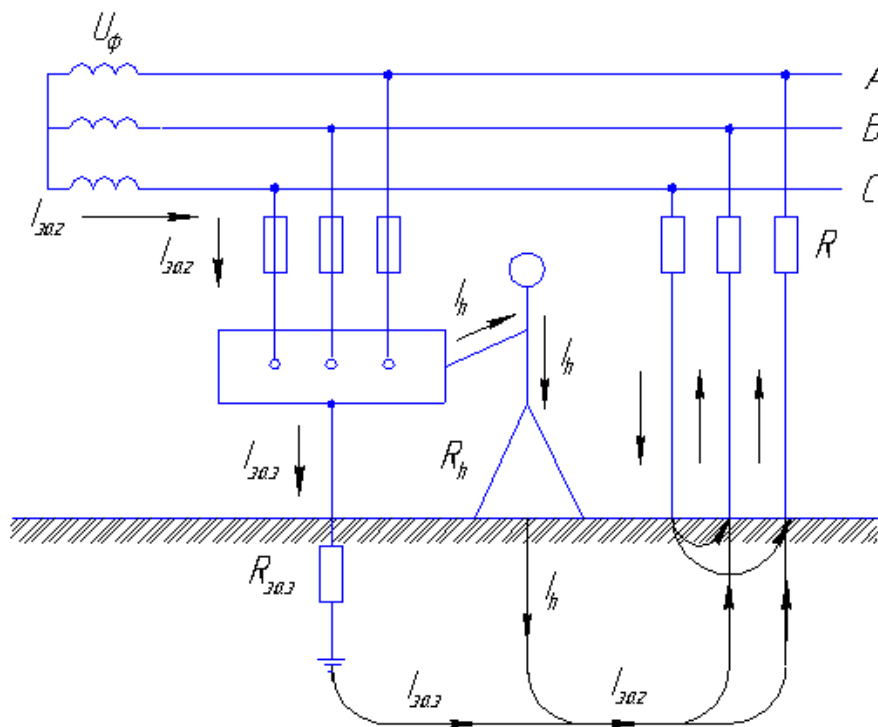


Рис. 4.1 - Принципова схема захисного заземлення.

Захисне заземлення слід виконувати в мережі напругою до 1000 В змінного струму із ізольованою середньою точкою в наступних випадках:

при напрузі змінного струму 380 В й вище й постійного струму 440 В й вище – в усіх електроустановках;

при номінальних напругах змінного струму вище 42 В й постійного струму вище 110 В – в електроустановках, що розміщені в приміщеннях із підвищеною небезпекою, особливо небезпечних та в зовнішніх установках;

при будь-якій напрузі змінного та постійного струму – у вибухонебезпечних установках.

Заземлювач – основний конструктивний й розрахунковий елемент заземлюючих пристроїв. Розрізняють заземлювачі природні та штучні. Розрахунок заземлюючого пристрою зводиться до визначення кількості вертикальних й горизонтальних електродів заземлювача в залежності від потрібного у відповідності з ПУЕ опору заземлення, питомого опору землі у місці спорудження заземлюючого пристрою, прийнятих розмірів електродів й конфігурації заземлювача.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Розрахунку заземлювача повинний передувати попередній вимір питомого опору землі в місці його пристрою. Питомий опір землі ρ , що характеризується опором між сторонами куба землі із ребром довжиною 1 м, вимірюється в Ом·м.

Опором заземлювача або опором розтіканню струму із нього R називають відношення потенціала U на ньому до струму I , що зтікає із нього. Для зосереджених заземлювачів величина R являє собою опір середи, в якій знаходиться заземлювач. Він не враховує матеріалу заземлювача й перехідного або контактного опору між заземлювачем й середою.

Опір середи для зосереджених заземлювачів залежить від її властивостей, розмірів й форми електродів, та їх взаємного розташування. На опір протяжних заземлювачів, окрім того, впливають й провідні властивості матеріалу.

Згідно вимог ПУЕ п.1.7.62 опір заземлюючого пристрою повинен бути не вище 4 Ом в будь-яку пору року. Тож приймаємо опір заземлювача $R_z = 4$ Ом.

Питомий опір землі змінюється від десятків до тисяч Ом·м у залежності від таких факторів, як вміст вологи, температура ґрунту, його склад й ступінь щільності, пори року. Залежність ρ від пори року є достатньо складною, однак відомо, що восени та навесні, коли вологість землі збільшується, ρ зменшується, а взимку й влітку в період промерзання та висихання землі – збільшується.

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту із врахуванням кліматичного коефіцієнту: [40]

$$\rho_{розр} = \rho_{вимір} \cdot \varphi \quad (4.1)$$

де $\rho_{вимір}$ – значення виміряного питомого опору землі. Це значення візьмемо із спеціальних таблиць для попереднього розрахунку заземлювачів [40].

φ – підвищуючий коефіцієнт сезонності, що враховує можливі зміни значення ρ впродовж року й ступінь зволоженості землі в період проведення вимірів. Вибираємо цей коефіцієнт із [40], враховуючи кліматичну зону.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

$$\rho_{розр} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

Після цього знаходимо потрібний опір штучного заземлювача із врахуванням використання природних заземлювачів при тому, що вони з'єднанні паралельно та їх опір не повинен перевищувати норму. У якості природних заземлювачів служать повітряні та сантехнічні комунікації, тому вимірний опір цих заземлювачів буде дорівнювати 17 Ом.

$$R_{ум} = \frac{R_{np} \cdot R_3}{R_{np} - R_3} \quad (4.2)$$

де R_{np} – опір природних заземлювачів;

R_3 – опір заземлюючого пристрою.

$$R_{ум} = \frac{17 \cdot 4}{17 - 4} = 5,23 \text{ Ом}$$

Далі вибираємо форму та розміри вертикальних й горизонтальних електродів, визначають попередню конфігурацію заземлювача. Форму й розміри вертикальних та горизонтальних електродів вибирають, виходячи із вимог, що викладені в ПУЕ. Попереднє розміщення електродів на площі слід проводити так, щоб відстань між вертикальними електродами було не менше їх довжини. Також потрібно враховувати, що збільшення числа вертикальних електродів із зменшенням відстані між ними внаслідок взаємного екранування призводить до зменшення ефективності використання електродів й збільшенню опору розтікання. В залежності від конкретних умов вибирають конфігурацію заземлювача: ряд, прямокутник, променевий та ін. Ми вибираємо прямокутник.

Визначимо опір розтіканню струму одиничного вертикального стрижня із кутової сталі 40×40 мм, довжиною 2,5 м.

Еквівалентний діаметр кутика:

$$d = 0,95 \cdot b = 0,95 \cdot 40 = 38 \text{ мм} = 0,038 \text{ м} \quad (4.3)$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де b – ширина полки кутика.

Глибина закладення стрижня від поверхні землі до середини стрижня

$$H = H_0 + \frac{l}{2} = 0,75 + \frac{2,5}{2} = 2 \text{ м} \quad (4.4)$$

де H_0 – заглиблення.

Опір розтіканню вертикального електрода із кутової сталі R_v , Ом

$$R_v = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l}{4H-l} \right) \quad (4.5)$$

де $\rho_{розр}$ – розрахунковий питомий опір землі (із врахуванням коефіцієнта сезонності); l – довжина електрода; d – зовнішній діаметр електрода, в нашому випадку еквівалентний діаметр кутика; H – глибина закладення (відстань від поверхні землі до середини електрода).

$$R_v = \frac{150}{2 \cdot \pi \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,038} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2 + 2,5}{4 \cdot 2 - 2,5} \right) = 49,69 \text{ Ом}$$

Знаходимо орієнтовну кількість стрижнів

$$\eta = \frac{P}{a} = \frac{130}{5} = 26 \quad (4.6)$$

де P – периметр прямокутника, м;

a – відстань між стрижнями, м.

Визначаємо опір розтіканню горизонтального електрода із кутової сталі R_r , Ом

$$R_r = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{bH} \quad (4.7)$$

де $\rho_{розр}$ – розрахунковий питомий опір землі (із врахуванням коефіцієнта сезонності); l – довжина електрода; b – ширина полоси; H – глибина закладення.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

$$R_z = \frac{150}{2 \cdot \pi \cdot 130} \cdot \ln \frac{2 \cdot 130^2}{0,04 \cdot 2} = 2,38 \text{ Ом}$$

За таблицею 29 [40] знаходимо коефіцієнт використання вертикальних стрижнів групового заземлення без врахування впливу полоси зв'язку: $\eta_v = 0,62$.

За таблицею 28 [40] знаходимо коефіцієнт використання горизонтального полосового електрода, що з'єднує вертикальні електроди групового заземлення: $\eta_r = 0,31$.

Приймаємо вище згаданий план розміщення заземлювача, а саме прямокутник із периметром 130 м, та приєднаних до нього 26 вертикальних електродів довжиною 2,5 м із заглибленням 0,75 м та визначаємо розрахунковий опір заземлювача

$$R = \frac{R_g \cdot R_z}{R_g \cdot \eta_z + R_z \cdot \eta_g \cdot \eta} \quad (4.8)$$

Підставивши у формулу всі вище розраховані та вибрані значення будемо мати

$$R = \frac{49,69 \cdot 2,38}{49,69 \cdot 0,31 + 2,38 \cdot 0,62 \cdot 26} = 2,22 \text{ Ом.}$$

Розрахований опір заземлювача $R = 2,22 \text{ Ом} < R_z = 4 \text{ Ом}$, значить приймаємо до виробництва вибрану конструкцію штучного заземлення.

4.3 Розрахунок занулення

Занулення призначається для захисту від ураження електричним струмом при дотику до неструмоведучих металевих частин електроустановки, що опинились під напругою, й застосовується в електроустановках напругою до 1000 В із глухозаземленою нейтраллю (трифазних чотирипровідних) або із глухозаземленим виводом джерела однофазного струму.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фізична суть занулення полягає у тому, що, завдяки завчасно виконаного за допомогою нульового захисного провідника металевому зв'язку корпусів обладнання із глухозаземленою нейтраллю джерела живлення, будь-яке замикання на корпус перетворюється на однофазне коротке замикання із наступним автоматичним відключенням аварійної ділянки від мережі апаратами захисту (запобіжниками, автоматичними вимикачами та ін.). Принципова схема занулення приведена на рисунку 4.2.

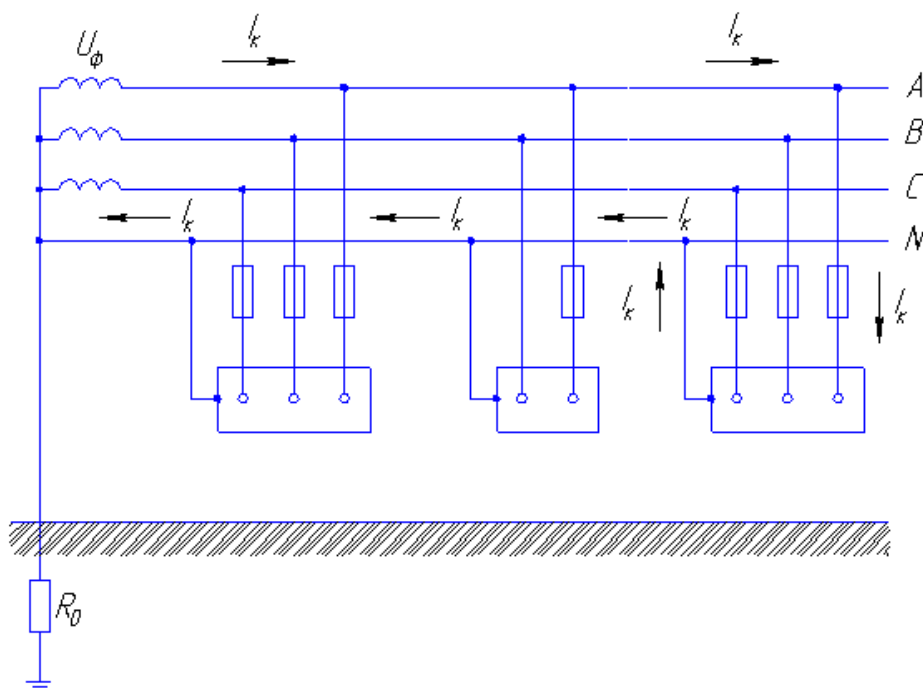


Рис. 4.2 - Принципова схема занулення.

Необхідно відмітити ще одну захисну властивість системи занулення. Металеві неструмопровідні частини електроустановок, що з'єднанні за допомогою нульового захисного провідника із глухозаземленою нейтраллю джерела живлення, опиняються одночасно заземленими через заземлюючий пристрій робочого заземлення нейтралі. Це заземлення в аварійний період, тобто від моменту замикання на корпус до автоматичного відключення ураженої ділянки від мережі, сприяє пониженню напруги корпусу відносно землі аналогічно тому, як це має місце при захисному заземленні.

Таким чином, на час роботи апаратів захисту робоче заземлення глухозаземленої нейтралі виконує функції захисного заземлення, що знижує

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

небезпеку ураження людини, що доторкнулась в цей момент до корпусу, що опинився під напругою.

Надійне спрацювання захисту можливо забезпечити за рахунок струму замикання шляхом зменшення опору ланцюга. Це досягається введенням в схему нульового захисного провідника, тобто зануленням. При цьому із ланцюга замикання виключається як опір заземлення нейтралі, так і опір заземлення електроприймача (рис. 4.1).

Таким чином, в трифазних мережах напругою до 1000 В із глухозаземленою нейтраллю безпека при замиканні фази на корпус може бути забезпечена лише за допомогою занулення. Застосовувати в таких мережах захисне заземлення металевих корпусів електроприймачів без електричного зв'язку їх із нейтральною точкою джерела живлення, тобто без занулення, забороняється. Не можна також в мережі, де прийнято занулення одних електроприймачів, застосовувати заземлення інших без з'єднання із глухозаземленою нейтраллю.

Занулення повинне виконуватись в електроустановках напругою до 1000 В змінного струму із глухозаземленою нейтраллю джерела живлення або постійного струму із глухозаземленою середньою точкою в наступних випадках:

при напрузі змінного струму 380 В й вище та постійного струму 440 В й вище – в усіх електроустановках;

при номінальних напругах змінного струму вище 42 В й постійного струму вище 110 В – в електроустановках, що розміщуються в приміщеннях із підвищеною небезпекою, особливо небезпечних та в зовнішніх установках;

у вибухонебезпечних установках – при будь-якій напрузі змінного й постійного струму.

Основною задачею розрахунку занулення в проекті виробництва робіт є розрахункова перевірка відключаючої здатності системи занулення. При замиканні на корпус занулення виконає свою головну захисну функцію – надійне відключення, якщо сила струму однофазного короткого замикання I_k задовольнить умові

$$I_k \geq KI_{ном} \quad (4.9)$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $I_{ном}$ – номінальне значення сили струму спрацювання апарата захисту, А;
 K – коефіцієнт кратності сили струму однофазного замикання по відношенню до номінальної сили струму спрацювання апарата захисту. Приймаючи в якості апарата захисту запобіжник із плавкою вставкою за таблицею 4 [40] вибираємо $K=3$.

Потужність живлячого трансформатора прийmemo рівною 700 кВ·А, з'єднання обмоток – зіркою. Двигун асинхронний марки 4А225М4У3, $U_n = 220$ В, $n_{ном} = 1500$ об/хв, відношення $I_{пуск} / I_{ном} = 7$, потужність $P_{ном} = 55$ кВт.

Перевіряємо умову забезпечення відмикаючої здатності занулення

$$I_{кз} \geq 3I_{пл.вст.} \quad (4.10)$$

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{Z_m / 3 + Z_n} \quad (4.11)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга, В; Z_T – опір трансформатора, Ом; Z_n – опір петлі фаза-нуль, який визначається за наступною залежністю:

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (X_{\phi} + X_n + X_u)^2} \quad (4.12)$$

де R_n , R_{ϕ} – активні опори нульового та фазного провідника, Ом; X_n , X_{ϕ} – внутрішні індуктивні опори нульового та фазного провідників, Ом; X_u – зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль, Ом.

За таблицею 6.1. [41] визначаємо опір трансформатора Z_T , який буде дорівнювати $Z_T = 0,129$ Ом.

Номінальний струм двигуна був розрахований у розділі 2.4 даного дипломного проекту і дорівнює $I_{1н} = 100,1$ А.

Розраховуємо пусковий струм двигуна

$$I_{пуск} = 7 \cdot 100,1 = 700,7 \text{ А};$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховуємо номінальний струм плавкої вставки

$$I_{пл.вст.} = I_{пуск} / \alpha \quad (4.13)$$

де $I_{пуск}$ – пусковий струм двигуна; α – коефіцієнт режиму роботи.

$$I_{пл.вст.} = 700,7 / 2 = 350,35 \text{ А}$$

Визначаємо значення струму короткого замикання

$$I_{кз} \geq 3 \cdot I_{пл.вст} \quad (4.14)$$

де $I_{пл.вст}$ – струм плавкої вставки запобіжника.

$$I_{кз} \geq 3 \cdot 350,35 = 1051 \text{ А}$$

Задаємося стандартним перетином нульового провідника 60×10 мм та розраховуємо щільність струму δ

$$\delta = I_{кз} / S \quad (4.15)$$

де S – площа поперечного перерізу провідника, мм²;

$$\delta = 1051 / 600 = 1,75 \text{ А/мм}^2$$

За таблицею 6.2 [41] знаходимо активні та індуктивні опори сталених провідників. Для цього задаємося перетином та довжиною нульового l_n та фазового l_ϕ провідників, що виконані із сталі: $l_n = 50$ м, перетину 60×10 мм, $S = 600$ мм², $l_\phi = 100$ м, перетином $\varnothing = 16$ мм, $S = 201,1$ мм².

Активний опір фазового провідника береться із таблиці 6.2 [41] в залежності від площі поперечного перетину та щільності струму

$$R_\phi = r \cdot l_\phi = 0,9 \cdot 0,1 = 0,09 \text{ Ом}$$

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Аналогічно визначимо активний опір нульового провідника:

$$R_n = r \cdot l_n = 0,3 \cdot 0,05 = 0,015 \text{ Ом}$$

Визначимо внутрішні індуктивні опори фазного та нульового провідників X_ϕ та X_n

$$X_\phi = X_\omega \cdot l_\phi = 0,4 \cdot 0,1 = 0,04 \text{ Ом} \quad X_n = X_\omega \cdot l_n = 0,1 \cdot 0,05 = 0,005 \text{ Ом}$$

де X_ω – із таблиці 6.2 [41], Ом; l – довжина провідника, км.

Зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль $X_n = 0,6$ Ом/км. Загальна довжина петлі фаза-нуль $50+100 = 150$ м = $0,15$ км, тоді $X_n = 0,6 \cdot 0,15 = 0,09$ Ом.

Використовуючи отримані дані, розрахуємо Z_n та визначимо струм короткого замикання за формулами (7.3.4) та (7.3.3)

$$Z_n = \sqrt{(0,09 + 0,015)^2 + (0,04 + 0,005 + 0,09)^2} = 0,157 \text{ Ом}$$

$$I_{кз} = \frac{220}{0,129/3 + 0,157} = 1100 \text{ А}$$

Струм $I_{кз}$ більш ніж у три рази перевищує номінальний струм плавкої вставки, тому при замиканні на корпус плавка вставка перегорить за $5...7$ с та відімкне пошкоджену фазу. За номінальним струмом із табл. 6.4 [41] приймаємо плавку вставку серії ПН2-1000 із номінальним струмом 1000 А при напрузі мережі 220 В.

4.4 Технічні вказівки із забезпечення безпеки при обслуговуванні та ремонті електрообладнання верстата

Безпека праці на верстаті забезпечується відповідністю його конструкції вимогам ГОСТ 7599-82 та ГОСТ 12.2.009-80, а також виконанням обслуговуючим персоналом вимог безпеки керівництва із експлуатації верстата,

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

а також вимог інструкцій із техніки безпеки при холодній обробці металів для даного типу верстатів.

До роботи на верстатах допускається лише кваліфікований персонал (стругальники не нижче 4 розряду, монтажники, наладчики, робочі-оператори та безпосередні керівники робіт), попередньо вивчивши правила техніки безпеки, конструктивні й технічні особливості верстата, правила ведення робіт по своїй спеціалізації та маючий документ, що затверджує право ведення робіт.

Вимоги безпеки при монтажі, пусконаладжувальних та ремонтних роботах:

забороняється проводити будь-які роботи по обслуговуванню електрообладнання без відключення верстата від мережі або не зробивши необхідних організаційних й технічних заходів при часових перевірочних підключеннях станції керування до мережі;

забороняється вести як пусконаладжувальні роботи, так і експлуатацію верстатів із підвісним пультом, що неврівноважений у вертикальному положенні або що довільно переміщується у горизонтальному напрямку;

забороняється робота на верстатах із порушеннями: в захисних, тобто блокуючих пристроях; пристроях, що обмежують переміщення рухомих вузлів; сигнальних пристроях й місцях заземлень. Ці пристрої повинні періодично перевірятись на збереженість й правильність дії;

забороняється при обробці виробу проводити на верстаті будь-які ремонтні роботи;

забороняється знаходитись на столі верстата під час роботи верстата в автоматичному циклі;

забороняється заходити оператору на стіл верстата до виробу, що оброблюється (при необхідності настройки ріжучого інструмента на припуск, контролю розмірів на виробі й інших подібних робіт) при ввімкненому перетворювачі або залишивши підвісний пульт керування в незручному для доступу місці;

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

при обробці на верстаті виробів, що мають значну висоту, робоче місце слід обладнати помостом відповідної висоти, але не вище дзеркала столу;

по закінченні робіт верстат повинен бути вимкнений від мережі живлення.

Вид основного оперативного обслуговування верстатів – постійний. Кількість обслуговуючого персоналу – один верстатник із кваліфікацією стругальника не нижче четвертого розряду. Наладка верстата здійснюється верстатником.

Показники ремонтної складності верстатів для побудови структури міжремонтних циклів й періодичності технічного обслуговування згідно Єдиній системі планово-запобіжних ремонтів (ЄСПЗР) мають наступні значення:

механічна частина верстата – 31;

електрична частина верстата (всього) – 56;

електрична частина верстата (в т.ч. електромашин) – 29.

До обслуговування автоматики й електропривода верстата допускаються працівники, що пройшли спеціальний технічний інструктаж, та вивчили керівництво з експлуатації.

Для попередження ураження електричним струмом:

оглядові люки, коробки виводів та клемні коробки закрити передбаченими для цього кришками;

перевірити надійність заземлення верстата, шаф керування;

забороняється проводити будь-які роботи із огляду, регулювання та обслуговуванню електрообладнання без відключення від мережі, не прийнявши необхідних організаційних та технічних заходів;

Обслуговуючий персонал повинен суворо дотримуватись “Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів й правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів”.

Електрообладнання верстата виконано у відповідності із вимогами ГОСТ 12.2.009-80.

Перелік найважливіших вимог безпеки, що передбачені конструкцією верстата:

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Елементи електрообладнання забезпечують безаварійну роботу верстата при зміні напруги мережі від 0,9 до 1,1 номінального значення й відповідні паспорту технічні характеристики при зміні напруги від 0,95 до 1,05 номінального значення;

Верстат має ввідний вимикач F1 ручної дії, що розміщений у шафі станції керування й призначений для підключення електрообладнання верстата до живлячої мережі, а також для відключення його від мережі на час перерви в роботі та в аварійних випадках;

Верхні контакти ввідного вимикача F1 на станції керування закриті кришками;

Дверцята шафи станції керування зблоковані із ввідним вимикачем;

Пульт керування оснащений кнопкою із грибовидним штовхачем червоного кольору для аварійного відключення верстата;

Біля кнопок керування маються знаки: “0” – відключення та “1” – вмикання;

Електрообладнання верстата має систему сигналізації про коротке замикання на землю в ланцюгах керування (сигнальні лампочки Н2, Н3, Н4, Н5 встановлені на дверцятах шафи керування);

Всі металеві частини верстата (станина, корпуса електродвигунів, каркас шафи, пульт керування та ін.) оснащені пристроями захисного заземлення;

Напруга ланцюгів місцевого освітлення верстата – 24 В;

Монтаж електропроводки на верстаті виконаний дротами наступних кольорів: силові ланцюги змінного та постійного струму – чорний; ланцюги керування змінного струму – червоний; ланцюги керування постійного струму – синій; ланцюги заземлення – зелено-жовтий;

На дверцятах станції керування мається пристрій для запирання ввідного автомата у відключеному стані.

Для безвідмовної роботи електромашин слід регулярно проводити чистку від пилу та бруду електродвигунів та апаратури, а також змазку підшипників електромашин. Справна електроапаратура забезпечує виконання техніки безпеки при її експлуатації.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У результаті виконання дипломного проекту був модернізований електропривод головного руху поздовжньо-стругального верстата, та отримані наступні результати:

Розрахована кінематична схема верстата та зусилля, що потрібні для різання металевих деталей на поздовжньо-стругальному верстаті;

Замість застарілого та ненадійного двигуна постійного струму у верстаті запропоновано використання асинхронного двигуна серії 4A225M4У3 потужністю 55 кВт;

Керування приводним двигуном проводиться методом квазівекторного керування, для чого застосовується транзисторний перетворювач серії VLT 5052 німецької фірми “Danfoss”;

Теоретично визначена структурна схема асинхронного двигуна, що складається із двох паралельно ввімкнених аперіодичних ланок. На ПЕОМ розраховані залежності коефіцієнтів передачі та постійних часу асинхронного двигуна у діапазоні частот 20-80 Гц та діапазоні напруг 180-260 В;

Вибрана система автоматичного керування електроприводом із застосуванням зворотного зв'язку за швидкістю, на основі якої був змодельований перехідний процес системи. Проведені дослідження якості перехідного процесу при зміні коефіцієнта зворотного зв'язку за швидкістю, приведені графічні залежності зміни значення часу регулювання та перерегулювання, вибрані значення, що найбільше задовольняють умовам завдання до дипломного проекту. Перерегулювання системи автоматичного керування складає 9,6%, час регулювання – 0,028 с.

Проведена перевірка стійкості системи автоматичного керування за допомогою критеріїв Гурвіца та Найквіста, побудовані логарифмічні амплітудно-частотні та фазо-частотні характеристики, визначені запаси за амплітудою та фазою. Запас за амплітудою фактично необмежений, запас за фазою 380.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Розрахована лінія енергопостачання енергії у цех та вибране відповідне обладнання.

Запропонована сучасна система економії електроенергії керованих асинхронних електроприводів шляхом рекуперації енергії у мережу групового споживання та підвищення значення коефіцієнта потужності $\cos\phi$ практично до одиниці.

Сформульовані основні вимоги до обслуговуючого персоналу верстату, описані основні положення із техніки безпеки при експлуатації останнього. Розраховані захисне заземлення та занулення, приведені правила безпечної експлуатації електроелементів верстата.

Проведений розрахунок економічної ефективності модернізації приводу головного руху поздовжньо-стругального верстата. Термін окупності складає дев'ять місяців, економічний ефект від модернізації складає 69986,80 грн/рік.

Таким чином, завдання на дипломний проект виконано повністю.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Література

1. “Металлорежущие станки” Под ред. В.К. Тепинкичиева. Москва. “Машиностроение”. 1973. – 374 с.
2. “Металлорежущие станки и автоматы”. Под ред. А.С. Проникова. Москва. “Машиностроение”. 1981. – 321 с.
3. Станки универсальные продольно-строгальные моделей 7А110, 7А112, 7А116, 7А210, 7А212, 7А216. Руководство по эксплуатации. Часть 1.
4. “Справочник нормировщика машиностроения”. Т.2. Москва. “Машиностроение”. 1961.
5. Станки универсальные продольно-строгальные моделей 7А110, 7А112, 7А116, 7А210, 7А212, 7А216. Руководство по эксплуатации. Часть 2. “Электрооборудование станка”.
6. Копылов Р.Б. “Работа на строгальных и долбежных станках”. Москва. “Машиностроение”. 1985. – 211 с.
7. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник. А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф. – М: Энергоатомиздат, 1982, - 504 с.
8. Сандлер А.С. “Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями”. М.: “Энергия”. 1974.
9. Преобразователи частоты серии VLT 5000. Руководство по эксплуатации. Danfoss Corp. 1995.
10. Сандлер А.С. Регулирование скорости вращения мощных асинхронных двигателей. М.-Л. «Энергия». 1966.
11. Онушко В.В., Галай В.М. Передавальна функція асинхронного двигуна при частотному керуванні. Вісник КДПУ “Проблематика вищої школи. Електромеханічні системи та автоматизація. Енергетика та енергозбереження. Діагностика в електромеханічних та енергетичних системах. Моделювання та методи оптимізації”. Кременчук: 2003 (19), вип. 2, с. 131 – 135.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

12. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для студентов электромеханических и энергетических вузов. М. Энергоиздат. 1981.

13. Онушко В.В., Галай В.М. Аналіз передавальної функції асинхронного двигуна при частотному керуванні. Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Электротехника, электроника и электропривод» - Харьков, 2003. вып. 10, Т.2. с. 364 – 366.

14. Копылов И.П. “Электрические машины”. – М.: Высшая школа: Логос, 2000. – 607 с.

15. Онушко В.В., Галай В.М. Дослідження моделей асинхронних двигунів при частотному керуванні. Вестник НТУ «ХПИ», серия «Электротехника, электроника и электропривод», вып. 43, Харьков, 2004 г. с. 101 – 102.

16. Якимчук Г.С., Крупица П.А., Клименко Д.С. Структурная схема системы управления частотно-регулируемым электроприводом навивающего устройства. Вестник НТУ «ХПИ», серия «Электротехника, электроника и электропривод», вып. 43. Харьков. 2004 г. с. 127 – 130.

17. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: Навчальний посібник для технічних вузів. – Полтава.: Видавництва “Полтава”. 1998. – 470 с.

18. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. М. Энергоиздат. 1979.

19. Сандлер А.С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков. Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа. 1972.

20. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. М.: Энергия. 1980.

21. Зимин Е.Н. Электрооборудование промышленных предприятий и установок. М.: Энергоиздат. 1981.

22. Соколов М.Н. Автоматизированный электропривод общепромышленных установок. М.: Энергия. 1976.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

23. Правила устройств электроустановок / Минэнерго СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.

24. Ануре Анго. Математика для электро- и радиоинженеров. – М.: Наука, 1965. – 778 с.

25. Электробезопасность в строительстве / В.Н. Бергельсон, Л.И. Бржезицкий. – К.: Будівельник, 1987. – 208 с.

26. Инженерные решения по охране труда в строительстве / Г.Г. Орлов, В.И. Булыгин, Д.В. Виноградов и др.: Под ред. Г.Г. Орлова. – М.: Стройиздат, 1985. – 278 с.

					6.05070204 ДП01 266148 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки

Додаток 1

У таблиці Д.1 наведені розрахункові дані для побудови тривимірних залежностей коефіцієнта K_u від керуючих частоти f_1 та напруги U у діапазонах, вказаних у завданні до дипломного проекту.

Таблиця Д.1.

Значення частоти f_1	Значення напруги U	Значення коефіцієнта $K_u(f_1, U)$	Значення частоти f_1	Значення напруги U	Значення коефіцієнта $K_u(f_1, U)$
20	180	0,00874	20	240	0,00193
30	180	0,0221	30	240	0,004425
40	180	0,0522	40	240	0,0081
50	180	0,3281	50	240	0,0133
20	190	0,00652	60	240	0,0209
30	190	0,0159	70	240	0,0332
40	190	0,0335	80	240	0,0582
50	190	0,0823	20	250	0,001566
57	190	0,7929	30	250	0,00358
20	200	0,004965	40	250	0,0065
30	200	0,0118	50	250	0,0106
40	200	0,0235	60	250	0,0162
50	200	0,0468	70	250	0,0244
60	200	0,1426	80	250	0,038
20	210	0,00384	20	260	0,00128
30	210	0,009	30	260	0,002923
40	210	0,0173	40	260	0,00529
50	210	0,0314	50	260	0,0085
60	210	0,0634	60	260	0,0128
70	210	0,4665	70	260	0,0187
20	220	0,003	80	260	0,0275
30	220	0,007			
40	220	0,0132			
50	220	0,0227			
60	220	0,0398			
70	220	0,0855			
20	230	0,0024			
30	230	0,00553			
40	230	0,0102			
50	230	0,0171			

60	230	0,028			
70	230	0,0487			
80	230	0,1176			

У таблиці Д.2 наведені розрахункові дані для побудови тривимірних залежностей коефіцієнта K_{of} від керуючих частоти f_1 та напруги U у діапазонах, вказаних у завданні до дипломного проекту.

Таблиця Д.2.

Значення частоти f_1	Значення напруги U	Значення коефіцієнта $K_{of}(f_1, U)$	Значення частоти f_1	Значення напруги U	Значення коефіцієнта $K_{of}(f_1, U)$
20	180	3,0258	70	230	2,893
30	180	2,947	80	230	2,6016
40	180	2,7902	20	240	3,1071
50	180	1,5326	30	240	3,089
20	190	3,0501	40	240	3,0693
30	190	2,9934	50	240	3,0462
40	190	2,9047	60	240	3,0156
50	190	2,663	70	240	2,9674
57	190	0,3545	80	240	2,8664
20	200	3,0681	20	250	3,1124
30	200	3,0253	30	250	3,0972
40	200	2,9672	40	250	3,081
50	200	2,8573	50	250	3,0629
60	200	2,4076	60	250	3,0405
20	210	3,0817	70	250	3,0093
30	210	3,0482	80	250	2,9573
40	210	3,0068	20	260	3,1167
50	210	2,9429	30	260	3,1038
60	210	2,7981	40	260	3,0904
70	210	1,282	50	260	3,0757
20	220	3,0922	60	260	3,0585
30	220	3,0654	70	260	3,0365
40	220	3,0342	80	260	3,0045
50	220	2,9918			
60	220	2,9185			
70	220	2,7182			
20	230	3,1005			
30	230	3,0786			
40	230	3,0542			

50	230	3,0237			
60	230	2,9789			

У таблиці Д.3 наведені розрахункові дані для побудови тривимірних залежностей сталої часу T_u від керуючих частоти f_1 та напруги U у діапазонах, вказаних у завданні до дипломного проекту.

Таблиця Д.3.

Значення частоти f_1	Значення напруги U	Значення сталої часу $T_u(f_1, U)$	Значення частоти f_1	Значення напруги U	Значення сталої часу $T_u(f_1, U)$
20	180	0,000947	40	230	0,00231
30	180	0,00239	50	230	0,00388
40	180	0,00565	60	230	0,00633
50	180	0,0355	70	230	0,011
51	180	0,1951	80	230	0,0266
20	190	0,000831	20	240	0,000495
30	190	0,002022	30	240	0,00114
40	190	0,00427	40	240	0,00208
50	190	0,0105	50	240	0,00342
57	190	0,101	60	240	0,00537
20	200	0,000738	70	240	0,00851
30	200	0,00176	80	240	0,0149
40	200	0,00349	20	250	0,000455
50	200	0,00696	30	250	0,00104
60	200	0,0212	40	250	0,00189
63	200	0,0607	50	250	0,00307
20	210	0,000661	60	250	0,00469
30	210	0,00155	70	250	0,00708
40	210	0,00297	80	250	0,011
50	210	0,0054	20	260	0,000419
60	210	0,0109	30	260	0,000954
70	210	0,0803	40	260	0,00173
20	220	0,000597	50	260	0,00278
30	220	0,00139	60	260	0,00418
40	220	0,0026	70	260	0,00612
50	220	0,00449	80	260	0,00898
60	220	0,00787			
70	220	0,0169			
77	220	0,0793			
20	230	0,000543			
30	230	0,00125			

У таблиці Д.4 наведені розрахункові дані для побудови тривимірних залежностей сталої часу T_{of} від керуючих частоти f_1 та напруги U у діапазонах, вказаних у завданні до дипломного проекту.

Таблиця Д.4.

Значення частоти f_1	Значення напруги U	Значення сталої часу $T_{of}(f_1, U)$	Значення частоти f_1	Значення напруги U	Значення сталої часу $T_{of}(f_1, U)$
20	180	0,000935	40	230	0,00229
30	180	0,00234	50	230	0,00382
40	180	0,00541	60	230	0,00621
50	180	0,0269	70	230	0,0107
51	180	0,0658	80	230	0,0246
20	190	0,000823	20	240	0,000494
30	190	0,00199	30	240	0,00113
40	190	0,00415	40	240	0,00207
50	190	0,00983	50	240	0,00338
57	190	0,0565	60	240	0,00529
20	200	0,000732	70	240	0,00834
30	200	0,00173	80	240	0,0144
40	200	0,00342	20	250	0,000453
50	200	0,00672	30	250	0,001034
60	200	0,019	40	250	0,00189
63	200	0,0444	50	250	0,003039
20	210	0,000657	60	250	0,00464
30	210	0,00154	70	250	0,00697
40	210	0,00293	80	250	0,0108
50	210	0,00528	20	260	0,000418
60	210	0,0104	30	260	0,00095
70	210	0,0572	40	260	0,00172
20	220	0,000594	50	260	0,00276
30	220	0,00137	60	260	0,00414
40	220	0,00257	70	260	0,00604
50	220	0,00442	80	260	0,00884
60	220	0,00766			
70	220	0,0159			
77	220	0,0598			
20	230	0,00054			
30	230	0,00124			

Додаток 2

У таблиці Д5 наведені розрахункові дані для побудови графічних залежностей значення перерегулювання та часу регулювання в залежності від коефіцієнта зворотного зв'язку за швидкістю K_{ω} при наступних сполученнях коефіцієнтів системи автоматичного керування K_{U2} та K_{f2} : $K_{U2} = 1,5$; $K_{f2} = 1$.

Таблиця Д5

Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с	Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с
1	0	0,6	19	1,7	0,023
2	0	0,3	20	2,1	0,022
3	0	0,2	21	2,7	0,021
4	0	0,15	22	3,1	0,02
5	0	0,117	23	3,8	0,019
6	0	0,1	24	4,3	0,018
7	0	0,08	25	5	0,017
8	0	0,07	26	5,5	0,026
9	0	0,06	27	6	0,028
10	0	0,05	28	6,6	0,0285
11	0	0,04	29	7	0,028
12	0	0,039	30	7,6	0,028
13	0	0,038	31	8,2	0,028
14	0	0,034	32	8,9	0,028
15	0,18	0,032	33	9,3	0,028
16	0,42	0,029	34	9,7	0,028
17	0,75	0,027	35	11,5	0,027
18	1,2	0,025			

У таблиці Д6 наведені розрахункові дані для побудови графічних залежностей значення перерегулювання та часу регулювання в залежності від коефіцієнта зворотного зв'язку за швидкістю K_{ω} при наступних сполученнях коефіцієнтів системи автоматичного керування K_{U2} та K_{f2} : $K_{U2} = 1,5$; $K_{f2} = 2,5$.

Таблиця Д6

Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення пере-регулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с	Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення пере-регулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с
0,5	0	0,5	8	2	0,022
1	0	0,24	9	3,5	0,02
2	0	0,12	10	5	0,018
3	0	0,07	11	6,5	0,029
4	0	0,051	12	7,6	0,029
5	0	0,039	13	9	0,029
6	0	0,031	14	10,2	0,029
7	1	0,027			

У таблиці Д7 наведені розрахункові дані для побудови графічних залежностей значення перерегулювання та часу регулювання в залежності від коефіцієнта зворотного зв'язку за швидкістю K_{ω} при наступних сполученнях коефіцієнтів системи автоматичного керування K_{U2} та K_{f2} : $K_{U2} = 1,5$; $K_{f2} = 4$.

Таблиця Д7

Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с	Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с
0,5	0	0,3	5	2	0,023
1	0	0,15	5,5	3,2	0,02
1,5	0	0,09	6	4,2	0,018
2	0	0,07	6,5	5,2	0,028
2,5	0	0,053	7	6,5	0,028
3	0	0,042	7,5	7,6	0,028
3,5	0	0,034	8	8,8	0,028
4	0,4	0,029	8,5	9,7	0,027
4,5	1	0,026	9	10,7	0,027

У таблиці Д8 наведені розрахункові дані для побудови графічних залежностей значення перерегулювання та часу регулювання в залежності від коефіцієнта зворотного зв'язку за швидкістю K_{ω} при наступних сполученнях коефіцієнтів системи автоматичного керування K_{U2} та K_{f2} : $K_{U2} = 1,5$; $K_{f2} = 6,8$.

Таблиця Д8

Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с	Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с
0,5	0	0,16	3,5	4	0,015
1	0	0,07	4	6	0,03
1,5	0	0,05	4,5	7,8	0,03
2	0	0,035	5	9,6	0,028
2,5	0,8	0,03	5,5	11,5	0,027
3	2,2	0,02			

У таблиці Д9 наведені розрахункові дані для побудови графічних залежностей значення перерегулювання та часу регулювання в залежності від коефіцієнта зворотного зв'язку за швидкістю K_{ω} при наступних сполученнях коефіцієнтів системи автоматичного керування K_{f2} та K_{U2} : $K_{f2} = 6,8$; $K_{U2} = 0,1$.

Таблиця Д9

Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с	Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с
0,5	0	0,18	3,5	4	0,02
1	0	0,07	4	6	0,03
1,5	0	0,05	4,5	7,8	0,03
2	0	0,035	5	9,5	0,03
2,5	0,7	0,03	5,5	11,5	0,03
3	2,1	0,02			

У таблиці Д10 наведені розрахункові дані для побудови графічних залежностей значення перерегулювання та часу регулювання в залежності від коефіцієнта зворотного зв'язку за швидкістю K_{ω} при наступних сполученнях коефіцієнтів системи автоматичного керування K_{f2} та K_{U2} : $K_{f2} = 6,8$; $K_{U2} = 100$.

Таблиця Д10

Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с	Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с

0,5	0	0,16	3	3,6	0,02
1	0	0,07	3,5	5,6	0,03
1,5	0	0,05	4	7,8	0,03
2	0,2	0,03	4,5	9,5	0,03
2,5	1,4	0,02	5	11,1	0,03

У таблиці Д11 наведені розрахункові дані для побудови графічних залежностей значення перерегулювання та часу регулювання в залежності від коефіцієнта зворотного зв'язку за швидкістю K_{ω} при наступних сполученнях коефіцієнтів системи автоматичного керування K_{f2} та K_{U2} : $K_{f2} = 6,8$; $K_{U2} = 500$.

Таблиця Д11

Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с	Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с
0,25	0	0,23	2	2,7	0,021
0,5	0	0,12	2,25	4,1	0,019
0,75	0	0,07	2,5	5,8	0,029
1	0	0,05	2,75	7	0,029
1,25	0	0,038	3	8,5	0,029
1,5	0,5	0,03	3,25	10	0,029
1,75	1,5	0,025	3,5	11,5	0,029

У таблиці Д12 наведені розрахункові дані для побудови графічних залежностей значення перерегулювання та часу регулювання в залежності від коефіцієнта зворотного зв'язку за швидкістю K_{ω} при наступних сполученнях коефіцієнтів системи автоматичного керування K_{f2} та K_{U2} : $K_{f2} = 6,8$; $K_{U2} = 1000$.

Таблиця Д12

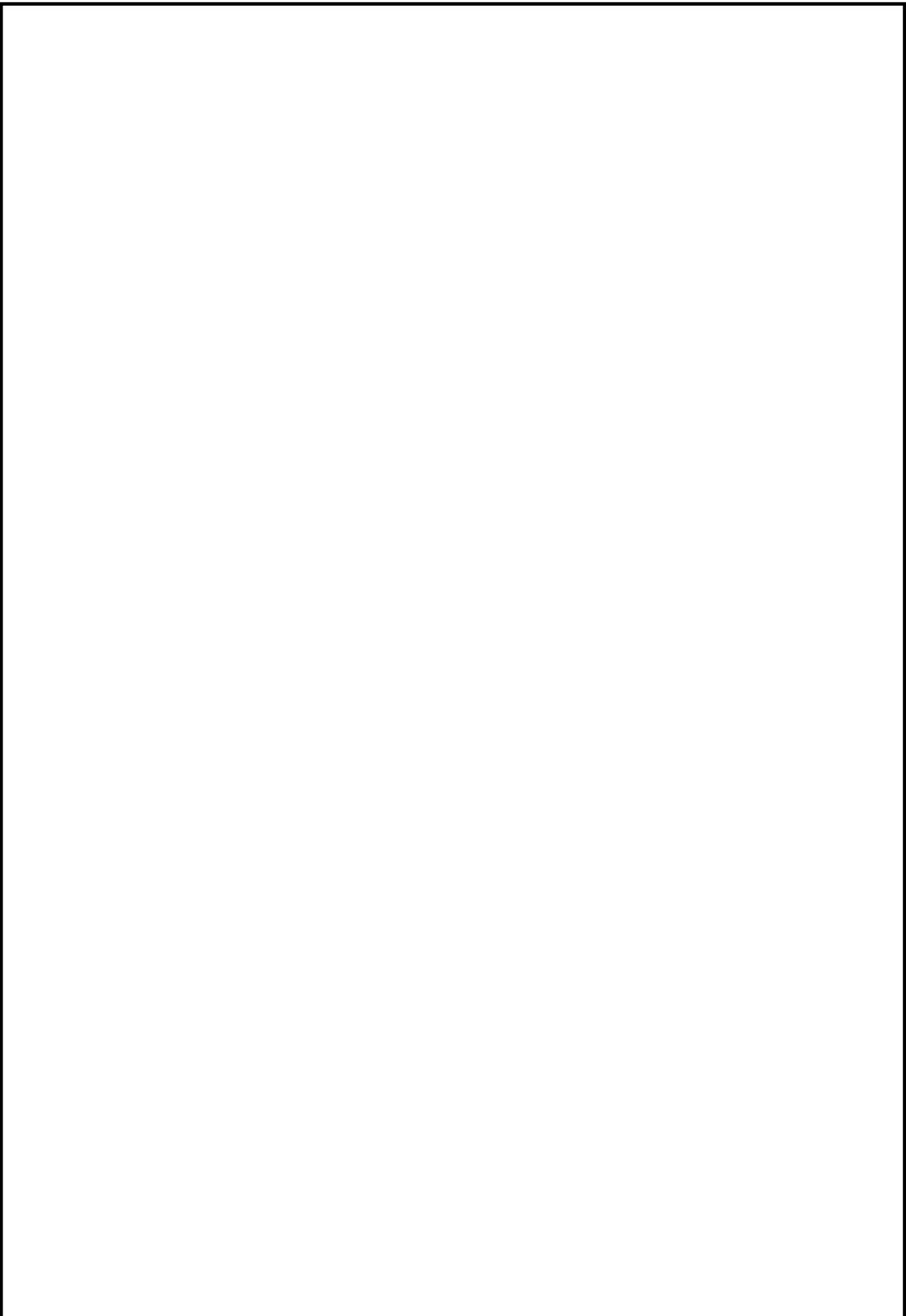
Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с	Значення коефіцієнта зворотного зв'язку K_{ω}	Значення перерегулювання σ , %	Значення часу регулювання τ , с
0,25	0	0,17	1,5	3	0,02
0,5	0	0,08	1,75	5	0,015
0,75	0	0,05	2	7	0,03
1	0,1	0,03	2,25	9	0,03
1,25	1,2	0,025	2,5	10,5	0,03

Main content area of the document, currently blank.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Main content area of the document, currently blank.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

						Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		