

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повна назва університету, повна назва факультету)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повна назва навчально-наукового інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматичної, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавра

(студентів вищої освіти)

на тему «РОЗРОБЛЕННЯ БАГАТОКОНТУРОЇ САК
ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПАТРОННО-ЦЕНТРОВОГО ВЕРСТАТУ
ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ МОДЕЛІ 16A20Ф3.»

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(номер і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Макаренко Д. А.

(прізвище та ім'я)

Керівник Бороздин М.К.

(прізвище та ім'я)

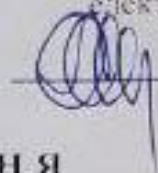
Рецензент Шефер О.В.

(прізвище та ім'я)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
 Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
 Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
 Освітній рівень: бакалавр
 Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри автоматики,
 електроніки та телекомунікацій



д.т.н., проф. О.В. Шефер
 "01" "04" 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Макаренку Дмитру Андрійовичу

1. Тема проекту (роботи) «РОЗРОБЛЕННЯ БАГАТОКОНТУРОЇ САК ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПАТРОННО-ЦЕНТРОВОГО ВЕРСТАТУ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ МОДЕЛІ 16A20Ф3»

керівник проекту (роботи) Бороздін Микола Кирилович, к.т.н., доцент
 затверджена наказом вищого навчального закладу від 08.12.2023 року № 1481/1-фа

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____ 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи). Вихідними даними до кваліфікаційної роботи є матеріали зібрані під час проходження переддипломної практики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналітичний огляд характеристик верстата. Аналіз конструкції та методи регулювання швидкості ЕП. Обґрунтування й вибір типу ЕП та допоміжного обладнання верстата. Розрахунок статичних навантажень та динамічних показників ЕП. Визначення необхідної потужності електродвигуна. Розрахунок елементів та параметрів САК ЕП верстата. Вибір САК електроприводом верстата. Розроблення принципової та функціональної схем САК ЕП. Побудова та аналіз електромеханічних характеристик привода. Дослідження динамічних характеристик САК ЕП. Оцінка стійкості розробленої системи електропривода. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів): Загальний вигляд патронно-центрального верстата моделі 16A20Ф3. Функціональна схема САК ЕП верстата. Структурна схема підпорядкованого регулювання параметрами верстата. Регулювальні характеристики електропривода. Зовнішні характеристики розрахованого електропривода. Електромеханічні характеристики електропривода. ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнених та замкнених контурів. Графіки перехідних процесів.

7. Дата видачі завдання

01.04.2024 р.

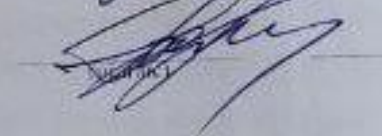
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата початку	Квартал	Відсоток виконання	
1	Вступ. Аналіз конструкції та методи регулювання швидкості ЕП верстата. Обґрунтування й вибір типу ЕП та допоміжного обладнання верстата. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи.	25.04.24	I	20%	Пл. 1
2	Розрахунок статичних навантажень та динамічних показників ЕП. Визначення необхідної потужності електродвигуна.	08.05.24		40%	Пл. 2,3
3	Розрахунок елементів та параметрів САК ЕП верстата. Вибір САК електроприводом верстата. Розроблення принципової та функціональної схем САК ЕП.	23.05.24	II	60%	Пл. 4,5
4	Побудова та аналіз електромеханічних характеристик привода. Дослідження динамічних характеристик САК ЕП.	30.05.24		80%	Пл. 6
5	Оцінка стійкості розробленої системи електропривода. Висновки. Формування долатків. Оформлення кваліфікаційної роботи та підготовка графічних матеріалів.	10.06.24	III	100%	Пл. 7,8

Студент


Макаренко Д. А.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


Бороздін М.К.
(прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ.....	5
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	7
1.1. Призначення, застосування та характеристики верстата	7
1.2. Особливості конструкції та методи регулювання швидкості електропривода головного руху	8
1.3. Загальні вимоги до електроприводів патронно-центровх верстатів підвищеної точності	10
1.4. Огляд існуючих систем електроприводів та обґрунтування теми кваліфікаційної роботи.....	12
2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	15
2.1. Обґрунтування й вибір типу електропривода головного руху та допоміжного обладнання верстата.....	15
2.2. Попередній вибір електродвигуна	16
2.2.1. Розрахунок статичних навантажень та динамічних показників ЕП.....	16
2.2.2. Визначення еквівалентної потужності електродвигуна.....	20
2.2.3. Визначення необхідної потужності електродвигуна.....	22
2.2.4. Розрахунок динамічних показників привода.....	24
2.3. Обґрунтування та вибір САК.....	27
2.3.1. Розрахунок елементів САК електропривода верстата.....	27
2.3.2. Розрахунок параметрів САК електроприводом.....	32
2.3.3. Розрахунок регулятора струму якоря в режимі безперервного струму....	33
2.3.4. Розрахунок параметрів регулятора швидкості.....	35
2.3.5. Розрахунок параметрів регулятора струму збудження.....	38
2.3.6. Розрахунок параметрів регулятора ЕРС.....	40
2.3.7. Вибір САК електроприводом верстата.....	41
2.4. Розробка і опис принципової та функціональної схеми автоматичного керування електроприводом.....	45
2.4.1. Опис функціональної схеми електропривода.....	45
2.4.2. Вибір принципової схеми блока живлення.....	48
2.5. Розрахунок перетворювача напруги привода головного руху.....	50
3. КОНСТРУКТОРСКА ЧАСТИНА.....	59
3.1 Аналіз удосконалених характеристик електропривода.верстата.....	59
3.1.1 Побудова електромеханічних характеристик привода.....	59
3.2. Дослідження динамічних характеристик та оцінка стійкості САК ЕП.....	62
3.2.1. Дослідження динамічних характеристик САК ЕП.....	62
3.2.2. Оцінка стійкості розробленої системи електропривода.....	66
3.3. Розроблення принципової схеми електрообладнання верстата.....	69
ВИСНОВКИ.....	75
Список використаних джерел.....	76
ДОДАТКИ.....	77

Вступ

На етапі розвитку промисловості все більша увага приділяється проблемі автоматизації технологічних виробничих процесів, що здебільшого пов'язано із застосуванням систем широкорегульованого електропривода. Акцентування уваги саме на електромеханічних пристроях пов'язано з їх високими енергетичними показниками, компактністю і багатофункціональністю порівняно з іншими системами (гідравліка, пневматика), і безумовно, з загальними потребами людства у використанні електричних пристроїв як тих, які традиційно найкраще відповідають їх потребам.

В загальному випадку електропривод – електромеханічний пристрій, який здійснює рух робочих органів верстатів та керування їх рухом.

В залежності від типу обробки на металоріжучих верстатах можливі різні види руху. При токарній обробці відбувається обертальний рух заготовки і поступальний рух інструмента. Перераховані види руху є основними чи робочими.

Крім основних рухів у будь-якому верстаті створюється ряд рухів, пов'язаних з підводом інструмента до заготовки та назад, з налагоджуванням обладнання та автоматичним контролем в процесі роботи. Електроприводи, що здійснюють ці види рухів, носять назву допоміжних приводів.

Керування приводами може здійснюватись вручну або автоматично. Відповідно розрізняють неавтоматизований та автоматизований електропривод. Ручне керування виконується за допомогою найпростіших апаратів, на які діє оператор.

Метою виконання кваліфікаційної роботи бакалавра є розроблення багатоконтурної САК патронно-центрового

верстата моделі 16A20Ф3 із двохранним електроприводом головного руху.

Автоматичне керування здійснюється за відсутності безпосередньої участі людини. Воно особливо необхідне в приводах складних верстатів, де можливі часті пуски, а також вимагається швидке регулювання швидкості їх вузлів. При автоматичному керуванні, допоміжними приводами автоматизуються за допомогою кнопок, перемикачів та регуляторів не тільки основні, а і допоміжні операції (затиснення заготовки, переміщення супортів, вмикання вимикання змащення, охолодження і т.і.). В результаті знижується час на проведення цих операцій і підвищується продуктивність верстата.

В механізмах верстатів можуть бути застосовані різні види приводів: механічний, гідравлічний, пневматичний та електричний.

Широкий діапазон регулювання, висока точність регулювання та швидкодія відрізняють електричний привод від інших видів. Він є технологічним у виготовленні, має достатньо просту конструкцію та надійний в експлуатації.

До числа важливих технічних характеристик електропривода відносяться: діапазон регулювання частоти обертання механізмів верстата; число ступенів обертання механізмів у даному діапазоні регулювання (плавність регулювання); сталість частоти обертання при зміні навантаження.

1.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1. ПРИЗНАЧЕННЯ, ЗАСТОСУВАННЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРСТАТА

Верстат моделі 16А20Ф3 може застосовуватись в індивідуальному, дрібно- та середньосерійному виробництві машинобудівних заводів, а також у ремонтних та інструментальних цехах різних галузей промисловості.

Певний ступінь автоматизації верстата допускає можливість його продуктивної роботи також і в поточних лініях виробництва.

Основний метод обробки на верстаті – це обробка площин торцевими фрезами. Крім цього, на верстаті можливо робити фрезерування площин циліндричними фрезами, обробку пазів та уступів дисковими фрезами, застосовувати кінцеві, фасонні та кутові фрези.

Значні потужності приводів шпинделів, широкі діапазони швидкостей та подач, а також достатня жорсткість верстата дозволяють здійснювати на ньому як звичайне, так і швидкісне фрезерування, а також робити обробку високолегованих, нержавіючих, жароміцних сталей та легких сплавів.

Напіваавтомат моделі 16А20Ф3 призначений для обробки деталей в патроні зі ступінчатим та криволінійним профілем в умовах дрібносерійного та серійного виробництва. На верстаті можна виконувати зовнішнє точіння, розтачування, сверління, нарізання різьби по програмі.

Діапазон регулювання частот обертання шпінделя та подач дозволяє виконувати обробку виробів як із звичайних чорних та кольорових металів, так і з легированих сталей.

1.2. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ТА МЕТОДИ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГОЛОВНОГО РУХУ

При роботі на металорізальних верстатах моделі 16А20Ф3 застосовують наступні методи досягнення заданої точності:

– обробку по розмітці або з використанням пробних проходів шляхом послідовного наближення до заданої форми й розмірам; після кожного проходу інструменту контролюють отримані розміри та вирішують, який ще припуск необхідно зняти; в цьому випадку точність залежить від кваліфікації робочого;

– обробку методом автоматичного отримання розмірів, коли інструмент попередньо налагоджується на потрібний розмір, а потім обробляє заготовки в незмінному положенні. В цьому випадку точність залежить від кваліфікації робітника, що налагоджує верстат, та способу налагодження;

– автоматичну обробку на копіювальних верстатах, де точність залежить від точності дій системи керування.

Один із основних способів обробки матеріалів різанням на верстатах моделі 16А20Ф3 – фрезерування. Фрезами обробляють плоскі та криволінійні поверхні, різноманітні пази, канавки, шліци, зубці шестерен, різьби та багато іншого. Будь-яка деталь сучасної машини проходить декілька фрезерних операцій.

При фрезеруванні плоских поверхонь потрібно перш за все забезпечити правильну форму поверхні, яка вказана на кресленні у вигляді допускаємих відхилень від площинності та

прямолінійності. Інша важлива умова при обробці корпусних деталей – забезпечення точного взаємного розташування оброблених площин. Технічні характеристики та основні параметри зведено до табл. 1.1.

Таблиця 1.1- Технічні характеристики та основні параметри верстата

<i>Найменування параметрів</i>	<i>Дані</i>
<i>Найбільший діаметр виробу, що встановлюється над станиною, мм, не менше</i>	<i>630</i>
<i>Найбільший діаметр виробу, що обробляється в патроні над станиною, мм, не менше</i>	<i>500</i>
<i>Найбільша довжина виробу, що оброблюється, в тому числі довжина розтачування, мм</i>	<i>320</i>
<i>Кінець шпінделя фланцевого ГОСТ 12595-72</i>	<i>11М</i>
<i>Кількість фіксованих позицій різцевої головки з віссю паралельною вісі шпінделя</i>	<i>8</i>
<i>Кількість фіксованих позицій різцевої головки з віссю перпендикулярною вісі шпінделя</i>	<i>4</i>
<i>Кількість частот швидкостей шпінделя, що перемикаються по програмі при ДПС</i>	<i>69</i>
<i>Число ступенів робочих подач</i>	<i>безступінчас те</i>
<i>Найбільше зусилля подачі:</i>	
<i>по вісі X, кН</i>	<i>10</i>
<i>по вісі Z, кН</i>	<i>14</i>
<i>Найбільша довжина ходу супорта, мм, не менше</i>	

<i>повздожнього</i>	655
<i>поперечного</i>	410
<i>Межі подач:</i>	
1) <i>робочі подачі по вісям X і Z, мм/хв.</i>	2000
2) <i>прискорені подачі по вісям X і Z, мм/хв.</i>	4800
<i>Максимальний шаг нарізаємої різьби, мм</i>	39,999
<i>Максимальна робоча подача при різьбонарізанні, мм/хв.</i>	2000
<i>Найбільший робочий хід супорта</i>	
<i>повздожній, мм</i>	900
<i>поперечний, мм</i>	365
<i>Кількість керуємих вісей координат</i>	2
<i>Кількість одночасно керуємих вісей</i>	2
<i>Дискретність переміщення, мм:</i>	
<i>по вісі X</i>	0,01
<i>по вісі Z</i>	0,005
<i>Габаритні розміри верстата, мм</i>	
<i>довжина</i>	3915
<i>ширина</i>	2390
<i>висота</i>	2800
<i>Маса вестата (без ЧПК, електрошафи, гідростанції), кг</i>	10500

1.3. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПАТРОННО-ЦЕНТРОВИХ ВЕРСТАТІВ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ

На патронно-центрових верстатах застосовуються електроприводи головного руху, подач та допоміжні.

В загальному випадку, головний привод повинен бути реверсивним, що необхідно для нарізання правої чи лівої різьби і т.і.

Регулювання швидкості шпінделя повинно здійснюватися в діапазоні $D \leq (100 \div 125)$ і вище з коефіцієнтом регулювання рівним 1,06 та 1,21 приблизно при постійній потужності, чого вимагає технологічний процес.

В усталених режимах електропривод повинен забезпечувати жорсткі механічні характеристики в усьому діапазоні регулювання швидкості зі статизмом не більше 10% при зміні навантаження від холостого ходу до максимального. У перехідних процесах бажано здійснити плавний пуск і гальмування для уникнення небезпечних стрибків струму, а також для виключення різких ударів в передачах коробки швидкості. Для більш інтенсивної зупинки необхідно мати можливість примусового гальмування головного привода.

Привод подачі виконується реверсивним, для забезпечення подачі в будь-яку сторону та здійснювати підведення та відведення інструмента.

В процесі обробки виробів необхідно підтримувати сталість швидкості різання та подачі. Відхилення від вибраної швидкості викликає погіршення якості обробки та зниження продуктивності. Причиною можливої зміни швидкості можуть бути зміна

навантаження і напруги мережі, нагрівання привода при тривалій роботі та інше. Електропривод повинен підтримувати сталість частоти обертання механізмів при наявності впливу цих факторів.

Схема автоматичного керування патронно-центрового верстата повинна забезпечувати керування електроприводами для здійснення усіх технологічних режимів верстата. Крім основної роботи у ній передбачені налагоджувальні режими головного привода, подачі з малими швидкостями. У схемі керування необхідно використовувати простий електричний захист двигунів і апаратів, блокування, забороняючі пуск головного привода при недостатній циркуляції мастила в системі змащування, нефіксованому положенні ручки механізма коробки швидкості та блокуванні, забороняючі та обмежуючі переміщення суппорта і т.і.

В схемі повинні бути передбачені світлова чи звукова індикація, наприклад для контролю стану системи змазування. Керування електроприводами верстата повинно здійснюватися дистанційно і зосереджуватися в зручному для обслуговування місці.

1.4. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМАТИКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Характеристики привода головного руху сучасних верстатів залежать від технологічних режимів обробки деталей, стійкості інструмента, необхідності розширення діапазону регулювання, скорочення часу перехідних процесів пуску й гальмування, забезпечення монотонного, аперіодичного перехідного процесу при позиціюванні та інше.

Технічні вимоги до сучасних електроприводів головного руху показують необхідність значного розширення діапазонів зміни частот обертання при широкій зміні навантажень з одночасним покращенням якісних показників електропривода.

Основні напрямки удосконалення електроприводів головного руху відповідають таким вимогам:

- підвищення продуктивності верстату за рахунок зменшення основного та додаткового часу обробки;*
- підвищення ступеня автоматизації завдяки гнучкості керування приводами;*
- спрощення механічних вузлів;*
- збільшення надійності за рахунок зменшення кількості зношуваних частин та покращення узгодження характеристики привода зі специфічними умовами роботи верстата;*
- широкий діапазон регулювання;*
- покращення умов праці завдяки зменшенню рівня шуму.*

Тобто, критерієм вибору привода головного руху є спосіб обробки та спектр технологічних задач, що виконуються на конкретному верстаті.

Максимальна та мінімальна швидкість привода визначаються технологічними вимогами, дискретністю керування та чутливістю електропривода. Особливо високі вимоги накладаються на динамічні характеристики привода по керуючій та збуджуючій дії. Незадовільні динамічні характеристики регульованого електропривода, особливо при збуренні по навантаженню, є причиною підвищеної шорсткості поверхні, тому дуже важливо забезпечення високої швидкодії привода при скиданні та подачі навантаження, а також при реверсі двигуна під навантаженням на самих малих швидкостях.

Удосконалення параметрів верстату дозволяє більш ефективно експлуатувати обладнання, що знаходиться в експлуатації довгий час. За час експлуатації даного верстата з'являються нові технологічні процеси та нові інструменти, підвищується степінь автоматизації даного виробництва, зростають показники продуктивності праці. Одночасно з'являються нові конструктивні рішення по окремим вузлам та механізмам верстатів з використанням більш міцних матеріалів. Все це приводить до необхідності розробити обладнання, наближуючи його технічні показники до рівня нових машин.

Основні напрямки модернізації верстатів:

- Покращення технічних характеристик верстата. Підвищення потужності, жорсткості, точності та інших характеристик верстата досягається шляхом зміни кінематичної схеми верстата та підсилення слабких ланок, заміною електродвигунів новими та більш потужними.*
- Розширення чи зміна технологічних можливостей верстата.*
- Подальша автоматизація обладнання та скорочення часу холостих ходів.*

- Підвищення довговічності верстату.

Враховуючи вище сказане, бачимо, що тематика модернізації існуючого обладнання на цей час є досить актуальною. Особливо в даний час, коли придбання нового сучасного обладнання є доволі проблематичним для багатьох підприємств, а вимоги до якості випускаємої продукції стають більш високими. Шляхом модернізації існуючого обладнання на самому підприємстві, можна досягти покращення продуктивності обладнання, його енергоємності та ряду інших показників не замінюючи існуюче обладнання повністю.

Тому було вирішено розробити електрообладнання верстата:

- *провести модернізацію привода головного руху верстата;*

- *розробити нову схему електрообладнання верстата, шляхом заміни релейно контактної системи керування електрообладнанням на цифрову систему на базі мікроконтролера та інших логічних пристроїв;*

- *провести викладки по оптимізації перехідних процесів при пуску та навантаженні приводів подач та головного руху.*

Заходи що пропонуються допоможуть:

- *скоротити машинний час обробки за рахунок збільшення швидкості швидких та робочих переміщень, зменшення часу перехідних процесів;*

- *отримуємо можливість більш точного задання швидкості обертання шпінделя, що може значно покращити якість обробляемого виробу у відповідності до технологічного процесу;*

- *зменшення витрат електроенергії за рахунок використання мікропроцесорної системи керування;*

З метою спрощення переобладнання верстата і з міркувань економічної доцільності модернізації під час вибору електропривода віддається перевага комплектним електроприводам, що виробляються промисловістю України, чи розповсюджуються на території України, а також комплектуючим, що виробляються на території країни.

Враховуючи все вище наведене, можна зробити висновок, що тематика даної кваліфікаційної роботи бакалавра є досить актуальною та доцільною на теперішній час.

2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1. ОБГРУНТУВАННЯ Й ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГОЛОВНОГО РУХУ ТА ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ ВЕРСТАТА

Основною ланкою електроприводу є виконавчий двигун. Саме від правильного вибору двигуна залежить якість роботи електроприводу. В наш час ведуться великі роботи по модернізації існуючих моделей і створення принципово нових конструкцій електродвигунів постійного і змінного струму.

Раціонально сконструйований верстат і його електропривід повинні забезпечити більш повне використання ріжучих властивостей інструмента при усіх можливих на даному верстаті технологічних операціях. Тому для проектування

електроприводів та схем автоматичного керування верстата необхідно знати особливості виду обробки, основні та допоміжні рухи і вміти визначати показники, що характеризують можливості режиму різання на даному верстаті, такі як потрібні діапазони швидкостей руху робочих органів верстата, потужності на валу електродвигуна головного руху, максимальні зусилля подачі, машинний час та інше.

При проектуванні системи електропривода важливою задачею є вірний вибір потужності електродвигунів для різних електроприводів верстата, для чого необхідно вміти визначати такі параметри, як швидкість, зусилля та потужність різання.

Для універсальних верстатів найбільша потужність різання визначається найважчим режимом обробки, який може бути заданий у простому випадку технологічною картою обробки.

2.2. ПОПЕРЕДНІЙ ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА

2.2.1. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Обробка заготовки різанням включає у себе наступні етапи:

- 1) закріплення заготовки у пневмопатроні;
- 2) холостий хід – t_1 ;
- 3) чорнове обтачування – t_2 ;
- 4) повернення супорта у початкове положення (відведення інструмента та його зміна) – t_3 ;
- 5) чистова обробка – t_4 ;

- 6) повернення супорта у початкове положення – t_5 ;
 7) зупинка для зміни заготовки.

Оптимальна швидкість різання залежить від якості матеріала, що оброблюється, матеріалу різця та геометрії його ріжучої кромки, виду обробки та умов охолодження різця і деталі.

Оптимальна швидкість різання може бути визначена за емпіричною формулою:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{xv} s^{yv}} K_v \quad (2.1)$$

де C_v – коефіцієнт, що характеризує обробляємий матеріал, різець та умови обробки;

T – стійкість різця, тобто час роботи різця між двома сусідніми переточками, хв.;

m – показник відносної стійкості;

t – глибина різання, мм;

s – подача, мм/об.;

x_v, y_v – показники степенів, які залежать від властивостей матеріалу, що обробляється, матеріалу різця та виду обробки;

K_v – добуток поправочних коефіцієнтів, які враховують матеріал різця та виробу, особливості його геометрії, його зношування, термообробку заготовки, стан поверхні, умови охолодження.

Токарну обробку необхідно виконувати з економічно вигідною швидкістю різання, яка забезпечує максимальну продуктивність процесу різання при необхідній чистоті поверхні на заданій стійкості різця.

В процесі утворення та зняття стружки при токарній обробці виникає зусилля, що прикладене під деяким кутом до ріжучої кромки інструмента. Ці зусилля звичайно розкладаються на три складові, показані на рис. 2.1.

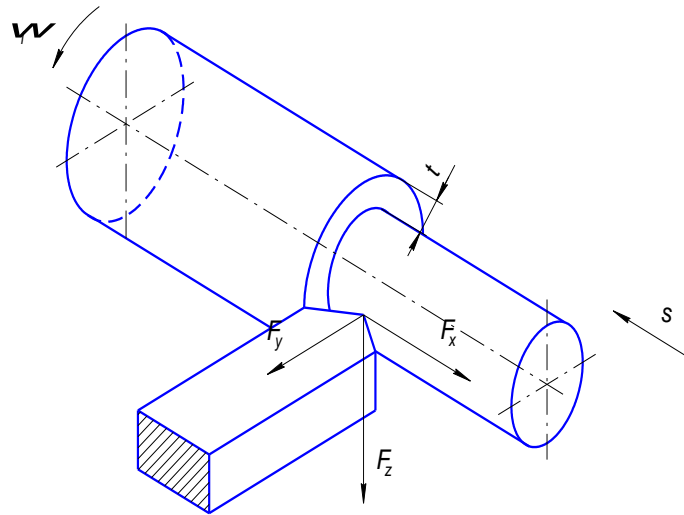


Рисунок 2.1 - Схема токарної обробки

F_z – тангенціальне зусилля, що долає шпіндель верстата;

F_y – радіальне зусилля, що передається на супорт верстата;

F_x – осьове зусилля або зусилля подачі, яке долає механізм подачі.

При подальших розрахунках потужності різання нас буде цікавити тільки складова F_z . Її можна визначити за емпіричною формулою:

$$F_z = 9,81 C_{Fz} t^{x_{Fz}} s^{y_{Fz}} v^{n_{Fz}} K_F \quad (2.2)$$

де C_{Fz} – коефіцієнт, що характеризує оброблюєми метал та умови обробки;

x_{Fz} – показник степені на глибину різання;

y_{Fz} – показник степені на робочу подачу;

n_{Fz} – показники степені для врахування швидкості різання;

K_F – добуток поправочних коефіцієнтів, що приймається за довідниками режимів різання;

По відомим значенням швидкості та зусилля різання можна визначити потужність різання:

$$P_Z = \frac{F_Z \cdot v}{1000 \cdot 60}, \text{ кВт}, \quad (2.3)$$

Для розрахунку потужності двигуна головного руху верстата розглянемо процес чорнової та чистової обробки заготовки граничного діаметру обробляемого виробу.

Заготовка – поковка із вуглеродистої сталі з межою міцності $\sigma_m=750$. Нехай проводиться чорнове обтачування від $D=630$ мм до $d=610 \text{ } h12(-0,30)$ мм; параметр шорховатості $Rz=80$ мкм. Для різання використаємо патронно-центровий прохідний різець прямий правий. Матеріал пластини – твердий сплав Т5К10.

1) Холостий хід.

Потужність, необхідна при холостому ході, визначається за формулою:

$$P_{xx} = 0,8 \cdot \frac{(1-\eta) \cdot P_{зв}}{\eta}, \quad (2.4)$$

де $P_{зв}$ – потужність при звичайній роботі (приймаємо, як потужність чистової обробки, розраховану нижче);

η - коефіцієнт корисної дії передавального механізму верстата (для нашого випадку $\eta=0,89$ згідно до кінематичної схеми);

Підставляючи числові значення отримаємо:

$$P_{xx1} = 0,8 \cdot \frac{(1-0,89) \cdot 2,05}{0,89} = 0,2 \text{ кВт}.$$

2) Чорнова обробка.

Визначаємо глибину різання. Обробку проводимо за один проход. Глибина різання

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{630 - 610}{2} = 10$$

Назначаємо робочу подачу по нормативній карті, таким чином

$$t = 10 \text{ мм}, s = 1,1 \text{ мм/об.}$$

Вибираємо коефіцієнти з таблиць:

$$Cv = 340; T = 60 \text{ хв.}; xv = 0,15; yv = 0,45; m = 0,2.$$

Визначаємо коефіцієнт Kv :

$$Kv = K_{tv} \cdot K_{pv} \cdot K_{uv} = 0,923 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,739$$

$$v = \frac{340 \cdot 0,739}{60^{0,2} \cdot 10^{0,15} \cdot 1,1^{0,45}} = 75,101 \text{ мм/хв.}$$

$$CFz = 300; xFz = 1; yFz = 0,75; nFz = -0,15;$$

Визначаємо коефіцієнт KF :

$$KF = K_{mF} \cdot K_{\phi F} \cdot K_{\gamma F} \cdot K_{\lambda F} = 1,035 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 = 1,138$$

$$F_z = 9,81 \cdot 300 \cdot 10^1 \cdot 1,1^{0,75} \cdot 75,101^{0,15} = 18,83 \text{ кН};$$

$$P_{Z1} = \frac{18,83 \cdot 75,101}{1000 \cdot 60} = 23,101 \text{ кВт.}$$

3) Повернення супорта у початкове положення (відведення інструмента та його зміна) проходить пр холостому ході двигуна головного руху, тобто:

$$P_{xx2} = P_{xx1} = 0,2 \text{ кВт.}$$

4) Чистова обробка заготовки:

$$t = 1 \text{ мм}, s = 1 \text{ мм/об}$$

Вибираємо коефіцієнти з таблиць [17]:

$$Cv = 340; T = 60 \text{ хв.}; xv = 0,15; yv = 0,45; m = 0,2;$$

Визначаємо коефіцієнт Kv :

$$Kv = K_{tv} \cdot K_{pv} \cdot K_{uv} = 0,923 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,83;$$

$$v = \frac{340 \cdot 0,83}{60^{0,2} \cdot 1^{0,15} \cdot 1^{0,45}} = 125 \text{ м/хв.}$$

$$CFz = 300; xFz = 1; yFz = 0,75; nFz = -0,15;$$

Визначаємо коефіцієнт KF :

$$KF = K_{mF} \cdot K_{\phi F} \cdot K_{\gamma F} \cdot K_{\lambda F} = 1,035 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 = 1,138$$

$$F_z = 9,81 \cdot 300 \cdot 1^1 \cdot 1^{0,75} \cdot 125^{-0,15} = 974,21 \text{ Н};$$

$$P_{Z2} = \frac{974,21 \cdot 125}{1000 \cdot 60} = 2,05 \text{ кВт.}$$

5) Повернення супорта у початкове положення (відведення інструмента) теж проходить при холостому ході.

Приймаємо $P_{xx3} = P_{xx1} = 0,2 \text{ кВт}$.

2.2.2. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Питання про вірний вибір потужності електродвигуна є дуже важливим та відповідальним. Завищення потужності двигуна збільшує витрати електропривода та погіршує енергетичні показники (ККД, $\cos\varphi$). Заниження потужності веде до перенавантаження двигуна, швидкого виходу його з ладу, виникне необхідність ремонту і в результаті зменшує продуктивність верстата. Потужність на валу двигуна головного привода патронно-центровх верстатів в усталеному режимі складається з потужності різання та потужності втрат у механізмах передач, яка залежить від навантаження, числа ланок кінематичного ланцюга і частоти обертання. При розрахунках звичайно користуються коефіцієнтом корисної дії верстата, який при повному навантаженні в середньому складає 0,7-0,8.

Розрахункова формула потужності двигуна має такий вигляд:

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{P_{xx1}^2 \cdot t_1 + P_{Z1}^2 \cdot t_2 + P_{xx2}^2 \cdot t_3 + P_{Z2}^2 \cdot t_4 + P_{xx3}^2 \cdot t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}} \quad (2.5)$$

Важливим фактором, що визначає продуктивність патронно-центрального верстата, є машинний або технологічний час обробки, який визначається за формулою:

$$t = \frac{l \cdot 1000}{s \cdot n} \cdot i \quad (2.6)$$

де l – розрахункова довжина поверхні, що обробляється, м;

n – частота обертання шпінделя, об/хв;

i – число проходів інструмента.

Визначимо ці часові інтервали відповідно до технології обробки:

Згідно до технологічного процесу $t_1=0,5$ хв;

Для чорнової обробки: $l=0,32$ м, $n=40$ об/хв, $s=1,1$ мм/об, $i=1$

$$t_2 = \frac{0,32 \cdot 1000}{1,1 \cdot 40} \cdot 1 = 7,27 \text{ хв};$$

згідно до технологічного процесу $t_4=0,75$ хв;

Для чистової обробки маємо: $l=0,32$ м, $n=65$ об/хв, $s=1$ мм/об,

$i=1$

$$t_3 = \frac{0,115 \cdot 1000}{1 \cdot 25} \cdot 1 = 4,6 \text{ хв};$$

згідно до технологічного процесу $t_6=0,5$ хв;

Таким чином повний машинний час на обробку деталі:

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^5 t_i, \quad (2.7)$$

Підставляючи одержуємо:

$$t_{\Sigma} = 0,5 + 7,27 + 0,8 + 4,6 + 0,5 = 13,62 \text{ хв}.$$

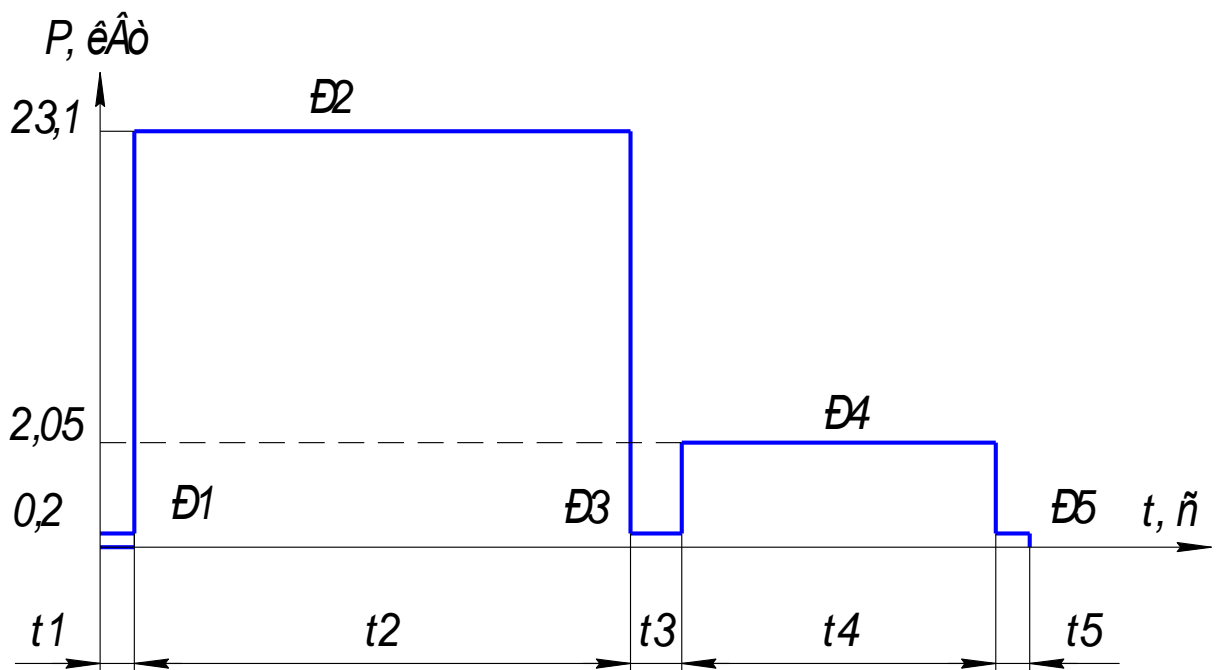


Рисунок 2.2 - Навантажувальна діаграма потужності різання

Визначаємо еквівалентну потужність:

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{0,2^2 \cdot 0,5 + 23,101^2 \cdot 7,27 + 0,2^2 \cdot 0,75 + 2,05^2 \cdot 4,6 + 0,2 \cdot 0,5}{13,62}} = 17 \text{ кВт}.$$

2.2.3. ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Визначимо необхідну потужність електродвигуна. ККД передачі дорівнює $\eta_n=0,86$ Тоді

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{екв}}}{\eta_n} = \frac{17}{0,86} = 19,77 \text{ кВт} \quad (2.8)$$

Коефіцієнт запасу, який враховує втрати на нагрів, тертя та інше лежить в межах 1,05...1,2. Прийmemo $k = 1,2$, згідно з[4].

Виходячи з цих припущень визначимо необхідну потужність двигуна:

$$P_{\text{необх}} = k \cdot P_{\text{дв}} = 1,2 \cdot 19,77 = 23,7 \text{ кВт.}$$

Номінальну потужність електродвигуна P_n вибираємо за довідником [17], додержуючись наступного співвідношення $P_n \geq P_{\text{необх}}$. Так як раніше зазначалося, що привод головного руху пропонується виконати на базі тиристорного електропривода, вибираємо електродвигун постійного струму 4ПФ160МГУЛ4 з вбудованим тахогенератором ТС1 та мотор-вентилятором БМВ з наступними параметрами, що наводяться в [9].

Технічні характеристики електродвигуна

Таблиця 2.1

Номінальна швидкість, об./хв	1090
Максимальна швидкість, об./хв	4500
Номінальна потужність, кВт	30
Номінальна напруга, В	440
Момент інерції якоря, кг·м ²	4,099
Маса, кг	275
Висота вісі обертання, мм	160
Коефіцієнт корисної дії, %	90,5

Визначимо номінальний момент, що розвивається двигуном за формулою:

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}}, \quad (2.9)$$

де $\omega_{\text{НОМ}}$ - номінальна кутова швидкість двигуна, рад/с:

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{n_{\text{НОМ}} \cdot \pi}{30} = \frac{1500 \cdot 3,14}{30} = 157,08 \text{ рад/с}. \quad (2.10)$$

Тоді

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{30000}{157,08} = 191 \text{ Нм}.$$

Перевіримо двигун за еквівалентним моментом. На основі рівняння енергетичного балансу при усталеному режимі електропривода для передавального механізму можемо записати наступне рівняння.

$$M_c \omega_{\text{дв}} \eta = M_{\text{різ}} \omega_{\text{різ}} \quad (2.11)$$

де M_c – приведений до вала двигуна статичний момент навантаження;

η - ККД передавального механізму;

$\omega_{\text{дв}}$ – кутова швидкість обертання вала електродвигуна;

$\omega_{\text{різ}}$ – швидкість обертання шпинделя.

ККД визначаємо як добуток ККД всіх зубчатих передач.

Тод згідно із[4]:

$$M_c = \frac{M_{\text{різ}}}{\eta} \cdot \frac{\omega_{\text{різ}}}{\omega_{\text{дв}}} = \frac{M_{\text{різ}}}{\eta} = \frac{4000}{0,86 \cdot 35} = 126 \text{ Нм}.$$

Бачимо, що $M_{\text{НОМ}} = 191 \text{ Нм} > M_c = 126 \text{ Нм}$, тобто двигун вибраний вірно.

2.2.4. РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРИВОДА

Для перевірки можливості електродвигуна вистояти пускове навантаження, а також для розрахунку динамічної міцності деталей що обертаються, необхідно визначити момент

сил інерції $M_{\text{дин}}$, тобто динамічний момент, який необхідно подолати двигуну при пуску, за формулою:

$$M_{\text{дин}} = J_{\text{пр}} \cdot \varepsilon \quad (2.12).$$

де $J_{\text{пр}}$ – приведений до вала двигуна момент інерції всіх складових частин передаючого механізму і виконавчого ланцюга, які рухаються;

ε - кутове прискорення вала двигуна.

Приведений до вала двигуна момент інерції $J_{\text{пр}}$ визначаємо, виходячи із рівняння кінетичної енергії системи двигун – передаючий механізм за формулою:

$$E_{\text{к}} = J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + \sum_{i=1}^n J_i \frac{\omega_i^2}{2}, \quad (2.13)$$

де $J_1 = J_{\text{дв}}$ – момент інерції якоря двигуна і зв'язаних з ним частин, кгм²;

ω_1 – номінальна кутова швидкість вала електродвигуна при усталеному русі;

J_n – момент інерції деталей, які обертаються з n -им валом;

ω_n – кутова швидкість n -го вала.

Запишемо рівняння кінетичної енергії для обертових мас:

$$E_{\text{к}} = J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_1^2}{2} + \sum_{i=3}^{10} J_i \frac{\omega_i^2}{2} \quad (2.14)$$

В свою чергу,

$$E_{\text{к}} = J_{\text{пр}} \frac{\omega_1^2}{2} \quad (2.15)$$

тому підставивши (2.15) в (2.14) та поділивши обидві частини рівняння на $\frac{2}{\omega_1^2}$, одержимо

$$J_{\text{пр}} = J_{\text{дв}} + J_2 + \sum_{i=3}^{10} J_i \frac{\omega_i^2}{\omega_1^2} \quad (2.16)$$

Враховуючи, що $\frac{\omega_i}{\omega_1} = \frac{1}{u_i}$ отримуємо наступне рівняння:

$$J_{\text{пр}} = J_{\text{дв}} + J_2 + \sum_{i=3}^{10} J_i \frac{1}{u_i^2} \quad (2.17)$$

де u_i – передавальні числа передач i -х валів.

Моменти інерції зубчатих коліс визначимо за формулою:

$$J = m \frac{R^2}{2} = m \frac{D^2}{8} \quad (2.18)$$

де D – діаметр шестерні, м;

m – маса шестерні, кг;

$$m = k \cdot \rho \cdot V \quad (2.19)$$

де V – об'єм шестерні,;

ρ – щільність, для сталі 40X $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³;

k – коефіцієнт заповнення об'єму металом, прийmemo $k = 0,8$.

Результати обчислень наводяться в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Позначення на кінематичній схемі	Число зубці в п	Ділильні діаметр, мм	Ширина шестерні, мм	Об'єм v , 10-3 м3	Маса m , кг	Момент інерції J , кг·м2
5	22	77	58	0,27	0,00169 5	1,26·10-6
7	88	308	32	2,383	0,01496 5	0,000177
9	24	96	50	0,362	0,00227 2	2,62·10-6
10	96	384	49	5,672	0,03562	0,000657

Підставляючи отримані значення в (2.17) одержимо:

$$J_{\text{пр}} = 4,099 + 0,0017 + (0,07 + 0,0011 \cdot 2 + 0,0017) \frac{1}{2,55^2} + 2 \cdot ((0,098 + 0,0011) \frac{1}{7,03^2} + (0,029 + 0,0014) \frac{1}{16^2} + (1,61 + 95,83) \frac{1}{89^2}) = 4,156 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Для врахування кутового прискорення вала двигуна, необхідно визначити час пуску двигуна за формулою:

$$t_{\text{пуск}} = \frac{J_{\text{пр}} \cdot \omega_n}{M_{\text{пуск}}} \quad (2.20).$$

де ω_n – номінальна кутова швидкість вала електродвигуна;

$J_{пр}$ – приведений до валу двигуна момент інерції, кг м²;

$M_{пуск}$ – пусковий момент двигуна. Для цієї серії двигунів $M_{пуск} = 2M_{ном}$.

Тобто:

$$t_{пуск} = \frac{4,156 \cdot 1500 \cdot \pi}{2 \cdot 452 \cdot 30} = 0,72 \text{ с.}$$

Тоді середнє кутове прискорення вала двигуна ε за час пуску двигуна складатиме:

$$\varepsilon = \frac{\omega_H}{t_{пуск}} \quad (2.21)$$

$$\varepsilon = \frac{1500 \cdot \pi}{0,72 \cdot 30} = 218,17 \text{ рад/с}^2.$$

Підставивши отримані значення в формулу (1.8) визначимо динамічний момент:

$$M_{дин} = 218,17 \cdot 4,156 = 902,3 \text{ Нм.}$$

Двигун можна вважати вибраним правильно, якщо відношення $k_H = \frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$, буде більшим ніж відношення динамічного до номінального моменту $k = \frac{M_{дин}}{M_{ном}}$.

$$k = \frac{M_{дин}}{M_{ном}} = \frac{902,3}{452} = 1,95 < k_H = \frac{M_{пуск}}{M_{ном}} = 2,0.$$

Звідси бачимо, що двигун вибраний вірно.

2.3. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР САК

2.3.1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ САК ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВЕРСТАТА

Синтез автоматизованого електропривода дозволяє розв'язувати задачі вибору структурної схеми, визначення параметрів, входячих в неї елементів, бажаних коефіцієнтів підсилення системи в цілому чи її ланок. При проектуванні та розрахунку автоматизованих електроприводів аналіз та синтез

знаходяться в діалектичному зв'язку один з одним. На перехідному етапі виробляються вимоги до електропривода для забезпечення необхідних показників технологічного процесу, вирішується задача аналізу. На основі заданих динамічних та статичних характеристик вибирається структурна схема системи і визначається поведінка її ланок – походить синтез системи. По отриманій структурній схемі та її параметрам визначається поведінка системи в статиці та динаміці, зрівнюється з вимогами до відповідних показників – виконується задача аналізу.

На кожному етапі в залежності від вимог ідеалізації системи враховують одні чи нехтують іншими параметрами, при цьому може з'явитися необхідність уточнення рішення або повторення етапів синтезу та аналізу.

Системи двохзонного регулювання застосовуються для електроприводів, керування швидкістю обертання яких відбувається як зміною напруги на якорі, так і зміною потоку збудження. Для забезпечення гарних енергетичних показників електропривода регулювання швидкості в межах від нуля до основної відбувається при номінальному потоці збудження тільки за рахунок зміни напруги якоря, а в діапазоні зміни швидкості вище основної регулювання здійснюється зміною потоку збудження при номінальній напрузі або ЕРС якоря.

Автоматичний розподіл зазначених двох зон регулювання щонайкраще виконується в системах із залежним керуванням потоком збудження двигуна, у яких регулювання струму збудження здійснюється у функції сполучного параметра – напруги або ЕРС двигуна. Завдяки застосуванню астатичного регулювання зміна потоку збудження в повному діапазоні відбувається при незмінному значенні сполучного параметра. При

виборі сполучного параметра перевагу звичайно віддають ЕРС двигуна, оскільки в цьому випадку забезпечуються більш високі енергетичні параметри установки.

Розглянемо режим додатку статичного моменту у двократно-інтегруючій системі двохзонного регулювання швидкості. Якщо у якості сполучного параметру використовується ЕРС двигуна, то відновлення швидкості буде за рахунок збільшення ЕРС перетворювача, що живить якорь двигуна, при незмінному потоці збудження. У випадку регулювання струму збудження у функції напруги двигуна останнє буде підтримується за рахунок збільшення ЕРС перетворювача на величину, меншу, чим у першому випадку, а компенсація спадання напруги в якорі двигуна відбудеться за рахунок відповідного ослаблення потоку. Таким чином, у другому випадку двигун навантажений статичним моментом, буде працювати при меншому потоці, тобто з більшим струмом якоря, і при більше зарегульованому перетворювачі.

При розробці регульованого електропривода з двохзонним регулюванням швидкості виникають деякі особливості у порівнянні з традиційною однозонною структурою.

Тут мають місце дві взаємозв'язані структури: регулятор, забезпечуючий зміну швидкості в першій зоні (до номінальної швидкості при $U_{я} = var$) і регулятор, забезпечуючий зміну потоку в другій зоні (вище основної швидкості при $\Phi_{ном} > \Phi = var$).

По способу керування потоком у другій зоні відомі два варіанти схем: із залежним керуванням полем та незалежним. Двохзонні електроприводи із залежним керуванням полем більш прості та мають кращі динамічні характеристики керування полем в таких структурах проходить в функції ЕРС двигуна, або в функції напруги обмотки збудження.

Використовуючи структурну схему лінеаризованого електродвигуна, виходячи із загальновідомих лінеаризованих рівнянь, описуючих поведінку двигуна при невеликих відхиленнях від встановленого положення:

$$\left. \begin{aligned} R_{\text{я}}\Delta I_{\text{я}} + L_{\text{я}}\frac{d\Delta i}{dt} &= U_{\text{д}} - \Delta E_{\text{д}} \\ \Delta M_{\text{д}} - \Delta M_{\text{с}} &= J\frac{d\Delta\omega}{dt} \\ \Delta M_{\text{д}} &= C_{\text{е}}\Phi_0\Delta i + C_{\text{м}}I_0\Delta\Phi \\ \Delta E_{\text{д}} &= C_{\text{е}}\Phi_0\Delta\omega + C_{\text{е}}\omega_0\Delta\Phi \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

де $C_{\text{м}}$, $C_{\text{е}}$ – постійні електродвигуна;

I_0 , Φ_0 , ω_0 – встановлені значення струму, потоку та кутової швидкості двигуна, відповідно.

Запишемо рівняння (2.22) у відносних одиницях, взяв за базу максимальне значення випрямленої напруги $U_{\text{д0}} = k_{\text{м}}E_{\text{м}}$:

$$(2.23)$$

$$\text{Тут } \Delta i = \frac{\Delta i R_{\text{я}}}{k_{\text{м}}E_{\text{м}}}; \Delta U_{\text{д}*} = \frac{\Delta U_{\text{д}}}{U_{\text{д0}}}; \Delta e = \frac{\Delta E}{U_{\text{д0}}}; \Delta\omega = \frac{\Delta\omega}{\omega_0}; \Delta\Phi = \frac{\Delta\Phi}{\Phi_0};$$

$$b = \frac{I_0}{\Phi_0}; a = \frac{C_{\text{е}}\Phi_0\omega_0}{U_{\text{д0}}} = \frac{E_0}{U_{\text{д0}}} \approx 1.$$

Лінеаризована структурна схема двохзонного регульованого електропривода для приростів координат із залежним керуванням в функції ЕРС наводиться на рис 2.3.

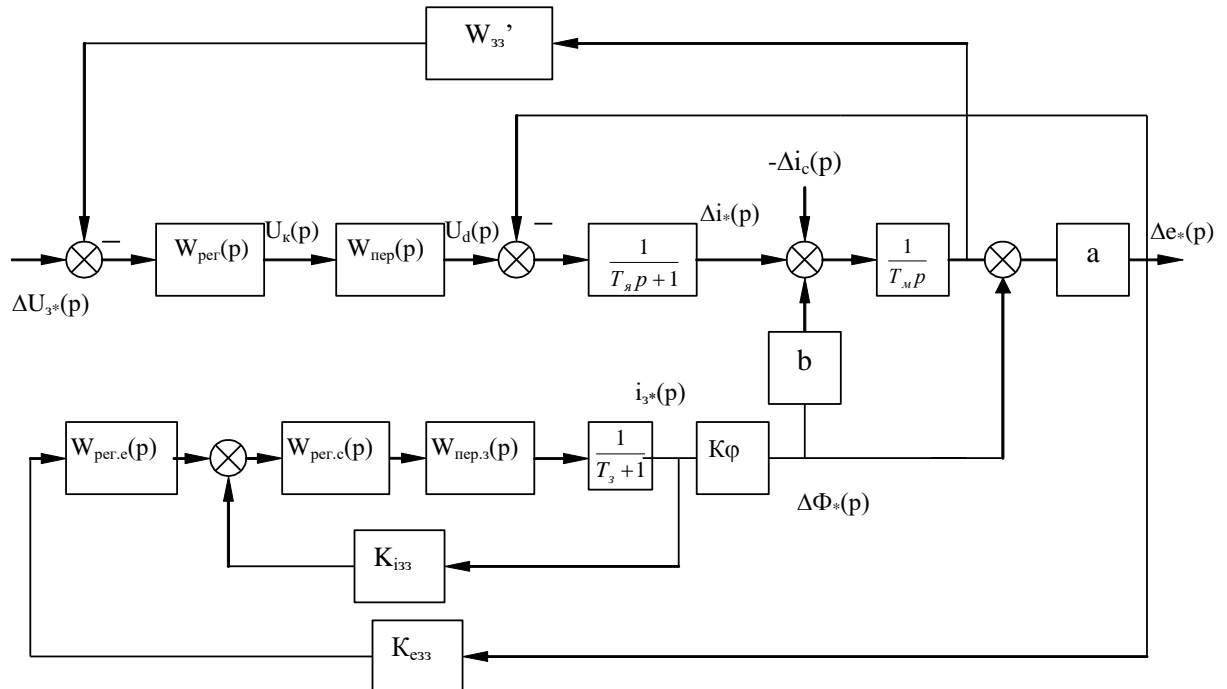


Рисунок 2.3 - Структурна схема двохзонного електропривода

де K_ϕ - коефіцієнт пропорційності між приростами потоку і струму збудження по характеристиці намагнічування.

$W_{рег.е}(p)$ – передавальна функція регулятора ЕРС;

$W_{рег.с}(p)$ – передавальна функція регулятора струму збудження;

$W_{рег.ш}(p)$ – передавальна функція регулятора швидкості двигуна;

$T_з$ – постійна часу обмотки збудження;

$K_{ε₃₃}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку в контурі регулювання ЕРС;

$K_{і₃₃}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку в контурі регулювання струму збудження ;

$W_{пер}(p)$, $W_{перз}(p)$ – передавальні функції тиристорного перетворювача якірного та тиристорного перетворювача збудження відповідно.

В даній структурі забезпечується покращене використання двигуна по моменту, так як при умові $\omega_0 = const$ та $E_0 = const$ в цій структурі компенсація зміни $I_0 R_{я}$ забезпечується зміною напруги пристрою збудження при збереженні $\Phi_0 = const$.

Як правило в даній структурі b значно менше a . Якщо знехтувати дією від потоку $\Delta\Phi$ по каналу з коефіцієнтом передачі b та впливом внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС двигуна, то структура із зворотнім зв'язком по ЕРС розбивається на два незалежних контуру регулювання по ланцюгу якоря та ланцюгу збудження, при чому збурення $\Delta U_{з*(p)}$ та $\Delta i_{с*(p)}$ діють лише на якірний контур, тобто збурення в лінійній зоні роботи регульованого електропривода відпрацьовуються якірним контуром при практично не змінному потоці збудження.

З урахуванням цього методика розробки структурної схеми зводиться до розробки двох незалежних контурів регулювання. Динамічні характеристики регульованого електропривода визначаються в основному параметрами якірного контуру.

2.3.2. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ САК ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Розглянемо структуру якірного контуру регульованого електропривода. Вона має вид двоконтурної системи з ПІ регулятором швидкості та ПІ регулятором струму електродвигуна на вхід тиристорного перетворювача.

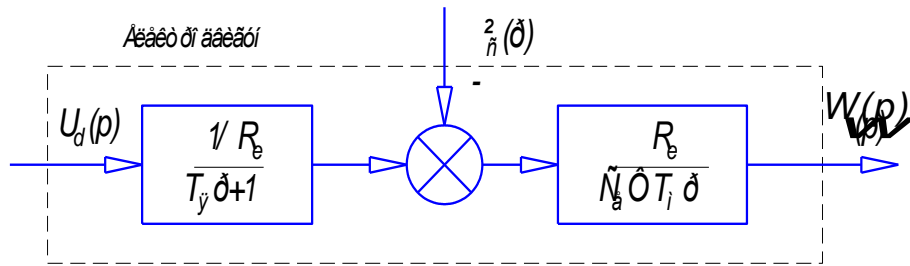


Рисунок 2.4 - Структурна схема двигуна постійного струму

Тиристорний перетворювач разом з його навантаженням (електродвигуном) може бути представлений у вигляді послідовного з'єднання двох ланок. Перша ланка відбиває специфічні властивості ТП і характеризує зв'язок між вхідною напругою СІФК і ЕРС ЕП. Друга ланка характеризує зв'язок між ЕП і струмом навантаження I_d (чи ЕРС двигуна ЕД при навантаженні на якір двигуна).

Визначимо електромагнітну постійну часу ланцюга якоря електродвигуна із наступного співвідношення:

$$T_{\text{я}} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\text{я}}} \quad (2.24)$$

де L_{Σ} – сумарна індуктивність якорного ланцюга,

$$T_{\text{я}} = \frac{0,0094}{1,11} = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Електромеханічна постійна часу для заданого значення J_{Σ} , буде:

$$T_{\text{м}} = \frac{J_{\Sigma} \cdot R_0}{(c\Phi_{\text{н}})^2} \quad (2.25)$$

де J_{Σ} – сумарний момент інерції приведений до ротора електродвигуна, із раніше обчисленого $J_{\Sigma} = 4,156 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$,

$c\Phi_{\text{н}}$ – номінальний магнітний потік електродвигуна:

$$c\Phi_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} - R_{\text{я}} I_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}} \quad (2.26)$$

Для визначення номінального магнітного потоку двигуна знайдемо його номінальну швидкість:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{н}}}{30}, \quad (2.27)$$

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot 1090}{30} = 114,14 \text{ рад/с.}$$

Таким чином одержуємо:

$$c\Phi_H = \frac{440 - 75 \cdot 1,11}{114,14} = 3,12 \text{ В} \cdot \text{с}$$

$$T_M = \frac{4,156 \cdot 1,11}{3,12^2} = 0,47 \text{ с.}$$

2.3.3. РОЗРАХУНОК РЕГУЛЯТОРА СТРУМУ ЯКОРЯ В РЕЖИМІ БЕЗПЕРЕРВНОГО СТРУМУ

Рисунок 2.5 - Структурна схема внутрішнього контуру регулювання струму двигуна

Бажана передатна функція розімкнутого контуру струму з врахуванням не одиничного зворотного зв'язка:

$$W(p) = \frac{1/K_{33C}}{a_T T_\mu p (T_\mu p + 1)}; \quad (2.28)$$

де K_{33C} – коефіцієнт зворотного зв'язка по струму якоря;

$$K_{33C} = \frac{I_3}{I_d} \quad (2.29)$$

де $I_3 = 10 \text{ А}$, номінальний струм на датчику тока, таким чином:

$$K_{33C} = \frac{10}{75} = 0,13$$

$T_\mu = 0,005 \text{ с}$ – некомпенсуєма мала постійна часу;

$a_T = 2$ – співвідношення постійних часу контуру струму (модульний оптимум).

Передавальна функція об'єкта регулювання (без врахування внутрішнього зворотного зв'язка по ЕРС двигуна).

$$W_{O.P.}(p) = \frac{K_{\Pi}/R_{\text{я}}}{(T_{\Pi}p + 1)(T_{\text{я}}p + 1)}; \quad (2.30)$$

де $R_{\text{я}}$ – опір силового ланцюга якоря;

$T_{\text{я}}$ – постійна часу силового ланцюга якоря;

T_{Π} – постійна часу тиристорного перетворювача;

K_{Π} – коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача.

Коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача в режимі неперервного струму визначаємо за формулою:

$$K_{\Pi} = (U_{d0} \sin \alpha) \frac{\pi}{U_k} \quad (2.31)$$

де U_{d0} – напруга холостого ходу випрямляча;

α – кут керування, прийmemo $\alpha = 90^\circ$;

U_k – амплітуда пилкоподібної напруги з СІФК $U_k = 8 \div 9$ В, прийmemo 8 В. Тоді:

$$K_{\Pi} = \frac{514,02 \cdot \sin 90^\circ \cdot \pi}{8} = 201,85.$$

Знаходимо налагодження пропорційно інтегрального регулятора струму (ПІ-РС), що дозволяє одержати будь-які попередньо задані параметри контуру струму.

Його передавальна функція:

$$W_{P.C.}(p) = K_{\Pi C} + \frac{1}{T_{\Pi C} p}; \quad (2.32)$$

де $K_{\Pi C}$, $T_{\Pi C}$, – відповідно коефіцієнт пропорційної частини й постійної часу інтегрування.

Налагодження обчислюються за формулами:

$$T_{\Pi C} = \frac{K_{\Pi} K_{33C} T_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}; \quad (2.33)$$

$$T_{\Pi C} = \frac{201,85 \cdot 0,13 \cdot 0,0085}{1,11} = 0,2 \text{ с.}$$

$$K_{\Pi C} = \frac{T_{\text{я}}}{T_{\Pi C}}; \quad (2.34)$$

$$K_{\Pi C} = \frac{0,0085}{0,2} = 0,425.$$

2.3.4. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА ШВИДКОСТІ

Стандартне налагодження контуру регулювання швидкості на модульний оптимум широко використовуються на практиці у зв'язку із простотою технічної реалізації й сприятливим для

більшості електроприводів характером протікання перехідних процесів. Однак, точність регулювання може бути нижче, ніж у розімкнутій системі електропривода, і не задовольняти пропонованим вимогам. У цих випадках у багатоконтурних уніфікованих структурах регулювання необхідно прибгати до збільшення порядку астатизму системи стосовно впливу навантаження.

Одним з можливих шляхів збільшення точності регулювання швидкості при змінах навантаження є доповнення двоконтурної системи регулювання швидкості, настроєної на модульний оптимум, другим контуром регулювання швидкості, настроєним так само, як і перший.

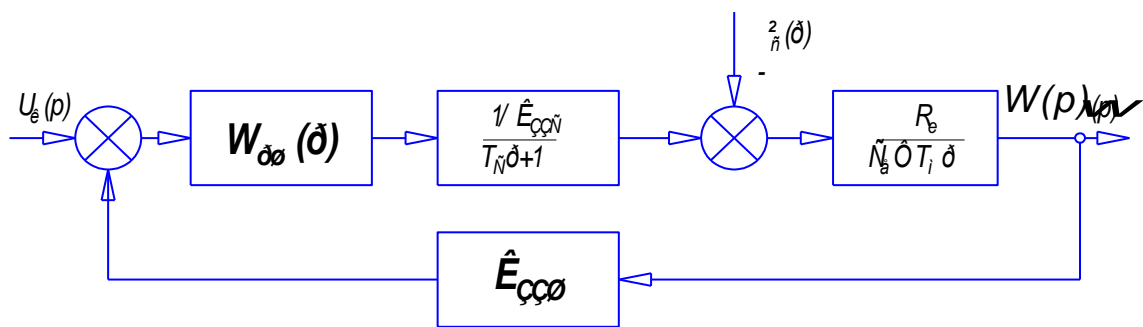


Рисунок 2.6 - Структурна схема контуру регулювання швидкості двигуна

Забезпечити астатизм по навантаженню при регулюванні швидкості можна без застосування другого контуру регулювання швидкості шляхом настроювання двоконтурної системи на симетричний оптимум. Для реалізації цього шляху при послідовній корекції контуру регулювання швидкості задаються бажаною передавальною функцією розімкнутого контуру у вигляді:

$$W(p) = \frac{1+8T_{\mu}p}{8T_{\mu}p} \times \frac{1/K_{33\text{Ш}}}{4T_{\mu}p(2T_{\mu}p+1)}; \quad (2.35)$$

де $T_{\mu} = 0,01$ - постійна часу контуру струму;

$K_{33Ш} = \frac{U_{3Ш}}{\omega_H} = \frac{10}{114,14} = 0,087$ - коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості.

Передавальна функція об'єкту регулювання:

$$W_{OP}(p) = \frac{1/K_{ПС}}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)+1} \times \frac{c\Phi_H}{R_{я}T_M p}; \quad (2.36)$$

Практика настроювання регульованих електроприводів показує, що без великої погрішності для оцінки якості регулювання в знаменнику (2.36) можна відкинути член другого порядку, при цьому:

$$W_{OP}(p) = \frac{1/K_{ПС}}{2T_{\mu}p+1} \times \frac{c\Phi_H}{R_{я}T_M p}. \quad (2.37)$$

Передавальна функція регулятора швидкості:

$$W(p) = \frac{K_{ПС} \cdot R_{я} \cdot T_M}{K_C \cdot c\Phi_H} \times \frac{1+8T_{\mu}p}{32T_{\mu}^2 p} = \frac{1+T_K p}{T_{И} p}; \quad (2.38)$$

Таким чином отримано передавальну функцію ПІ-регулятора швидкості:

$$T_{ИШ} = \frac{32 \cdot T_{\mu}^2 \cdot K_{33Ш} \cdot c\Phi_H}{K_{ПС} \cdot R_{я} \cdot T_M}; \quad (2.39)$$

$$T_{ИШ} = \frac{32 \cdot 0,0001 \cdot 0,087 \cdot 3,12}{0,425 \cdot 1,11 \cdot 0,47} = 0,004 \text{ с.}$$

$$T_K = 8T_{\mu} = 8 \cdot 0,01 = 0,08 \text{ с.}$$

$$K_{ИШ} = \frac{T_K}{T_{ИШ}} = \frac{0,08}{0,004} = 20.$$

Зображення помилки регулювання при змінах керуючого впливу в такій системі:

$$\Delta\omega_{3С}(p) = \frac{\omega_{03С}(p) \times 32T_{\mu}^2 p^2 (2T_{\mu}p+1)}{32T_{\mu}^2 p^2 (2T_{\mu}p+1) + 8T_{\mu}p+1}. \quad (2.40)$$

Рівняння (2.40) показує, що завдяки астатизму другого порядку стала динамічна помилка в режимі лінійного наростання завдання $\omega_0 = \varepsilon_3 t$ відсутній із цієї причини двоконтурну систему з ПІ-регулюванням швидкості називають двократноінтегруючою системою й застосовують у тих випадках, коли важливо мати високу точність відпрацьовування змін сигналу завдання й збурювання.

2.3.5. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА СТРУМУ ЗБУДЖЕННЯ

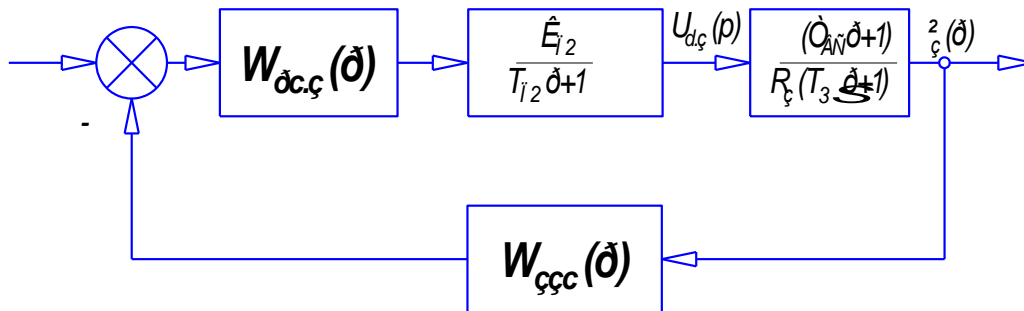


Рисунок 2.7 - Структурна схема контуру регулювання струму збудження

Передавальна функція об'єкта регулювання:

$$W_{OP}(p) = \frac{K_{П2}(T_{ВС}p+1)}{R_B(T_{ЗΣ}p+1)(T_{П}p+1)}; \quad (2.41)$$

де $K_{П2}$ – коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача ланцюга збудження

$$\underline{K_{П2}} = \frac{(U_{д30} \sin \alpha) \cdot \pi}{U_k} \quad (2.42)$$

де $\underline{U_{д30}}$ – напруга холостого ходу випрямляча ТПЗ;

α – кут керування, прийmemo $\alpha = 90^\circ$;

$\underline{U_k}$ – амплітуда пилкоподібної напруги з СІФК $\underline{U_k} = 8 \div 9$ В, прийmemo 8 В. Тоді:

$$\underline{K_{П}} = \frac{134,75 \cdot \sin 90^\circ \cdot \pi}{8} = 53.$$

$T_{ВС}$ – постійна часу контуру вихрових струмів, $T_{ВС} = 0,206$ с;

$T_{ЗΣ}$ – сумарна постійна часу ланцюга збудження, береться

$$T_{ЗΣ} = T_3 + T_{ВС} = 2,266 \text{ с};$$

ТП2 – постійна часу тиристорного перетворювача ланцюга збудження, приймаємо $ТП2=0,005$ с.

Бажана передатна функція контуру має вигляд:

$$W(p) = \frac{(T_{BC}p+1)/K_{ЗЗСЗ}}{a_T T_{\mu} p (T_{\mu} p+1)}, \quad (2.43)$$

де $K_{ЗЗСЗ}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом збудження;

$T_{\mu} = 0,005$ с – некомпенсуєма мала постійна часу;

$a_T = 2$ – співвідношення постійних часу контуру струму (модульний оптимум);

$T_{СЗ} = a_T \cdot T_{\mu} = 0,01$ с – постійна часу контуру струму збудження.

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом збудження визначимо за формулою:

$$K_B = \frac{I_{ЗВ}}{I_{ЗН}} = \frac{5}{10} = 0,5$$

Включення аперіодичної ланки з постійною часу ТВТ у канал зворотного зв'язку контуру струму збудження забезпечує форсування струму, необхідне для компенсації аперіодичної ланки з такою ж постійною часу в контурі ЕРС.

Передавальна функція регулятора струму збудження:

$$W(p) = \frac{R_3(T_{З\Sigma}p+1)}{a_T K_{П2} K_{ЗЗСЗ} T_{\mu} p}; \quad (2.44)$$

Одержуємо ПІ-регулятор струму збудження.

$$T_{ICЗ} = \frac{a_T K_{П2} K_{ЗЗСЗ} T_{\mu}}{R_3}; \quad (2.45)$$

$$T_{ICЗ} = \frac{2 \cdot 53 \cdot 0,5 \cdot 0,005}{2,4} = 0,11 \text{ с};$$

$$K_{ПСЗ} = \frac{T_{З\Sigma}}{T_{ICЗ}} = \frac{2,266}{0,11} = 20,6.$$

Передавальна функція замкнутого контуру регулювання струму збудження має вигляд:

$$W_3(p) = \frac{T_{BC}p+1}{K_{ЗЗСЗ}(a_T T_{\mu} p (T_{\mu} p+1)+1)}. \quad (2.46)$$

2.3.6. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА ЕРС

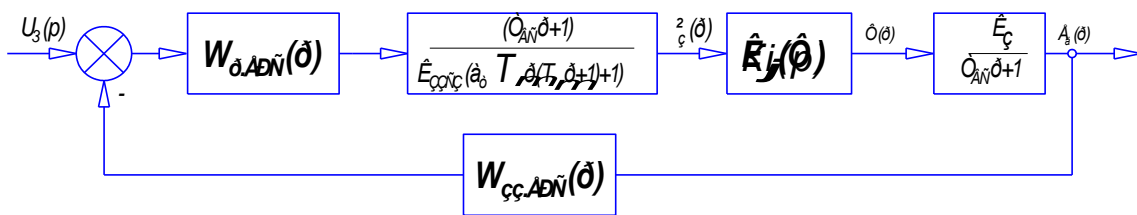


Рисунок 2.8 - Структурна схема контуру регулювання ЕРС двигуна

Передавальна функція об'єкта регулювання

$$W_{OP}(p) = \frac{T_{BT}p+1}{K_{33C3}(a_T T_{\mu} p(T_{\mu} p+1)+1)} \times \frac{K_3}{T_{BT}p+1};$$

$$W_{OP}(p) = \frac{K_3}{K_B(a_T T_{\mu} p+1)}; \quad (2.47)$$

де K_3 – коефіцієнт підсилення;

$$K_3 = K_{\Phi} \cdot K_E \cdot \omega_{\max} \quad (2.48)$$

де K_{Φ} – коефіцієнт нахилу кривій намагнічування;

$$K_{\Phi} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta I_3} \quad (2.49)$$

$K_E=0.05$ – конструктивна постійна двигуна, $K_E=0,05$.

Бажана передавальна функція:

$$W(p) = \frac{(T_{я}p+1)/K_H}{a_{\Sigma} T_{TB} p(T_{TB} p+1)}; \quad (2.50)$$

Залежність коефіцієнта K_3 від швидкості обертання спричиняє нелінійність контуру регулювання ЕРС. Внаслідок цього передавальна функція регулятора ЕРС відповідає оптимальному настроюванню контуру лише при одному певному («налагоджувальному») значенні швидкості обертання. Для всіх інших значень швидкості настроювання контуру регулювання ЕРС буде відрізнятись від оптимальної. При чому при збільшенні швидкості, коливальність контуру регулювання ЕРС зростає, тому оптимальне налагодження контуру звичайно роблять при максимальній швидкості обертання тобто для:

$$K_3 = K_\Phi \cdot K_E \cdot \omega_{\max} \quad (2.51)$$

У цьому випадку для всіх інших значень швидкості обертання ступінь коливальності контуру регулювання ЕРС буде нижче.

Передавальна функція регулятора ЕРС (ПІ-регулятор):

$$W(p) = \frac{(T_{ЯД}+1)K_B}{T_{ГВ}K_3K_H p}; \quad (2.52)$$

де K_H – коефіцієнт зворотного зв'язка по ЕРС;

$$K_H = \frac{E_3}{E_H} = \frac{15}{514,02} = 0,029. \quad (2.53)$$

$$K_3 = 0,9 \cdot 0,05 \cdot 471 = 21,195.$$

Параметри ПІ-регулятора ЕРС:

$$T_{ПЕРС} = \frac{T_{ТЗ}K_3K_H}{K_B}; \quad (2.54)$$

$$K_{ПЕРС} = \frac{T_{Я}}{T_{ПЕРС}}, \quad (2.55)$$

$$T_{ПЕРС} = \frac{0,01 \cdot 21,195 \cdot 0,029}{0,5} = 0,012 \text{ с.}$$

$$K_{ПЕРС} = \frac{0,0085}{0,012} = 0,71.$$

2.3.7. ВИБІР САК ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕРСТАТА

Систему електроприводів верстата пропонується виконати на базі електропривода серії ЕПУ-1 М [7]. Електроприводи уніфіковані трифазні серії ЕПУ-1 М виконані на основі технічних вимог “Інтерелектро” на перспективні серії приводів для верстатобудування та робототехніки, у відповідності з сучасними технічними вимогами. Дані електроприводи можуть робити, як на внутрішній контур, у САК із зворотним зв'язком по положенню із замиканням через систему ЧПК.

Для механізмів головного руху верстатів та інших механізмів. Електроприводи головного руху призначені для реверсивних та нереверсивних широкорегульованих електроприводів з

двохзонним та однозонними регулюванням швидкості, в тому числі для механізмів головного руху верстатів з ЧПК.

Керуючись [1,4 та 7] та вищенаведеними викладками, вибираємо комплектний уніфікований трифазний електропривід серії ЕПУ-1М для приводів головного руху верстатів. Тип електропривода – ЕПУ-1М-2-4040Д-УХЛ4 – реверсивний швидкодіючий привод для двигунів головного руху металообробних верстатів, двошзонний, із зворотним зв'язком по швидкості та струму якоря.

Основні технічні характеристики електропривода зведено до табл. 2.3

Таблиця 2.3

Основні технічні характеристики електропривода

Номінальна потужність електродвигуна, кВт	30
Номінальна частота обертання, об/хв	1090
Максимальна частота обертання, об/хв.	4500
Номінальний струм блоку керування, А: для живлення якірного ланцюга двигуна, для живлення ланцюга збудження двигуна.	80 10
Номінальна напруга блоку керування, В: для живлення якірного ланцюга двигуна, для живлення ланцюга збудження двигуна.	460 115

Таблиця 2.4

Статичні характеристики привода

Швидкість двигуна	Похибка швидкості у %, не більше			Коефіцієнт нерівномірнос ті обертання Кн, не більше
	Сумарн а $\Delta\Sigma$	При зміні наванта -ження Δn	При зміні напрямку обертання Δp	
$n_{\text{макс}}$	2	0,5	1	0,1
$0,1n_{\text{макс}}$	10	2,0	2	0,1
$0,01n_{\text{макс}}$	15	5,0	5	0,2
$0,001n_{\text{макс}}$	25	10	10	0,25

Електропривод повинен забезпечувати тривалу та короткочасну роботу в режимах S1, S2, S3 з моментами в залежності від швидкості та у відповідності з характеристиками двигуна.

Кратність робочого перевантаження тривалістю 10 с. при середньоквадратичному струмі не вище номінального та часу усереднення 1 хв, не більше 2.

Параметри електропривода забезпечуються при відхиленнях напруги мережі живлення від номінального значення $\pm 10\%$, пульсації задаючого сигналу керування не більше 2% від усталеного значення.

Умови експлуатації:

температура навколишнього повітря для електродвигуна і тахогенератора від 5 °С до 40 °С, блока керування і решти елементів електропривода від 5 °С до 35 °С (для виконання УХЛ); висота над рівнем моря не більше 1000 м;

місце установки електроприводів – в закритих приміщеннях при відсутності безпосередньої дії сонячної радіації;

максимальна відносна вологість повітря 80% при температурі 30%;

допускається вібрація з частотою від 1 до 35 Гц при прискоренні 4,9 м/с²;

робоче положення блоків керування вертикальне, допускається відхилення від вертикального положення не більше 5° в будь-який бік;

ступінь захисту IP00;

електропривід забезпечує тривалу і короткочасну роботу в режимах S1–S3 з моментами в залежності від швидкості і у відповідності з характеристиками двигуна, приведеними в документації заводу-виробника двигуна;

коефіцієнт корисної дії η для блока керування (перетворювача) не менше 0,95.

Ланцюги керування і силова частина під'єднуються до мережі або індивідуальними комутаційними апаратами, або загальним. Під'єднання може виконуватись в будь-якій послідовності. В цьому випадку після вмикання всіх апаратів необхідно натиснути кнопку скидання S1 (з самоповерненням), за допомогою якої здійснюється обнулення тригерів захисту. Ця ж кнопка використовується для повторного вмикання електропривода після спрацювання якого-небудь захисту. Крім того, є можливість обнулення тригерів захисту командою (контактом) "Робота" без кнопки S1, а також при під'єднанні комутаційним апаратом силової частини до мережі живлення при попередньо ввімкнених ланцюгах керування.

Для керування приводом від ручного задатчика використовуються контакти апарата (реле) вибору напрямку

руху “В1”-вперед і “Н1”-назад. Контакт “Р”-робота виконує розблокування регулятора швидкості.

Натисканням на кнопку S2 виконується аварійна (екстренна) зупинка привода.

Для керування електроприводом від системи ЧПК замикаючий контакт реле керування (з ЧПК) під’єднує “+ 15 В” до клеми “Робота”, аналогічно контакту “Р”.

2.4. РОЗРОБЛЕННЯ ПРИНЦИПОВОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

2.4.1. ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

З метою забезпечення високої швидкодії та універсальності для реверсивного двохзонного електропривода прийнята схема з реверсом струму якоря та нереверсивним однозонним збуджувачем.

Електропривод складається із блока керування БС 4040 Д, електродвигуна постійного струму М1, з вмонтованим тахогенератором BR1, блока запобіжників FU1, блока вводу U3, задатчика швидкості R1.

Силова частина блока керування включає в себе тиристорний перетворювач якоря ТПЯ, виконаний по трифазній мостовій реверсивній схемі та тиристорний перетворювач

збудження ТПЗ, виконаний по однофазній мостовій неререверсивній схемі.

Система регулювання складається з двох каналів регулювання: канал регулювання напруги якоря та канал регулювання потоку та ЕРС двигуна.

Система регулювання напруги якоря виконана двохконтурною з ПІ-регулятором швидкості та ПІ-регулятором струму

Керування тиристорами ТПЯ проводиться від трьохканальної СІФК, що складається з формувачів імпульсів $\Phi 11 \div \Phi 13$. Введення керуючого сигналу в $\Phi 11 \div \Phi 13$, а також його зміщення ($\alpha_{\text{поч}}$) та обмеження ($\alpha_{\text{мін}}$, $\alpha_{\text{макс}}$) виконується за допомогою змінних резисторів $R26$, $R40$, $R39$ відповідно керуючим органом КО. Перемикання імпульсів керування з комплекта тиристорів "В" на комплект тиристорів "Н" перетворювача ТПЯ проводиться блоком логічного пристрою ЛП., яке робить в функції сигналу заданого напрямку струму і вихідного сигналу датчика провідності вентилів ДП. Сигнал заданого напрямку струму на вхід ЛП поступає з виходу нелінійної ланки НЛ. Ланки НЛ та ФПЕ з резистором $R39$ утворюють пристрій лінеаризації характеристик електроприводу в режимі преривчастого струму (РПС). При цьому коефіцієнт передачі НЛ обернено пропорційний коефіцієнту передачі ТПЯ, а коефіцієнт передачі ФПЕ має залежність типу $y = \arcsin \Sigma$ (Σ - відносна ЕРС двигуна що компенсує внутрішній від'ємний зв'язок по ЕРС двигуна). Ланка ФПЕ підключається через розв'язку ДН на якір двигуна. Це зумовлено тим, що ЕРС двигуна залежить як від швидкості так і від потоку двигуна. За допомогою пристрою лінеаризації забезпечується підтримка приблизно одного коефіцієнта підсилення лінеаризованого таким чином перетворювача.

Для узгодження реверсивного сигналу НЛ з лінеаризованою регульованою характеристикою КО має перемикачі характеристик ПХ, що керуються ЛП (ключі “В” та “Н”).

Задаючий сигнал Узад із задатчика швидкості поступає на вхід регулятора швидкості РШ через задатчик інтенсивності ЗІ розгону електропривода, який може регулювати час розгону електропривода за допомогою змінного резистора R5 до 10 с.

На вході регулятора швидкості РШ сумуються сигнали задання швидкості із задатчика інтенсивності ЗІ через резистори R8, R15 та зворотного зв'язку з тахогенератора через резистори R6, R7, R17. Вхід ЗІ можна підключити до аналогового виходу системи ЧПК.

Встановлення нульової швидкості забезпечується регулюванням “Установка нуля” РШ резистором R13. Елементи корекції регулятора швидкості R21, С8 установлені на лепестках. Виніс точок “Корекція РШ” та вихода РШ на роз'їом блоку дає можливість дистанційної зміни корекції РШ, наприклад, при зміні моменту інерції привода.

Струмообмеження забезпечується за рахунок обмеження вихідної напруги РШ резистором R25.

Канал регулювання потоку та ЕРС двигуна складається з задатчика струму збудження через резистор R78, ПІ-регулятора струму збудження РСЗ, ПІ-регулятора ЕРС РЕ з задатчиком ЕРС R32. Елементи корекції РСЗ R85 та С24 можна змінювати в процесі налагодження. Задаючий сигнал із.зад на РСЗ подається через резистор R80 із змінного резистора R78. Сигнал зворотного зв'язку по струму поступає з датчика струму збудження ДСЗ через резистор R81.

На вході РЕ порівнюється сигнал задання ЕРС Езад та зворотного зв'язку по напрузі двигуна. Останній утворюється

випрямленням за допомогою випрямляча В2 вихідного сигналу ДН. Електропривод виконаний по залежній від напруги на якорі принципу регулювання швидкості.

Резистором R79 задається величина мінімального струму збудження двигуна.

Даний привод забезпечує роботу двигуна в першій зоні при постійному магнітному потоці та у другій зоні при постійній потужності двигуна.

Керуючий сигнал з регулятора струму збудження РСЗ поступає на формувач імпульсів збуджувача ФІЗ, де проходить його порівняння з пилкоподібною напругою, яка поступає з одного з каналів Системи імпульсно фазового керування СІФК якоря (з ФІ1). Резисторами R27 та R28 виставляються кути керування $\alpha_{\max}=160$ ел.град. та $\alpha_{\min}=50$ ел.град.

Вузол залежного струмообмеження ВЗС діє в функції напруги тахогенератора, яка поступає на вхід вузла через подільник R94, R95 та зменшує уставку струмообмеження для покращення комутації двигуна в режимів ослаблення поля.

Пристрій співпадання ПС призначений для виявлення відповідності швидкості двигуна заданому значенню. При досягненні швидкості заданого значення замикається контакт реле К1, керуючий риводом подачі. Також передбачена можливість підключення зовнішньої корекції до регулятора РШ, що може бути доцільним при зміні величини Тм.

Блок захисту БЗ забезпечує слідуюче блокування:

- сигнала на виході РШ;
- керуючих імпульсів.

Керування транзистором VT6, який підключений на виході регулятора швидкості, виконується в функції швидкості і стану контакту в ланцюзі "Робота". Коли швидкість двигуна дорівнює

нулю і відключений контакт "P", проісходить закорачування виходу регулятора швидкості РШ через відкритий транзистор V6. При вмиканні контакта "P" замикається контакт K4.1 реле K4 і сигнал задання швидкості поступає на вхід ЗІ, тобто реле K4 розмножує контакт "P".

Сигнал U_p , поступаючий на блок захисту з логічного пристрою, здійснює переведення кутів керування в α мах. Сигнал на переведення кутів в α мах поступає на керуючий орган КО і при спрацюванні одного з захистів електропривода. Для покращення динамічних характеристик електропривода на вхід КО введений від'ємний зв'язок по струму рівень якого можна міняти резистором R97. Функціональна схема електропривода наведена в конструкторській документації.

2.4.2. ВИБІР ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ БЛОКА ЖИВЛЕННЯ

Так як в системі керування електроприводом головного руху патронно-центрового верстата 16A20ФЗ необхідно змінювати випрямлену напругу на якорі електродвигуна, то, очевидно, що необхідно використовувати керований трифазний випрямляч. Основним елементом такого випрямляча є тиристор. Такий випрямляч може бути виконаний по схемі з нульовою точкою або мостовим. Недоліком схеми з нульовою точкою є підмагнічення осердя трансформатора напруги постійним струмом, що приводить до значного зниження коефіцієнта корисної дії випрямляча.

У трифазній мостовій схемі, хоч і в два рази більше тиристорів, але по всім показникам вона переважає схему з нульовою точкою. Тому для живлення якірного ланцюга

електроприводів подач автомата 16А20Ф3 використовується керуємий трифазний випрямляч на оптотисторних модулях.

Для регулювання швидкістю обертання шпинделя привода головного руху вище номінальної необхідно змінювати потік збудження електродвигуна. Це досягається шляхом зміни напруги живлення обмотки збудження електродвигуна. Тому для живлення обмотки збудження електродвигуна використовуємо однофазний мостовий тиристорний випрямляч.

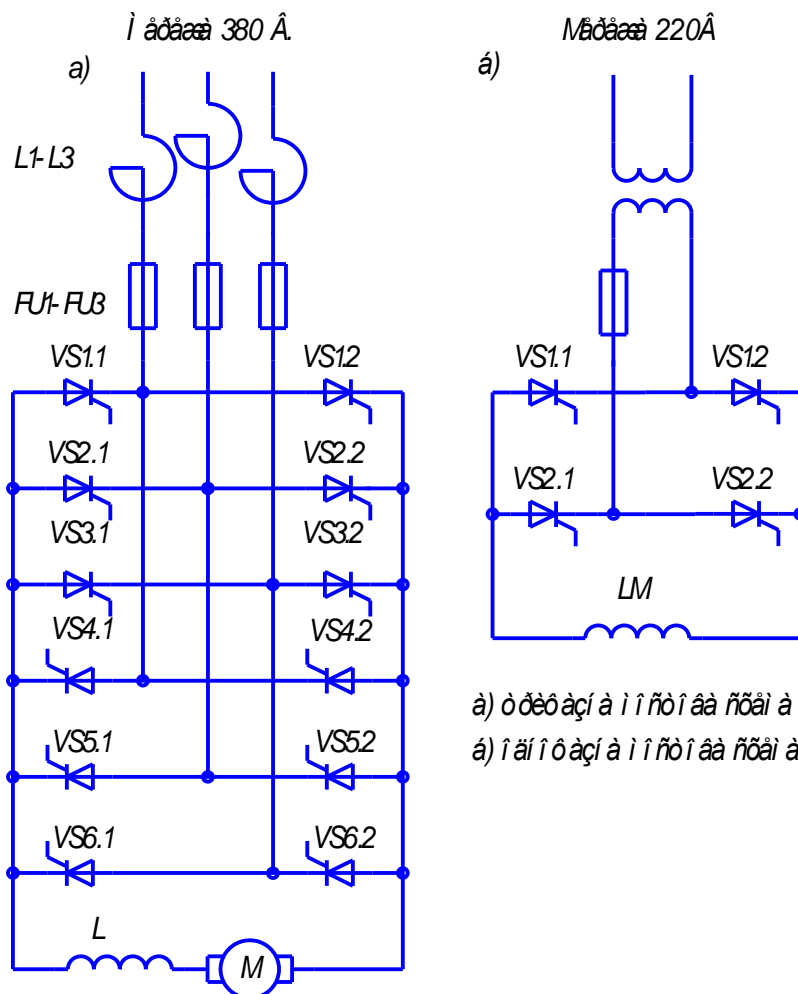


Рисунок 2.9 - Мостові схеми випрямлячів головного руху

2.5. РОЗРАХУНОК ПЕРЕТВОРЮВАЧА НАПРУГИ ПРИВОДА ГОЛОВНОГО РУХУ

Основою силової схеми якорного тиристорного перетворювача ТПЯ складає трифазна мостова реверсивна схема.

Реактори обмежують комутаційні й аварійні струми вентильного перетворювача.

Для лінійного струмообмежуючого реактора необхідно визначити індуктивність, а також геометричні розміри (у випадку відсутності стандартного реактора в довіднику).

Фазна напруга мережі буде дорівнювати:

$$U_{1\phi} = \frac{U_c}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,732} = 220 \text{ В} \quad (2.56)$$

Значення ЕРС холостого ходу перетворювача розраховується за формулою:

$$E_{d0} = \frac{U_{1\phi}}{k_U}, \quad (2.57)$$

де k_U – коефіцієнт схеми перетворювача, для трифазної мостової реверсивної схеми $k_U = 0,428$.

$$E_{d0} = \frac{220}{0,428} = 514,02 \text{ В.}$$

Лінійний струм перетворювача розраховується за формулою:

$$I_1 = k_{i2} \cdot I_d \quad (2.58)$$

де $k_{i2} = 0,817$ – коефіцієнти схеми,

I_d – номінальний струм електродвигуна,

Струм якоря двигуна визначається:

$$I_d = \frac{P_{\text{ном.}}}{U_d \cdot \eta_{\text{дв}}}, \quad (2.59)$$

$\eta_{\text{дв}}$ – ККД двигуна;

$P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність двигуна, Вт.

$$I_d = \frac{30000}{440 \cdot 0,905} = 75 \text{ А.}$$

Таким чином, струм, що споживається з мережі згідно до (2.58):

$$I_1 = 0,817 \cdot 75 = 61,55 \text{ А.}$$

Необхідний індуктивний опір реактора визначається з наступного співвідношення:

$$X_p = 0,075 \cdot \frac{U_{1\phi}}{I_1}, \quad (2.60).$$

$$X_p = 0,075 \cdot \frac{220}{61,55} = 0,268 \text{ Гн.}$$

Індуктивність реактора визначається за формулою:

$$L_p = \frac{X_p}{\omega}, \quad (2.61)$$

$$L_p = \frac{0,268}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,42 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Реактор з розрахованими параметрами важко знайти в промислових каталогах, тому необхідно розрахувати геометричні параметри реактора, щоб можна було виконати його на замовлення. Реактори звичайно виконують дископодібними. Розміри реактора розраховуються за наступними формулами:

$$h = l = \sqrt[5]{\frac{3 \cdot \pi \cdot L_p \cdot q_0^2}{20 \cdot \mu_0 \cdot k_0^2}}, \quad (2.62)$$

$$D_1 = 5 \cdot h, \quad (2.63)$$

$$D_2 = 7 \cdot h, \quad (2.64)$$

де μ_0 – магнітна проникність повітря, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

k_0 – коефіцієнт заповнення перетину обмотки активним матеріалом, $k_0=0,3$;

q_0 – перетин шини реактора, $q_0 = 61,55$.

$$h = l = \sqrt[5]{\frac{3 \cdot \pi \cdot 0,42 \cdot 10^{-3} \cdot 61,55^2}{20 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,3^2}} = 10,182 \text{ мм,}$$

$$D_1 = 5 \cdot 10,182 = 50,9 \text{ мм;}$$

$$D_2 = 7 \cdot 10,182 = 71,27 \text{ мм.}$$

Фазна напруга первинної обмотки дорівнює: $U_{1\phi} = 220 \text{ В}$

Діюче значення напруги вторинної фазної обмотки

$$U_{2\phi} = k_c \cdot k_\gamma \cdot k_R \cdot k_U \cdot U_{дн} \quad (2.65)$$

де k_c – враховує можливе зниження напруги мережі;

k_γ – враховує комутацію й асиметрію напруг, $k_\gamma = 1,05$;

k_R – враховує спадання напруги у вентилях, обмотках трансформатора й реакторах, $k_R = 1,05$;

k_U – коефіцієнт схеми перетворювача, $k_U = 1,1$.

Значення k_c визначається за формулою:

$$k_c = \frac{1}{1 - \Delta U_1}, \quad (2.66)$$

де $\Delta U_1^* = 0,1$ – відносне відхилення напруги живлячої мережі.

$$k_c = \frac{1}{1 - 0,1} = 1,1.$$

$$U_{2\Phi} = 1,1 \cdot 1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,1 \cdot 110 = 149,57 \text{ В.}$$

Значення ЕРС холостого ходу перетворювача розраховується за формулою:

$$E_{d0} = \frac{U_{2\Phi}}{k_U}, \quad (2.67)$$

$$E_{d0} = \frac{149,57}{1,1} = 134,75$$

Величина потужності P_{d0} визначається з наступного рівняння:

$$P_{d0} = E_{d0} \cdot I_d, \quad (2.68)$$

$$P_{d0} = 134,75 \cdot 10 = 1,35 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Розрахункова потужність силового трансформатора

$$S_T = k_s \cdot P_{d0} \quad (2.69)$$

де $k_s = 1,1$ – коефіцієнт схеми,

$$S_T = 1,1 \cdot 1,35 \cdot 10^3 = 1,5 \cdot 10^3 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

З каталогу вибираємо відповідний до цих значень стандартний трансформатор ОСМ1-1,5 з наступними параметрами:

– Фазна напруга первинної обмотки $U_{1\Phi} = 220 \text{ В}$;

– Фазна напруга вторинної обмотки $U_{2\Phi} = 160 \text{ В}$;

– Повна потужність трансформатора $S_T = 1,5 \text{ кВА}$;

- Напряга короткого замикання $u_k = 3\%$;
- Номінальний ККД трансформатора $\eta_t = 96\%$.

Струми первинної й вторинної обмоток розраховуються за формулами:

$$I_1 = k_{i1} \cdot k_{21} \cdot I_d \quad (2.70)$$

$$I_2 = k_{i2} \cdot I_d \quad (2.71)$$

де $k_{i1} = k_{i2} = 1,0$ – коефіцієнти схеми,
 k_{21} – коефіцієнт трансформації,

$$k_{21} = \frac{U_{2\Phi}}{U_{1\Phi}}, \quad (2.72)$$

$$k_{21} = \frac{160}{220} = 0,73;$$

$$I_1 = 1,0 \cdot 0,73 \cdot 10 = 7,3 \text{ A};$$

$$I_2 = 1,0 \cdot 10 = 10 \text{ A}.$$

Вибір вентилів проводимо за середнім значенням струму, що протікає по ньому і величині прикладеної повторюваної імпульсної напруги. Розрахункове середнє значення струму вентиля визначається по формулі:

$$I_{TAV\rho} \frac{I_{дн}}{m} \quad (2.73)$$

для трифазної мостової схеми $m = 3$;

для однофазної мостової схеми $m = 2$, таким чином:

$$I_{TAV\rho 1} \geq \frac{75}{3} = 25 \text{ A}; \quad I_{TAV\rho 2} \geq \frac{10}{2} = 5 \text{ A};$$

Найбільше розрахункове значення повторюваної імпульсної напруги на вентилях:

$$(2.74)$$

де $k_B = 1,045$ – коефіцієнт схеми для трифазної мостової;

$k_B = 1,57$ – коефіцієнт схеми для однофазної мостової:

$$U_{i.m.пов1} = 1,045 \cdot 514,02 = 537,15 \text{ B}.$$

$$U_{i.m.пов2} = 1,57 \cdot 134,75 = 211,56 \text{ B}.$$

Прикладену повторювану імпульсну напругу необхідно вибрати з урахуванням коливань мережі $\pm 10\%$, а також з урахуванням комутаційних перенапружень. Тому знайдене значення $U_{\text{ім.пов}}$ збільшимо на 30%,

$$U_{\text{ім.пов1}} = 1,3 \cdot 537,15 = 698,3 \text{ В.}$$

$$U_{\text{ім.пов2}} = 1,3 \cdot 211,56 = 275,03 \text{ В.}$$

За довідником вибираємо для перетворювача якірної напруги оптоісторний модуль серії МТОТО-63, а для перетворювача напруги збудження МТОТО-40.

Для обраних типів оптоісторів розрахуємо найбільше значення прямого струму I_{TAVm} з урахуванням можливого 100 % струмового перевантаження в динамічних режимах роботи перетворювачів протягом інтервалу часу, що дорівнює $\tau = 1,5\text{с}$.

Приймаємо струм навантаження ідеально згладженим ($Ld \rightarrow \infty$).

Розрахунок струму виконуємо за формулою:

$$I_{\text{TAVm}} = \frac{\sqrt{U_{\text{ТО}}^2 + 4 \cdot r_T \cdot k_{\Phi} \cdot \Delta P_{\text{II}} - U_{\text{ТО}}}}{2 \cdot r_T \cdot k_{\Phi}^2} \quad (2.75)$$

де $k_{\Phi 1} = 1,73$ – коефіцієнт форми струму вентиля для трифазної схеми;

$k_{\Phi 2} = 1,41$ – коефіцієнт форми струму вентиля для однофазної схеми.

ΔP_{II} – втрати при струмовому перевантаженні:

$$\Delta P_{\text{II}} = \frac{T_{\text{jm}} - T_a - \Delta P \cdot R_{\text{thja}}}{z_{\tau}} \quad (2.76)$$

ΔP - втрати в номінальному режимі:

$$\Delta P = U_{\text{ТО}} \cdot I_{\text{TAVp}} + r_t \cdot k_{\Phi}^2 \cdot I_{\text{TAVp}}^2, \quad (2.77)$$

Підставляючи, отримуємо:

$$\Delta P_1 = 1,15 \cdot 110 + 2,54 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73^2 \cdot 110^2 = 33,67 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_2 = 1,15 \cdot 110 + 2,54 \cdot 10^{-3} \cdot 1,41^2 \cdot 110^2 = 5,88 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_{\Pi 1} = \frac{110-60-33,67 \cdot 0,46}{0,64} = 87,6 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_{\Pi 2} = \frac{110-60-5,88 \cdot 0,6}{0,7} = 72,62 \text{ Вт};$$

$$I_{\text{TAVm1}} = \frac{\sqrt{1,5^2 + 4 \cdot 2,54 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73 \cdot 87,6} - 1,5}{2 \cdot 2,54 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73^2} = 55,67 \text{ А};$$

$$I_{\text{TAVm2}} = \frac{\sqrt{1,15^2 + 4 \cdot 2,54 \cdot 10^{-3} \cdot 1,41 \cdot 72,62} - 1,15}{2 \cdot 2,54 \cdot 10^{-3} \cdot 1,41^2} = 51,5 \text{ А}.$$

Для надійної роботи вентилячного перетворювача необхідно, щоб параметри обраних приладів задовольняли умовам

$$I_{\text{TAVm}} \geq (2,2 \dots 2 \dots 2,4) \cdot I_{\text{TAVp}},$$

Для обраного вентиля

$$\frac{I_{\text{TAVm1}}}{I_{\text{TAVp1}}} = \frac{55,5}{25} = 2,3; \quad \frac{I_{\text{TAVm2}}}{I_{\text{TAVp2}}} = \frac{51,5}{5} = 10,3,$$

що задовольняє заданим умовам, тобто вибраний тиристор підходить по нагріву.

Для зменшення пульсацій струму й звуження зони переривчастих струмів у якірний ланцюг двигуна включаємо реактор, що згладжує.

Необхідна величина індуктивності якірного ланцюга визначається з рівності

$$L_d = \frac{U_{d1m}}{\sqrt{2} \cdot m_2 \cdot \omega \cdot I_1 \cdot I_d} \quad (2.78)$$

де U_{d1m} – амплітуда основної гармоніки вихідної напруги;

$m_2 = 3$ – кратність пульсацій вихідної напруги;

$I_1 = 0,05$ – припустиме відносне діюче значення основної гармоніки вихідного струму.

Величина напруги U_{d1m} визначається з рівності:

$$U_{d1m} = \frac{2 \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha}{m_2^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + m_2^2 \cdot \text{tg}^2 \alpha}, \quad (2.79)$$

де α – кут регулювання,

$$\alpha = \alpha_H = \arccos \frac{U_d}{E_{d0}} \quad (2.80)$$

$$\alpha = \alpha_H = \arccos \frac{440}{514,02} = 31,13^\circ.$$

$$U_{d1m} = \frac{2 \cdot 514,02 \cdot \cos 31,13}{3^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + 3^2 \cdot \text{tg}^2 31,13} = 91,5 \text{ В};$$

$$L_d = \frac{91,15}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,05 \cdot 75} = 9,41 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Індуктивність обмотки якоря двигуна:

$$L_{я} = \frac{U_d \cdot k_H}{I_d \cdot \Omega_H \cdot p} \quad (2.81)$$

де $p = 6$ – число пар полюсів;

$k_H = 0,25$ для компенсованих машин.

$$L_{я} = \frac{440 \cdot 0,25}{75 \cdot 114,14 \cdot 6} = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Індуктивність реактора, що згладжує, визначаємо за формулою:

$$L_{СГЛ} = L_d - L_{я} \quad (2.82)$$

$$L_{СГЛ} = 9,41 \cdot 10^{-3} - 6,4 \cdot 10^{-3} = 3,01 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Зовнішні характеристики розраховуються за рівнянням:

$$U_d = E_{d0} \cdot \cos \alpha - \frac{m_2 \cdot X_P}{2 \cdot \pi} \cdot I_d, \quad (2.83)$$

де $X_P = \omega \cdot L_P$ – індуктивний опір реактора.

Виразимо з рівняння (2.83) значення кута α :

$$\alpha = \arccos\left(\frac{U_d - \frac{m_2 \cdot X_P}{2 \cdot \pi} \cdot I_d}{E_{d0}}\right). \quad (2.84)$$

Підставляючи в рівняння (2.84) характерні значення U_d і I_d , одержимо необхідні значення кута керування.

Будуємо зовнішні характеристики, задаючись значеннями I_d . Характеристики будуються для значень $\alpha = 0; 0,58; 1,1; \pi/2; 2; 2,56$.

Таблиця 2.5

U_d	$U_d = 440 \text{ В}$	$\frac{U_d}{2} = 220 \text{ В}$	$-\frac{U_d}{2} = -220 \text{ В}$	$-U_d = -440 \text{ В}$
I_d	$I_d = 75 \text{ А}$	$\frac{I_d}{2} = 37,5 \text{ А}$	$-\frac{I_d}{2} = -37,5 \text{ А}$	$-I_d = -75 \text{ А}$
α	$0,58 = 33,14^\circ$	$1,1 = 65,25^\circ$	$2 = 114,75^\circ$	$2,56 = 146,85^\circ$

Тому що характеристики являють собою прямі, то для їхнього розрахунку досить двох точок: $I_d = 2I_d$ і $I_d = -2I_d$.

Таблиця 2.6

Id, A	Ud, B						
	$\alpha = 0$	$\alpha = 0,58$	$\alpha = 1,1$	$= \pi/2$	$\alpha = 2$	$= 2,56$	$\alpha = \pi$
150	494,83	411,2	196,0	-19,19	-234,4	-449,5	-533,21
-150	533,21	449,6	234,4	19,19	-196,0	-411,2	-494,83

Рівняння обмежувальної характеристики

$$U_d = -E_{d0} \cdot \cos(\delta + \psi) + \frac{m_2 \cdot X_T}{2 \cdot \pi} \cdot I_d, \quad (2.85)$$

де $\delta = \omega \cdot t_q$, – кутова тривалість вимикання тиристора;

t_q – час вимикання тиристора, для $t_q = 50 \cdot 10^{-6}$ с.

$\psi = 3^\circ$ – кут, що враховує асиметрію імпульсів керування.

Підставляючи в (2.84) значення I_d , будемо обмежувальну характеристику. Тому що характеристика являє собою пряму, то для її розрахунку досить двох точок:

$$I_d = 2I_d \text{ і } I_d = -2I_d.$$

$$I_d = 150 \text{ A, } U_d = -493,5 \text{ B; } I_d = -150 \text{ A, } U_d = -531,87 \text{ B.}$$

Зовнішній вигляд характеристики показаний на рис. 2.10.

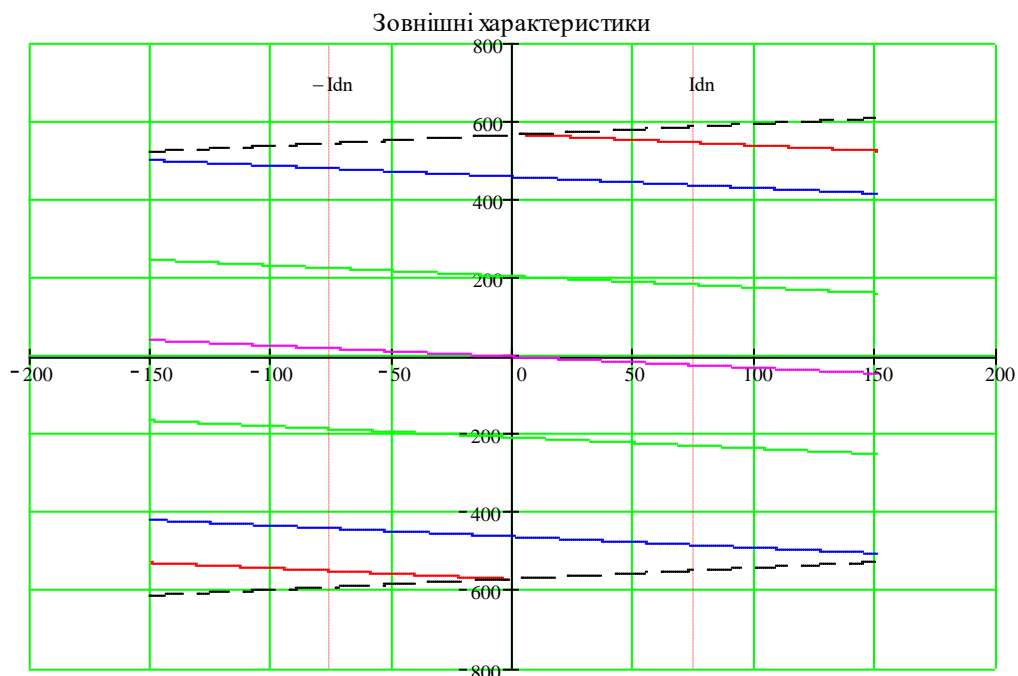


Рисунок 2.10 - Зовнішні характеристики розрахованого електропривода для першої зони керування

Мінімальне значення кута інвертування β_{\min} розраховується за формулою:

$$\beta_{\min} = \arccos\left(\cos(\delta + \psi) - \frac{m_2 \cdot X_P \cdot I_d}{\pi \cdot (1 - \Delta U_1) \cdot E_{d0}}\right) \quad (2.86)$$

$$\beta_{\min} = \arccos\left(\cos(0,64 + 3) - \frac{3 \cdot 0,268 \cdot 75}{\pi \cdot (1 - 0,15) \cdot 514,02}\right) = 24,63^\circ.$$

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз удосконалених характеристик електропривода верстата

3.1.1 Побудова електромеханічних характеристик привода

Механічні характеристики отримуємо підстановкою у наступну формулу значень таблиці 3.1.

$$\Omega = \frac{U_d - R \cdot I_d}{k} \quad (3.1)$$

де R – сумарний опір ланцюга навантаження $R = 2 \cdot R_A = 2 \cdot 0,555 = 1,11$ Ом.

Електромеханічна характеристика має обмежувальні лінії, що виходять підстановкою у формулу (3.1) значень обмежувальної характеристики. Характеристики представлені на рис. 3.1.

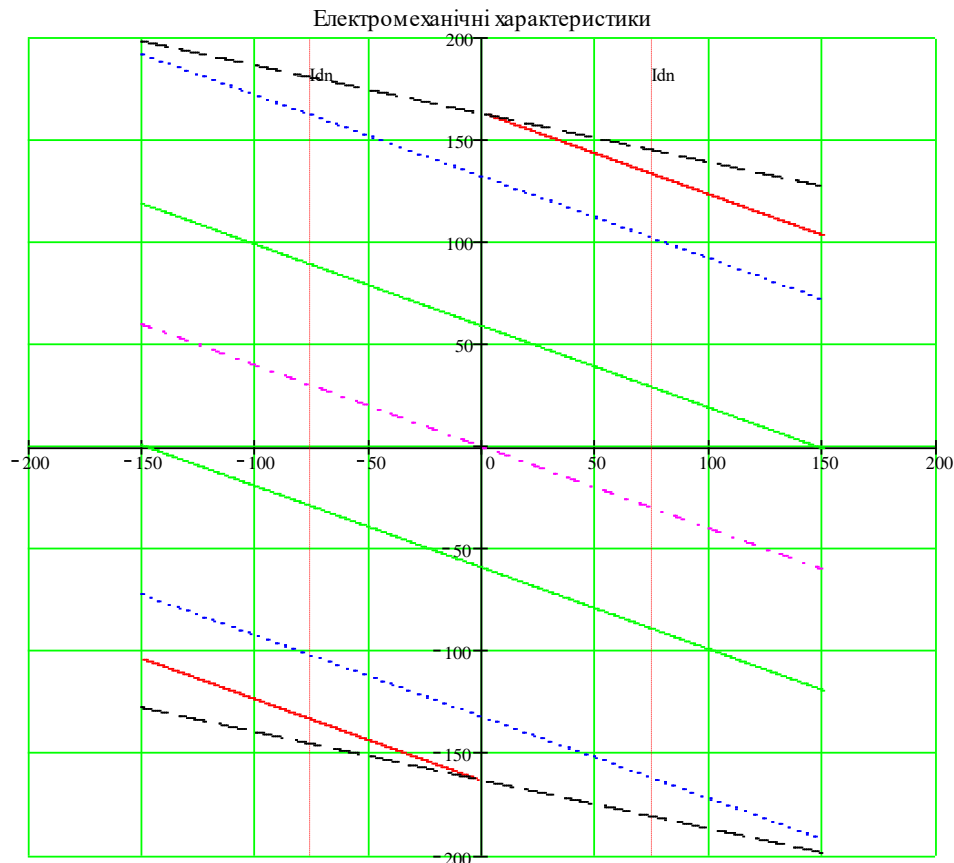


Рисунок 3.1 - Електромеханічні характеристики електропривода в першій зоні регулювання

Таблиця 3.1

I_d, A	$\Omega, \text{рад/с}$						
	$\alpha = 0$	$\alpha = 0,58$	$\alpha = 1,1$	$\alpha = \pi/2$	$\alpha = 2$	$\alpha = 2,56$	$\alpha = \pi$
150	273,6	203,92	24,58	154,75	334,07	513,37	-583,0
-150	583,0	513,41	334,07	154,75	-24,58	203,88	-273,6

3.1.2 Побудова регулювальних характеристик перетворювача

Регулювальні характеристики розраховуються за рівнянням:

$$U_d = E_{d0} \cdot \cos\alpha - \frac{m_2 \cdot X_T}{2 \cdot \pi} \cdot I_d. \quad (3.2)$$

Підставляючи значення α для $I_d = I_d$ і $I_d = 0$, одержимо регулювальні характеристики для перетворювача якірної напруги та напруги збудження, що наводяться в таблицях 3.2 та 3.3, відповідно.

Графічні залежності наведені на рис. 3.2 та 3.3 відповідно

Таблиця 3.2

$\alpha, \text{рад}$	0	$\pi/6$	$\pi/3$	$\pi/2$	$2\pi/3$	$5\pi/6$	π	
U_d, B	$I_d = 75$	67,45	57,8	33,11	-1,07	-35,6	60,77	-70,02
	$I_d = 0$	68,74	59,54	34,40	0,54	34,30	59,48	-68,73

Таблиця 3.3

$\alpha, \text{рад}$	0	$\pi/6$	$\pi/3$	$\pi/2$	$2\pi/3$	$5\pi/6$	π	
U_d, B	$I_d = 10$	67,45	57,8	33,11	-1,07	-35,6	60,77	-70,02
	$I_d = 0$	68,74	59,54	34,40	0,54	34,30	59,48	-68,73

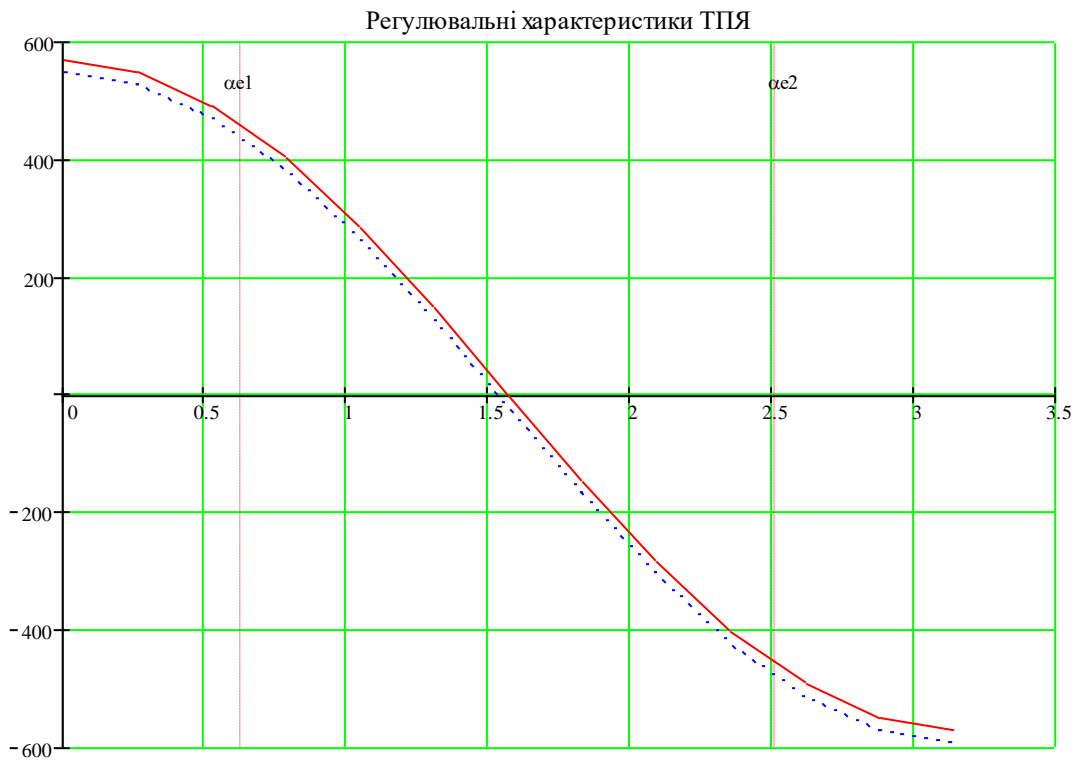


Рисунок 3.2 - Регулювальні характеристики перетворювача якорної напруги

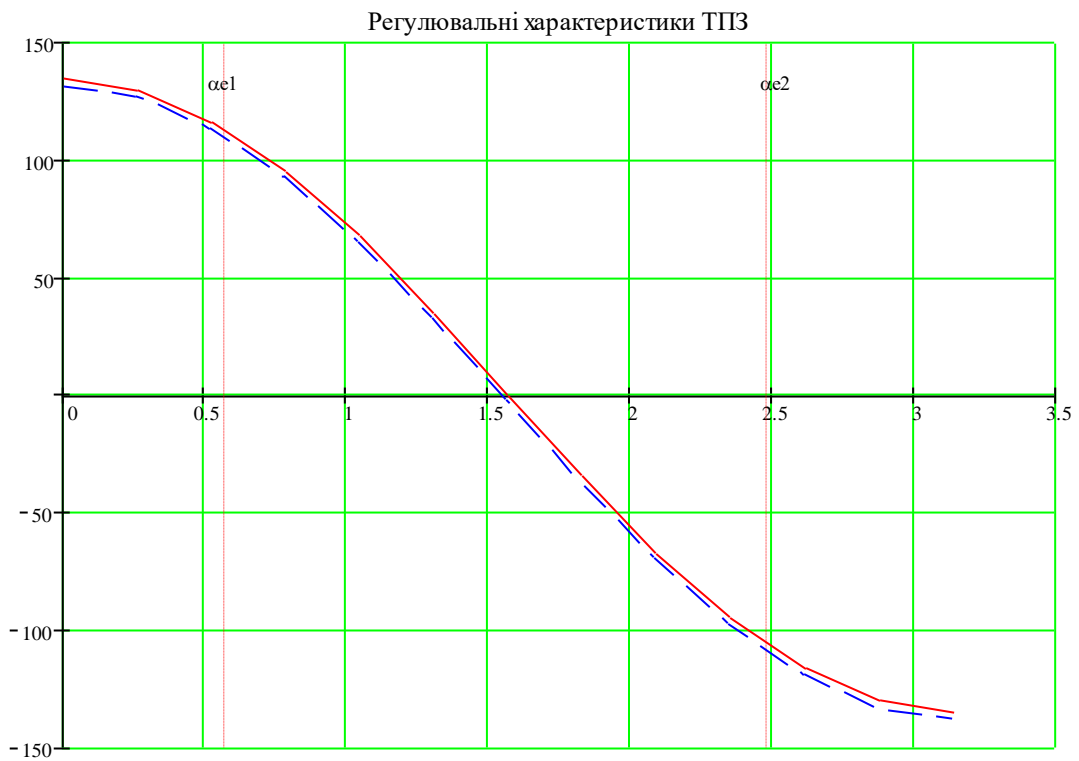


Рисунок 3.3 - Регулювальні характеристики перетворювача напруги збудження

3.2 Дослідження динамічних характеристик та оцінка стійкості САК ЕП

3.2.1. Дослідження динамічних характеристик САК ЕП

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

Якість роботи будь-якої САК характеризується двома оцінками:

- 1) точністю системи в усталеному стані;
- 2) поведінням системи в перехідному режимі.

Обидві ці оцінки визначаються величиною помилки між необхідним і дійсним значеннями керованої величини

$$\varepsilon(t) = x(t) - y(t) \quad (3.3)$$

Лінійна САК описується лінійним неоднорідним диференціальним рівнянням, рішення якого при $x(t)=1[t]$ складається з двох частин:

$$h(t) = h_B(t) + h_{\text{ВИМ}}(t) \quad (3.4)$$

де $h_B(t)$ - вільна складова перехідного процесу,

$h_{\text{ВИМ}}(t)$ - вимушена складова перехідного процесу.

Величина помилки теж складається з двох частин:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_B(t) + \varepsilon_{\text{ВИМ}}(t) \quad (3.5)$$

Перша з них виражає помилку в перехідному, а друга – у усталеному режимах і характеризують точність роботи САК.

Показники якості, обумовлені безпосередньо по $h(t)$, називаються прямими оцінками якості. До основного з них відносяться час регулювання, перерегулювання і коливальність. Найпростіше одержати ці показники по кривій $h(t)$. Методи, що дозволяють досліджувати якість САК по перехідній характеристиці, називаються прямими.

Найдоцільнішим є використання програмного пакету *MatLab*, що є найбільш визнаним у світі серед програмних продуктів такого роду, зокрема його підрозділу *Simulink*.

Модель системи задається у вигляді набору передавальних функцій ланок, крок інтегрування вводиться користувачем. Задавальна та збурююча дії на систему, що моделюється, можуть бути задані у вигляді гармонічного сигналу. Результат розрахунків виводиться у вигляді графіка в одному чи декількох квадрантах декартової системи координат, при чому можна отримувати вихідний сигнал на виході будь якої ланки моделюємої системи.

За допомогою вище згаданого пакету побудовано модель двохзонного електропривода головного руху та побудовано наступні перехідні характеристики для пуску двигуна на мінімальну, номінальну та максимальну швидкість.

Також змодельовано перехідний процес пуску двигуна на номінальну швидкість з накиданням статичного навантаження.

Аналогічно побудовані графіки перехідних процесів привода при різних методах навантаження та зміни швидкості. Графіки наведено на рис. 3.4 – 3.7.

Дослідження проведемо на графіку перехідного процесу при пуску двигуна на номінальну швидкість.

Основними показниками якості перехідного процесу є час регулювання, перегулювання, коливальність, степінь затухання коливань.

Перерегулюванням називається максимальне відхилення регульованої величини від усталеного значення, виражене в процентах:

$$\sigma\% = \frac{h_{\max} - h_0}{h_0} \cdot 100\% = \frac{A_1}{h_0} \cdot 100\% \quad (3.6)$$

Для отриманих графіків перехідного процесу перерегулювання становить: $\sigma_{\omega} = 26\%$, $\sigma_M = 14\%$.

Коливальність системи характеризується числом коливань регульованої величини за час регулювання t_p . Для досліджуваної системи коливальність становить близько 4.

Період коливань в системі становить $T=0,05$ с.

Перехідні процеси закінчуються на протязі приблизно 0,4 с, при пуску, та 0,1 с, при накиданні навантаження в процесі роботи.

Бачимо, що шляхом моделювання отримано досить якісну модель перехідного процесу в електроприводі головного руху, що забезпечує достатню швидкодю і стійкість системи керування електроприводом головного руху верстата.

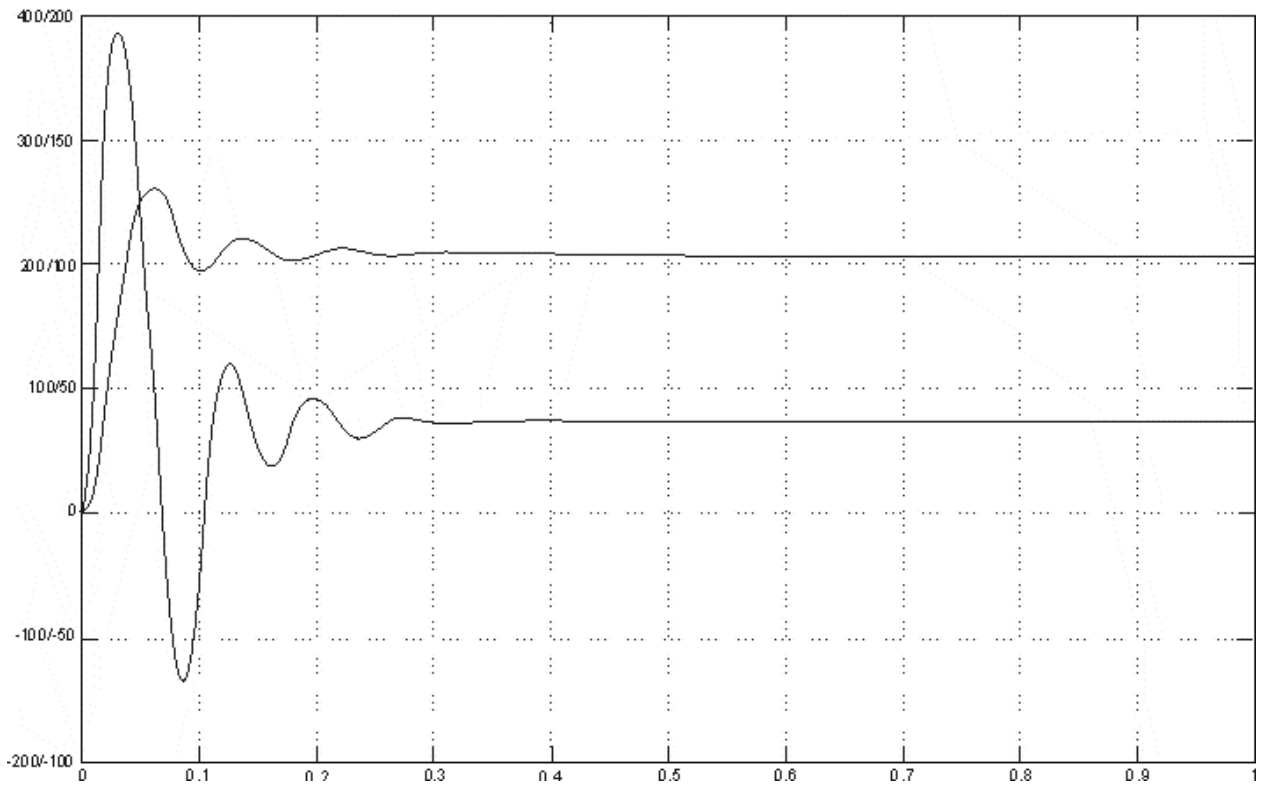


Рисунок 3.4 - Графіки перехідних процесів струму якоря та швидкості двигуна при пуску на номінальну швидкість з $M_{ном}$

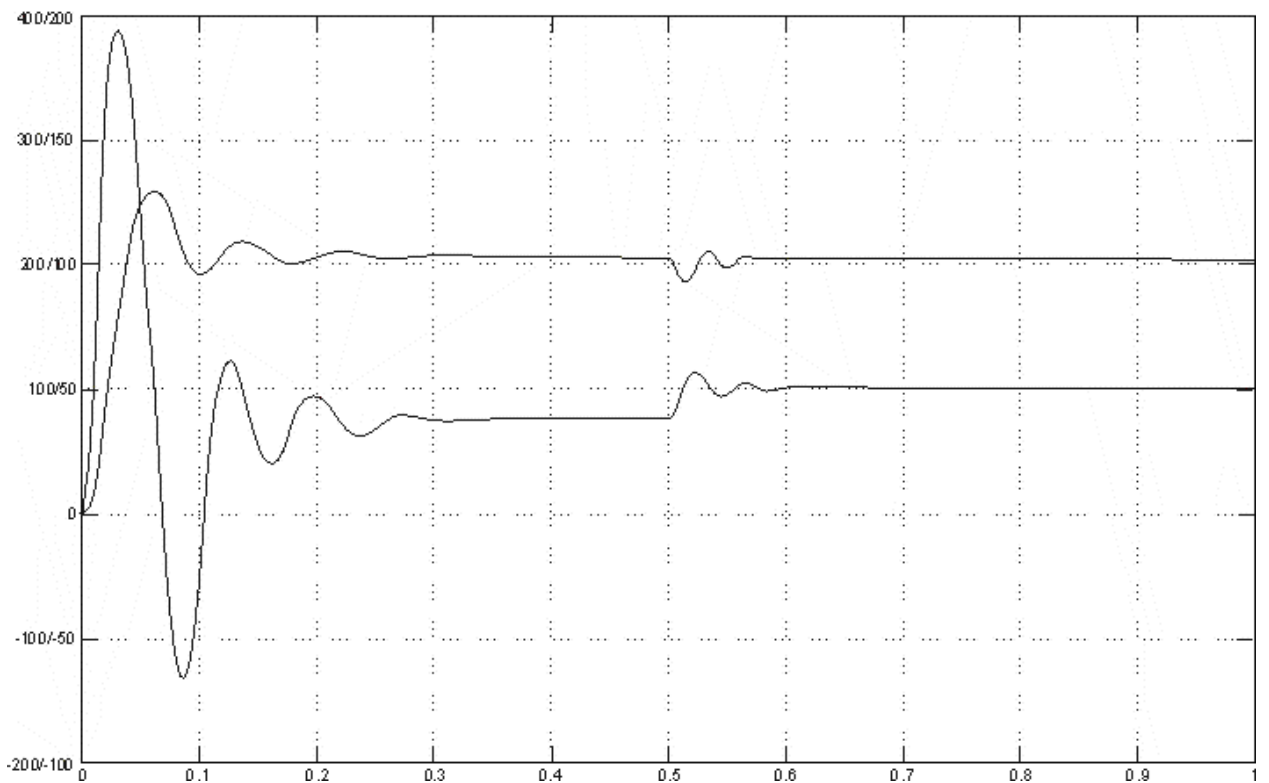


Рисунок 3.5 - Графіки перехідних процесів струму якоря та швидкості двигуна при пуску на номінальну швидкість з накиданням $M_{ном}$

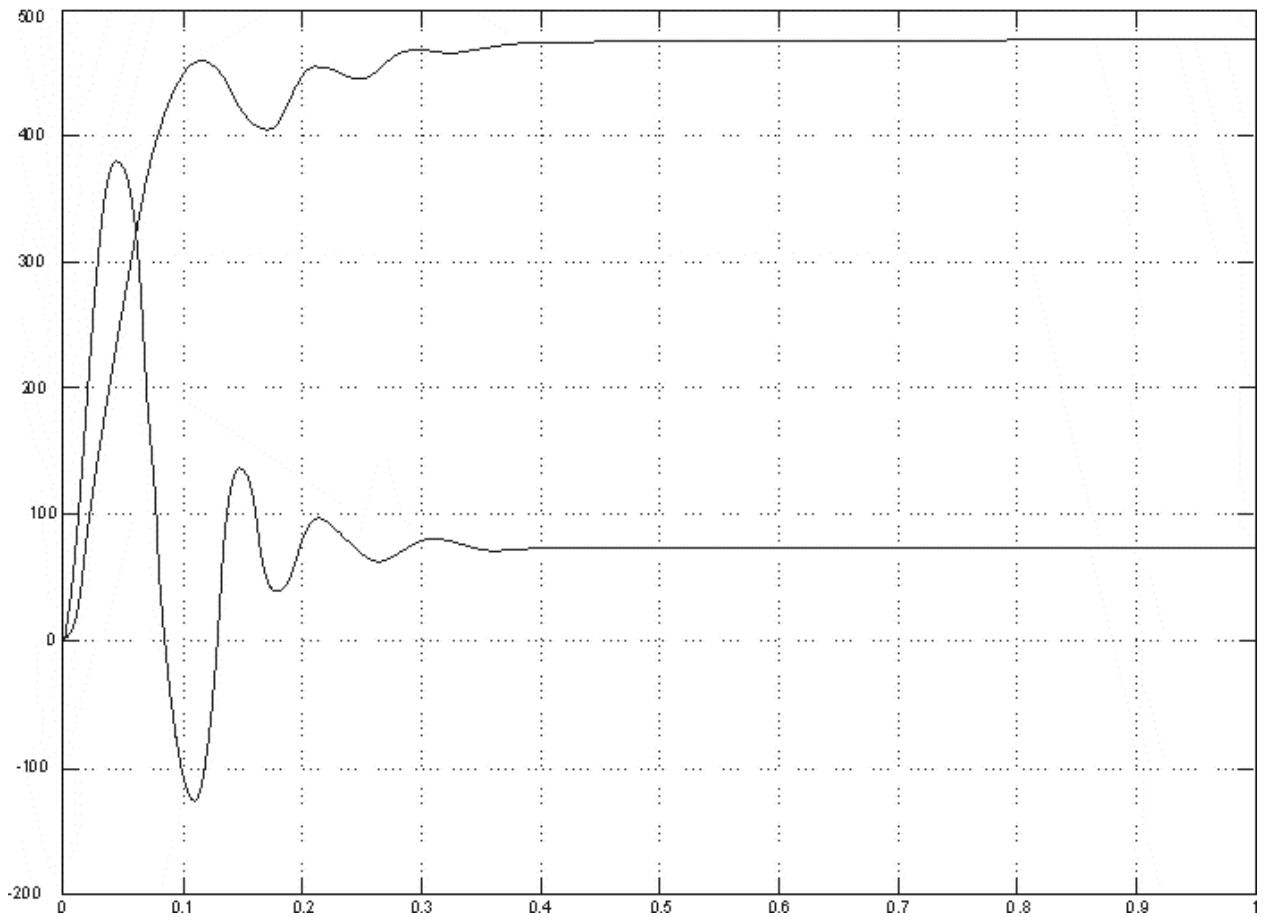


Рисунок 3.6 - Графіки перехідних процесів струму якоря та швидкості двигуна при пуску на максимальну швидкість

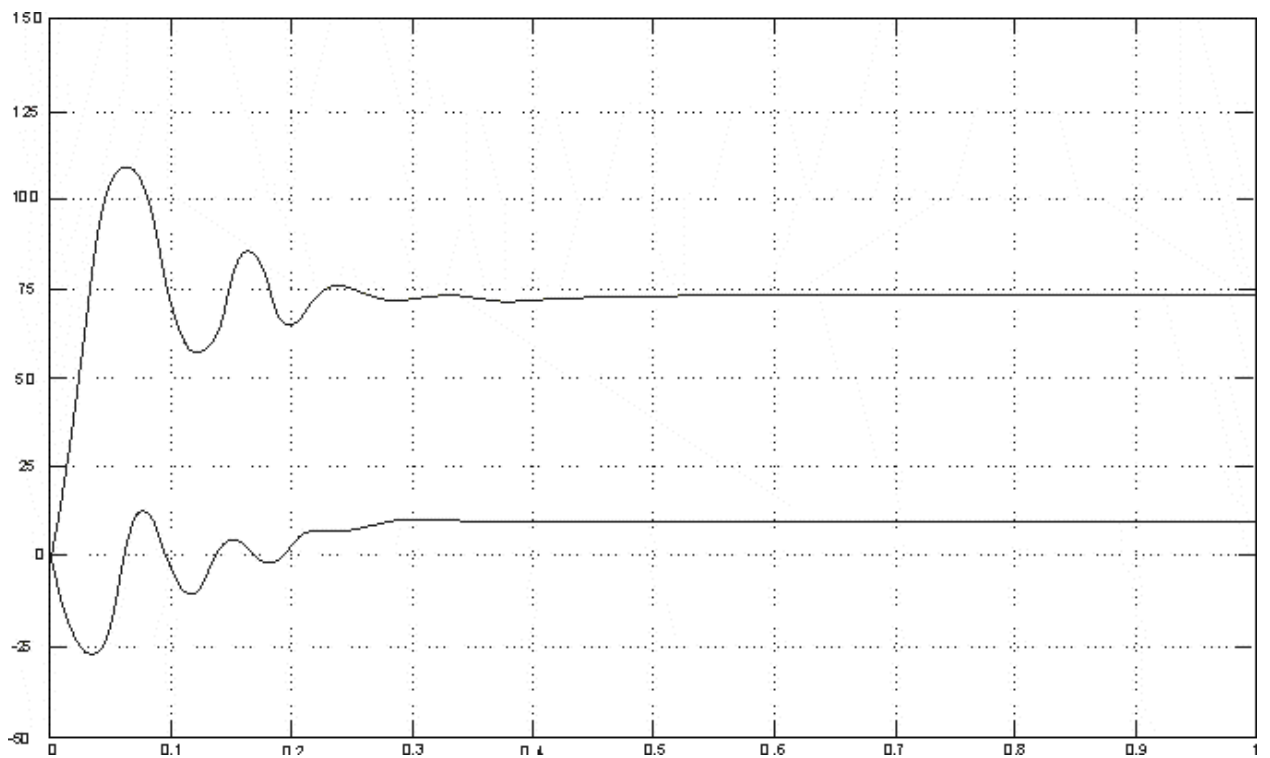


Рисунок 3.7 - Графіки перехідних процесів струму якоря та швидкості двигуна при пуску на мінімальну швидкість з Мном

3.2.2 Оцінка стійкості розробленої системи електропривода

Під стійкістю системи розуміють її властивість повертатися в початкове положення після зняття дії збурень, які вивели систему із стану початкової рівноваги. Стійкість системи є необхідною умовою можливості САК вирішувати поставлені перед нею завдання.

Стійкість системи керування електроприводом верстата 16A20Ф3 проведемо за логарифмічно амплітудними та логарифмічно фазовими частотними характеристиками розімкненої системи та частотним критерієм стійкості Михайлова. Частотні критерії стійкості дозволяють судити про стійкість замкнутих систем за частотними характеристиками умовно розімкнутих систем без визначення коренів характеристичного рівняння.

Для побудови АФХ необхідно перейти у частотну площину, для цього у вираз передавальної функції робимо підстановку $p = j \cdot \omega$, $j = \sqrt{-1}$, ω – частота, що може змінюватись від 0 до нескінченності. Логарифмічна амплітудна частотна характеристика (ЛАЧХ) матиме наступний вид:

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) \quad (3.7)$$

По вертикальній вісі відкладаємо логарифм відповідної величини в децибелах, а по горизонтальній осі частоти відкладаються також у логарифмічному масштабі – в октавах або декадах.

Фазочастотна логарифмічна характеристика (ЛФЧХ) будується як залежність:

$$\phi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)} \quad (3.8)$$

При цьому по вертикальній вісі відкладається фаза в радіанах, а по горизонтальній – ω в логарифмічному масштабі.

Розглянемо окремо обидві системи регулювання: систему регулювання швидкістю електродвигуна, а також систему регулювання ЕРС двигуна. Також будемо ЛАЧХ та ЛФЧХ для внутрішніх контурів регулювання: для контуру швидкості це контур регулювання струму двигуна, а для контуру ЕРС це контур регулювання струму обмотки збудження.

Для аналізу стійкості замкненої системи розрахунок і побудова логарифмічних амплітудної та фазової частотних характеристик розімкненої системи виконаний у середовищі MathSoft MathCAD Professional. Вони наводяться на рис. 3.8 та 3.9.

Аналізуючи отримані характеристики, згідно з критерієм Михайлова–Найквіста, можна стверджувати, що система стійка і має достатній запас стійкості.

Визначимо запас стійкості по фазі як різницю між 1800 та абсолютним значенням аргументу комплексної передавальної функції при частоті зрізу,

$$\gamma = 180^\circ - |\phi(\omega)| \quad (3.9)$$

Запас стійкості по амплітуді ΔL визначається як число децибел, на яке потрібно збільшити підсилення системи, щоб система досягла межі стійкості.

Розглянемо отримані в результаті моделювання графіки

Запас по амплітуді: для контуру струму якоря - 180 Дб;

для контуру швидкості двигуна - 130 Дб;

для контуру струму збудження - 75 Дб;

для контуру ЕРС двигуна - 125 Дб.

Запас по фазі: для контуру струму якоря - 87 ;

для контуру швидкості двигуна - 32 ;

для контуру струму збудження - 12 ;

для контуру ЕРС двигуна - 36 .

Бачимо що отримано доволі стійкі системи з достатнім запасом по стійкості як для контуру керування швидкістю, так і для контуру керування ЕРС, а відповідно і потоком намагнічування електродвигуна.

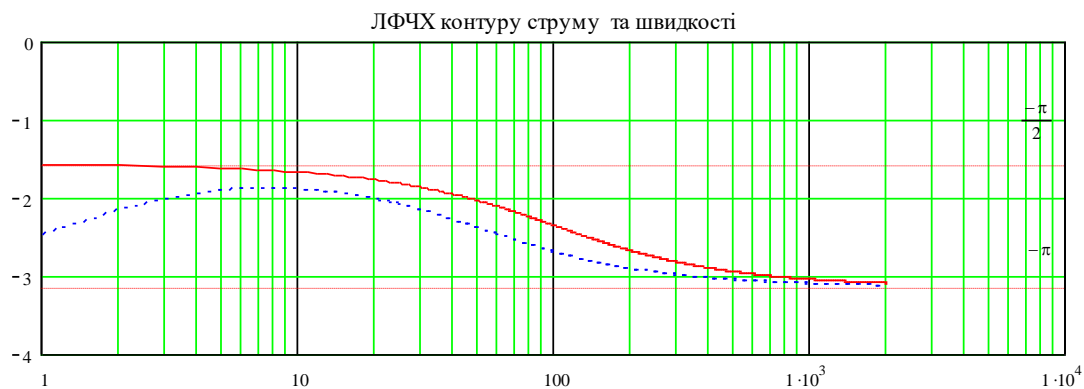
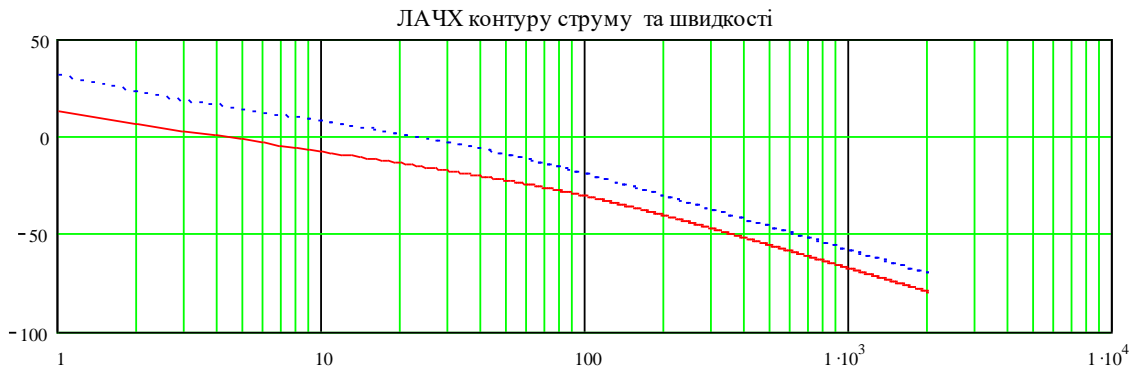


Рисунок 3.8 - ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнutoї системи для якірного кола

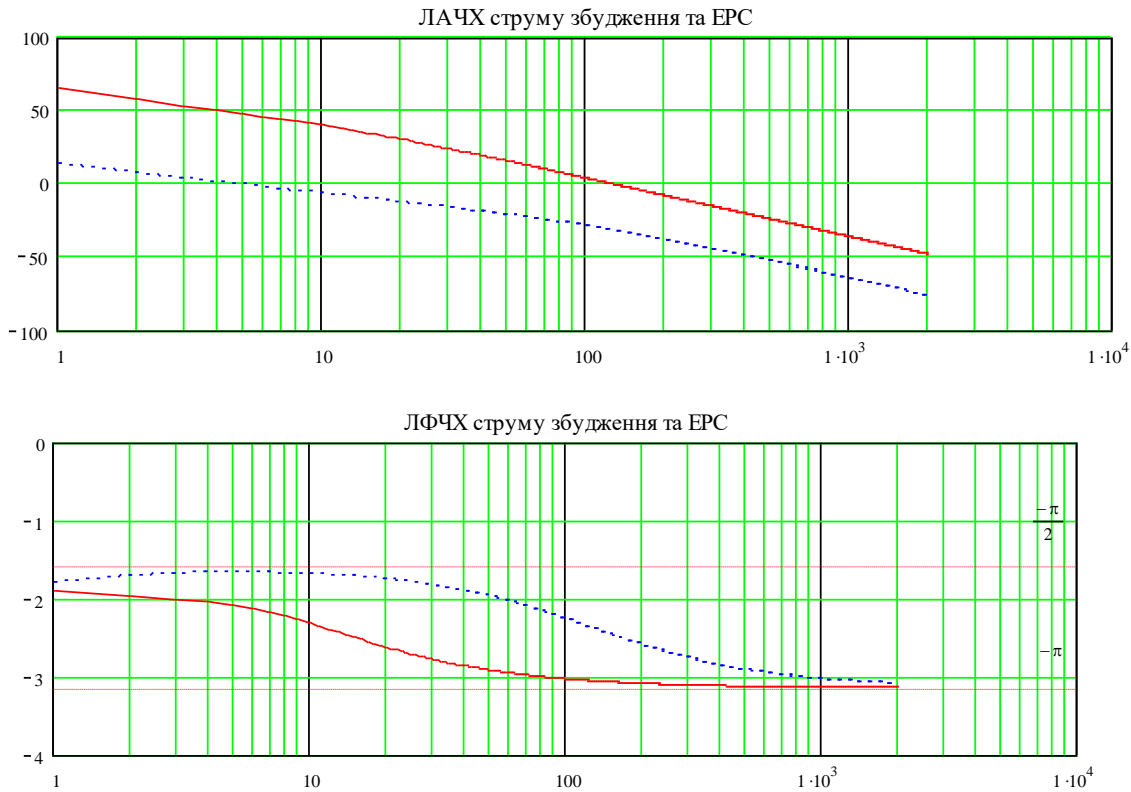


Рисунок 3.9 - Графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкненої системи для кола збудження

3.3 Розроблення принципової схеми електрообладнання верстата

Схема електрообладнання верстата складається з силової частини і схеми керування.

Було додано до типової схеми: силовий блок комплектного тиристорного електропривода $U1$ для привода головного руху, блок комутаційних реакторів $L1 - L3$, двигун привода головного руху, трансформатор перетворювача обмотки збудження.

Шляхом детального вивчення роботи схеми і, зважаючи на надто велику кількість контактно-релейної апаратури верстата, було вирішено прибрати якомога більшу кількість проміжних реле, замість яких встановити схему керування, в основі якої використано мікропроцесор, який виконуватиме функції електронного комутатора сигналів, що надходять від кінцевих вимикачів та датчиків.

Система керування верстатом повністю оновлена та побудована на сучасній елементній базі, що призводить до більшої компактності, економічності в реалізації системи та більшої надійності, малої споживаної потужності та гнучкості керування при роботі.

Майже вся логічна частина системи керування виконується за допомогою однокристальної ЕОМ, в якості якої використано 8-бітний мікроконтролер AVR фірми Atmel типу ATmega128, що має такі технічні характеристики:

- до 16 MIPS при тактовій частоті 16MHz;*
- 128 кб внутрішньої перепрограмуємої Flash-пам'яті (до 10000 циклів);*
- 4 кб внутрішньої статичної оперативної пам'яті;*
- 4 кб внутрішнього перепрограмуємого ПЗП (EEPROM) – до 100 тис. циклів перезапису;*
- вбудований аналоговий компаратор, таймери, 8-канальний 10-бітний АЦП, програмований послідовний інтерфейс (UART);*
- 32 програмованих виводи вводу/виходу, 8 вихідних, 8 вхідних виводів;*
- низька споживана потужність: 5.5 мА в активному режимі.*

Система керування може бути під'єднана до сучасного пристрою ЧПК або ЕОМ за допомогою інтерфейсу RS-232. Він реалізований на вбудованому в мікроконтролер програмованому послідовному інтерфейсу та перетворювачах рівня на елементах DD29.1, DD29.2 і транзисторах VT1 – VT3. Система керування може бути під'єднана до ПЕОМ. Це дасть можливість, використовуючи інтуїтивно сприйнятний GUI інтерфейс керуючої програми на ЕОМ, більш гнучко керувати режимами

роботи системи, проводити моделювання роботи верстата, проводити якісну діагностику, легко виявляти несправності в роботі системи та швидко їх ліквідувати.

Система під'єднується до послідовного порту EOM через інтерфейс RS-232. Зі входу RXD сигнал потрапляє на перетворювач рівнів +/-12 В до рівнів TTL, після чого подається на вхід вбудованого в мікроконтролер програмованого послідовного інтерфейсу PE0/RXD. Сигнал TTL-рівня, що видається мікроконтролером на вихід PE1/TXD, потрапляє на перетворювач рівнів з TTL до +/-12 В, побудований на транзисторах VT1 – VT3, після якого надходить до зовнішнього виходу TXD системи.

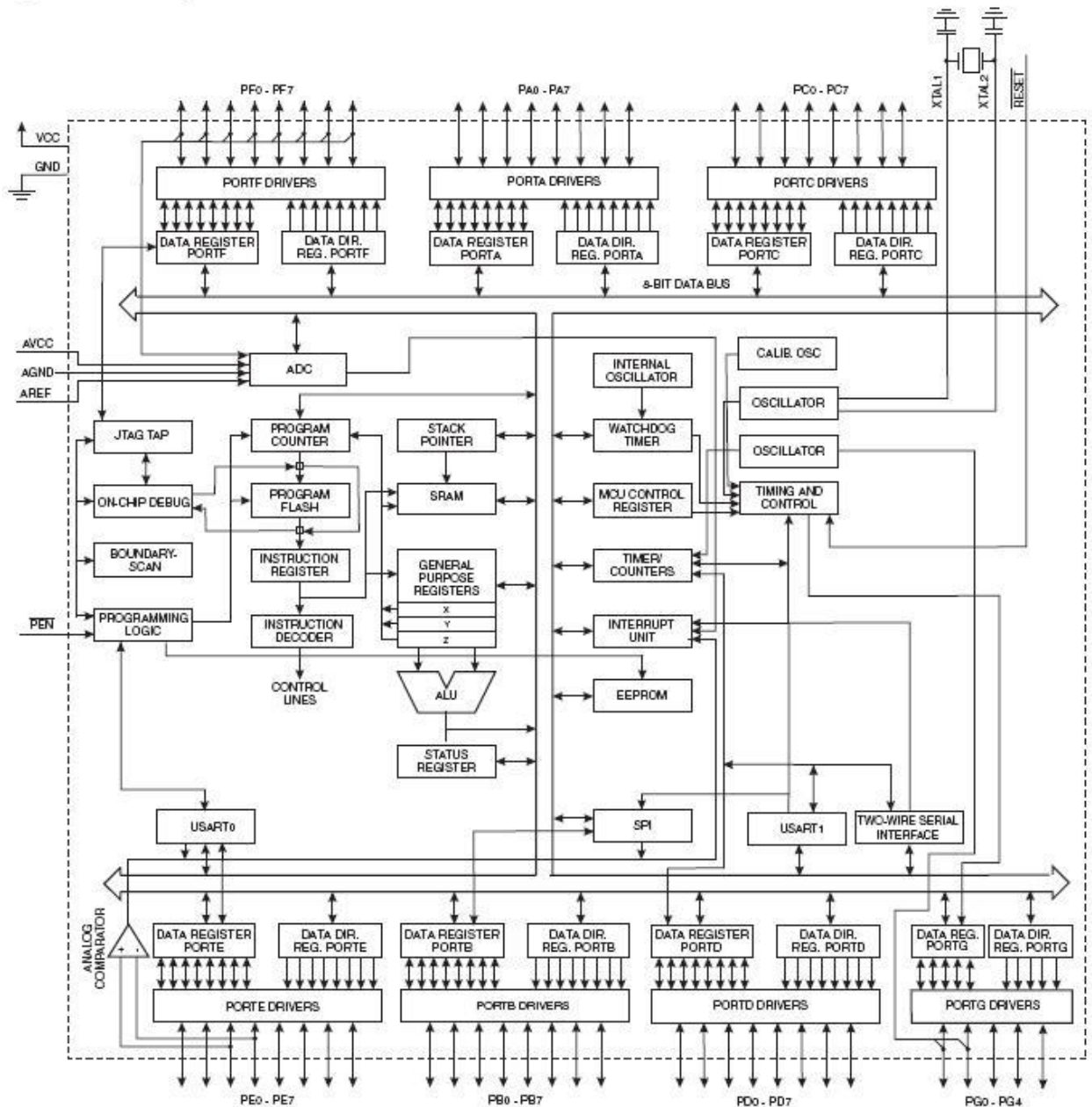


Рисунок 3.10 - Функціональна схема мікроконтролера ATmega 128

Вихід RS-232 може використовуватися також для передачі діагностичної інформації з верстату до ЕОМ та подачі мікроконтролеру спеціальних технологічних команд для низькорівневим керування його роботи, а також для забезпечення адекватної реакції системи на непередбачені в програмі мікроконтролера ситуації. Крім того, це дозволяє

непрямим чином змінювати та поновлювати системну інформацію у EEPROM мікроконтролера.

Робота системи керування верстатом починається після подачі живлення. При цьому в мікроконтролері автоматично формується сигнал скидання, що приводить його до початкового стану. Повторну ініціалізацію також можна виконати, натиснувши на кнопку SB1 "Reset". Після цього мікроконтролер встановлює системним змінним в потрібні значення, проводить самотестування та тестування системи і переходить до стану очікування. В цьому стані виконується цикл, в якому швидко послідовно опитуються всі інформаційні входи мікроконтролера: входи керуючих команд з ЧПК, інтерфейсу RS-232, датчиків положення різцеутримуючих головок I та II, кінцевих вимикачів, кнопок керування. Зміна стану на інформаційних входах викликає відповідну реакцію системи, що задається програмою мікроконтролера.

При відсутності зовнішньої ЕОМ та для збереження сумісництва зі старою схемою системи керування, передбачено роботу розробленої системи керування з ЧПК „Електроніка” NC31, для чого введено схему введення технологічних команд. Вона побудована на інтегральних мікросхемах DD1 – DD7. Інтегральні мікросхеми DD1 – DD6 являють собою керовані інвертуючі буферні формувачі з трьома станами на виході, а DD7 – інвертуючий двійково-десятичний дешифратор. Інверсні керуючі команди з ЧПК подаються на входи мікросхем DD1 – DD6. Вони інвертуються і при наявності сигналу низького рівня на вході потрапляють на виходи інверторів. При наявності на вході сигналу високого рівня „1”, виходи інверторів переходять у високоімпедансний стан, з високим вихідним опором. На виході інвертуючого дешифратора тільки один з виводів може бути в

стані „0”, всі інші виводи будуть мати логічний стан „1”. Таким чином одночасно тільки один з інверторів може знаходитися в активному стані, всі інші будуть у високоімпедансному стані, виходи інверторів з'єднані паралельно між собою, завдяки чому з'являється можливість координатного опиту сигналів, що надходять з ЧПК та значно скоротити кількість задіяних входів мікроконтролера для цієї задачі. На виходи PE2, PE3 мікроконтролер видає двійковий код, що відповідає номеру опитуваного інвертуючого формувача, а дешифратор переводить його в активний стан, від'єднуючі інші інвертори. В цей час на входах мікроконтролера з'являються сигнали з виходу формувача, тобто технологічні команди з ЧПК, які мікроконтролер відпрацьовує згідно заданої програми.

Датчиками положення револьверних головок служить два блоки з 8 та 2 герконів. Мікроконтролер послідовно видає двійковий код від 0000 до 1111, рівний номеру опитуваного геркону. Цей код подається на дешифратор, виконаний на інтегральній мікросхемі DD27 та DD28, який в свою чергу видає сигнал логічної одиниці на одному зі своїх виходів, до яких під'єднані геркони. Дешифратор, крім своїх прямих функцій, виконує також функції захисту мікроконтролера та підсилення струму. При замиканні контактів одного з герконів, сигнал подається через елементи DD29.3, DD29.4, що виконують роль захисного елемента та буферного підсилувача, до входу мікроконтролера. Мікроконтролер фіксує, контакти якого з герконів знаходяться в замкненому стані, в своїх внутрішніх змінних, використовуючи ці дані потім у своїй програмі.

Аналогічним чином виконується опит кінцевих вимикачів через мікросхеми гальванічної розв'язки і автоматична динамічна індикація сигналу, що проходить в даний час.

Для отримання високого ступені перешкодозахищеності САК, передбачається гальванічна розв'язка вхідної напруги постійного струму, що надходять від верстата до контролера.

Гальванічна розв'язка вхідних сигналів виконана за наступною схемою.

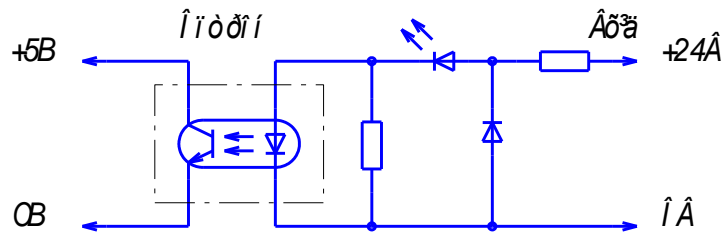


Рисунок 3.11 - Вхідний ланцюг постійної напруги

Кожний вхід захищений від помилкового вмикання полюсів. Стан входу відображається світло діодом. Індикація стану вмикається лише при підключенні до зовнішньої напруги. Реалізація гальванічної розв'язки виконується на мікросхемах серії, ILQ74, що містить 4 оптронних модуля в одному корпусі.

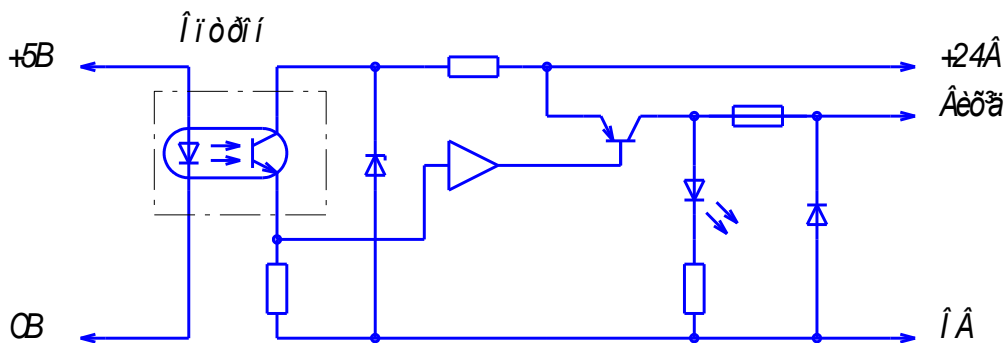


Рисунок 3.12 - Вихідний ланцюг постійної напруги

Аналогічно вихідні ланцюги теж мають гальванічну розв'язку від внутрішніх схем. Від перевантаження вихідні ланцюги мають захист плавкими запобіжниками.

Керування виконавчими механізмами відбувається шляхом подачі управляючих сигналів мікроконтролера через підсилювачі

на інтегральних мікросхемах на реле KV1 – KV16, що в свою чергу вмикають контактори KM1 – KM16, що в свою чергу подають живлення на елементи сильнотрумової частини верстата.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра розроблено багатоконтурну САК патронно-центрального верстата моделі 16А20Ф3 із двохзонним електроприводом головного руху.

Основні теоретичні і практичні результати роботи полягають у наступному:

- розраховано потужність різання та вибраний двигуни для привода головного руху;*
- проведено аналіз сучасних систем електропривода і доведена доцільність використання комплектного електропривода постійного струму серії електропривода ЕПУ-1-М вітчизняного виробництва;*
- розраховані елементи принципової схеми тиристорного перетворювача напруги якоря та обмотки збудження і вибрані силові вентиля для обох структур;*
- розроблена структурна схема електропривода подач, як системи двохзонного автоматичного керування, побудовані графіки перехідних процесів, які свідчать про якість розробленої системи;*
- спроектовано і синтезовано нову електричну принципову схему електрообладнання верстата з мінімальним числом релейно-контакторної апаратури та використанням сучасної мікропроцесорної елементної бази.*

Отримані результати мають практичну цінність і після більш детальної доробки можуть бути використанні у виробництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Видмиш А. А., Ярошенко Л. В. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
2. Автоматизований електропривод ч. 2 [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів освітньої програми «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.І. Теряєв. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 204 с.
3. Павленко Т. П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т. П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.
4. Леві Л.І. Навчальний посібник до проведення практичних занять з дисципліни «Електропривод та автоматизація верстатів-автоматів» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Л.І. Леві; за заг. ред. д.т.н., проф. Л.І. Леві. Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023. - 106 с.
5. Лавріненко Ю. М. Електропривод : підруч. / Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, П. І. Савченко. – К. : «Ліра-К», 2009. – 504 с.
6. Електроприводи уніфіковані трифазні серії ЕПУ-1М. Технічний опис та інструкція з експлуатації. http://promstroytec.com.ua/products/frequency-converters/invertor_epu.html

7. Інтернет- крамниця «Радіодеталі». Режим доступу: <https://radiodetali.com.ua/ua>.
8. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997.
9. Галай М.В. Теорія автоматичного керування // Навчальний посібник - Полтава: вид-во "Полтава", 1998. - с. 470
10. Галай М.В. Імпульсні, цифрові та релейні системи автоматизованого керування // Навчальний посібник. - Полтава: ПДТУ, 2002. - с. 220
11. Шибітченко В.Г., Шеффер О.В., Ландар В.А. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни "Елементи автоматизованого електроприводу" - Полтава: ПНТУ, 2005. - 12 с.
12. Автоматизований електропривод металорізальних верстатів: навчальний посібник: для студентів спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» / А. А. Шульга, І. І. Полупан, А.А. Ткаченко. - Краматорськ: ДДМА 2010. - 124 с.
13. Онушко В.В. Методичні вказівки по виконанню курсової роботи з дисципліни " Монтаж, налагодження, експлуатація і ремонт електротехнічних пристроїв" на тему "Розрахунок потужності електроремонтного цеху машинобудівного підприємства". - Полтава: ПДТУ, 2000. - 31 с.
14. Єрмілова Н.В. Основи метрології та електричних вимірювань- Методичні вказівки і контрольні завдання по курсу. - Полтава: ПДТУ, 1995.
15. Казачковській, М. М. Комплектні Електроприводи: навч. посібник / М. М. Казачковській. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. - 226 с.

ДОДАТКИ

1. TECHNOLOGICAL PART

1.1. PURPOSE, APPLICATION AND CHARACTERISTICS OF THE MACHINE

The machine tool of the 16A20F3 model can be used in individual, small- and medium-series production of machine-building plants, as well as in repair and tool shops of various industries.

A certain degree of automation of the machine allows the possibility of its productive operation also in current production lines.

The main method of processing on the machine is the processing of planes with end mills. In addition, on the machine, it is possible to perform milling of planes with cylindrical cutters, processing of grooves and ledges with disc cutters, use of end, shaped and corner cutters.

The significant capacities of spindle drives, wide ranges of speeds and feeds, as well as sufficient rigidity of the machine tool allow for both normal and high-speed milling, as well as processing of high-alloy, stainless, heat-resistant steels and light alloys.

The 16A20F3 semi-automatic machine is designed for processing parts in a chuck with a stepped and curved profile in the conditions of small-scale and serial production. External turning, boring, drilling, thread cutting can be performed on the machine according to the program.

The range of adjustment of spindle rotation frequencies and feeds allows processing of products from both ordinary ferrous and non-ferrous metals and alloyed steels.

1.2. FEATURES OF THE DESIGN AND METHODS OF REGULATING THE SPEED OF THE MAIN MOVEMENT ELECTRIC DRIVE

When working on metal-cutting machines of the 16A20F3 model, the following methods are used to achieve the specified accuracy:

- *processing according to the marking or using test passes by successively approaching the given shape and dimensions; after each pass of the tool, the obtained dimensions are controlled and it is decided what allowance needs to be removed; in this case, the accuracy depends on the qualification of the worker;*

- *processing by the method of automatic obtaining of dimensions, when the tool is pre-adjusted to the required size, and then processes the workpieces in an unchanged position. In this case, the accuracy depends on the qualification of the worker adjusting the machine and the method of adjustment;*

- *automatic processing on copiers, where accuracy depends on the accuracy of the control system's actions.*

One of the main ways of processing materials by cutting on 16A20F3 model machines is milling. Flat and curved surfaces, various grooves, grooves, slots, gear teeth, threads and much more are processed with milling cutters. Any part of a modern machine goes through several milling operations.

When milling flat surfaces, it is necessary first of all to ensure the correct shape of the surface, which is indicated on the drawing in the form of permissible deviations from flatness and straightness. Another important condition when processing body parts is to ensure the exact mutual location of the processed surfaces.

1.3. GENERAL REQUIREMENTS FOR ELECTRIC DRIVES OF CARTRIDGE-CENTER MACHINE TOOLS OF INCREASED PRECISION

On cartridge-centered machines, electric drives of the main movement, feed and auxiliary ones are used.

In general, the main drive must be reversible, which is necessary for cutting right or left threads, etc.

*Spindle speed adjustment should be in the range $D(100*125)$ and above with an adjustment factor equal to 1.06 and 1.21 at approximately constant power, which is required by the technological process.*

In established modes, the electric drive must provide rigid mechanical characteristics in the entire range of speed regulation with statics of no more than 10% when the load changes from idling to maximum. In transient processes, it is desirable to increase smooth start and braking to avoid dangerous current surges, as well as to eliminate sharp shocks in the gears of the speed box. For a more intensive stop, it is necessary to have the possibility of forced braking of the main drive.

The feed drive is reversible, to ensure feed in any direction and to feed and withdraw the tool.

In the process of processing products, it is necessary to maintain the constancy of the speed of cutting and feeding. Deviation from the selected speed causes a deterioration in the quality of processing and a decrease in productivity. The reason for a possible change in speed may be a change in the network load and voltage, heating of the drive during long-term operation, etc. The electric drive must maintain the constancy of the rotation frequency of the mechanisms in the presence of the influence of these factors.

The scheme of automatic control of a chuck-centered machine tool must provide control of electric drives for the implementation of all technological modes of the machine tool. In addition to the main work, it provides adjustment modes of the main drive, feeding at low speeds. In the control scheme, it is necessary to use simple electrical protection of engines and devices, blocking, prohibiting the start of the main drive in case of insufficient circulation of grease in the lubrication system, non-fixed position of the handle of the speed box mechanism and blocking, prohibiting and limiting the movement of the caliper, etc.

The scheme should provide for a light or sound indication, for example, to monitor the state of the lubrication system. Control of the electric drives of the machine should be carried out remotely and concentrated in a place convenient for maintenance.

1.4. OVERVIEW OF EXISTING SYSTEMS OF ELECTRIC DRIVES AND JUSTIFICATION OF THE TOPIC OF THE QUALIFICATION WORK

The characteristics of the main drive of modern machine tools depend on the technological modes of processing parts, the stability of the tool, the need to expand the adjustment range, reduce the time of the transient processes of starting and braking, ensuring a monotonous, aperiodic transient process during positioning, etc.

The technical requirements for modern electric drives of the main motion show the need to significantly expand the range of rotation frequency changes with a wide change in loads with simultaneous improvement of the quality indicators of the electric drive.

The main areas of improvement of electric drives of the main movement meet the following requirements:

- increasing machine productivity by reducing the main and additional processing time;*
- increasing the degree of automation due to the flexibility of drive management;*
- simplification of mechanical units;*
- increase in reliability by reducing the number of wearing parts and improving the adjustment of the drive characteristics to the specific operating conditions of the machine;*
- wide adjustment range;*
- improvement of working conditions due to reduction of noise level.*

That is, the criterion for choosing the main drive is the processing method and the range of technological tasks performed on a specific machine.

The maximum and minimum speed of the drive is determined by technological requirements, control discreteness and sensitivity of the electric drive. Particularly high requirements are imposed on the dynamic characteristics of the drive in terms of control and disturbance action. Unsatisfactory dynamic characteristics of the adjustable electric drive,

especially when the load is disturbed, are the cause of increased surface roughness, therefore it is very important to ensure high speed of the drive when dropping and feeding the load, as well as when reversing the engine under load at the lowest speeds.

Improving machine parameters allows for more efficient operation of equipment that has been in operation for a long time. During the operation of this machine, new technological processes and new tools appear, the degree of automation of this production increases, labor productivity indicators increase. At the same time, new design solutions for individual components and mechanisms of machine tools using stronger materials are appearing. All this leads to the need to develop equipment, bringing its technical indicators closer to the level of new machines.

The main directions of modernization of machines:

- Improvement of technical characteristics of the machine. Increasing the power, rigidity, accuracy and other characteristics of the machine is achieved by changing the kinematic scheme of the machine and strengthening weak links, replacing electric motors with new and more powerful ones.

- Expanding or changing the technological capabilities of the machine.

- Further automation of equipment and reduction of idle time.

- Increasing the durability of the machine.

Considering the above, we can see that the topic of modernization of existing equipment is quite relevant at this time. Especially now, when the purchase of new modern equipment is quite problematic for many enterprises, and the requirements for the quality of manufactured products are becoming higher. By modernizing the existing equipment at the enterprise itself, it is possible to improve the productivity of the equipment, its energy efficiency and a number of other indicators without replacing the existing equipment completely.

Therefore, it was decided to develop the electrical equipment of the machine:

- to modernize the drive of the main movement of the machine;
- to develop a new scheme of electrical equipment of the machine, by replacing the relay-contactor system of controlling electrical equipment with a digital system based on a microcontroller and other logical devices;
- carry out calculations on the optimization of transient processes during start-up and loading of feed drives and main motion.

The proposed measures will help:

- reduce machine processing time by increasing the speed of quick and working movements, reducing the time of transitional processes;
- we get an opportunity to more accurately set the speed of rotation of the spindle, which can significantly improve the quality of the processed product in accordance with the technological process;
- reduction of electricity costs due to the use of a microprocessor control system;

In order to simplify the conversion of the machine and for reasons of economic feasibility of modernization, when choosing an electric drive, preference is given to complete electric drives produced by the industry of Ukraine or distributed on the territory of Ukraine, as well as to components produced on the territory of the country.

Taking into account all of the above, it can be concluded that the topic of this bachelor's qualification work is quite relevant and appropriate at the present time.

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

**РОЗРОБЛЕННЯ БАГАТОКОНТУРОЇ САК ЕЛЕКТРОПРИВОДА
ПАТРОННО-ЦЕНТРОВОГО ВЕРСТАТУ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ
МОДЕЛІ 16А20Ф3**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Виконав:

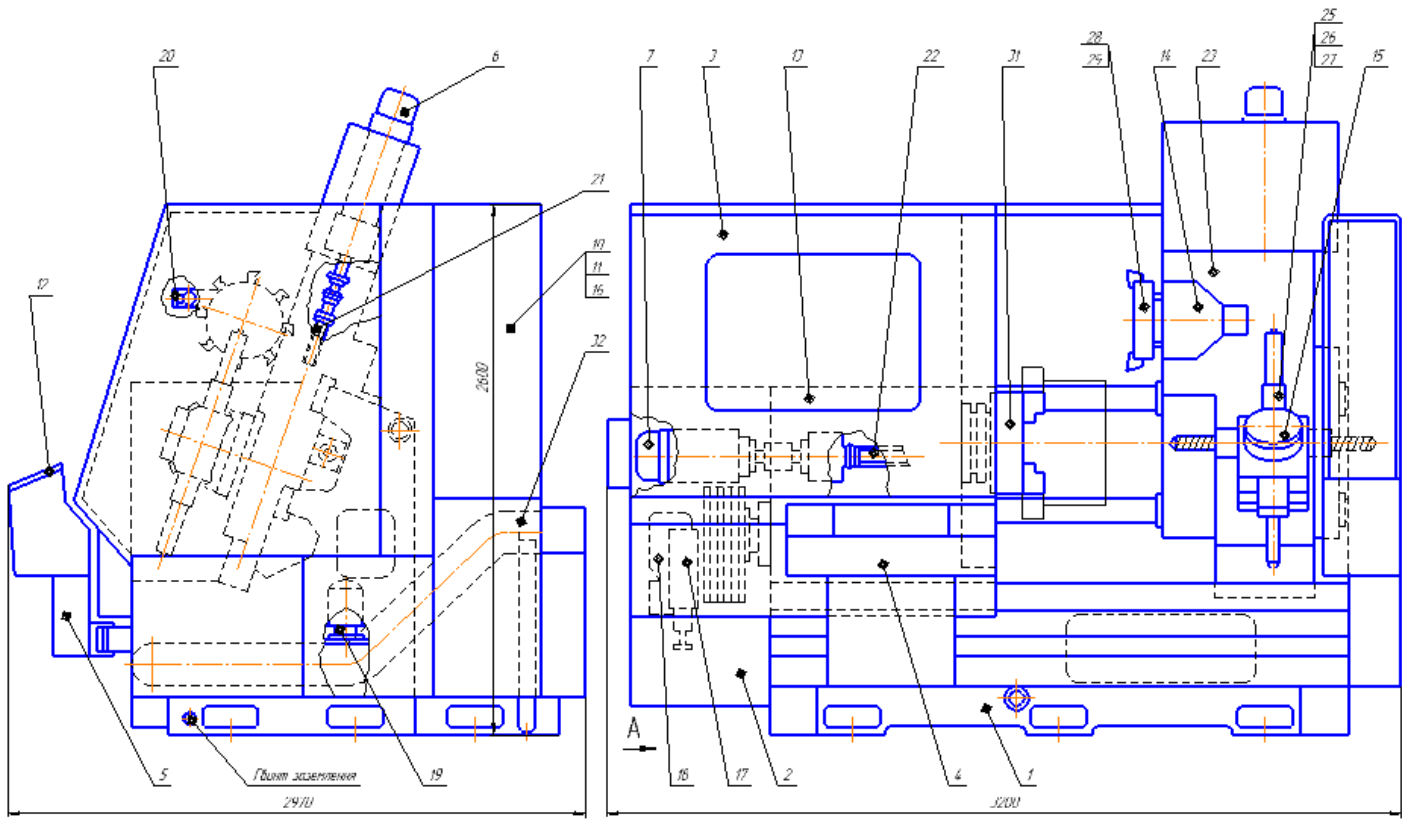
Д. А. Макаренко

Керівник:

к.т.н., доцент

М. К. Бороздін

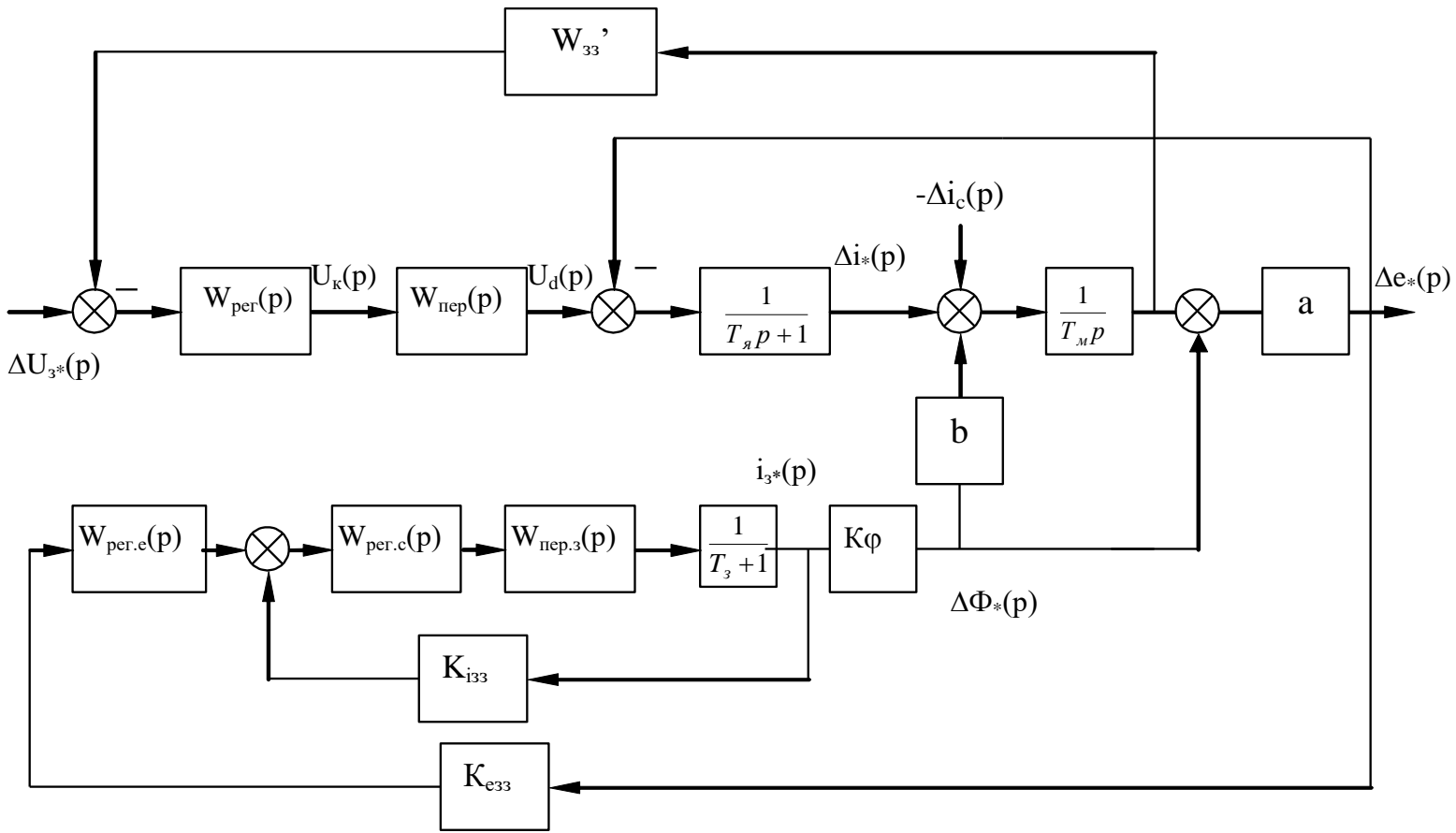
Полтава 2024



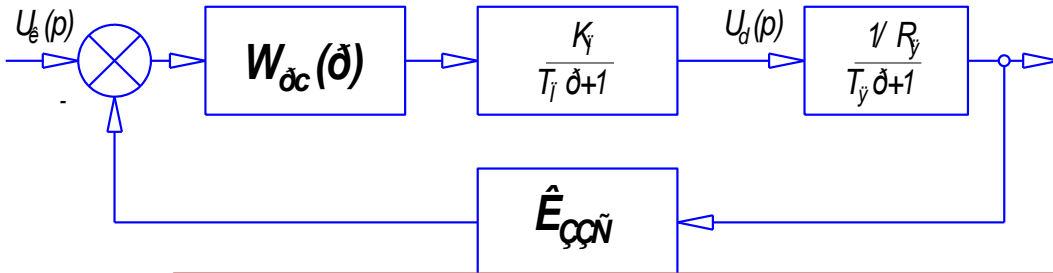
Перелік складових частин верстата

Поз. позначення	Назва частини	К-ть	Примітка
1	Станина		
2	Основа гайки головного руху		
3	Варіант лопи міксери		
4	Путь перецьний із системою '800'		
5	Пристан для керування пульту		
6	Привід поперечних подач		
7	Привід поздовжніх подач		
8	Електродвигун головного руху		
9	Шків		
10	Станин керування		
11	Електродвигунок		
12	Пульт керування		
13	Вибір швидкості		
14	Гайки швидкохідні №1		
15	Гайки швидкохідні №2		
16	Голострати керування		
17	Педаль керування		
18	Станин зчеплення		
19	Охолодження		
20	Світильник		
21	Пара швидкохідних гайок поперечних подач		
22	Пара швидкохідних гайок поздовжніх подач		
23	Корпуси		
24	Витчик швидкохідних гайок		
25	Розв'язувач прискорювачів		
26	Держак розв'язувача		
27	Варіант інструменту з вігла		
28	Держак інструменту		
29	Гайка інструментальна 8-мілліметра		
30	Розв'язувач зчеплення		
31	Підшипники		

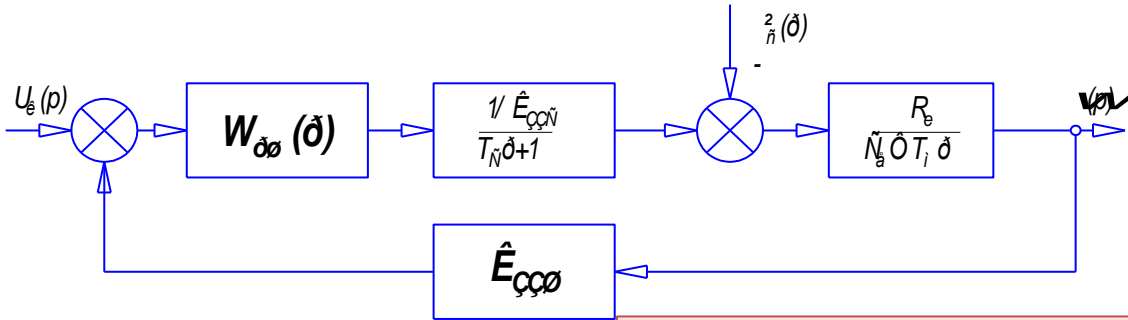
Загальний вигляд верстату моделі
16A20Ф3



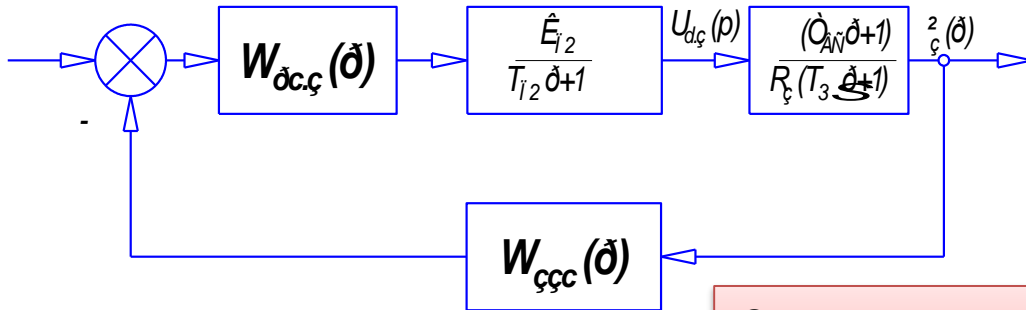
Структурна схема двухзонного электропривода верстака



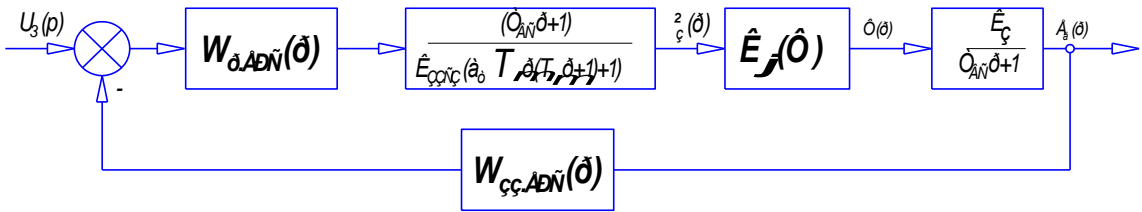
Структурна схема внутрішнього контуру регулювання струму двигуна



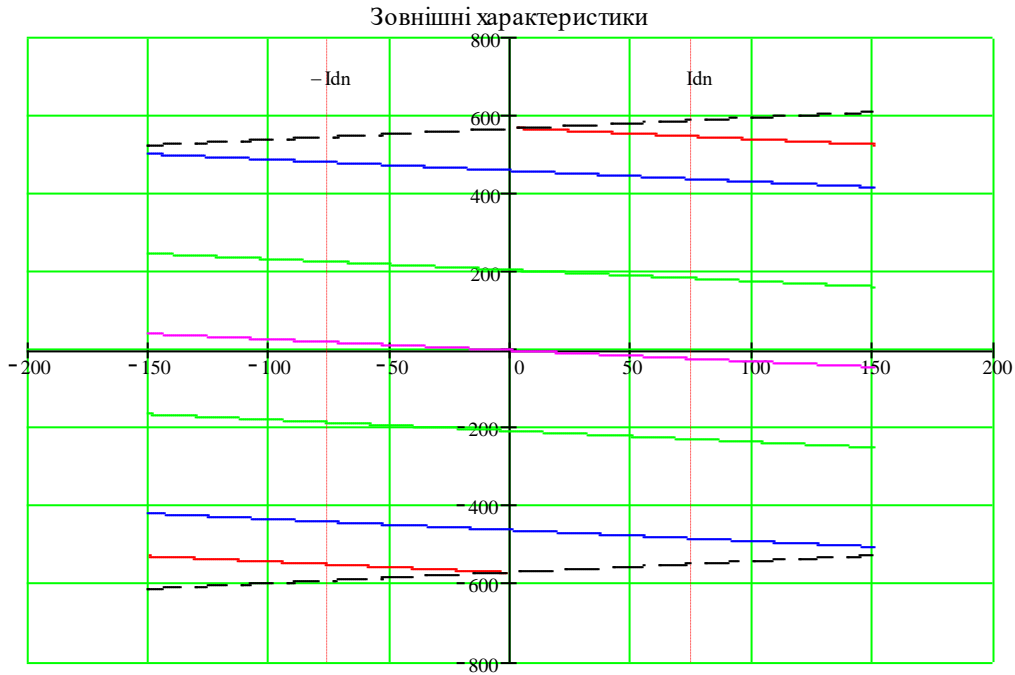
Структурна схема контуру регулювання швидкості двигуна



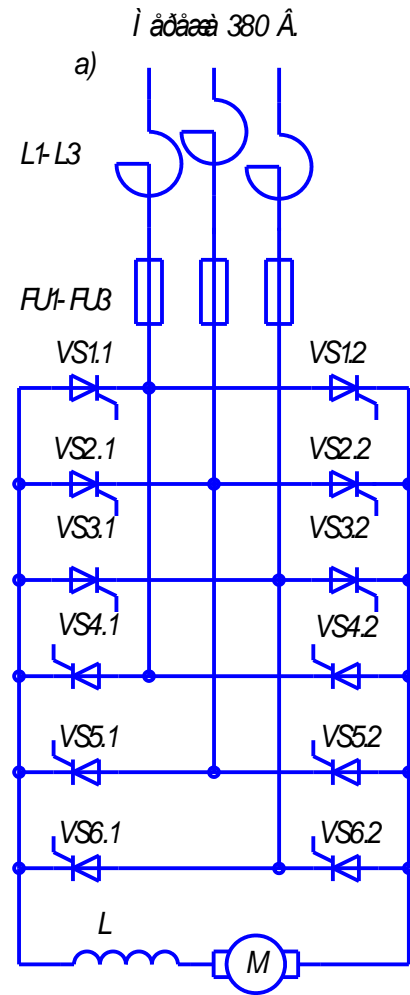
Структурна схема контуру регулювання струму збудження



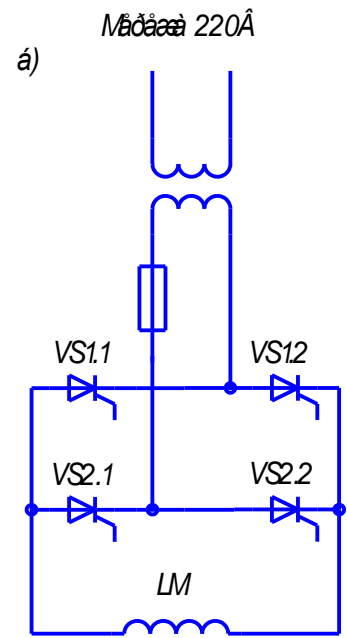
Структурна схема контуру регулювання ЕРС двигуна



Зовнішні характеристики розрахованого електропривода для першої зони керування

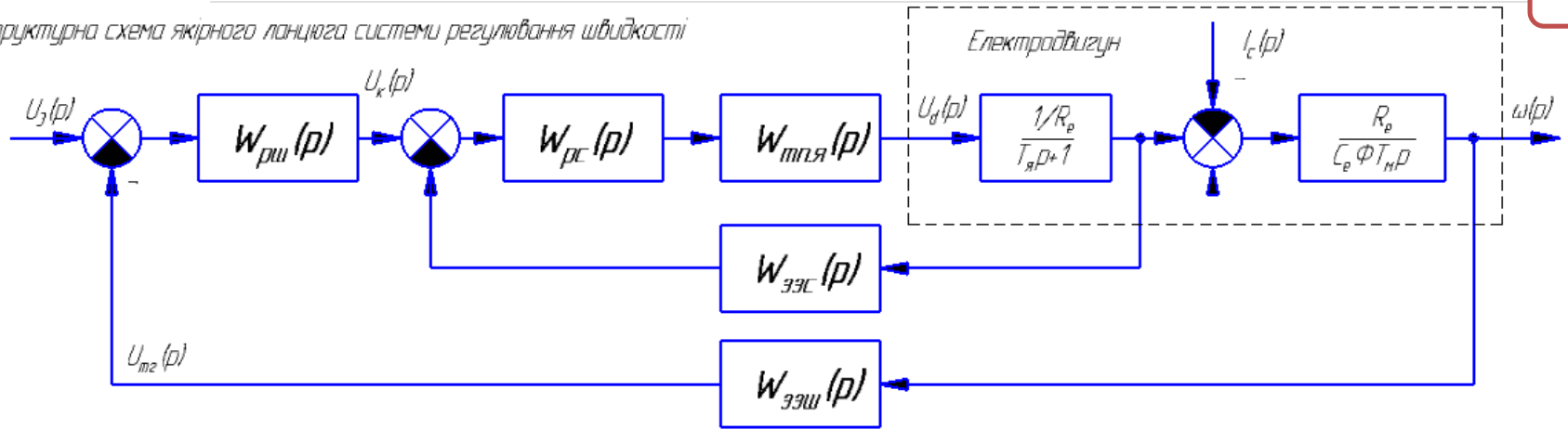


Мостові схеми випрямлячів головного руху

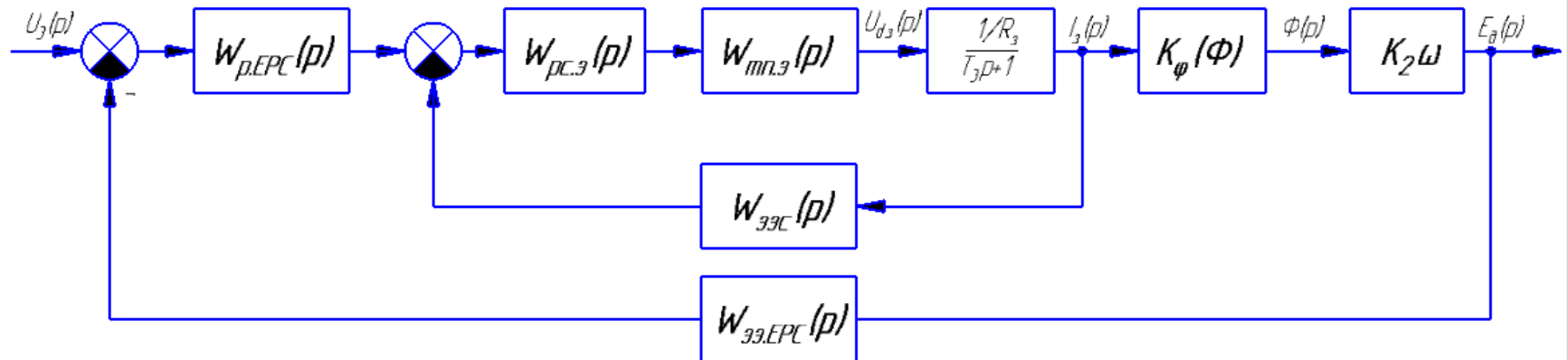


а) оâеââçî à î î ñòî ââ ñòâî à
 а) î âî î òâçî à î î ñòî ââ ñòâî à

Структурна схема якірного ланцюга системи регулювання швидкості



Структурна схема ланцюга збудження системи регулювання швидкості



Для якірного ланцюга

$$W_{рх}(p) = K_{рх} \frac{T_{рх} p + 1}{T_{рх}}$$

- передавальна функція регулятора струму.

$$W_{рш}(p) = K_{рш} \frac{T_{рш} p + 1}{T_{рш}}$$

- передавальна функція регулятора швидкості.

$$W_{тп.я}(p) = K_{тп.я}$$

- передавальна функція тиристорного перетворювача.

$$W_{33ш}(p) = K_{33ш}$$

- передавальна функція тахогенератора.

$$W_{33с}(p) = K_{33с}$$

- передавальна функція датчика струму.

$$T_{я}$$
 - електромагнітна постійна часу якірного ланцюга;

$$T_{я}$$
 - електромагнітна постійна часу якірного ланцюга;

$$C_{\phi} \Phi$$
 - номінальний магнітний потік електродвигуна.

Для ланцюга збудження

$$W_{рз}(p) = K_{рз} \frac{T_{рз} p + 1}{T_{рз}}$$

- передавальна функція регулятора струму збудження.

$$W_{р.ЕРС}(p) = K_{р.ЕРС} \frac{T_{р.ЕРС} p + 1}{T_{р.ЕРС}}$$

- передавальна функція регулятора ЕРС.

$$W_{тп.з}(p) = K_{тп.з}$$

- передавальна функція тиристорного перетворювача.

$$W_{33с.з}(p) = K_{33с.з}$$

- передавальна функція датчика ЕРС.

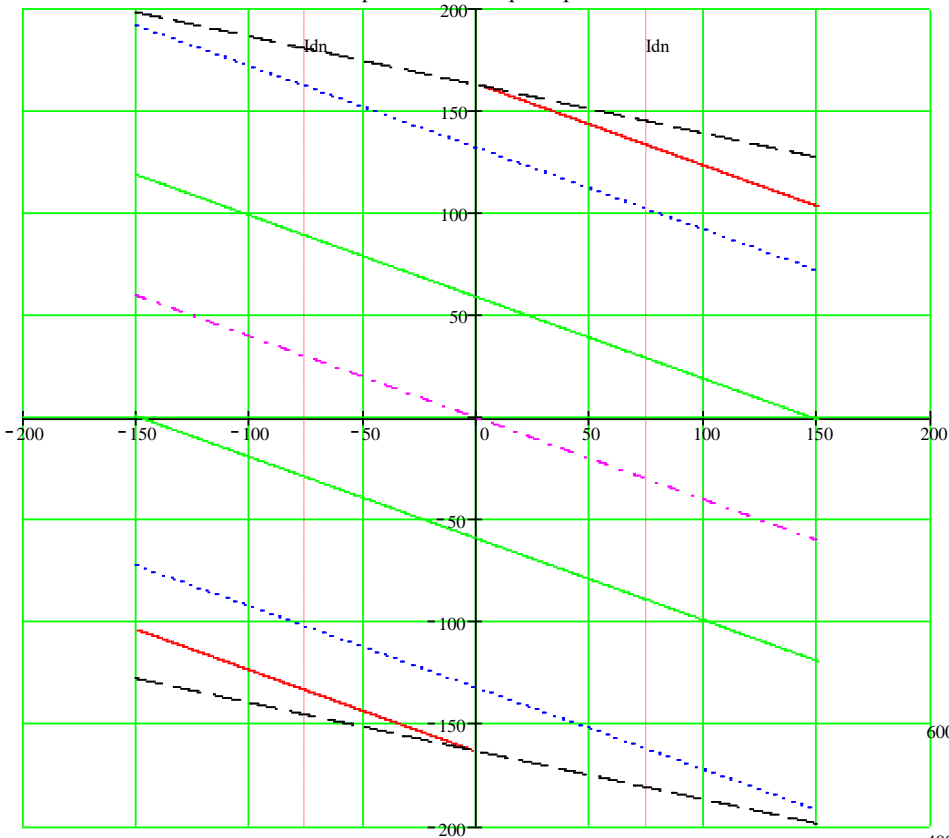
$$W_{33с.с}(p) = K_{33с.с}$$

- передавальна функція датчика струму збудження.

$$T_{з}$$
 - електромагнітна постійна часу обмотки збудження двигуна;

$$K_{\phi}(\Phi)$$
 - функція кривої намагнічування обмотки збудження.

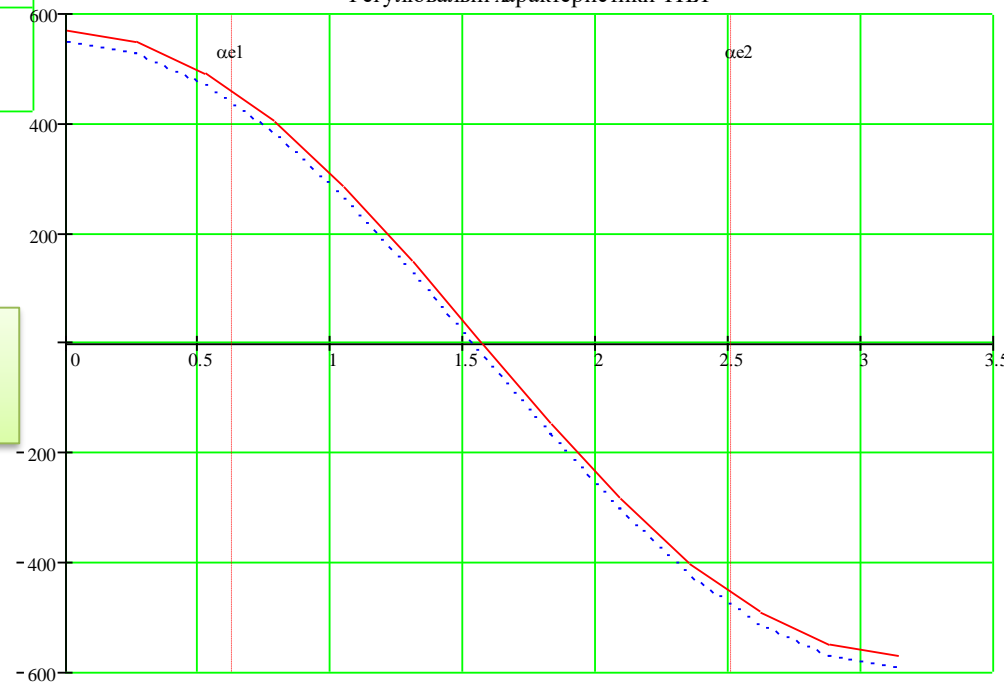
Електро механічні характеристики

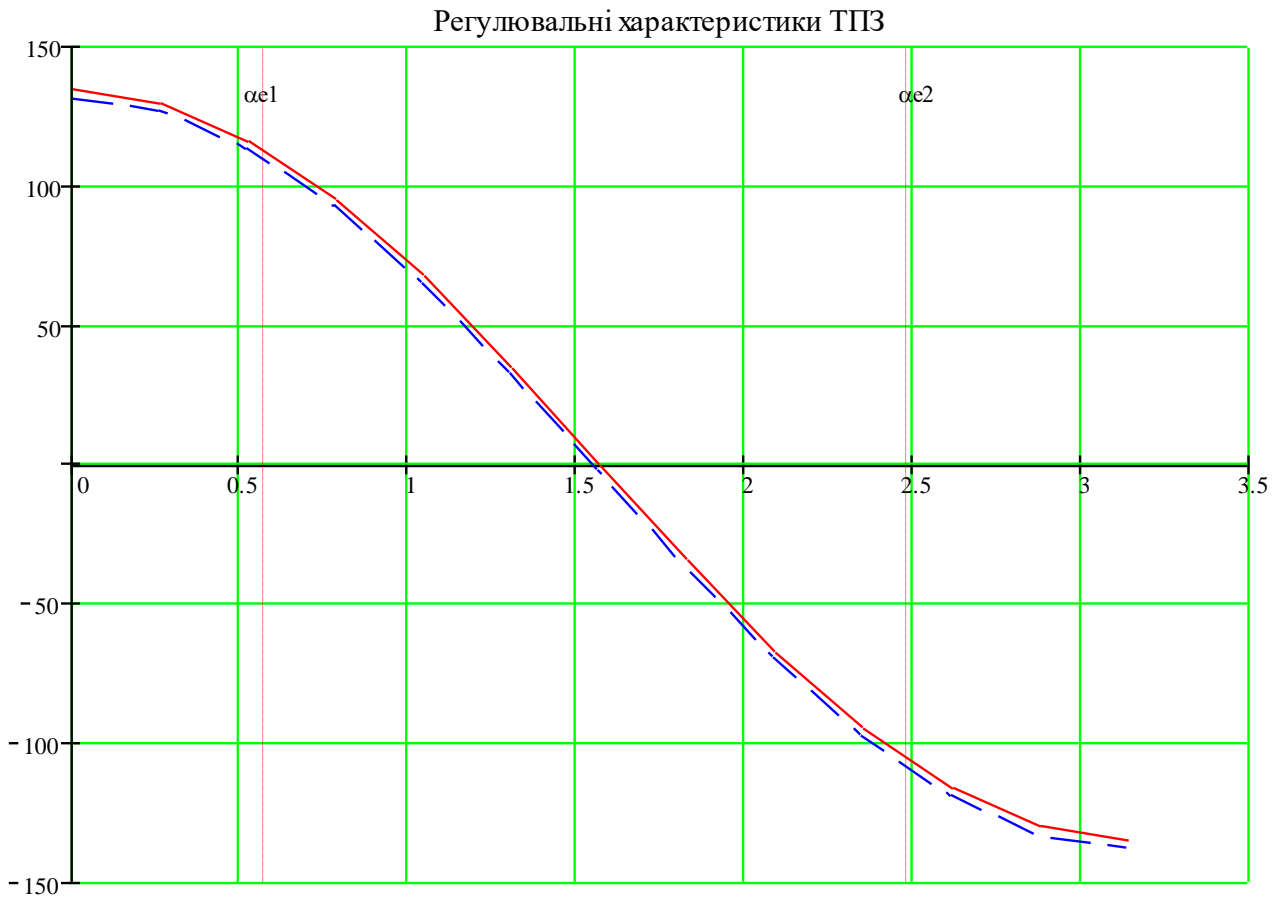


Електро механічні характеристики
електропривода в першій зоні
регулювання

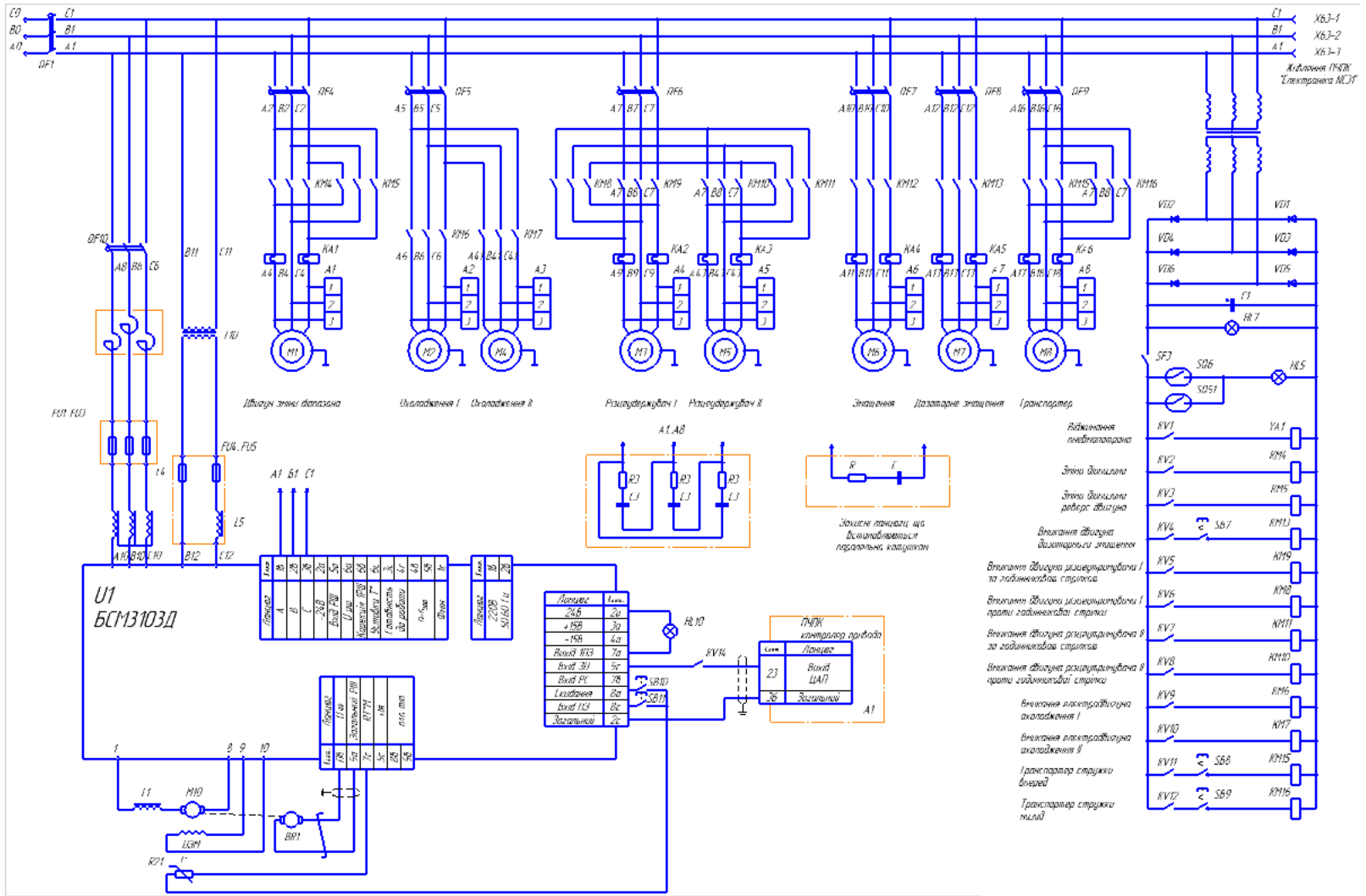
Регулювальні характеристики
перетворювача якірної напруги

Регулювальні характеристики ТПЯ





Регулювальні характеристики перетворювача напруги збудження



Силовая часть электрической принципиальной схемы

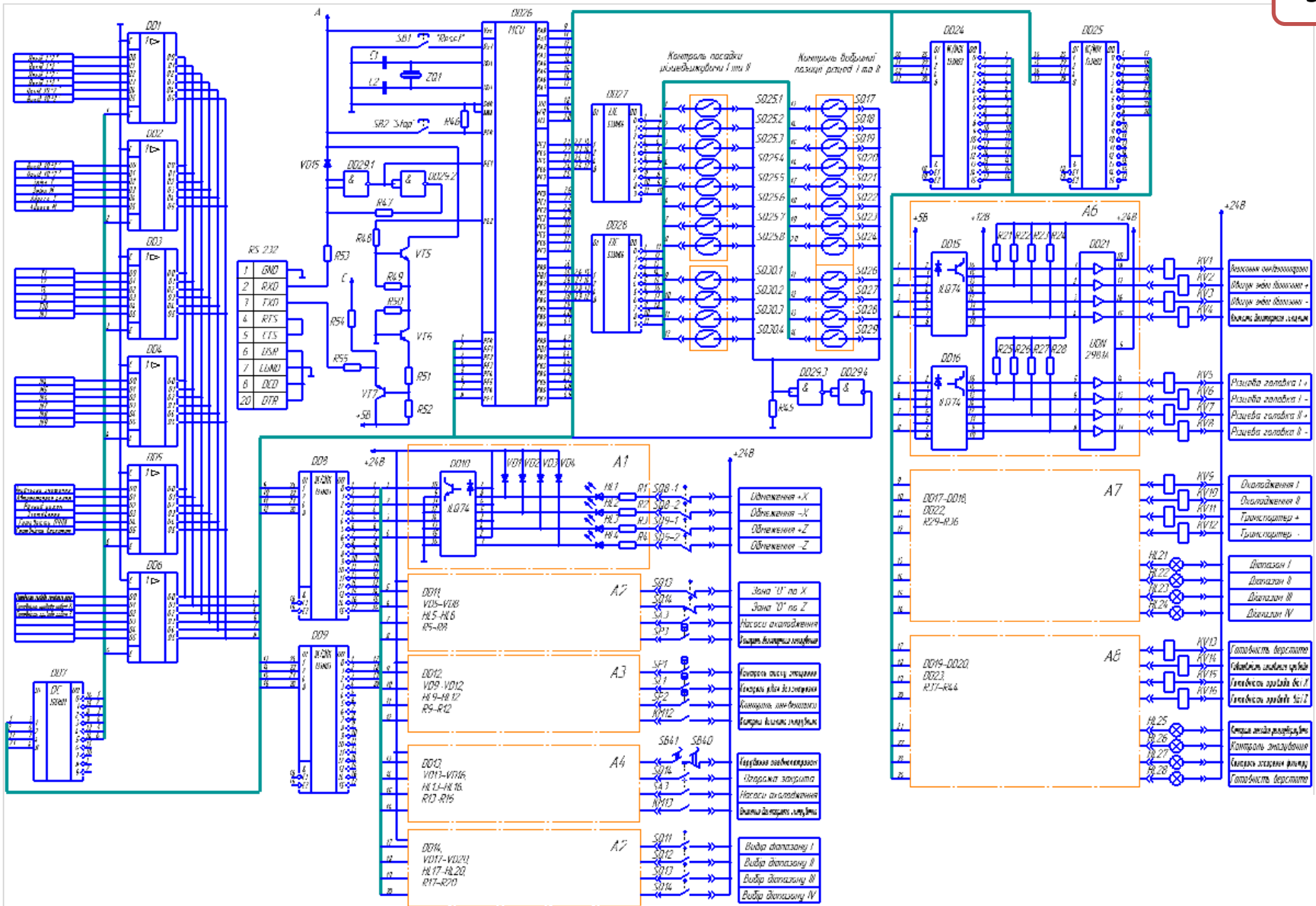
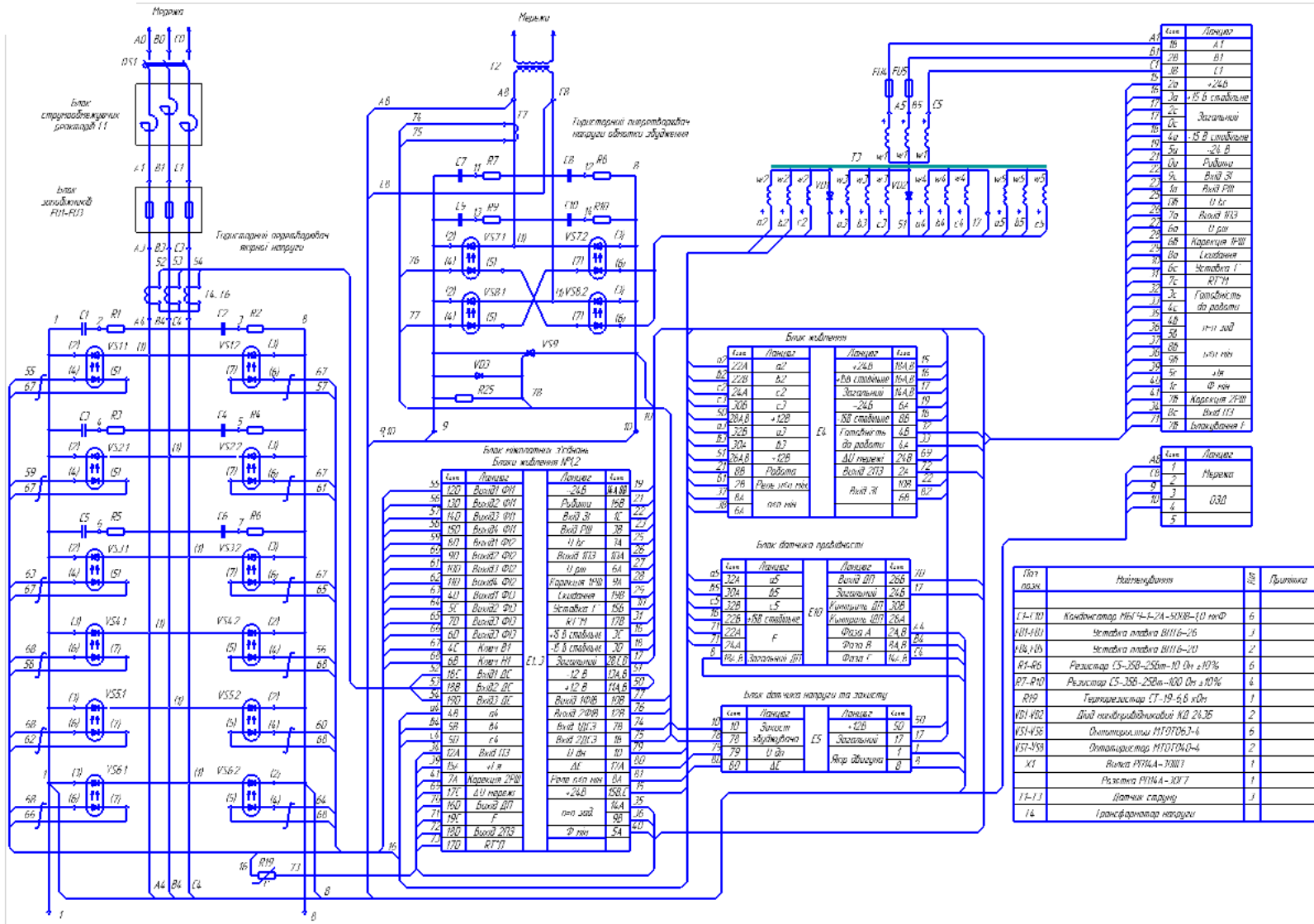
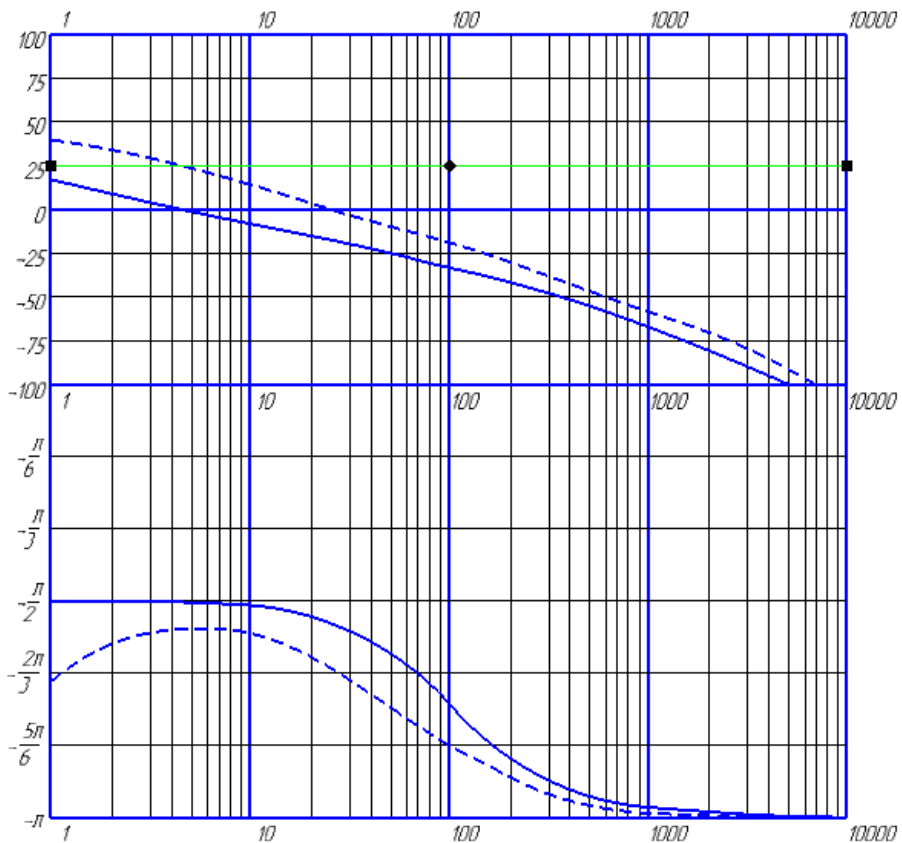


Схема з'єнань елементів автоматизованого електропривода

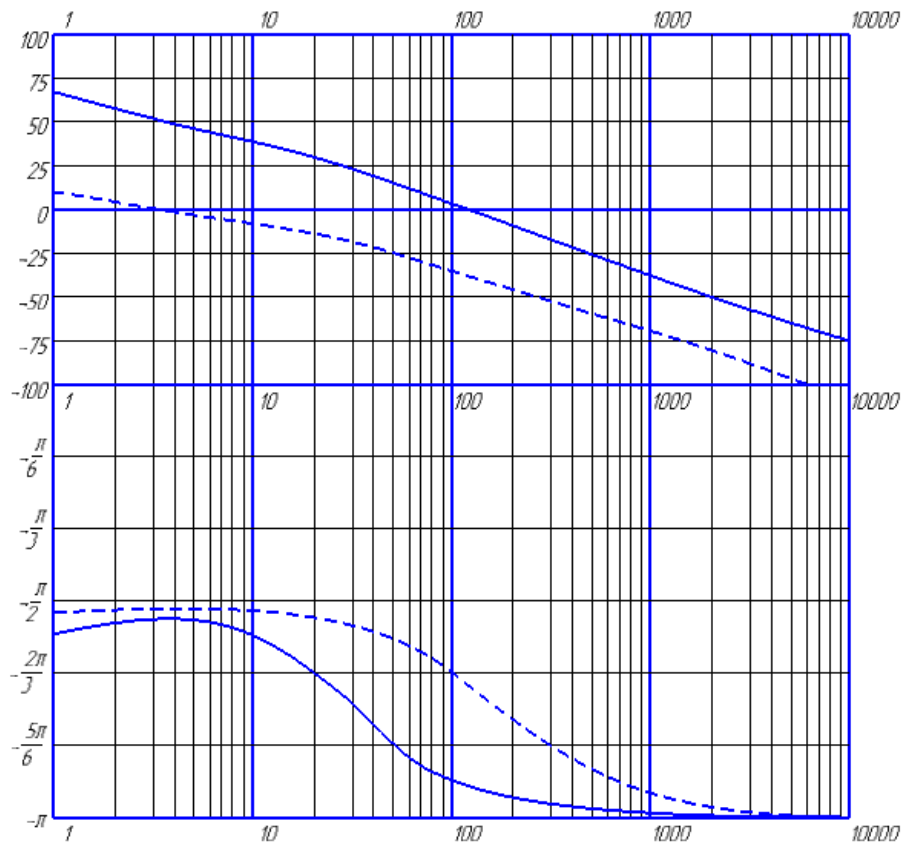


Графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнених контурів струму якоря та швидкості обертання

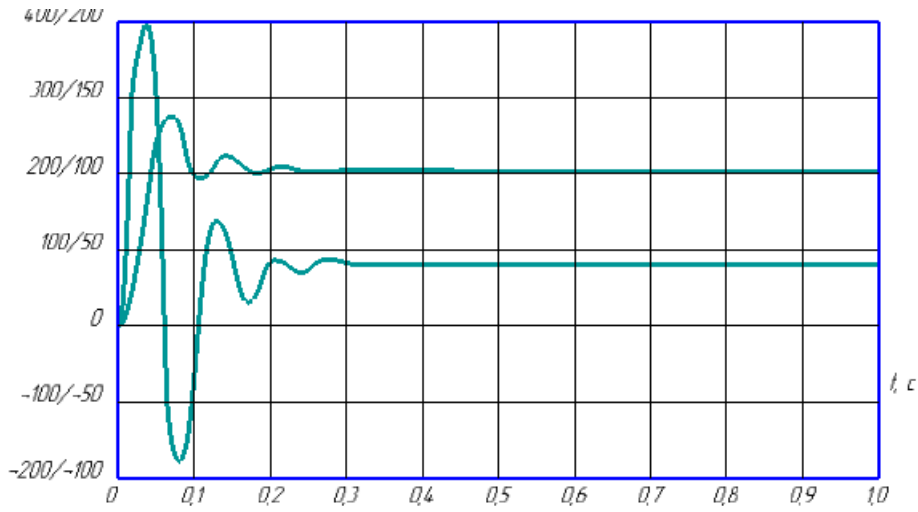


— Для контура струму якоря
 - - - Для контура швидкості обертання

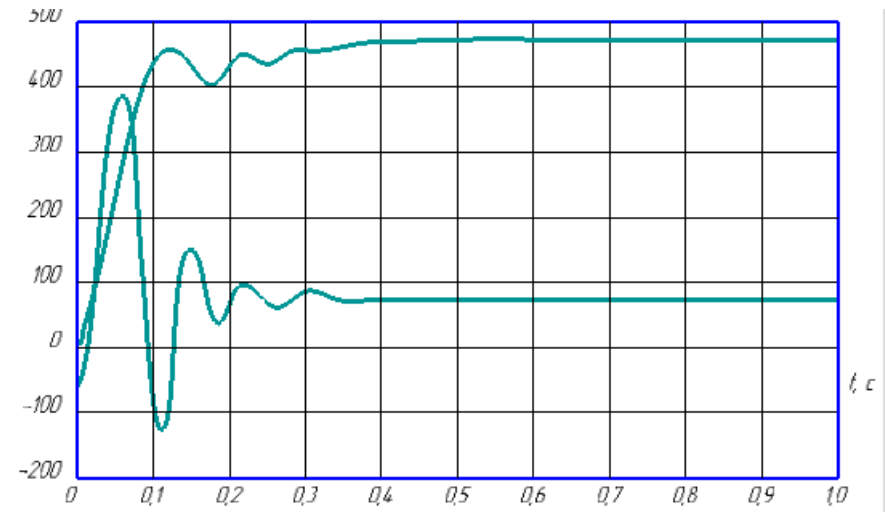
Графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнених контурів струму збудження та ЕРС двигуна



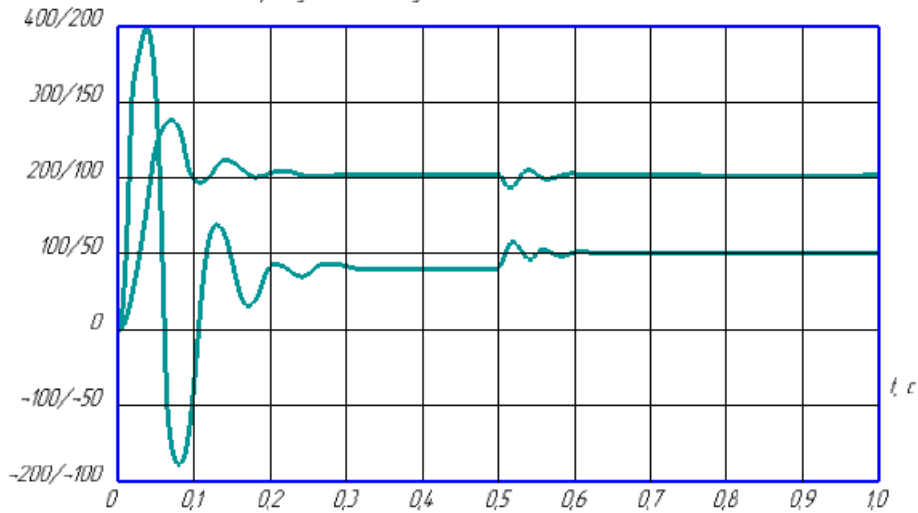
— Для контура струму збудження двигуна
 - - - Для контура ЕРС двигуна



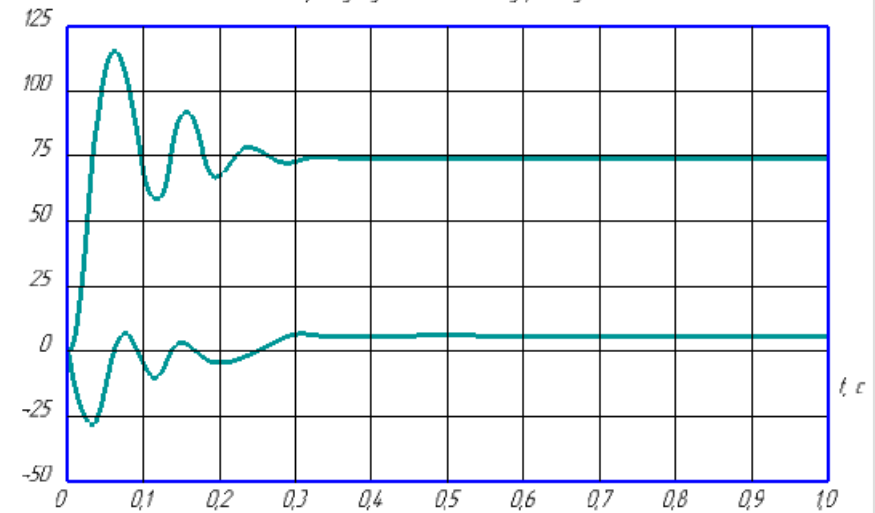
Графіки перехідних процесів швидкості та струму якоря при пуску номінальну швидкість з Мном.



Графіки перехідних процесів струму якоря та швидкості при пуску на максимальну робочу швидкість



Графіки перехідних процесів струму якоря та швидкості при пуску на номінальну швидкість з накиданням Мном



Графіки перехідних процесів струму якоря та швидкості при пуску на мінімальну робочу швидкість з Мном

Графіки перехідних процесів

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!