

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра "Автоматизації виробничих процесів"

"Допущено до захисту"

Зав.кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____Дідик О.К.

" _____ " _____ 2024р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**

на тему

"Модернізація системи керування токарно-гвинторізного верстату з ЧПУ"

"Upgrading the control system of a CNC lathe screw-cutting machine"

Виконав: здобувач вищої освіти

IV курсу, групи АК-21-3ск

ОПП «Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології»

спеціальність 151 «Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології»

_____Ілля ТОКАРЄВ

" _____ " _____ 2024р.

Керівник роботи

професор, д-р техн.наук

_____Анатолій МАЦУЙ

" _____ " _____ 2024р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 ПРИЗНАЧЕННЯ, ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНОГО ВЕРСТАТУ З ЧПУ.....	5
1.1 Стисла характеристика галузі застосування.....	5
1.2 Загальна характеристика об'єкта, в якому застосовується виріб.....	6
1.3 Опис пристрою ЧПУ токарно-гвинторізного верстату.....	10
1.4 Недоліки токарно-гвинторізного верстату та існуючої системи ЧПУ.....	13
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТІВ МОДЕРНІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТОКАРНО- ГВИНТОРІЗНОГО ВЕРСТАТУ З ЧПУ.....	16
2.1 Загальні відомості про приводи для верстатів з ЧПУ.....	16
2.2 Пристрої для контролю розмірів деталі.....	21
2.3 Пристрої для автоматичної заміни інструмента.....	24
2.4 Обґрунтування вибору мікропроцесора для модернізованої системи управління.....	27
3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТОКАРНО- ГВИНТОРІЗНИМ ВЕРСТАТОМ З ЧПУ.....	32
3.1 Аналіз та синтез електроприводу подач супорту.....	32
3.1.1 Вибір електродвигунів для приводів подач супорту.....	32
3.1.2 Аналіз ЛАЧХ нескорегованого електроприводу.....	34
3.1.3 Побудова бажаної ЛАЧХ електропривода.....	36
3.1.4 Синтез послідовного коректуючого пристрою.....	39
3.1.5 Визначення основних показників якостей.....	41
3.2 Синтез цифрової системи управління.....	41

3.2.1 Функціональна схема мікропроцесорної системи управління.....	41
3.2.2 Синтез структури цифрового регулятора.....	48
3.3 Розробка алгоритмів програм функціонування системи управління.....	52
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ В УМОВАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	56
4.1 Дослідження системи стабілізації потужності і швидкості різання для підвищення ефективності процесу обробки торцевих поверхонь на токарно-гвинторізному верстаті.....	56
Висновок.....	61
Література.....	62

ВСТУП

Машинобудування є ключовою галуззю у промисловості розвинених країн. Рівень розвитку цієї галузі визначається як один із основних показників економічного прогресу держави, і він служить основним індикатором для оцінки її системи інновацій.

Структура машинобудівної галузі в Україні відрізняється великою різноманітністю. Найбільш розвинуті галузі включають важке машинобудування, транспортне, сільськогосподарське, верстатобудування, приладобудування, радіотехнічне та електротехнічне виробництво.

На сьогоднішній день майже кожне підприємство, що спеціалізується на механічній обробці, володіє верстатами з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Ці верстати виконують ті ж функції, що й звичайні верстати з ручним управлінням, але переміщення робочих органів контролюються електронікою. Однак, в чому полягає головна перевага верстатів з ЧПУ і чому все більше заводів віддають перевагу вкладенню капіталу у сучасне обладнання з автоматичним управлінням, а не купують універсальні верстати, які є дещо дешевшими?

Першим очевидним плюсом застосування верстатів з числовим програмуванням управлінням (ЧПУ) є підвищений рівень автоматизації у виробництві. Можливість втручання оператора верстату в процес виготовлення деталі зведена до мінімуму. Верстати з ЧПУ можуть працювати практично автономно, безперервно виробляючи продукцію високої якості. Головне завдання верстатника-оператора полягає, головним чином, у підготовчо-заклучних операціях, таких як установка та зняття деталі, наладка інструменту тощо. В результаті один працівник може одночасно обслуговувати кілька верстатів.

Ще однією перевагою є виробнича гнучкість. Це означає, що для обробки різних деталей достатньо просто змінити програму. Одразу після перевірки та

налагодження програму можна використовувати у будь-який момент і скільки завгодно разів.

Ще однією перевагою є велика точність та стійкість результатів обробки. За допомогою однієї програми можна виготовити тисячі майже однакових деталей з необхідною якістю. Числове програмне управління дозволяє обробляти деталі, які неможливо виготовити на звичайному обладнанні, наприклад, складні по формі вироби, такі як штампи або прес-форми.

Важливо відзначити, що сам процес роботи за програмою дозволяє з точністю передбачити час обробки певної партії деталей і, відповідно, ефективніше використовувати обладнання.

Верстати з ЧПУ мають значну вартість та вимагають значних витрат на установку та обслуговування, відмінно від традиційних верстатів. Проте їх висока продуктивність може легко компенсувати всі витрати при правильному використанні та відповідних обсягах виробництва.

Основні напрямки модернізації існуючих варіантів токарно-гвинторізних верстатів з ЧПУ спрямовані на досягнення таких основних цілей: 1) підвищення продуктивності обробки; 2) підвищення якості обробки; 3) зниження витрат на обробку; 4) покращення умов праці; 5) інтелектуалізація виробництва; 6) розширення технологічних можливостей обладнання [3].

Щоб підвищити точність обробки деталей та модернізувати мікропроцесорну систему управління токарно-гвинтівкового верстату з ЧПУ, потрібно:

- провести порівняльний аналіз, обґрунтувати вибір датчиків;
- створити структурну та функціональну схеми мікропроцесорної системи керування;
- визначити і обґрунтувати конфігурацію системи управління та набір технічних засобів;
- розробити план компонування мікропроцесорних контролерів для системи ЧПУ.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ, ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНОГО ВЕРСТАТУ ЧПУ

1.1 Стисла характеристика галузі застосування

Машинобудівний сектор є ключовим напрямком у розвитку промисловості України. Він виступає основним виробником машин та обладнання для інших галузей та населення країни. Рівень розвитку машинобудування визначає загальний стан розвитку країни. У період глобальної кризи машинобудування відіграє важливу роль у розробці та впровадженні досягнень науково-технічного прогресу.

Машинобудівні підприємства, які втрачають ринки збуту через неспроможність покупців придбати товари, припиняють виробництво і не вдаються до модернізації обладнання. Їхні потужності працюють лише на 10-20%. Технологічне обладнання на таких підприємствах має ступінь зношення 70-80%, і середній вік його становить 30-35 років. Машинобудівні виробники в країні виготовляють машини та обладнання, які відстають від зарубіжних аналогів на 2-3 покоління.

Відновлення машинобудівної галузі та забезпечення її передового розвитку є однією з найважливіших умов для будівництва постіндустріального суспільства, яке ґрунтується на ефективному використанні наукових знань та високих технологій. Машинобудівний сектор має вирішальне значення для технологічного оновлення всіх галузей виробництва.

В Україні потрібно провести технічну реорганізацію всього комплексу машинобудівного виробництва, охоплюючи від заготівельних операцій до автоматизованого механоскладального виробництва, і включаючи агрегатні, метрологічні, металообробні, та верстато-інструментальні процеси.

Україна може ввести на світовий ринок висококонкурентоспроможне верстатне обладнання, що базується на передових наукових розробках у галузі механотроніки, паралельної кінематики та комп'ютерного обладнання.

Новим технологічним трендом буде поширення застосування систем штучного інтелекту та машинного зору, а також створення автоматизованих та роботизованих комплексів на етапі виробництва масової машинобудівної продукції.

Значною мірою впливає на підвищення якості деталей машин і механізмів розробка та широкомасштабне використання в промисловості ефективних технологій та обладнання для зміцнення поверхні металевих виробів. Це включає в себе методи поверхневого пластичного деформування, різні види термічної обробки, аплікацію покриттів, а також розробку приладів для оперативного неруйнівного контролю якості зміцнених поверхонь.

1.2 Загальна характеристика об'єкта, в якому застосовується виріб

Токарно-гвинтівкові верстати призначені для обробки і включають в себе нарізку різьби, як для одиночних, так і для невеликих партій деталей. Однак існують верстати без різцевого гвинта. На цих верстатах можна виконувати всі види токарних операцій, за винятком нарізання різьби різцем.

Неважкі токарні верстати застосовуються у виробництві інструментів, годинниковій промисловості, приладобудуванні, а також у дослідних цехах підприємств. Ці верстати доступні як з механічною подачею, так і без неї.

На середніх верстатах здійснюється 70 – 80% загального обсягу токарних операцій. Ці верстати призначені для проведення чистової та напівчистової обробки, а також для нарізання різьб різних типів. Вони відрізняються високою жорсткістю, достатньою потужністю і широким спектром частот обертання шпинделя і подачі інструменту. Це дозволяє ефективно обробляти деталі за економічних режимів, використовуючи передові інструменти із твердих сплавів

та надтвердих матеріалів. Середні верстати комплектуються різноманітними пристроями, що розширюють їх технологічні можливості, полегшують роботу оператора і сприяють підвищенню якості обробки, маючи достатньо високий рівень автоматизації.

Великі токарні верстати, що мають значну масу, застосовуються переважно у важкому та енергетичному машинобудуванні, а також в інших галузях для обробки валків прокатних верстатів, залізнодорожних колісних пар, роторів турбін та інших деталей. Усі складові блоки токарно-гвинторізного верстата мають однакові назви, призначення та розташування (рис. 1.1).

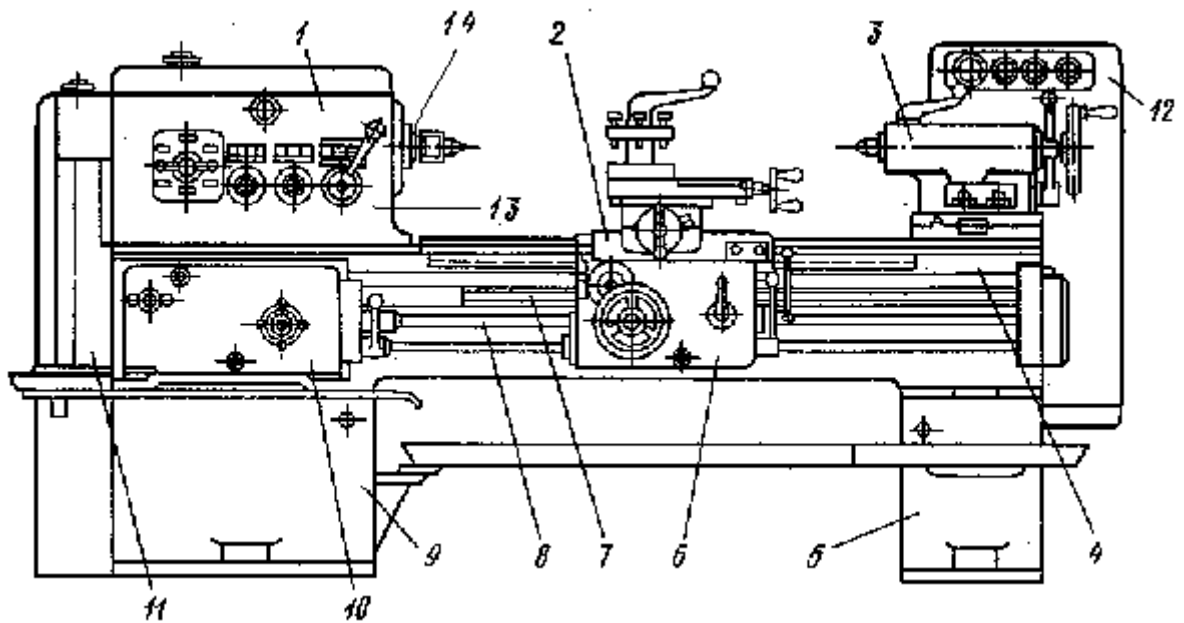


Рисунок 1.1 – Збірні одиниці (вузли) і механізми токарно-гвинторізного верстата:

1 – передня бабка; 2 – супорт; 3 – задня бабка; 4 – станина; 5 і 9 – тумби; 6 – фартук; 7 – ходовий гвинт; 8 – ходовий валик; 10 – коробка подач; 11 – гідари замінних шестерик; 12 – електро-пускова апаратура; 13 – коробка швидкостей; 14 – шпиндель.

На рис.1.2 показано зовнішній вигляд та розташування елементів керування токарно-гвинторізного верстату 16K20. Цей верстат відноситься до середньої категорії верстатів [7].

Табл.1.1 [7] містить основні технічні параметри токарно-гвинторізного верстату з ЧПУ моделі 16K20.

Таблица 1.1. Основні технічні характеристики токарно-гвинторізного верстату з ЧПУ 16K20

Найменування	Значення
Найбільша довжина оброблювального виробу, мм	1000
Висота осі центрів над плоскими направляючими станини, мм	215
Межі обертів об/хв	12,5 - 1600
Межі подач, мм/об	
Повздовжніх	0,05 – 2,8
Поперечних	0,002 – 0,11
Потужність електродвигуна головного привода, кВт	11
Найбільший діаметр, що встановлюється над станиною, мм	400
Найбільший діаметр обробки над поперечними салазками супорта, мм	220
Найбільший діаметр прутка, що проходить через отвір в шпинделі, мм	50
Габаритний розмір станка, мм	
Довжина	2795
Ширина	1190
Висота	1500
Маса верстата, кг	3005

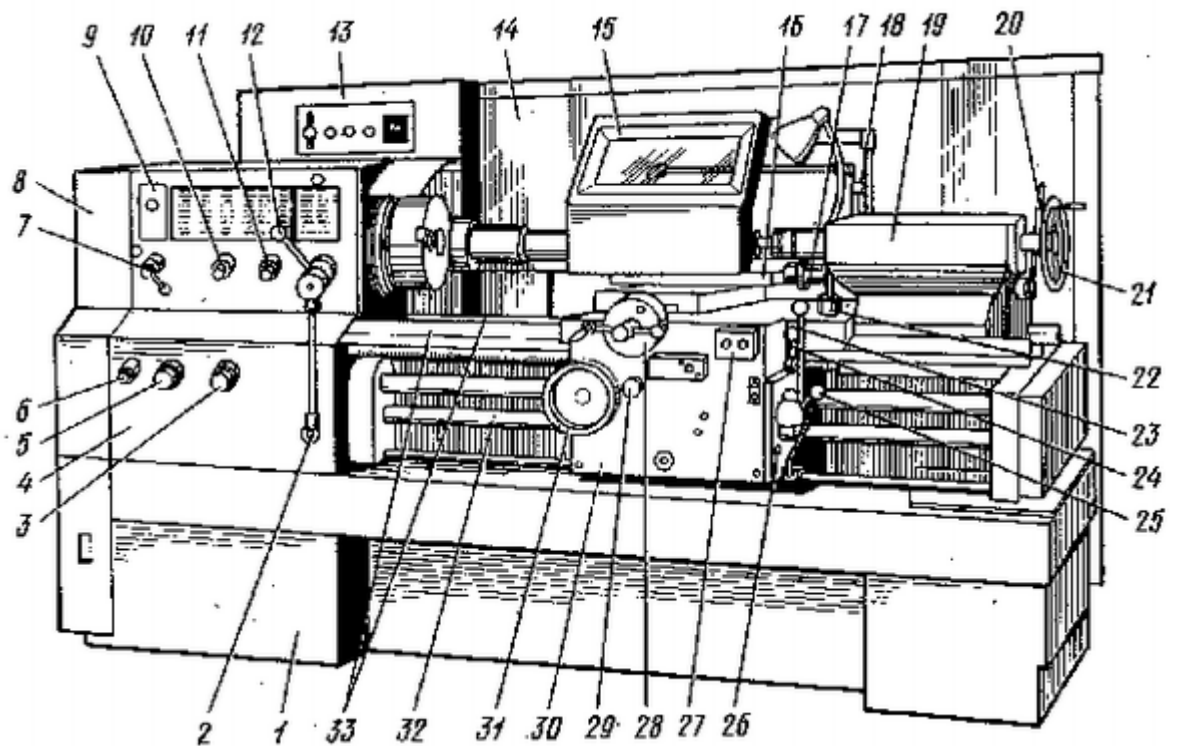


Рисунок - 1.2. Загальний вигляд і розміщення органів управління токарно-гвинторізного верстату 16K20:

Ручки управління: 2- заблоковане управління, 3, 5, 6 – установки подачі або кроку різьби, що нарізається, 7, 12 – управління частотою обертання шпинделя, 10 – установка нормального і збільшеного кроку різьби і для нарізання багатозахідних різьб, 11- зміна напрямлення нарізання різьби (ліво – або право західний), 17 – переміщення верхніх салазок, 18 – фіксації пінолі, 20 – фіксації задньої бабки, 21 – штурвал переміщення пінолі, 23 – ввімкнення прискорених переміщень супорта, 24 – ввімкнення і вимикання гайки ходового гвинта, 25 – управління зміною напрямлення обертання шпинделя і його зупинки, 26 – ввімкнення і вимикання подачі, 28 – поперечного переміщення салазок, 29 – ввімкнення продольної автоматичної подачі, 27 – кнопка ввімкнення і вимкнення головного електродвигуна, 31 – прокольного переміщення салазок; Вузли верстата: 1 – станина, 4 – коробка подач, 8 – кожух ремінної передачі головного приводу, 9 – передня бабка з головним приводом, 13 – електрошкаф, 14 – екран, 15 - захисний щиток, 16 – верхні салаки, 19 – задня бабка, 22 – супорт продольного переміщення, 30 – фартук, 32 – ходовий гвинт, 33 – направляючі станини.

1.3 Опис пристрою ЧПУ токарно-гвинторізного верстату

Токарно-гвинтівковий верстат 16K20 обладнаний системою керування числовим управлінням (ЧПУ) моделі H22 1M. Розглянуте мікропроцесорне контурне пристрій типу CNC призначене для швидкого введення, розрахунку і редагування керуючих програм, автоматичного управління верстатом під час роботи з програми та ручного управління за допомогою клавіатури пульта. Контурний пристрій ЧПУ H22 1M відповідає за рух формування, зміну значень подачі і обертання шпинделя, індексацію обертового тримача різця та нарізання різьби за програмою. Ця система апаратно-програмної реалізації спрямована, в основному, на групу токарних верстатів, які мають слідкуючий привід подачі і фотоелектричні перетворювачі. При використанні на токарних верстатах, що вбудовуються у гнучкі виробничі системи (ГВС), ЧПУ доповнюється додатковим модулем. "H22 1M" поєднує звичайні функції обробки введеної керуючої програми та її корекції з функціями розрахунку керуючої програми безпосередньо на робочому місці.

Пристрій складається з таких модулів (рис. 1.3): основний 4 та вторинний 5 процесори, блоки зовнішньої та оперативної 6 пам'яті, пульт оператора 10, адаптер каналів та таймерів 1, контролер автоматики 2, контролер імпульсних перетворювачів 8 та контролер приводу 9. Блоки програмованого керування з'єднані з магістральним каналом зв'язку 7, який побудований на основі загальної шини (ЗШ). Контролери програмованого керування пов'язані з відповідними приводами або елементами системи управління верстатом 11.

Процесори 4 і 5, оперативний запам'ятовувальний пристрій об'ємом 4К слів, адаптер магістралі і таймер складають обчислювальну частину ПЧПУ H22 1M. Процесор пристрою включає в себе постійний запам'ятовувальний пристрій об'ємом 8К слів, в якому зберігаються програми, що виконують перетворення вхідної інформації (керуючі команди програми, операторські команди при введенні програми тощо) відповідно до встановлених алгоритмів.

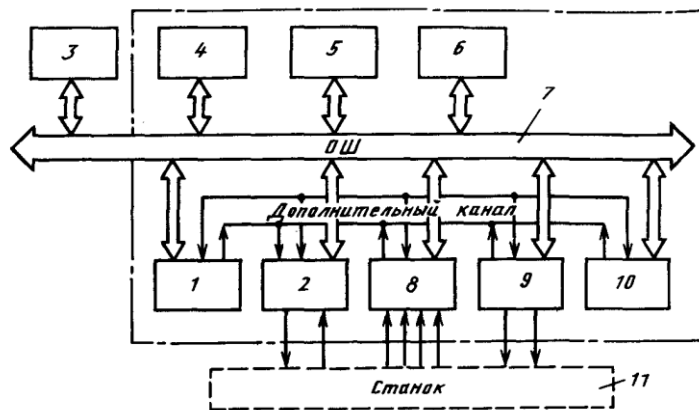


Рисунок 1.3 - Склад пристрою ЧПУ N22 1M

У ході роботи процесора та залежно від режиму функціонування ПЧПУ, генеруються кадри керуючої програми (якщо програма введена з клавіатури) або коди команд для управління механізмами верстата. Постійне програмне забезпечення вже вбудоване в пам'ять при створенні ПЧПУ, і доступ до нього зовнішніми пристроями виключений.

Модулі програмованого логічного контролю взаємодіють за допомогою загальної шини, обмінюючись інформацією (читанням або записом) або передаючи керування іншому модулю через магістраль. Обмін інформацією відбувається за допомогою 16-розрядних слів, ініційованих одним з провідних модулів, який може ініціювати обмін з іншим модулем або призупинити роботу іншого модуля під час роботи. Основними компонентами є процесорний пристрій, контролери електроавтоматики та імпульсних перетворювачів, пульт оператора та адаптер каналів і таймерів. Запам'ятовуючі пристрої і контролери приводів беруть участь у взаємодії тільки під час ініціювання одним із основних модулів.

Після завершення обміну даними основний модуль звільняє магістральний канал зв'язку. Використання додаткового радіального каналу підвищує гнучкість ПЧПУ та спрощує апаратну частину в контролерах та на пульті оператора. Для відліку інтервалів часу використовується таймер, здатний працювати з максимальною тривалістю інтервалу 6,4 с при дискретності відліку часу 0,1 мс.

Команда на виконання певного інтервалу часу може надходити в модуль від процесора. Пульти оператора призначений для введення та редагування керуючих програм, відправлення команд на їх виконання та управління верстатом в різних режимах. На передній панелі пульта розташовані кнопки керування та індикатори параметрів режиму роботи верстату, такі як: величина подачі супорта, номер поточного кадру керуючої програми (при введенні або виведенні програми) та інформація про зміст кадру програми та стан системи ЧПУ.

Клавівші управління дозволяють вводити команди для режиму роботи ПЧПУ та забезпечують оперативне управління при введенні, редагуванні та виконанні програми крок за кроком або в автоматичному режимі. З пульта оператора можна ввести управляючу програму обсягом до 250 кадрів. Кожен кадр містить координати X та Y , знак числа, значення переміщень з шести десяткових цифр та іншу технологічну інформацію.

Контролер приводу подачі керує швидкістю обертання двигунів, які переміщують супорт по вісі Z і X . Код величини подачі зберігається у керуючій програмі, де модуль перетворює його у аналоговий сигнал, величина якого пропорційна цьому коду.

Усі входи та виходи в програмно-керованій панелі управління (ПЧПУ) H22 1M мають оптронні розв'язки з електричними ланцюгами верстата. Модуль зовнішньої пам'яті, розміром 4К слів, розширює обсяг оперативної пам'яті до 8К слів, і дозволяє вводити та виводити керуючу програму з ПЧПУ для використання на інших верстатах. Цей модуль виготовлений у формі касети з електронною пам'яттю та вбудованим акумуляторним пристроєм, що забезпечує збереження записаної інформації протягом 100 годин у разі відключення касети від ПЧПУ [8].

1.4 Недоліки токарно-гвинторізного верстату та існуючої системи ЧПУ

Протягом всього періоду експлуатації верстат істотно втрачає свої технічні характеристики. Щодо порушень геометрії, важливо відзначити відхилення в паралельності, осях та направляючих, їх взаємному розташуванні і жорсткості, що негативно впливає на якість виробів, знижуючи точність верстату. Наявність люфтів є ще одним серйозним недоліком цього обладнання. Оскільки його система ЧПУ не може компенсувати ці люфти та порушення геометрії, цей верстат не можна використовувати для виготовлення деталей, які потребують високої точності.

Іншим серйозним аспектом є механічний знос вузлів, що негативно впливає як на точність, так і на продуктивність. Якщо розглядати окремі складові верстату, найбільш схильними до поломок є приводи та гідравлічна система. Застосовані двигуни постійного струму потребують регулярного обслуговування та чищення щіток. Неналежний догляд може призвести до поломки двигуна або менших, але частіших проблем, таких як гальмування двигуна або затягування процесу пуску і розгону. Датчики положення приводів втрачають точність, що призводить до збільшення помилок розташування, що проявляється у неправильних переміщеннях або зупинці роботи. На верстаті з ПЧПУ Н22 – 1М часто виникає ситуація, коли при прискореному переміщенні верстат блокується через неправильну роботу датчиків положення, що неспроможні відслідковувати переміщення вчасно. Загалом, через ці проблеми доводиться знижувати режими різання в середньому на 30% порівняно з паспортними даними верстату.

Окрім недоліків у роботі двигунів та кінематичних ланцюгів, більшість токарно-гвинторізних верстатів з терміном експлуатації понад 15 років стикаються з проблемою з пристроєм для зміни інструментів. Зазвичай це приводить до виходу з ладу або обертового магазину, або маніпулятора. Такі

верстати, як правило, використовуються в режимі "одного інструменту", що призводить до збільшення часу, необхідного на допоміжні операції.

Часто відбуваються поломки в гідро- та пневмосистемах. У гідросистемі верстату мастило використовується як робоче середовище. Однак його використання має серйозний недолік: усілякі ущільнювачі та прокладки швидко зношуються і руйнуються, що призводить до протікання масла. Це може створити небезпеку для працівників, які працюють на верстаті. Масло потрапляє у бак для змазувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) і змішується з нею, що змінює характеристики рідини. У результаті, більш густа ЗОР гірше прокачується насосом, її напір зменшується. Це може призвести до збільшення зношування поверхонь тертя та викликати заклинювання та руйнування вузлів верстату. У пневмосистемі слабким місцем є нагнітаючий компресор. Відсутність достатнього охолодження може призвести до необхідності зниження рівня різання, часто припиняючи використання сучасного ріжучого інструменту або використання його не на повну потужність, що впливає на вартість деталі.

Керування числовим програмуванням (ЧПУ) представляє собою вразливий вузол верстату, де електронні компоненти піддаються жорстким умовам, включаючи підвищені вібрації, забрудненість, перепади температури і вологості, а також скачки напруги в мережі живлення. Діагностика помилок і збоїв у цій системі недостатньо розвинена, і вона здатна контролювати лише обмежену кількість параметрів. Неможливість перевірки програми на наявність помилок читання, яка вводиться з перфострічки, створює додаткові труднощі. Хоча в системі існує деякий захист, наприклад, контроль на парність, це не гарантує повну правильність читання перфострічки. Крім того, клавіатура ЧПУ також має свої недоліки, такі як залипання та заїдання клавіш, що може призвести до серйозних проблем у роботі верстату та вимагає уважного контролю з боку оператора. Зокрема, залипання клавіші швидкого ходу може спричинити непередбачене переміщення верстату на високій швидкості, що часто закінчується зіткненням інструменту з деталлю та його поломкою.

З появою систем керування числовим програмуванням (ЧПК) пов'язане поняття параметрів верстату, відомих також як машинні дані. Це набір змінних, що зберігаються в постійній пам'яті пристрою, і забезпечують програмне взаємодію ЧПК з апаратною частиною верстату. За допомогою цих параметрів можна встановлювати швидкість швидкого переміщення, дискретність, робочу зону та інші налаштування. Більшість параметрів заводські, тобто записані в пам'ять верстату виробником, але деякі з них необхідно вводити вручну. Ці дані зберігаються в енергозалежному пристрої для зберігання даних, який живиться від акумулятора. У випадку відмови живлення може відбутися втрата не лише програми, а й параметрів, що може бути виявлено під час самодіагностики ЧПК. У гіршому випадку може статися зміна значень цих параметрів або тексту програми, що може призвести до серйозних проблем у роботі верстату. Повторне введення параметрів в пам'ять є дуже часомісткою процедурою, яка забирає багато часу у оператора.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТІВ МОДЕРНІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНОГО ВЕРСТАТУ З ЧПУ

2.1 Загальні відомості про приводи для верстатів з ЧПУ

Виконавчі пристрої використовуються для перетворення вхідного керуючого сигналу на рух органу регулювання. За характером руху органу регулювання вони поділяються на прямолінійні та обертові. За видом енергії, яку вони використовують, вони класифікуються як гідравлічні, пневматичні, електричні та комбіновані (електрогідравлічні та електропневматичні). До електричних виконавчих пристроїв відносяться електромагнітні та електромашинні пристрої. Електромагнітні виконавчі пристрої включають в себе реле, соленоїди та електромагнітні муфти. Електромашинні виконавчі пристрої представлені різними типами двигунів. Двигуни постійного струму часто використовуються у системах разом з електромашинними підсилювачами. Для керування такими двигунами застосовують тиристорні перетворювачі. Двигуни змінного струму використовуються у системах автоматичного керування різних класів через їхню простоту, надійність, невелику інерційність та легкість управління.

Приводи верстатів з ЧПУ призначені для керування рухом: основного, подачі та допоміжного. Ці рухи можуть бути незалежними або строго скоординованими, що визначає просту або складну структуру керування. Загальна структура приводу металорізального верстата включає: 1) двигун (Дв) з обертовою або поступальною дією; 2) ланки, пристрої та механізми передачі руху - передаточні механізми (ПдМ); 3) ланки, пристрої та механізми перетворення руху - перетворюючі механізми (ПрМ); 4) виконавчий робочий

орган (РО); 5) пристрій управління (ПУ), який відповідає за включення, вимикання, реверс, вимірювання та регулювання руху.

Найпростіша структура виникає, коли двигун і робочий орган є єдиним цілим або прямо зв'язані між собою. Проте, у більшості випадків механізм приводу включає ланки для передачі, узгодження та трансформації руху від двигуна до робочого органу. Для приводів з обертальним рухом робочого органу використовуються зубчасті або паскові передачі, а для приводів з поступальним рухом - різноманітні тягові механізми.

Параметри передавальних механізмів визначаються як кінематичні (такі як передавальні відношення, діапазон регулювання частоти або подачі), так і силові (якість передачі, співвідношення сил, моментів та потужностей на вході та виході).

Особливості перетворювальних механізмів виражаються через формули, які описують перетворення (такі як перетворення частоти обертання у лінійну швидкість переміщення та навпаки, або моменту у силу та навпаки), з урахуванням передаточних відношень та коефіцієнтів корисної дії.

Вихідними параметрами приводів є параметри швидкості переміщення робочого органа, такі як частота обертання шпинделя, число двійкових кодів, швидкість подачі та їхні діапазони регулювання, а також значення зовнішніх робочих навантажень, таких як сили та моменти опору. Ці навантаження можуть бути як статичними, так і динамічними в залежності від режиму роботи.

Залежно від методу регулювання, приводи можна класифікувати як ступінчасті, безступінчасті та комбіновані.

Вибір привода головного руху. Для вибору приводу необхідно, крім вихідних даних, чітко визначити вимоги до нього, оцінити переваги та недоліки існуючого аналогічного приводу, а також обґрунтувати потребу в зміні кінематики верстата і цього приводу.

Приводи головного руху мають відповідати жорсткій механічній характеристиці, мінімальному часу перехідних процесів та низьким втратам

потужності. Вони повинні забезпечувати постійну потужність на кінцевій ланці незалежно від швидкості, а також мати можливість автоматично змінювати швидкість під навантаженням або в процесі налаштування.

У верстатах середнього розміру часто використовується тип приводу з асинхронним нерегульованим двигуном та коробкою передач, особливо тоді, коли немає потреби змінювати частоту в процесі роботи.

Вибір асинхронних двигунів проводимо з урахуванням їх геометричної точності, рівня вібрацій та шуму. Для верстатів звичайної точності може використовуватися двигун класу C2 за рівнем вібрацій, а для верстатів з підвищеною точністю – двигун класу C1.

Для вибору асинхронного двигуна потрібно визначити режим його роботи та привести його до одного із стандартних режимів, відповідно до ГОСТ 183 – 74. Зазначені наступні режими роботи: тривалий S1, що відповідає постійному навантаженню на валу двигуна протягом тривалого періоду; короткочасний S2, що відповідає короткочасному навантаженню на валу двигуна; повторно-короткочасний S3, S4, S5, який характеризується періодичністю включення; інтермітентний S6, при якому двигун працює безперервно; інтермітентний S7, S8, що характеризується кількістю реверсів або переключень на годину та коефіцієнтом інерції.

При використанні у режимі S1, двигун вибирається з необхідною потужністю для виконання операцій з різання та подолання опору сили.

Для систем з k-різними розгалудженими кінематичними ланцюгами (такими як багатошпиндельні токарні автомати, токарно-гвинторізні верстати), потужність двигуна визначається як сума потужностей, використовуваних одночасно для окремих ланцюгів.

$$N_{\text{д}} = \sum_{i=1}^k N_{\text{д}i}$$

де $N_{\text{д}i}$ – потужність, що вимагається від двигуна в i -му кінематичному ланцюзі [11].

Двигун, який був вибраний на попередньому етапі, перевіряється на нагрів за допомогою методу середніх втрат за такою умовою:

$$\Delta N_H \geq \Delta N_{cp}$$

де ΔN_H - Потужність втрат у двигуні при роботі з номінальним навантаженням у режимі S1. $\Delta N_H = N_H \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)$; ΔN_{cp} - середня потужність втрат за цикл роботи верстата $\Delta N_{cp} = \sum_{i=1}^q \Delta N_i t_i / t_u$; t_i - тривалість i -го циклу роботи верстата з допомогою двигуна N_i ; q – число інтегралів в циклі; $\Delta N_i = N_i (1/\eta_i - 1)$ – потужність витрат в i -му інтервалі; η, η_i – Коефіцієнт корисної дії двигуна при заданій потужності визначається за даними каталогу [12].

Якщо потрібно безперервно регулювати частоту обертання в широкому діапазоні під час обробки деталей на верстаті з ЧПУ, а електродвигун постійного струму не здатний це зробити, то застосовується комбінований привід. Цей привід поєднує в собі електродвигун постійного струму з можливістю безперервного регулювання та ступінчастою коробкою передач.

Для забезпечення зупинки шпинделя від системи ЧПУ використовуються додаткові ланцюги орієнтації (рис.2.1).

Вибір привода подачі. У верстатах з ЧПУ останнім звеном кінематичного ланцюга приводу подачі є тягові механізми, які мають відповідати таким вимогам: забезпечення заданого закону переміщення і швидкості; високий коефіцієнт корисної дії; висока жорсткість, яка впливає на статичні і динамічні погрішності системи; невеликий момент інерції, що визначає швидкість реакції приводу та точність обробки; висока чутливість до малих переміщень; відсутність зазорів при зовнішньому навантаженні; мінімальний знос під час експлуатації.

Першочерговим етапом вибору привода являється вибір двигуна.

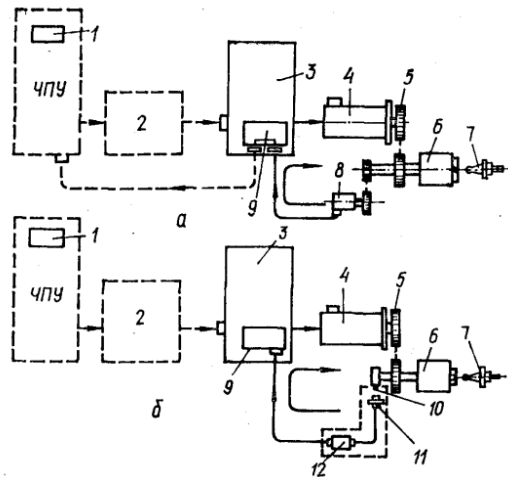


Рисунок 2.1 – Принципові схеми позиціонування шпинделя з використанням:

а – кодування позицій; б – магнітного датчика.

1 – система ЧПУ; 2 – контрольний ланцюг; 3- вузол обслуговування шпинделя бабки; 4 – двигун; 5 – зубчаста або ремінна передача; 6 – шпиндель; 7 – інструмент; 8 – пристрій кодування положень; 9 – орієнтаційний ланцюг; 10 – намагнічений елемент; 11- магнітний датчик; 12 - підсилювач

Основними вихідними параметрами для вибору двигуна привода подачі є: опори, направляючі і передавальні відношення механізмів привода (таких як коробки передач, гвинтові пари, передачі типу рейка-шестерня тощо), вага переміщуваного об'єкта разом із деталлю або іншими компонентами, моменти інерції механічних зв'язків, коефіцієнти корисної дії механічних передач, швидкості переміщення та установочні переміщення, а також діапазони робочих переміщень, навантаження і т. д.

Послідовність вибору включає [12, 13]:

1. Розрахунок швидкості двигуна для передачі гвинта-гайки та рейки-шестерні.
2. Визначення моментів інерції, приведених до вала двигуна.

$$J = J_{\max} + J_B + J_{II}$$

де $J_{\max}, J_B, J_{II}$, - Наведені значення моментів інерції для перетворювального механізму, ходового гвинта та зубчастої передачі.

3. Визначення моментів двигуна.

Враховуючи наведену інформацію щодо вибору двигунів, визначимо асинхронний двигун моделі АІР як основний для приводу головного руху та двигун постійного струму для приводу подачі супорта.

2.2 Пристрої для контролю розмірів деталі

Підвищення точності обробки деталей на верстатах з ЧПУ може бути досягнуте шляхом переміщення автоматичних вимірювальних пристроїв для контролю розміру та форми деталей. У такому випадку в автоматичному циклі може проводитись вимірювання оброблюваної деталі шляхом її безпосереднього дотику, після чого автоматично обчислюється величина корекції і через систему управління виконується необхідна корекція інструменту. Замість одного з інструментів у шпиндель або револьверну головку верстата встановлюється різцетримач з вимірювальним щупом, який дозволяє після переключення з робочої в вимірювальну позицію передавати керуючий сигнал у систему ЧПУ. Вимірювальний щуп під час вимірювального циклу рухається до програмованого місця деталі, вимірює її фактичний розмір, а потім система управління порівнює його з заданим значенням. Як тільки відхилення розміру перевищує межу допустимого поля, приймається рішення про необхідність корекції.

Для автоматичного вимірювання діаметрального розміру на токарних верстатах застосовують автоматичні вимірювальні пристрої, які можуть розміщуватися або поза зоною обробки, або всередині робочої зони верстата. У першому випадку вони замінюють інструментальний блок, а у другому вимірювання проводиться паралельно з роботою інструмента. Ці вимірювальні пристрої можуть бути прикріплені до супорту станка. За допомогою оцінки величини сумарних відхилень можна визначити розбіжність фактичного розміру деталі від заданого у програмі та внести відповідні корекції [14].

Вимірювання можуть використовуватися не лише для визначення відповідності розмірів оброблюваної деталі розмірам креслення, а й для контролю точності обробки. Це можна досягти за допомогою розробки активного пристрою контролю розмірів деталей з відповідним зворотнім зв'язком, який контролює точність обробки в широкому діапазоні розмірів та вносить необхідні корекції.

Використання активного контролю сприяє підвищенню рівня автоматизації верстатів з ЧПУ, що має особливе значення в гнучких технологічних системах для обробки заготовок за безлюдної технології (коли обслуговуючий персонал відсутній у другу та третю зміни).

Безконтактні методи неперервного вимірювання заготовок під час обробки без зупинки верстата, активний контроль деталей є найбільш перспективним напрямком. Ця технологія ґрунтується на використанні оптико-електронних датчиків замість механічних щупів, що дозволяє здійснювати контроль розмірів та форми деталей, а також їх сортування.

Оптико-електронні вимірювальні пристрої реагують на інтенсивність світлового випромінювання. Півпровідникові фотодетектори генерують світлові сигнали, пропускаючи їх через електронний вимірювальний пристрій. Електричний сигнал виникає пропорційно до інтенсивності світлового потоку. Пристрій вимірювання включає стрічкову камеру, джерело світла, систему вимірювання переміщень та мікроЕОМ. Світловий потік від джерела світла, через оптичну систему, направляється на матрицю діодів, що впливає на кожен окремий фотодіод. Інтенсивність освітлення пропорційна напрузі.

Останнім часом ведуться дослідження з використання лазерної техніки для вимірювання оброблених деталей. Принцип цього вимірювання полягає у наступному способі. Промінь лазера, спрямований з вісі, проходить через центр фотодетектора та фокусується в загальній точці перетину; лінза концентрує промінь на фотодетекторі, де він відбивається від деталі. Фотоелемент визначає положення фокальної точки у трьох положеннях: перед поверхнею деталі, за

цією поверхнею або безпосередньо на поверхні. Шляхом використання гвинтової передачі головка рухається так, щоб фокальна точка збіглася з поверхнею оброблюваної заготовки. Оптичний пристрій активного контролю, що базується на лазері, для верстатів з ЧПУ забезпечує контроль геометричних параметрів деталі прямо під час обробки. Дані вимірювань фактичних розмірів деталей використовуються для керування положенням інструменту за допомогою зворотного зв'язку, дозволяючи коригувати певні погрішності обробки. Принцип вимірювання базується на особливостях деталей, зокрема на їх незеркальній поверхні. У пристрої використовується модульоване лазерне джерело з невеликою потужністю, яке працює на основі гелій-неонової суміші.

На універсальних верстатах для виконання вимірювань необхідно передбачити в управляючих програмах виділення спеціальних вимірювальних циклів. Вимірювання можуть проводитись за кожною з координат. Датчикова вимірювальна головка на цих верстатах знаходиться у засобі зберігання інструментів і автоматично подається маніпулятором у шпиндель верстата. Датчикові головки перевіряють положення заготовки перед обробкою і між окремими проходами. Під час команди ЧПУ вимірювальний наконечник головки зближується до поверхні деталі переміщенням вузла верстата вздовж однієї з координат осі. При контакті кулькового наконечника головка віддає імпульс (сигнал), за яким ЧПУ реєструє координатний розмір у вимірювальній системі верстата.

На рис.2.2 наведено схеми контролю деталей за допомогою щупової головки на універсальних верстатах з числовим програмним керуванням.

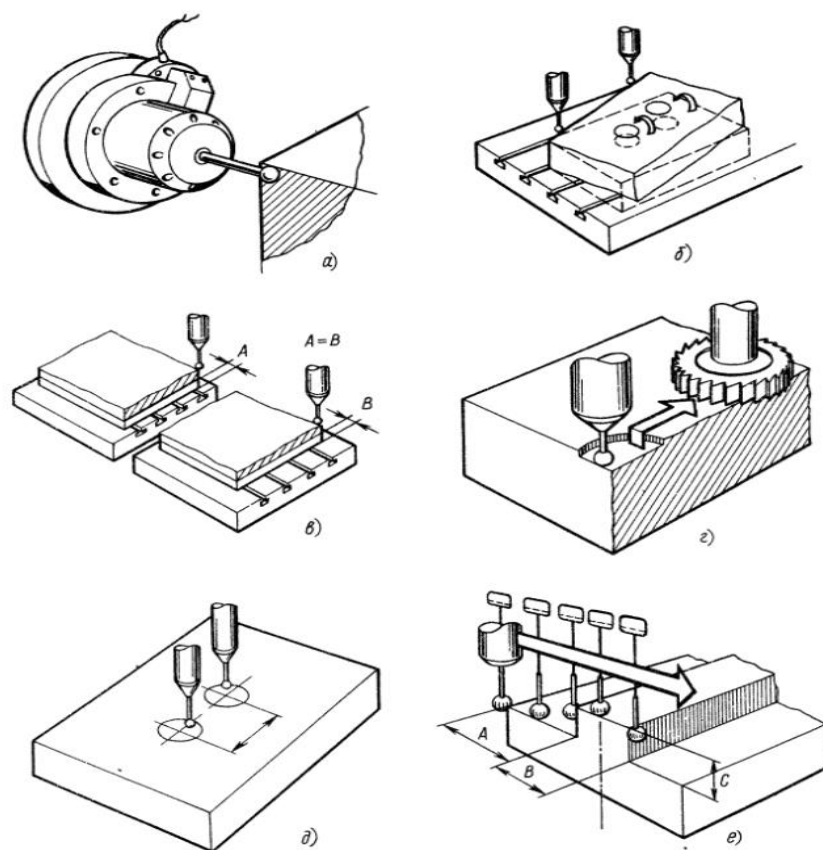


Рисунок 2.2 – Схеми контролю деталей щуповою головкою:

а – установка головки в нульове положення; б – контроль непаралельності сторони заготовки переміщенню столу верстату і коректування в процесі обробки; в – контроль припуску на обробку; г – контроль глибини обробки; д – контроль міжосьової відстані; е – контроль розмірів деталі

2.3. Пристрої для автоматичної заміни інструмента

Використання систем автоматичної заміни інструментів (САЗІ) є одним з ключових методів зменшення простоїв верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Револьверні головки. На верстатах з ЧПУ токарного типу найчастіше використовуються багатопозиційні револьверні головки, в яких кількість інструментів дозволяє здійснити повну обробку деталей. Приблизно 70% деталей можна обробити лише за допомогою 8 інструментів, а у випадку

наявності 13 інструментів можливо обробити 95% деталей. Револьверні головки бувають чотирьох-, шести-, восьми-позиційні, а також з великою кількістю позицій.

Найпоширенішими є восьмипозиційні або подвійні чотирьохпозиційні револьверні головки. На токарних верстатах з двома незалежно програмованими головками одночасно використовують два інструменти для обробки заготовок. Проте восьмипозиційні головки є більш універсальними, оскільки при застосуванні подвоєних чотирьохпозиційних головок використання інструментів для обробки внутрішніх поверхонь ускладнене через конфлікт з однією з головок.

Револьверні головки використовуються з вертикальною, горизонтальною та нахиленою (корончатою) осями обертання. Інструменти встановлюються у визначеному порядку, що відповідає послідовності їх використання згідно з технологічним процесом. Заміна інструменту виконується за допомогою повороту і фіксації головки або шляхом її лінійного переміщення (у випадках, коли декілька інструментів встановлено в одній позиції).

Токарні верстати з ЧПУ можуть бути обладнані автоматизованими системами зміни інструментів (АЗІ), що складаються з магазинів для зберігання інструментів і маніпуляторів, що автоматично замінюють інструмент у тримачі. Використання таких АЗІ має ряд переваг перед револьверними головками: уникнення зіткнень інструментів, що спрощує процес програмування та планування операцій; можливість обробки більшої кількості поверхонь з однієї установки завдяки наявності великої кількості інструментів у магазині; забезпечення можливості заміни інструментів у магазині під час роботи верстата, що мінімізує час, необхідний для підготовки та налагодження, оскільки заміна інструментів у магазині відбувається під час роботи верстата. На токарних верстатах використовуються магазини дискові, барабанні, ланцюгові та лінійні.

Система керування автоматичного змінного інструменту (АЗІ) токарного верстата включає в себе магазин і транспортно-інструментальний автооператор. Магазин дискового типу, що має горизонтальну вісь, із 12 інструментальними блоками, розташований ззаду станини верстата.

На рис.2.4 зображено процес автоматичної заміни інструменту. Переміщення відпрацьованого інструменту до складу та нового інструменту зі складу до каретки підпорядковується маніпулятором. Під час обробки заготовки інструментом, що тримається в тримачі 6, що знаходиться на каретці підпорядкованого 4, склад 1 під керівництвом системи ЧПУ повертається до позиції, коли необхідний новий інструмент з тримачем 5 розміщується у позиції передачі інструменту, що знаходиться у зоні досягнення маніпулятора 2 (позиція І).

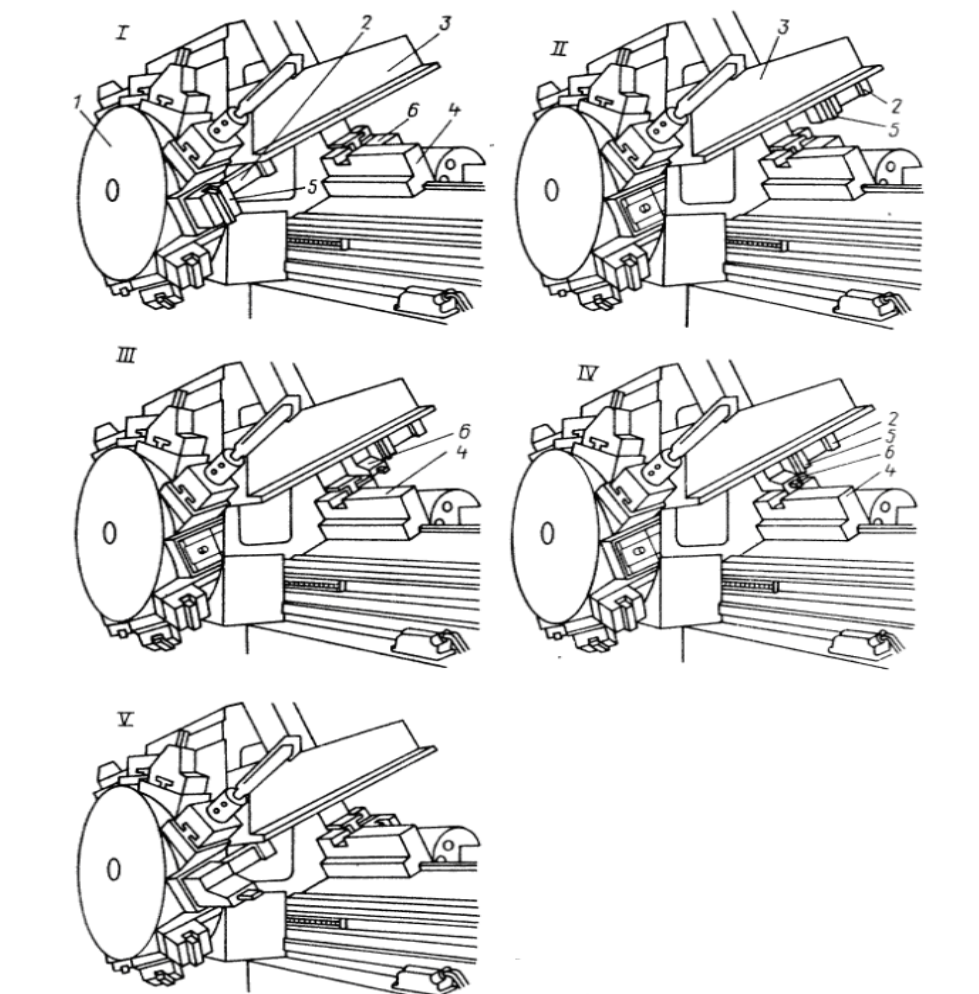


Рисунок 2.4 – Цикл автоматичної зміни інструменту

2.4 Обґрунтування вибору мікропроцесора для модернізованої системи управління

На рис. 2.5 зображено структурну схему розроблюваної мікропроцесорної (МП) системи.

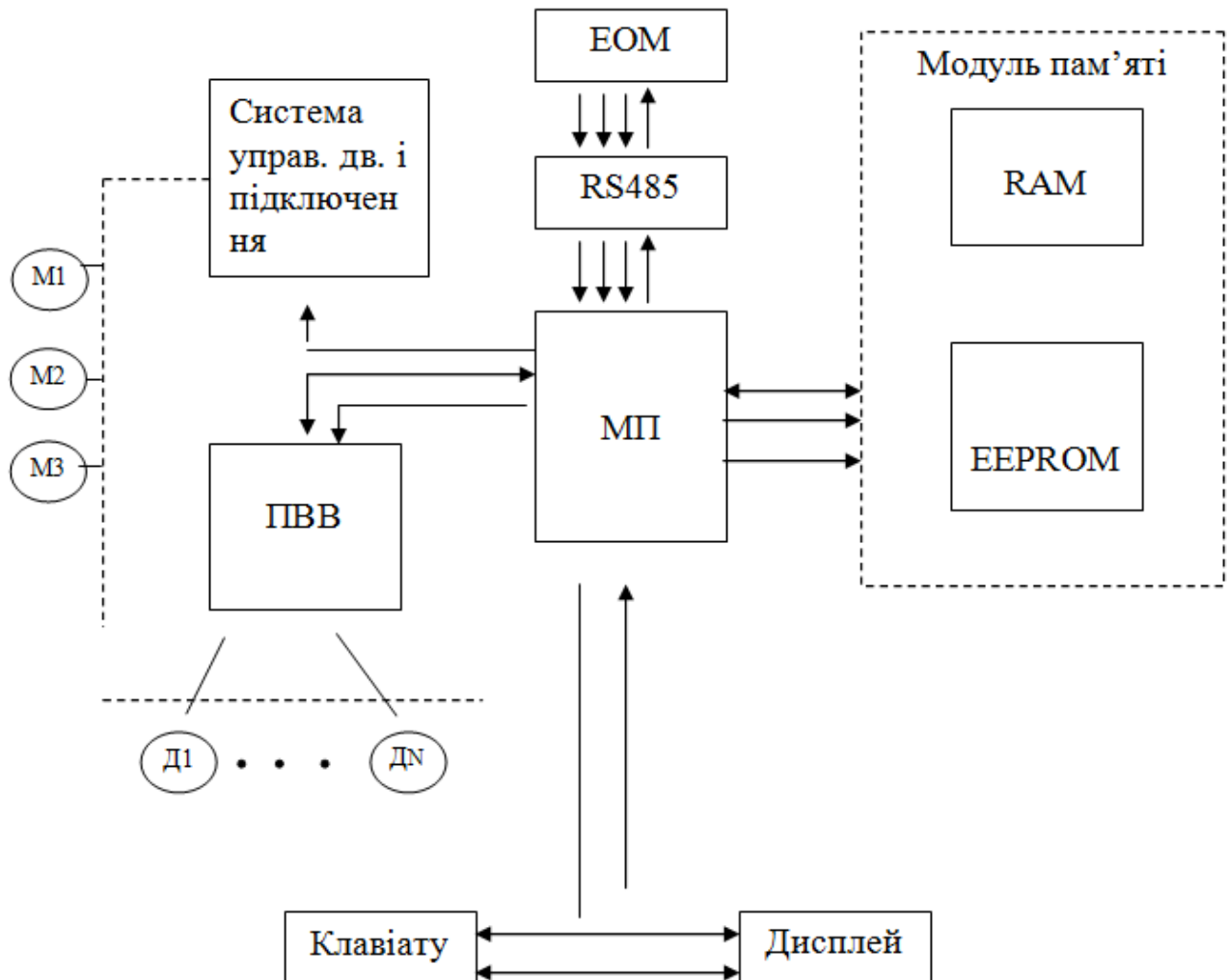


Рисунок 2.5 – Структурна схема МП

Модуль процесора ATmega 64

Вдосконалена архітектура AVR-мікроконтролерів, яка представлена на рис.2.6, об'єднує різноманітні технологічні рішення з метою підвищення продуктивності мікропроцесорного ядра AVR.

Арифметико-логічний пристрій (ALU), який виконує всі обчислювальні операції, має доступ до 32 оперативних регістрів, які об'єднані у регістровий файл. Отримання вмісту регістрів, виконання операції і запис результату назад у регістровий файл відбуваються за один машинний цикл. Для порівняння важливо зазначити, що більшість вбудованих мікроконтролерів мають лише один такий регістр, який безпосередньо доступний ALU, - це акумулятор, що потребує включення в програму додаткових команд для його завантаження і зчитування.

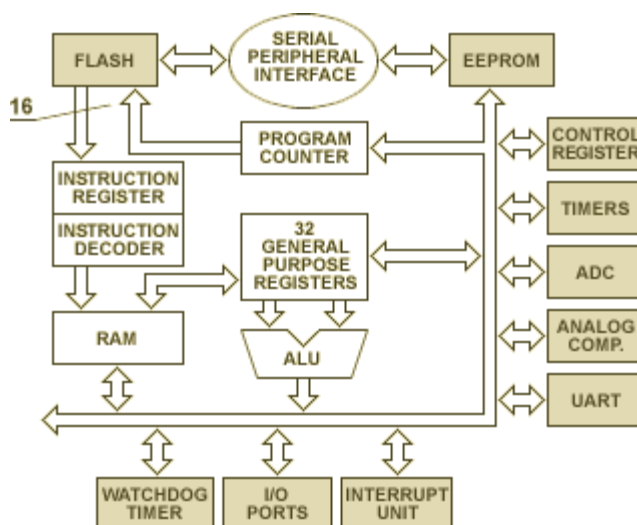


Рисунок. 2.6 – Архітектура AVR-мікроконтролерів

У мікроконтролерів AVR майже всі команди (окрім тих, що мають 16-розрядну адресу як один з операндів) також поміщаються в одну комірку пам'яті програм відповідно до цього принципу. Це вдалося здійснити не шляхом зменшення кількості команд процесора, а через збільшення розміру комірки пам'яті програм до 16 розрядів. Це рішення сприяє багатству системи команд AVR порівняно з іншими RISC-мікроконтролерами.

Усі AVR-мікроконтролери використовують FLASH-технологію для програмної пам'яті, яка інтегрована в кристал. Ця пам'ять складається з послідовних 16-розрядних осередків і має об'єм від 512 до 64К слів, залежно від типу кристалу.

У FLASH-пам'яті, окрім програми, можуть зберігатися постійні дані, які не змінюються під час роботи мікропроцесорної системи. Це можуть бути різні константи, таблиці знакогенераторів, таблиці лінеаризації датчиків тощо.

Розподіл шин доступу (рис. 2.6) до пам'яті FLASH та пам'яті SRAM дозволяє мати шини даних для пам'яті даних і пам'яті програм різної ширини, а також використовувати технологію конвеєризації. Конвеєризація означає, що під час виконання поточної команди програмний код наступної вже завантажується з пам'яті та дешифрується.

Програмування енергонезалежних пам'яті AVR можна виконувати як паралельно, так і послідовно через інтерфейс SPI (Serial Peripheral Interface).

Управління та обмін даними з EEPROM-пам'яттю та всіма периферійними модулями здійснюється за допомогою регістрів вводу/виводу, які наявні в кожному периферійному модулі.

Схему мікроконтролера ATmega64 можна побачити на рис. 2.7. Мікроконтролер оснащений великим набором функцій, включаючи 32 робочих регістри. Усі ці регістри безпосередньо підключені до арифметико-логічного пристрою (ALU), що дозволяє використовувати два регістри в одній інструкції, яка виконується за один такт.

Режим зниження шуму АЦП зупиняє роботу ЦП і всіх модулів вводу/виводу, крім таймерів і самого АЦП, що зменшує шум перемикачів під час роботи АЦП.

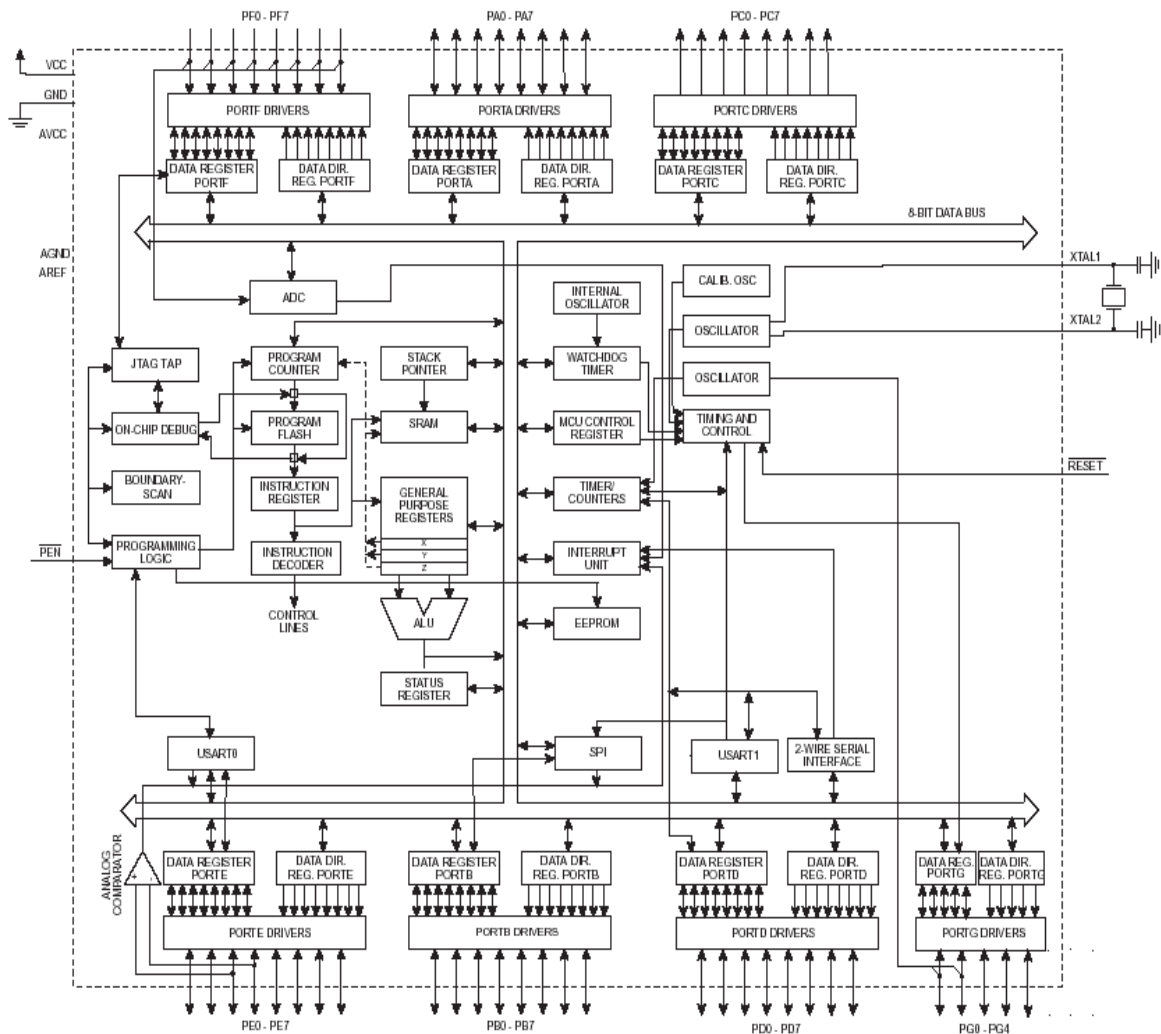


Рисунок 2.7 – Структура мікроконтролера ATmega 64

Flash пам'ять дозволяє виконувати перепрограмування всередині системи через SPI-інтерфейс. Поєднання восьмибітного RISC процесора з Flash пам'яттю, яка підтримує внутрішньосистемне самопрограмування, на одному кристалі робить ATmega 64 потужним мікроконтролером. Це забезпечує дуже гнучкі та вигідні рішення для використання в різних системах керування [15].

Опис виводів

VCC - живлення цифрової частини;

GDN – загальний;

Порт A (PA7..PA0) - це восьмибітний двонаправлений порт з вбудованими підтягуючими резисторами, які можна програмно включати та відключати для кожного біта окремо. Виводи порту можуть перебувати в одному з трьох станів.

Port B (PB7..PB0) – восьмирозрядний двонаправлений порт B.

Port C (PC7..PC0) – восьмирозрядний двонаправлений порт C.

Port D (PD7..PD0) - восьмирозрядний двонаправлений порт D

Port E (PE7..PE0) - восьмирозрядний двонаправлений порт E

Port F (PF7..PF0) - восьмирозрядний двонаправлений порт F

Port G (PG4..PG0) - восьмирозрядний двонаправлений порт G

RESET - вхід зовнішнього скидання мікроконтролера

XTAL1 - це вхід, який інвертує сигнал підсилення генератора або приймає вхід від зовнішнього тактового генератора.

XTAL2 - вихід інвертуючого підсилювача генератора.

Живлення АЦП забезпечується через вихід AVCC. При використанні АЦП необхідно з'єднати цей вхід з джерелом живлення через фільтр; у протилежному випадку - підключити його безпосередньо до джерела живлення цифрової частини.

AREF - вхід опорної напруги АЦП.

PEN - вивід для режиму послідовного програмування SPI.

3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНИМ ВЕРСТАТОМ З ЧПУ

3.1. Аналіз та синтез електроприводу подач супорту

3.1.1. Вибір електродвигунів для приводів подач супорту

Потужність електропривода головного руху визначається за формулою:

$$P_q = \frac{P_{рез}}{\eta}, кВт \quad (3.1)$$

де $P_{різ}$ – потужність різання, кВт; $P_{різ} = 3.69$ кВт; η - ККД верстата.

Приймаємо $\eta = 0.9$

$$P_q = \frac{3.69}{0.9} = 4.1 \text{ кВт}$$

Для здійснення різання на вказаному верстаті необхідно, щоб потужність електродвигуна перевищувала розрахункову потужність на 25%.

$$P = P_q + \frac{P_q \cdot 25\%}{100\%}, кВт \quad (3.2)$$

$$P = 4.1 + \frac{4.1 \cdot 25\%}{100\%} = 5.1 \text{ кВт}$$

Відповідно до визначеного значення потужності електродвигуна, виберемо постійний струмовий двигун типу 112М-А, його технічні характеристики наведено в табл.3.1.

Схему системи регулювання обертів двигуна постійного струму можна побачити на рис. 3.1. Вона включає в себе сам двигун, тахогенератор, тиристорний перетворювач і блок регулювання швидкості.

Таблиця 3.1 - Технічні дані електродвигуна типу 112М-А.

Вихідні дані	Позначення	Одиниця вимірювання	Значення
Номінальна потужність	$P_{\text{ном}}$	кВт	5.6
Номінальна напруга	$U_{\text{ном}}$	В	220
Номінальна швидкість обертання	$n_{\text{ном}}$	об/хв	2000
ККД двигуна	η	%	0.86
Опір якорного ланцюга	$R_{\text{я}}$	Ом	0.409
Індуктивність якорного ланцюга двигуна	$L_{\text{я}}$	мГн	9.0
Момент інерції приведеної до вала двигуна	J	кг·м ²	0.027
Тиристорний перетворювач			
Коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача	$K_{\text{тп}}$	-	1.3
Постійна часу тиристорного перетворювача	$T_{\text{тп}}$	с	0.02
Тахогенератор			
Коефіцієнт підсилення тахогенератора	$K_{\text{тг}}$	В/об·хв	1.4
Величина перерегулювання	δ	%	20
Час перехідного процесу	t_p	с	2

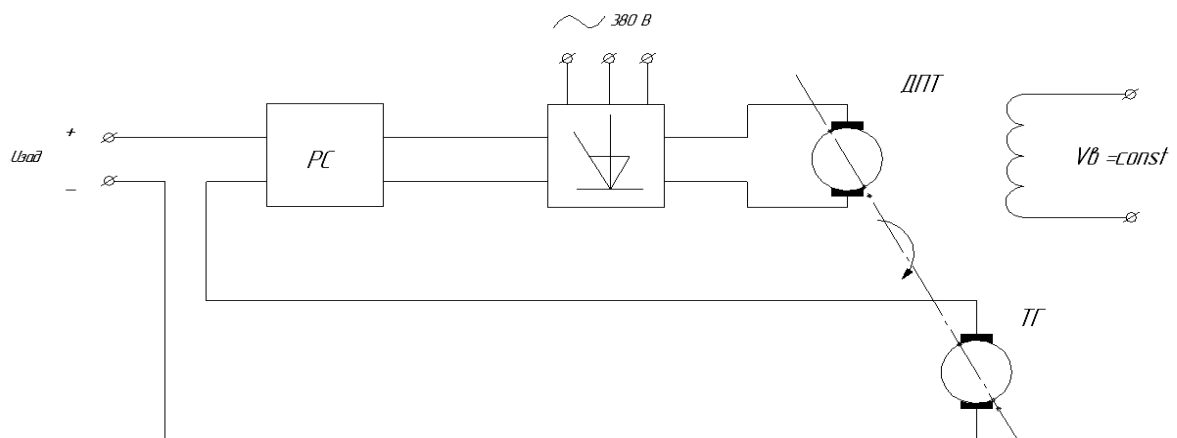


Рисунок 3.1. – Принципова схема системи регулювання частоти обертання двигуна постійного струму.

ДПС – двигун постійного струму; ТП – тиристорний перетворювач; ТГ – тахогенератор; РС – регулятор швидкості.

3.1.2. Аналіз ЛАЧХ нескоректованого електроприводу

На рис.3.2 зображено схему функціонування системи автоматичного регулювання обертів постійного струму.

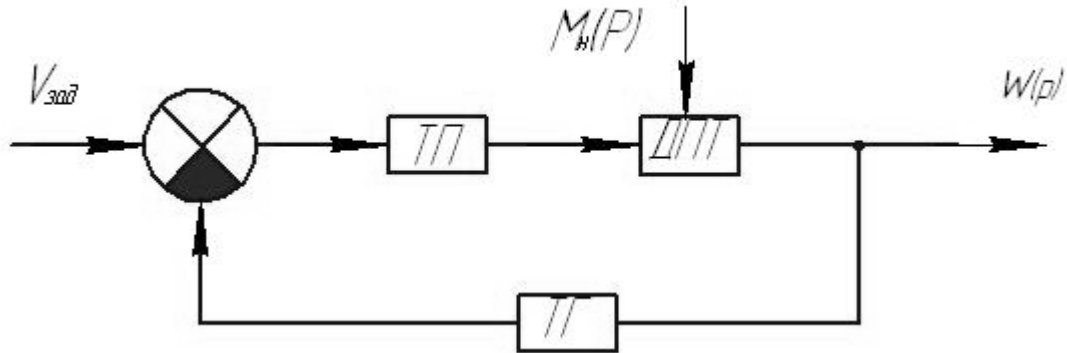


Рисунок 3.2. – Функціональна схема досліджуваної САР.

$w(p)$ – частота обертання (регульована частота); $V_{\text{зад}}(p)$ – задаюче діяння;
 $M_n(p)$ – момент навантаження.

Складемо узагальнену структурну схему досліджуваної САР, розміщуючи за функціональною схемою конкретні передаточні функції складових її ланок. Структурні схеми ТП, ТГ та ДПС представлені на рис. 3.3, 3.4 та 3.5 відповідно. Узагальнена структурна схема досліджуваної САР може бути знайдена на рис.3.6.

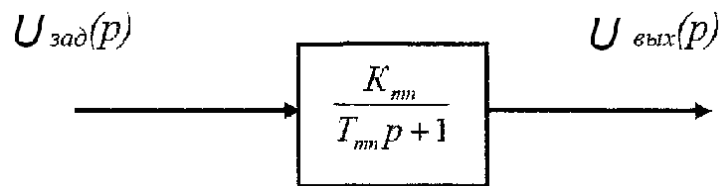


Рисунок 3.3 – Структурна схема ТП

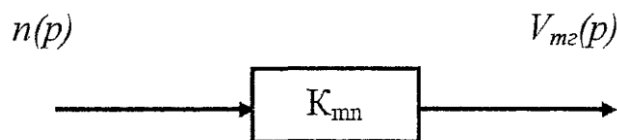


Рисунок 3.4 – Структурна схема ТГ

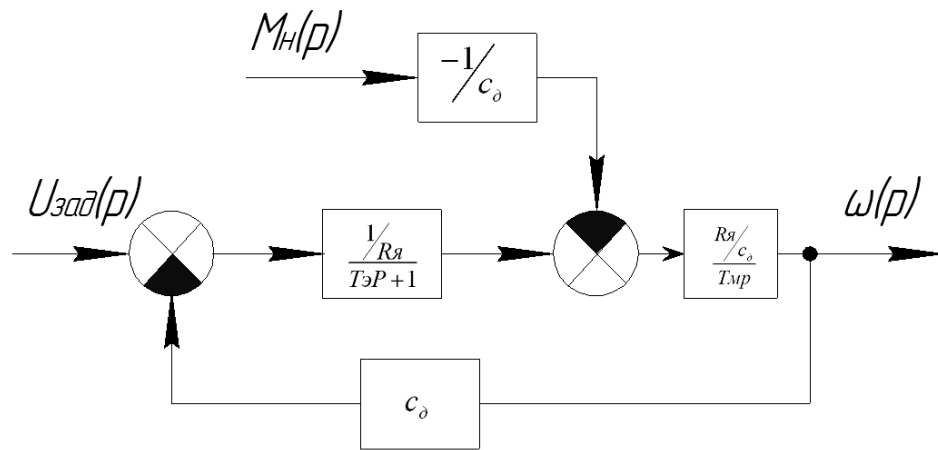


Рисунок 3.5 – Структурна схема ДПС.

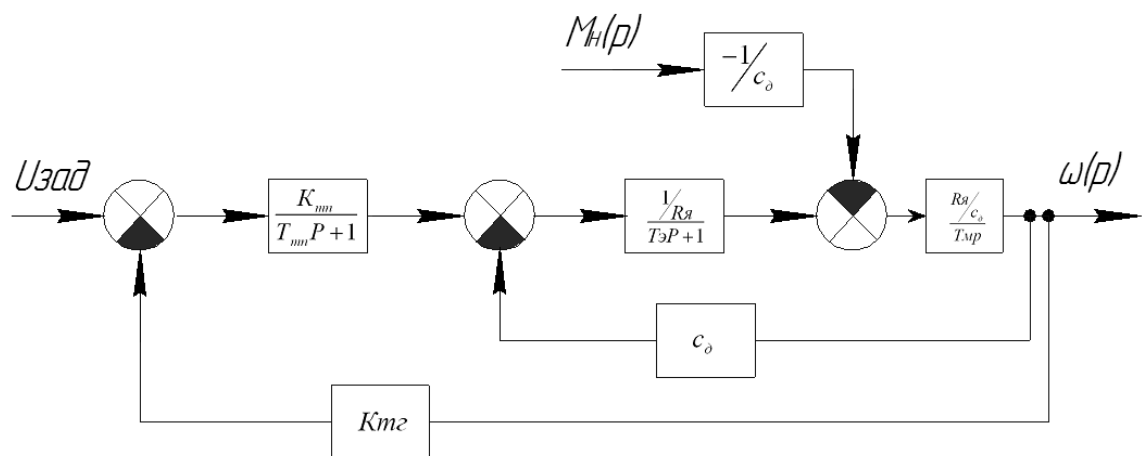


Рисунок 3.6 — Узагальнююча структурна схема досліджуваної САУ.

Розрахункові параметри для ДПТ.

$$T_e = \frac{L_\delta}{R_{\delta, \text{с}}} \quad (3.3)$$

де T_e - електромагнітна постійна часу якірного ланцюга, с;

$$T_\delta = \frac{9 \cdot 10^{-3}}{0.409} = 0.22 \text{ с}$$

Знаходимо номінальний струм двигуна за формулою:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{w_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}}}, \text{ А} \quad (3.4)$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{5.6 \cdot 10^3}{220 \cdot 0.86} = 2.96 \text{ А}$$

Знаходимо номінальну частоту обертання за формулою:

$$\omega_{ном} = \frac{2\pi}{60} \cdot \eta_{ном}, \text{ c}^{-1} \quad (3.5)$$

$$\omega_{ном} = \frac{2 \cdot 3.14}{60} \cdot 2000 = 209.33 \text{ c}^{-1}$$

Знаходимо конструктивну постійну двигуна за формулою:

$$C_d = \frac{U_{ном} - R_{я} \cdot I_{ном}}{\omega_{ном}} \quad (3.6)$$

$$C_d = \frac{220 - 0.409 \cdot 2.96}{209.33} = 1.04$$

Знаходимо електромагнітну постійну часу за формулою:

$$T_m = J \frac{R_{я}}{C_d}, \text{ c} \quad (3.7)$$

$$T_m = 0.027 \cdot \frac{0.409}{1.04} = 0.01 \text{ c}$$

3.1.3 Побудова бажаної ЛАЧХ електропривода

Визначення параметрів вихідної ЛАЧХ.

Використовавши загальну структурну схему системи автоматичного управління (САУ), зображену на рис. 3.6, ми побудуємо структурну схему дискретно-програмованої системи (ДПС) з управлінням, що показана на рис. 3.7.

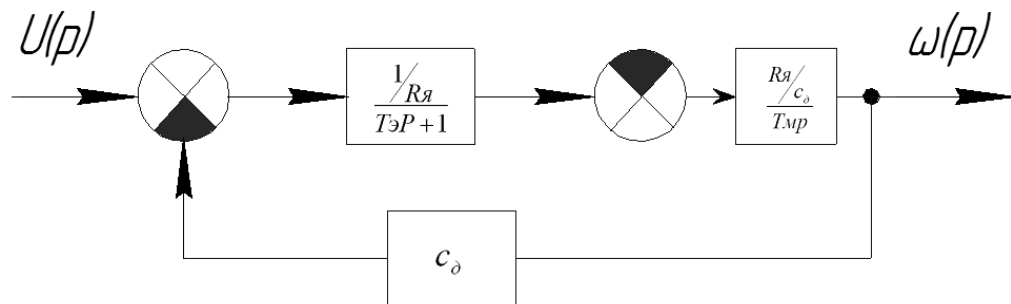


Рисунок 3.7 – Структурна схема ДПТ по керуючому діянні.

$$w_{\text{дв.унр}} = \frac{\frac{1/R_{\text{я}}}{T_{\text{я}}P+1} \cdot \frac{R_{\text{я}}/C_{\text{д}}}{T_{\text{м}}P}}{1 + \frac{1/R_{\text{я}}}{T_{\text{я}}P+1} \cdot \frac{R_{\text{я}}/C_{\text{д}}}{T_{\text{м}}P} \cdot C_{\text{д}}} \quad (3.8)$$

$$w_{\text{дв.унр}} = \frac{\frac{1/0.409 \cdot 0.409/1.04}{(0.01p+1) \cdot 0.22p}}{1 + \frac{1/0.409 \cdot 0.409/1.04}{(0.01p+1) \cdot 0.22p}} = \frac{\frac{2.45 \cdot 0.39}{(0.01p+1) \cdot 0.22p}}{\frac{(0.01p+1) \cdot 0.22}{(0.01p+1) \cdot 0.22} + \frac{0.96}{(0.01p+1) \cdot 0.22} \cdot 1.04} =$$

$$= \frac{0.96}{(0.01p+1) \cdot 0.22p + 0.96} = \frac{0.96}{0.0022p^2 + 0.22p + 0.96}$$

Ми розглянемо структурну схему відкритої системи з автоматичним регулюванням і вивчимо її передатну функцію, що представлена на рис. 3.8.

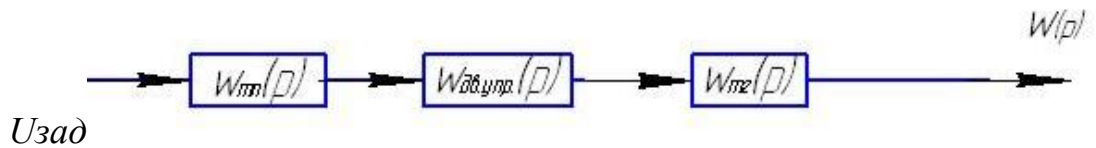


Рисунок 3.8 – Розімкнута структурна схема САР по керуючому діянню.

Форма передаточної функції розімкнутої системи автоматичного регулювання залежить від керуючої дії і виражається так:

$$w(p)_{\text{унр.раз.}} = w(p)_{\text{мн}} \cdot w(p)_{\text{дв.унр.}} \cdot w(p)_{\text{мг}} \quad (3.9)$$

$$w(p)_{\text{унр.раз.}} = \frac{30}{0.01p+1} \cdot \frac{0.96}{0.0022p^2 + 0.22p + 0.96} \cdot 1.3 = \frac{37.44}{(0.01p+1) \cdot (0.0022p^2 + 0.22p + 0.96)} =$$

$$= \frac{37.44}{0.000022p^3 + 0.0022p^2 + 0.0096p + 0.0022p^2 + 0.22p + 0.96} =$$

$$= \frac{37.44}{0.000022p^3 + 0.0044p^2 + 0.2296p + 0.96}$$

$$w(p)_{\text{унр.зам.}} = \frac{W(p)_{\text{м.н.}} \cdot W(p)_{\text{дв.унр.}}}{1 + W(p)_{\text{м.н.}} \cdot W(p)_{\text{дв.унр.}} \cdot W(p)_{\text{м.г.}}} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned}
W(p)_{\text{унр.зам.}} &= \frac{\frac{30}{0.01p+1} \cdot \frac{0.96}{0.0022p^2 + 0.22p + 0.96}}{1 + \frac{30}{0.01p+1} \cdot \frac{0.96}{0.0022p^2 + 0.22p + 0.96} \cdot 1.3} = \\
&= \frac{28.8}{\frac{(0.01p+1) \cdot (0.0022p^2 + 0.22p + 0.96)}{(0.01p+1) \cdot (0.0022p^2 + 0.22p + 0.96) + 37.44}} = \frac{28.8}{(0.01p+1) \cdot (0.0022p^2 + 0.22p + 0.96) + 37.44} = \\
&= \frac{28.8}{0.000022p^3 + 0.0022p^2 + 0.0096p + 0.0022p^2 + 0.22p + 0.96 + 37.44} = \\
&= \frac{28.8}{0.000022p^3 + 0.0044p^2 + 0.2296p + 38.4}
\end{aligned}$$

Давайте визначимо необхідні дані для створення АЧХ некоригованого електроприводу.

$$\begin{aligned}
w(p) &= \frac{37.44}{0.000022p^3 + 0.0044p^2 + 0.2296p + 0.96} = \frac{37.44}{(0.21p+1) \cdot (0.0022p^2 + 0.22p + 0.96)} \\
&\quad 0.0022p^2 + 0.22p + 0.96 = 0 \\
D &= b^2 - 4ac = 0.22^2 - 4 \cdot 0.0022 \cdot 0.96 = 0.484 - 0.008448 = 0.47 \\
p &= \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a} = \frac{-0.22 \pm \sqrt{0.47}}{2 \cdot 0.0022}
\end{aligned}$$

$$p_1 = -104$$

$$p_2 = -204.54$$

Тоді квадратний тричлен можна розкласти по виду:

$$ap^2 + bp + c = a(p - p_1)(p - p_2) = (T_1p + 1)(T_2p + 1)$$

$$\text{де} \quad T_1 = 1/p_1 \quad T_2 = 1/p_2$$

$$0.0022 \cdot (p + 104) \cdot (p + 204.54) = (1/104 p + 1) \cdot (1/204.54 p + 1) = (0.0096p + 1) \cdot (0.0049p + 1)$$

Після цього ми отримуємо передатну функцію відкритої системи автоматичного регулювання щодо управлінської дії.

$$w(p)_{\text{унр.раз.}} = \frac{37.44}{(0.0096p + 1) \cdot (0.0049p + 1) \cdot (0.21p + 1)}$$

$$L(\omega) = 20 \lg 37.44 = 31.5 \quad \lg 37.44 = 1.57$$

$$\omega_2 \cdot 1/0.0096 = 104.17 \quad \lg 104.17 = 2.02$$

$$\omega_3 \cdot 1/0.0049 = 222.22$$

$$\log 222.22 = 2.35$$

Визначення параметрів бажаної ЛАЧХ.

Частота зрізу

$$\omega_{cp} = \frac{\beta \cdot \pi}{t_p} \quad (3.11)$$

де β - коефіцієнт рухів від величини пере регулювання; t_p - час перехідного процесу.

Так як $\delta = 0.2\%$, то $\beta = 1.5$

$$\omega_{cp} = \frac{1.5 \cdot 3.14}{2} = 2.35 \text{ сек}$$

На рис.3.9 зображено амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) вихідної системи, бажаної системи та коригувального пристрою (КП).

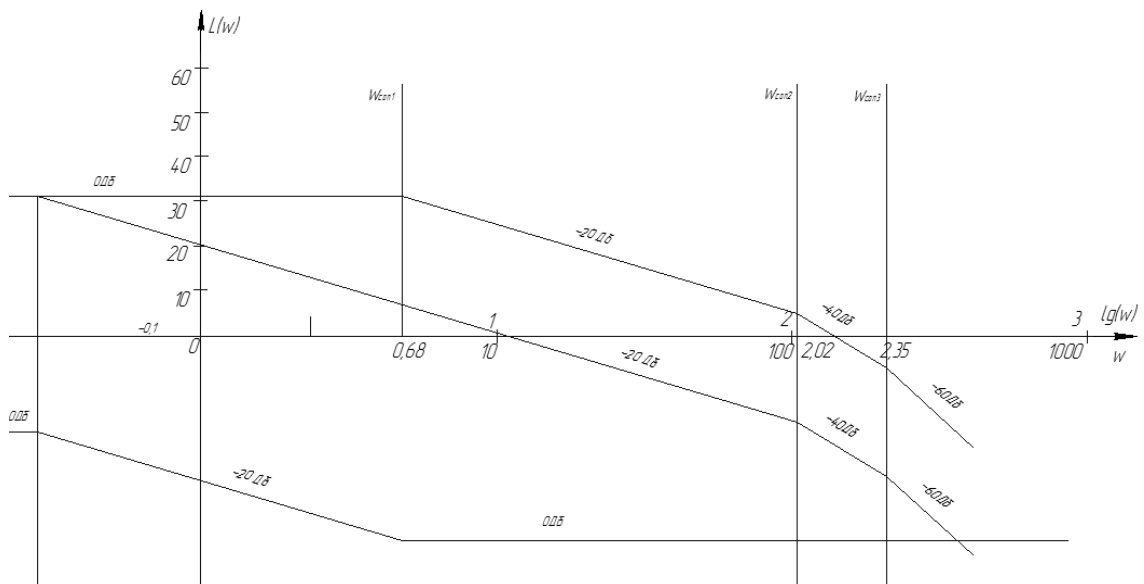


Рисунок 3.9 – ЛАЧХ вихідної системи, бажана, коригувального пристрою.

3.1.4 Синтез послідовного коректуючого пристрою

Давайте сформулюємо вирази передаточних функцій бажаної системи та КП на основі графіків бажаної амплітудно-фазової характеристики (ЛАЧХ) і амплітудної характеристики (ЛАЧХ) контролюваного об'єкта.

$$\omega_{\text{вих}}(p) = \frac{37.44}{(0.21p+1) \cdot (0.0096p+1) \cdot (0.0049p+1)}$$

$$\omega_o(p) = \frac{37.44}{(0.85p+1) \cdot (0.0096p+1) \cdot (0.0049p+1)}$$

$$\omega_{\text{кн}}(p) = \frac{0.21p+1}{0.89p+1}$$

З огляду на характеристики графіка ЛАЧХ КП та його передаточної функції, ми обираємо таку схему КП, яка включає два резистори і конденсатор (рис. 3.10).

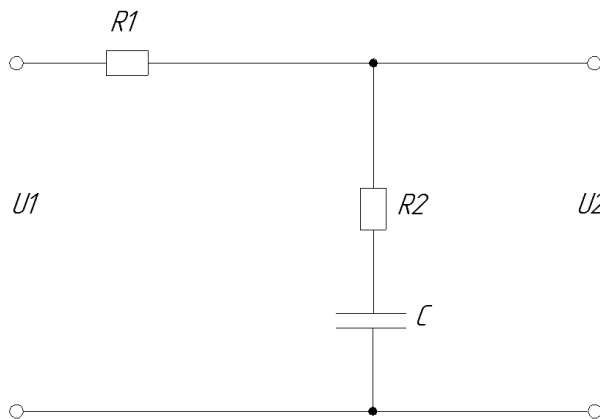


Рисунок 3.10 – Принципова схема коригувального пристрою.

Ми розраховуємо значення R_1 , R_2 та C для коригуючої схеми, використовуючи формули з джерела [16]

$$R_1 = 1 \text{ кОм}$$

$$R_2 C = 0.21 \text{ кОм}$$

$$R_2 C = 0.85 - 1000C$$

$$C = 0.21 = 0.85 - 1000C$$

$$1000C = 0.68$$

$$C = 0.00068 \text{ Ф} = 0.68 \text{ мкФ}$$

$$R_2 = \frac{0.21}{C} = \frac{0.21}{0.00068} = 308.8 \text{ Ом}$$

3.1.5 Визначення основних показників якостей

Створимо тимчасовий процес для системи, що була створена за допомогою синтезу.

Ми створюємо перехідний процес на основі отриманої передатної функції закритої оптимізованої системи адаптивного регулювання, який зображено на рис.3.11.

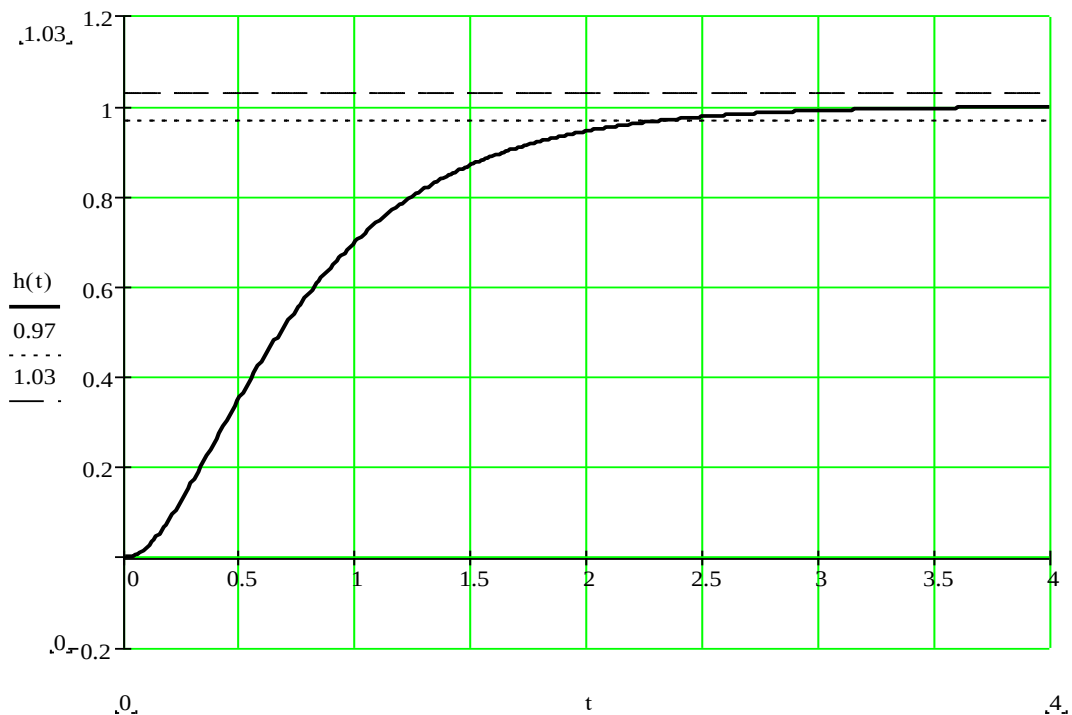


Рисунок 3.11 – Перехідний процес синтезованої системи

Після внесення змін у перехідний процес, перерегулювання склало 0,2%, а час регулювання став 2,36 секунди.

3.2 Синтез цифрової системи управління

3.2.1 Функціональна схема мікропроцесорної системи управління

Управління асинхронним двигуном включає в себе регулювання як швидкості магнітного поля статора, так і магнітного потоку. Для вирішення

другого завдання можна використовувати різні методи. Ми розробили векторну систему управління основним приводом.

Швидкість і потокозчеплення асинхронного короткозамкненого електродвигуна можна ефективно керувати за допомогою принципу векторного управління. Координати електроприводу, що вимірюються в нерухомій системі координат, можуть бути перетворені до обертової системи координат, з якої можуть бути вилучені постійні значення, пропорційні складовим векторів в обертовій системі координат. Управління здійснюється на основі цих координат.

Для створення системи векторного управління вихідною інформацією є дані про миттєві значення та просторове розташування вектора потокозчеплення в повітряному зазорі, а також про миттєві значення струмів або напруги статора та швидкості обертання ротора двигуна. При цьому система координат орієнтується відносно вектора потокозчеплення двигуна, що визначається певним чином. Зручні алгоритми управління працюють оптимально, коли координатна система відповідає орієнтації вектора потокозчеплення ротора [17].

Два датчики Холла, розміщені зсунуті один відносно одного по фазі, контролюють магнітний потік. Вони передають інформацію про проекції магнітного потоку на вісь X та Y. Разом із миттєвими значеннями струмів кожної фази, ці датчики Холла дозволяють обчислити потокозчеплення для його стабілізації.

На рис.3.12 зображено функціональну схему розробленої системи управління приводом головного руху на основі мікропроцесорної технології.

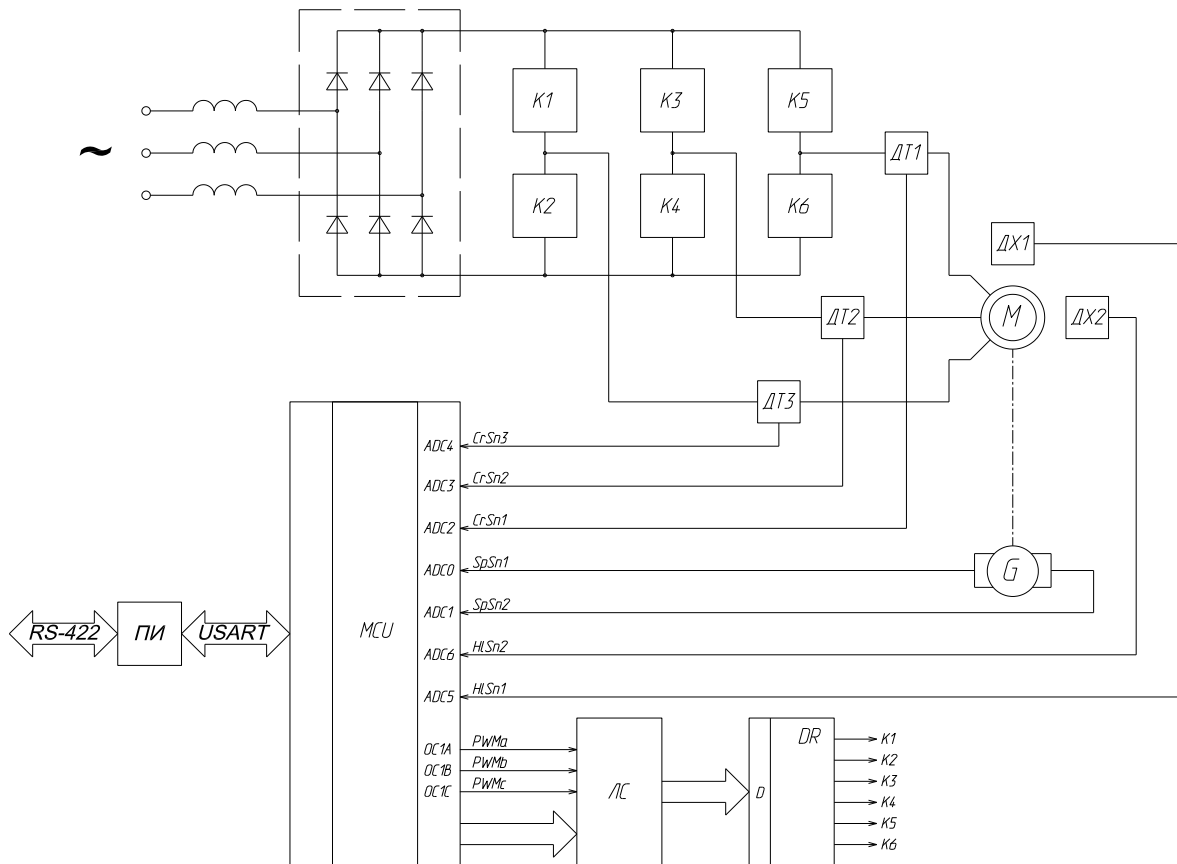


Рисунок 3.12 – Функціональна схема мікропроцесорної системи управління

Система керування приводом головного руху токарно-гвинтового верстата складається з двох основних блоків мікропроцесорної системи.

- інтерфейс зв'язку із задатчиком режимів роботи;
- силовий регульований перетворювач для управління двигуном.

Центральним компонентом системи є мікроконтролер, що відповідає за керування зазначеними вузлами. Використання мікроконтролера спростило апаратну частину електроприводу до максимуму.

Сигнали від датчиків (для струму - ДТ1..ДТ3, Холлу - ДХ1, ДХ2, та швидкості - від тахогенератора ВР) конвертуються у цифровий формат через аналого-цифровий перетворювач, що вбудований у мікроконтролер. Напруга, що генерується тахогенератором, вводиться на диференціальний вхід цього перетворювача.

За допомогою швидкості та інформації від датчиків зворотного зв'язку, мікроконтролер встановлює параметри для управління двигуном відповідно до регулятивних правил і передає необхідні сигнали інвертору.

Напруга з мережі проходить через індуктивний фільтр, що блокує будь-які перешкоди, виникаючи при функціонуванні інвертора, перед тим як бути випрямленою та поданою на силові вимикачі (K1..K6).

Для контролю над струмом, що подається на двигун, використовується метод широтно-імпульсної модуляції. Ширина імпульсів визначає ефективне значення напруги, яка надходить до обмоток двигуна, а послідовне включення силових ключів створює потрібний напрямок обертання двигуна. Управління силовими ключами, які безпосередньо комутують обмотки двигуна, дозволяє уникнути додаткового ключа у ланцюгу живлення. Це також сприяє рівномірному розподілу теплової енергії, що виникає від усіх ключів трифазного моста. Крім того, такий підхід дозволяє використовувати готовий модуль силових ключів.

Спрощений метод реалізації цього типу управління полягає в застосуванні таблиці комутації. Діапазон напруги для живлення статора (від 0 до 2) розділяється на сегменти, для кожного з яких визначаються власні значення струмів для обмоток і набір відкритих ключів. Ця інформація консолідується в таблиці. Схема комутації обмоток асинхронного двигуна показана на рис.3.13 і може бути збережена в FLASH-пам'яті мікроконтролера.

Один з таймерів/лічильників мікроконтролера налаштовується на періодичні переривання, під час яких мікроконтролер зчитує дані з наступного рядка таблиці і встановлює відповідні значення (активація ключів, встановлення значень струму). Формування синусоїдальної напруги для живлення двигуна здійснюється за допомогою вибору ключів, які комутуються, і встановлення рівня струму через них шляхом задання ширина-імпульсного модульованого сигналу (ШІМ) для напівмосту кожної фази. Обраний мікроконтролер дозволяє реалізувати широтно-імпульсну модуляцію трьох сигналів ШІМа, ШІМб і ШІМс

на основі одного таймера/лічильника 1, який має три регістри порівняння, кожен з яких має вихід. Таким чином, частота перерахування ТС1 задається жорстко - коефіцієнтом ділення, а ширина імпульсів кожного з виходів - значенням відповідного регістра порівняння.

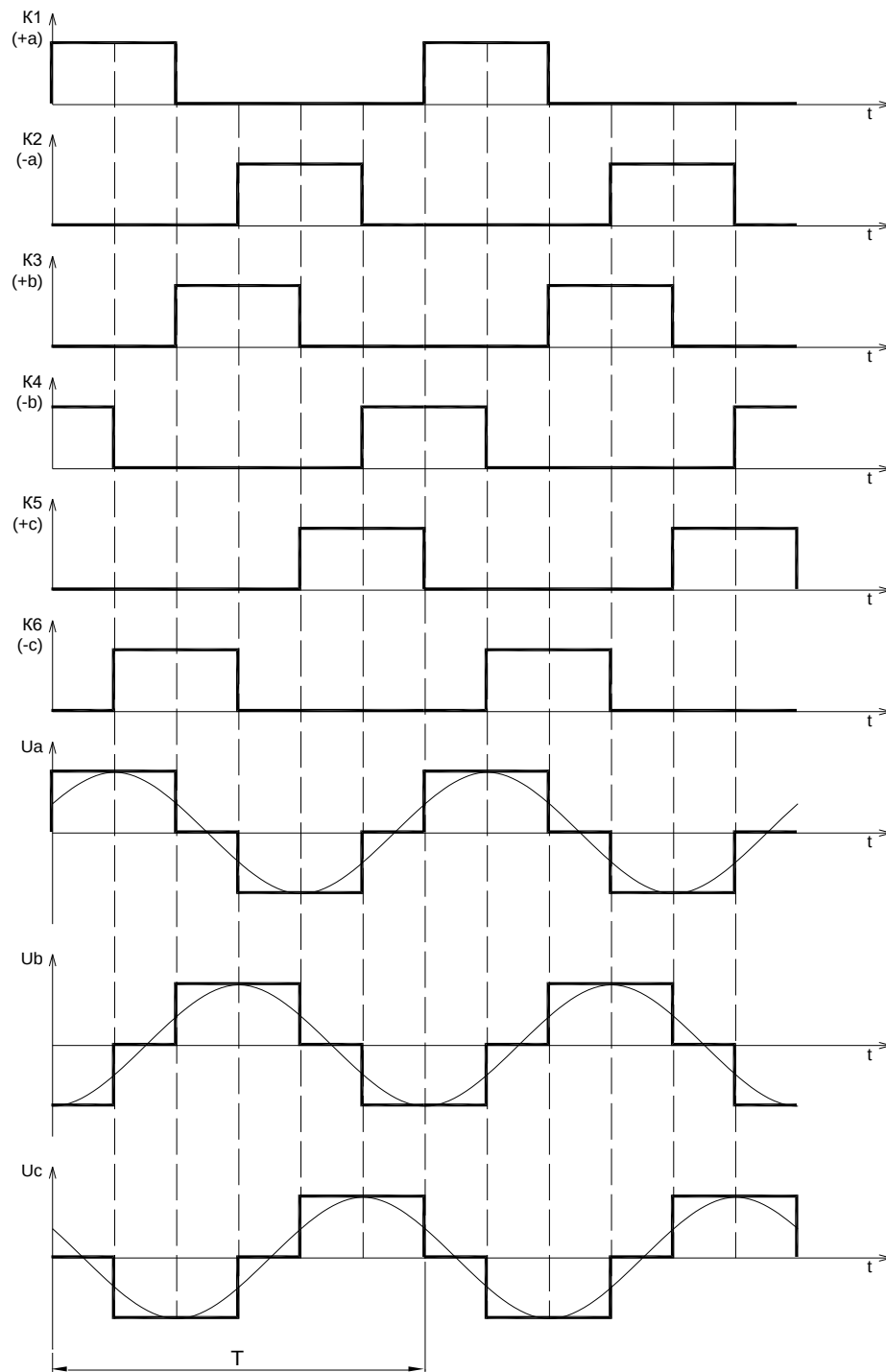


Рисунок 3.13 – Комутація обмоток асинхронного двигуна

Швидкість обертання двигуна визначається частотою переривань від допоміжного таймера. Залежно від напрямку руху, перехід по рядках таблиці комутації здійснюється вгору або вниз.

У зв'язку з обмеженим обсягом пам'яті, у таблиці вказується лише значення регістра порівняння для однієї фази у першому квадранті (від 0 до $\pi/2$). Значення для інших квадрантів можуть бути обчислені, а значення для двох інших фаз визначаються зі зсувом ($\pi/2$ до π і π до $3\pi/2$). Далі, Segm визначає рядок у таблиці, який відповідає куту періоду.

0.. 90	Amp=Table(Segm)	Key=Plus
90..180	Amp=Table(90-Segm)	Key=Plus
180..270	Amp=Table(Segm-180)	Key=Minus
270..360	Amp=Table(360-Segm)	Key=Minus

де:

Amp - значення для регістра порівняння таймера/лічильника

Segm - номер рядка таблиці, що відповідає поточному куту фази

Key - набір розрядів, що керують напівмостом

Plus, Minus - комбінації розрядів, що визначають полярність напруги АІН

Table() - значення комірки таблиці для зазначеного кута

$Amp = Amp(Segm + 2\pi/3)$

$Amp = Amp(Segm + 4\pi/3)$

Для регулювання напруги необхідно мати різні рівні діючої напруги в межах сегмента. Після визначення шпаруватості з таблиці, що відповідає максимальній амплітуді, проводиться розрахунок шпаруватості для заданої амплітуди.

Сигнали ШІМ модулюються відповідно до коду вибору ключів, що надходить від мікроконтролера, у логічній схемі.

Драйвер призначений для перетворення логічних сигналів, що надходять від логічної схеми управління, у сигнали, які контролюють силові ключі. Він забезпечує синхронізацію, підсилення сигналів і гальванічну ізоляцію.

Ключі К1...К6 виконують перемикання обмоток двигуна, що створює на ньому напругу, чия перша гармоніка відповідає трифазній синусоїдальній напрузі.

Наступна таблиця відображає структуру шпарування, яка знаходиться у внутрішній пам'яті EEPROM мікроконтролера (табл.3.2).

Таблиця 3.2 – Таблиця шпаруватості, що розташовується в EEPROM мікроконтролера

Кут	Код	Шпаруватість	Код	Кут	Шпаруватість
0	0	0	46	32	183
2	1	6	47	33	187
3	2	13	48	34	191
4	3	19	50	35	195
6	4	25	51	36	199
7	5	35	53	37	203
8	6	38	54	38	207
10	7	44	55	39	211
12	8	51	57	40	214
13	9	57	58	41	218
14	10	63	60	42	221
16	11	69	61	43	224
17	12	75	63	44	227
19	13	81	64	45	230
20	14	87	65	46	232
21	15	93	67	47	235
23	16	99	69	48	237
24	17	105	70	49	240
25	18	111	71	50	242
27	19	116	73	51	244
28	20	122	74	52	245
30	21	128	76	53	247
32	22	133	77	54	249
33	23	138	79	55	250
34	24	144	80	56	251
35	25	149	81	57	252
37	26	154	83	58	253
38	27	159	84	59	254
40	28	164	85	60	254
41	29	169	87	61	255
43	30	173	89	62	255
44	31	178			

Оскільки для кодування діапазону кутів (від 00 до 3600) використовується лише один байт (який має максимальне значення 255), було введено коефіцієнт 0,7 для відображення значення кута. В результаті кожен крок вимірювання кута дорівнює приблизно 1,4 градуса. Максимальне значення шпаруватості також обмежене до 255. При виборі значення шпаруватості, код кута використовується як зсув адреси. Це означає, що в EEPROM послідовно зберігаються лише значення шпаруватості, які відображають відповідні кути.

Для отримання команд, налаштувань руху та передачі даних про стан системи використовується інтерфейс USART, який вбудований у мікроконтролер. Оскільки цей інтерфейс має апаратну реалізацію у мікроконтролері, це дозволяє уникнути витрати машинних ресурсів мікроконтролера на програмне забезпечення інтерфейсу. Перетворювач інтерфейсу формує сигнали з потрібними параметрами (відповідно до стандарту передачі даних RS 422) та забезпечує захист вхідних і вихідних ланцюгів мікроконтролера від боку інтерфейсу.

3.2.2 Синтез структури цифрового регулятора

На рис.3.14 представлена структурна схема управління. Система включає два канали управління: один з них контролює модуль вектора потокозчеплення, а інший - кутову швидкість ротора. Це двоканальне керування дозволяє незалежно налаштовувати якість модуля вектора потокозчеплення ротора, так і швидкість його обертання, зберігаючи пряму пропорційність між моментом, що генерується двигуном, і компонентою намагнічуючої сили статора, яка перебуває у квадратурі зі струмом потокозчеплення ротора.

Вимірювання поточних значень змінних проводиться у фіксованій системі координат за допомогою датчика потоку (ДПТ) та датчика струму статора (ДС). Датчик потоку зчитує складові ψ_{mx} , ψ_{my} у повітряному зазорі двигуна за допомогою датчиків Холла, розташованих у розтоці статора по осях X - Y. Ось X

[illegible]

Блок компенсації (БК) об'єднує вихідні значення регуляторів струму двох каналів. Координатний перетворювач КП1 конвертує компоненти напруги статора (виражені в осях, що жорстко зв'язані з вектором потокозчеплення ротора) в компоненти нерухомих осей. Далі перетворювач фаз (ПФ) трансформує їх у трифазну систему змінних напруг, що використовуються для регулювання амплітуди і частоти автономного інвертора напруги (АІН) [17].

Давайте розглянемо передатні характеристики цих регуляторів. Вони мають однакову структуру і відрізняються лише за значеннями коефіцієнтів T_1 і T_2 .

Нульовий порядок передатної функції екстраполятора використовується для подання дискретного аналогу даної неперервної функції, який показаний на рис.3.15. $We(p) = \frac{1-e^{-pT}}{p}$, а задана передатна функція регулятора: $Wp(p) = \frac{T_1 p + 1}{T_2 p}$.

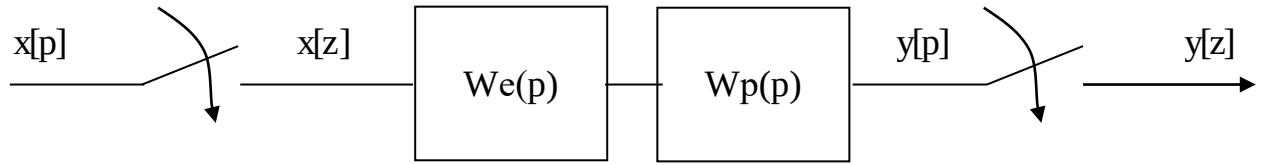


Рисунок 3.15 - Дискретний аналог неперервної функції

Знайдемо відповідну їй дискретну передатну функцію: $Wp(z)$

$$\begin{aligned} Wp(z) &= Z\{We(p)Wp(p)\} = Wee p(z) = Z\left\{\frac{1-e^{-pT}}{p} \frac{T_1 p + 1}{T_2 p}\right\} = Z\left\{\frac{1-e^{-pT}}{1} \frac{T_1 p + 1}{T_2 p^2}\right\} = \\ &= Z\left\{\frac{1-e^{-pT}}{1} \frac{T_1 p + 1}{T_2 p^2}\right\} = Z\left\{\left(1 - \frac{1}{e^{pT}}\right)\left(\frac{T_1 p}{T_2 p^2} + \frac{1}{T_2 p^2}\right)\right\} = Z\left\{\left(\frac{e^{pT} - 1}{e^{pT}}\right)\left(\frac{T_1}{T_2 p} + \frac{1}{T_2 p^2}\right)\right\} = \\ &= \left| \begin{array}{l} \text{По визначенню } e^{pT} = z, \text{ виносимо дискретну} \\ \text{функцію } \frac{z-1}{z} \text{ за знак } Z - \text{перетворення} \end{array} \right| = \frac{z-1}{z} Z\left\{\frac{T_1}{T_2 p} + \frac{1}{T_2 p^2}\right\} = \\ &= \frac{z-1}{z} \left(Z\left\{\frac{T_1}{T_2 p}\right\} + Z\left\{\frac{1}{T_2 p^2}\right\} \right) = \frac{z-1}{z} \left(\frac{T_1}{T_2} Z\left\{\frac{1}{p}\right\} + \frac{1}{T_2} Z\left\{\frac{1}{p^2}\right\} \right) \end{aligned}$$

Для функції виду: $F(p) = \frac{A(p_n)}{B(p_n)}$ отримаємо формулу:

$$F^*(p) = \sum_{n=1}^N \frac{A(p_n)}{B'(p_n)} \frac{1}{1 - e^{-T(p-p_n)}}$$

Для функції $F(p) = \frac{1}{p}$ отримаємо:

$$A(p) = 1; B(p) = p; B'(p) = 1; p_1 = 0; A(p_1) = 1; B'(p_1) = 1$$

$$F^*(p) = \frac{1}{1} \frac{1}{1 - e^{-T(p-0)}} = \frac{1}{1 - e^{-pT}} = \frac{1}{1 - \frac{1}{e^{pT}}} = \frac{1}{\frac{e^{pT} - 1}{e^{pT}}} = \frac{e^{pT}}{e^{pT} - 1}$$

Отримуємо: $Z\left\{\frac{1}{p}\right\} = \frac{z}{z-1}$

Для функції виду: $F(p) = \frac{1}{(p+a)^k}$ отримаємо формулу:

$$F(z) = (-1)^{k-1} \frac{1}{(k-1)!} \lim_{a \rightarrow 0} \frac{\partial^{(k-1)}}{\partial a^{(k-1)}} \left(\frac{z}{z - e^{-aT}} \right)$$

Для функції $F(p) = \frac{1}{p^2}$ отримуємо: $a = 0$; $k = 1$ – кратність.

$$F(z) = (-1)^1 \frac{1}{(1)!} \lim_{a \rightarrow 0} \frac{\partial}{\partial a} \left(\frac{z}{z - e^{-aT}} \right) = - \lim_{a \rightarrow 0} \frac{\partial}{\partial a} \left(\frac{z}{z - e^{-aT}} \right) = - \lim_{a \rightarrow 0} \frac{zTe^{-aT}}{(z - e^{-aT})^2} = \frac{zT}{z-1}$$

$$\begin{aligned} Wp(z) &= \frac{z-1}{z} \left(\frac{T_1}{T_2} \frac{z}{z-1} + \frac{1}{T_2} \frac{zT}{(z-1)^2} \right) = \frac{z-1}{z} \frac{T_1 z(z-1) + zT}{T_2 (z-1)^2} = \\ &= \frac{T_1 z(z-1) + zT}{zT_2 (z-1)} = \frac{z(T_1(z-1) + T)}{zT_2 (z-1)} = \frac{T_1(z-1) + T}{T_2(z-1)} = \frac{T_1 z - T_1 + T}{T_2(z-1)} = \\ &= \frac{T_1 z - T_1 + T}{T_2(z-1)} = \frac{\frac{T_1}{T_2} z + \frac{T - T_1}{T_2}}{z-1} = \left| \text{Позначимо: } \frac{T_1}{T_2} = b_0; \frac{T - T_1}{T_2} = b_1; -1 = a_1 \right| = \\ &= \frac{b_0 z + b_1}{z + a_1} = \left| \text{Поділимо на } z \right| = \frac{b_0 + b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1}} = Wp(z) = \frac{y(z)}{x(z)} \end{aligned}$$

$$y(z)(1 + a_1 z^{-1}) = x(z)(b_0 + b_1 z^{-1})$$

$$y(z) + a_1 y(z)z^{-1} = b_0 x(z) + b_1 x(z)z^{-1}$$

Перейдемо до решітчастої функції: $y[n] + a_1 y[n-1] = b_0 x[n] + b_1 x[n-1]$

Отримуємо рекурентний вираз:

$$y[n] = b_0 x[n] + b_1 x[n-1] - a_1 y[n-1]$$

$$y[n] = b_0 x[n] + b_1 x[n-1] + a_1 y[n-1]$$

На рис.3.16 показана структура прямого програмування, яка враховує формування вхідного сигналу для регулятора, що представляє собою різницю між заданим значенням Nz та значенням зворотного зв'язку Nz . Також у цій структурі враховані обмеження на вхідні та вихідні сигнали.

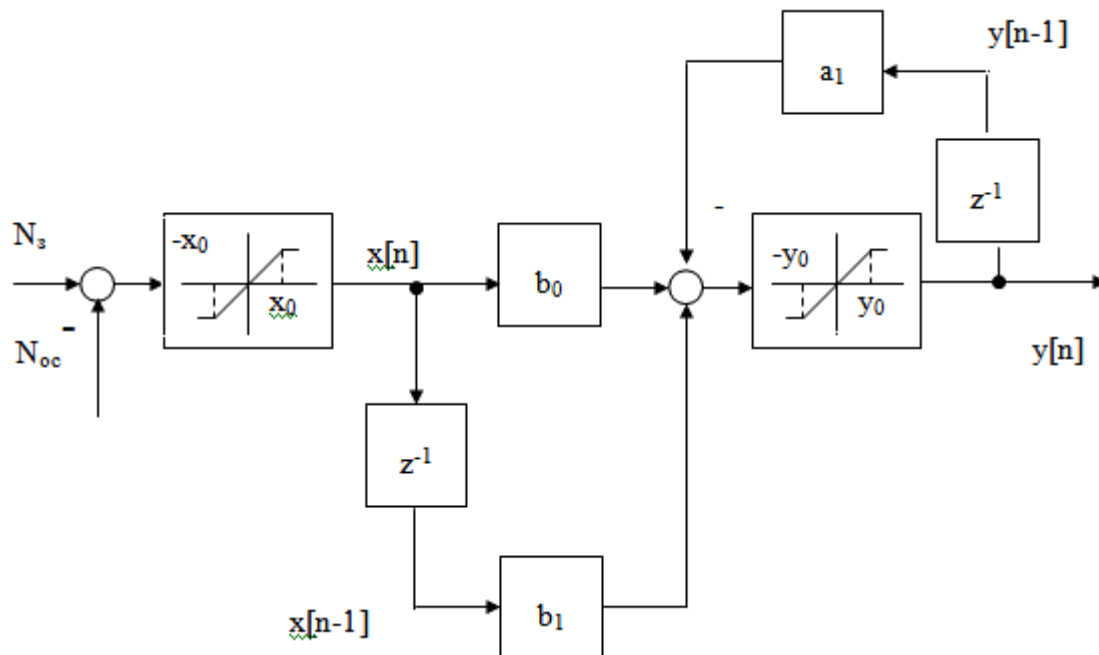


Рисунок 3.16 - Структура прямого програмування регуляторів

3.3 Розробка алгоритмів програм функціонування системи управління

Основні підпрограми, що містить у собі програмне забезпечення мікроконтролера, включають наступне:

- підпрограма ініціалізації (після скидання);
- підпрограма, що викликає розрахунки регуляторів за допомогою переривань від ТС2;
- Програмний модуль, що змінює кут на кожному інтервалі переривання від ТС3, для регулювання швидкості обертання двигунів.

Підпрограма переривання від таймера/лічильника 3

Враховуючи, що для представлення кута використовується один байт (вісім бітів), введений коефіцієнт 0,7 для обчислення коду кута.

0°	0
240°	84
120°	168
360°	252

Алгоритм підпрограми переривання подано на рис.3.17.

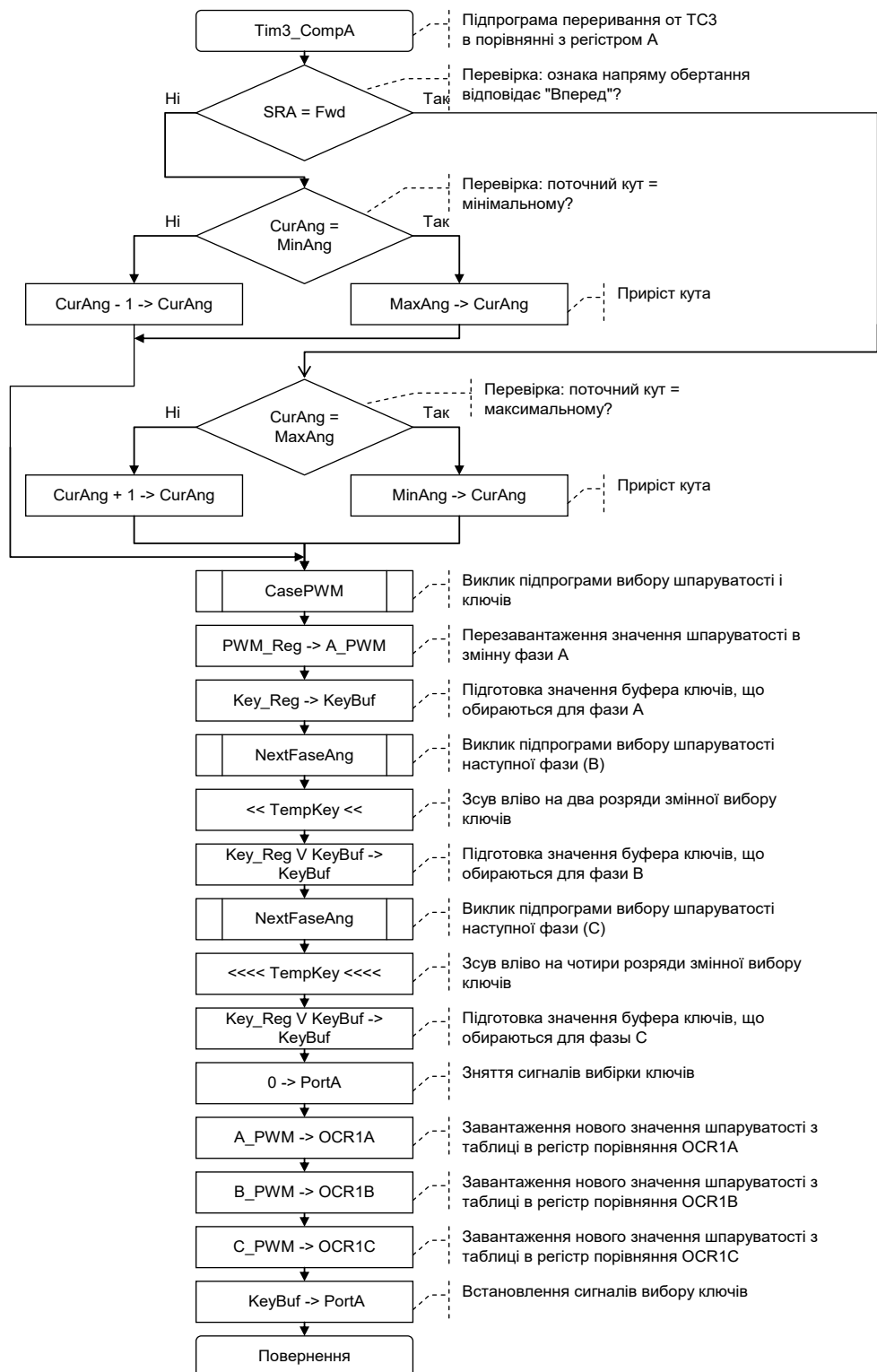


Рисунок 3.17 – Алгоритм підпрограми переривання від таймера/лічильника

Підпрограма розрахунку кута чергової фази

Якщо кут поточної фази менше 240 градусів, тоді кут чергової фази визначається шляхом додавання до вихідного кута 120 градусів; у протилежному

випадку від вихідного кута віднімається 240 градусів. Алгоритм для розрахунку кута подається на рис.3.18.

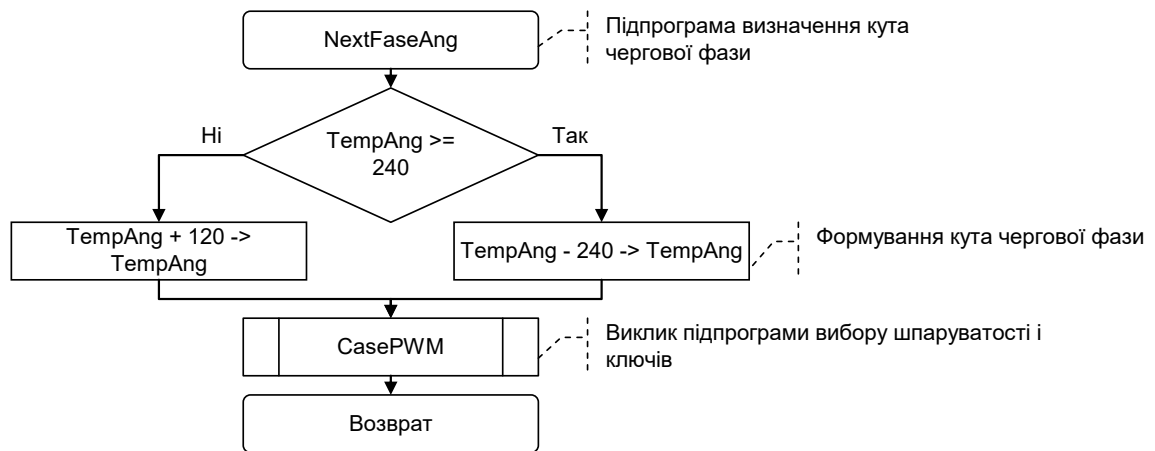


Рисунок 3.18 – Алгоритм підпрограми розрахунку кута чергової фази

Підпрограма вибору шпаруватості для заданого кута

Підпрограма визначає, в якому з чотирьох квадрантів знаходиться заданий кут. Залежно від цього вона коректує кут до значення, що не перевищує 90 градусів, та витягає відповідне значення шпаруватості з таблиці. Також встановлюється ознака полярності - розряди вибору ключів. Алгоритм вибору шпаруватості для заданого кута подано на рис.3.19.

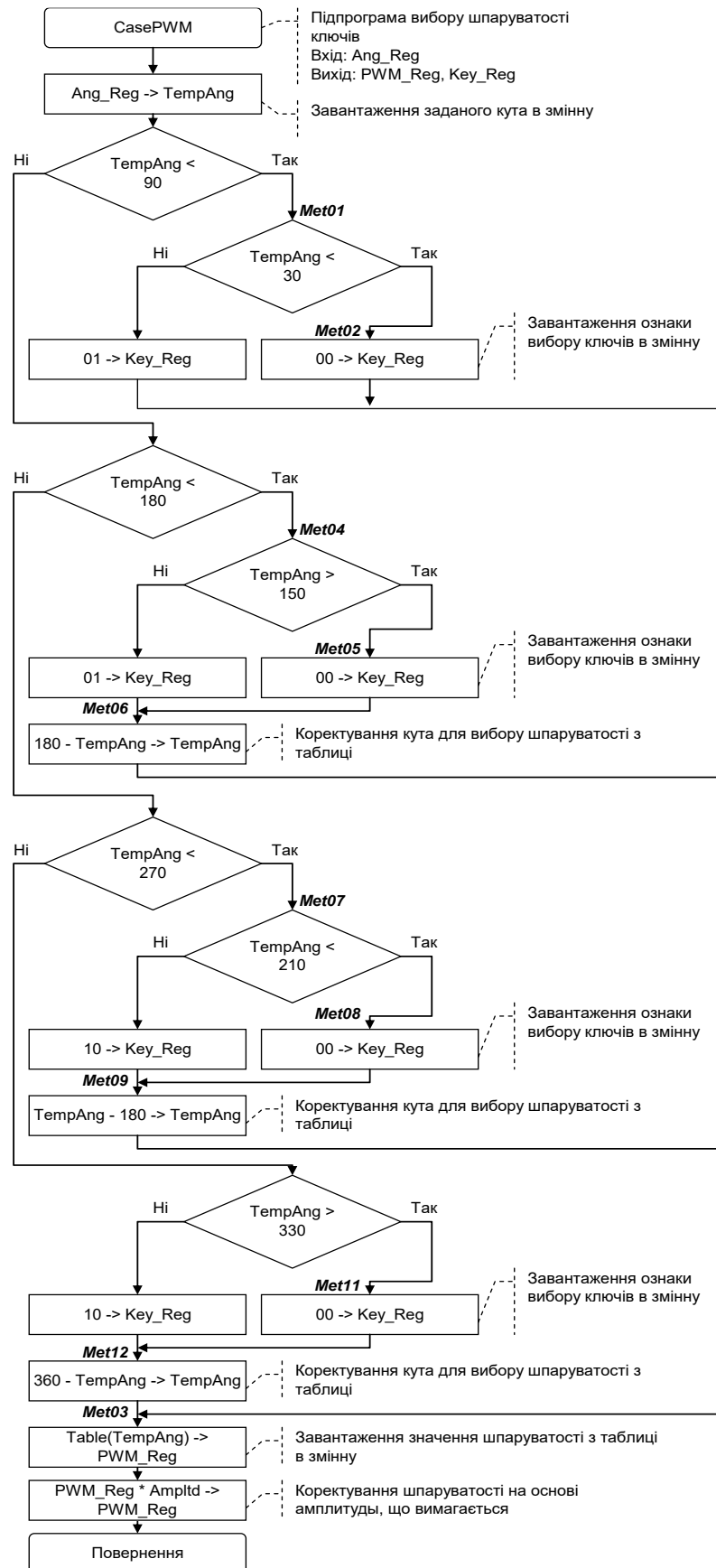


Рисунок 3.19 – Алгоритм підпрограми вибору шпаруватості

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ В УМОВАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

4.1 Дослідження системи стабілізації потужності і швидкості різання для підвищення ефективності процесу обробки торцевих поверхонь на токарно-гвинторізному верстаті

Модель (рис. 4.1), яка використовується для аналізу системи стабілізації потужності та швидкості різання, складається з семи підсистем-моделей: регулятора потужності різання, регулятора швидкості різання, електроприводу головного руху, кінематичного ланцюга, електроприводу подачі, процесу обробки, блоку масштабів та виводу даних на осцилограф.

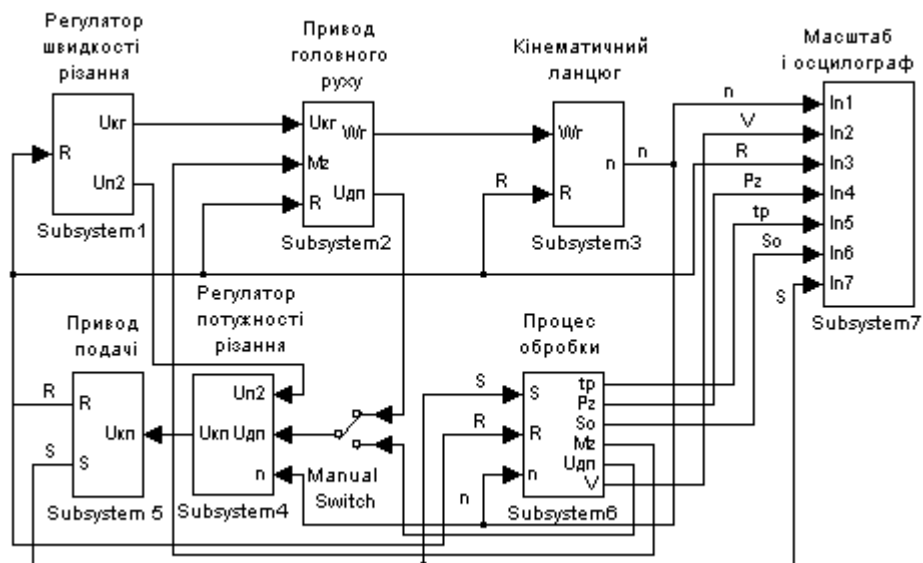


Рисунок. 4.1 – Модель системи стабілізації швидкості і потужності
різання

Модель регулятора швидкості різання (рис. 4.2, а) побудована відповідно до структурної схеми і включає в себе блок встановлення швидкості різання, датчик радіуса, блок поділу, а також підсилювачі П1 і П2, коефіцієнти

підсилення яких змінюються під час перемикання передач у залежності від радіуса обробки.

Структурна схема моделі регулятора потужності обробки (рис. 4.2, б) включає в себе блок встановлення потужності, інтегратор, а також фільтри зі сталою часу або здатністю до зміни в залежності від частоти обертання шпинделя, і блок множення.

Підсистема, яка симулює руховий ланцюг основного механізму з автоматичною коробкою передач (підсистема 3 на рис.4.1), має блоки, що аналогічні тим, що показані на рис.4.2, б, і відповідають за зміну передаткового відношення редуктора в залежності від радіуса обробки.

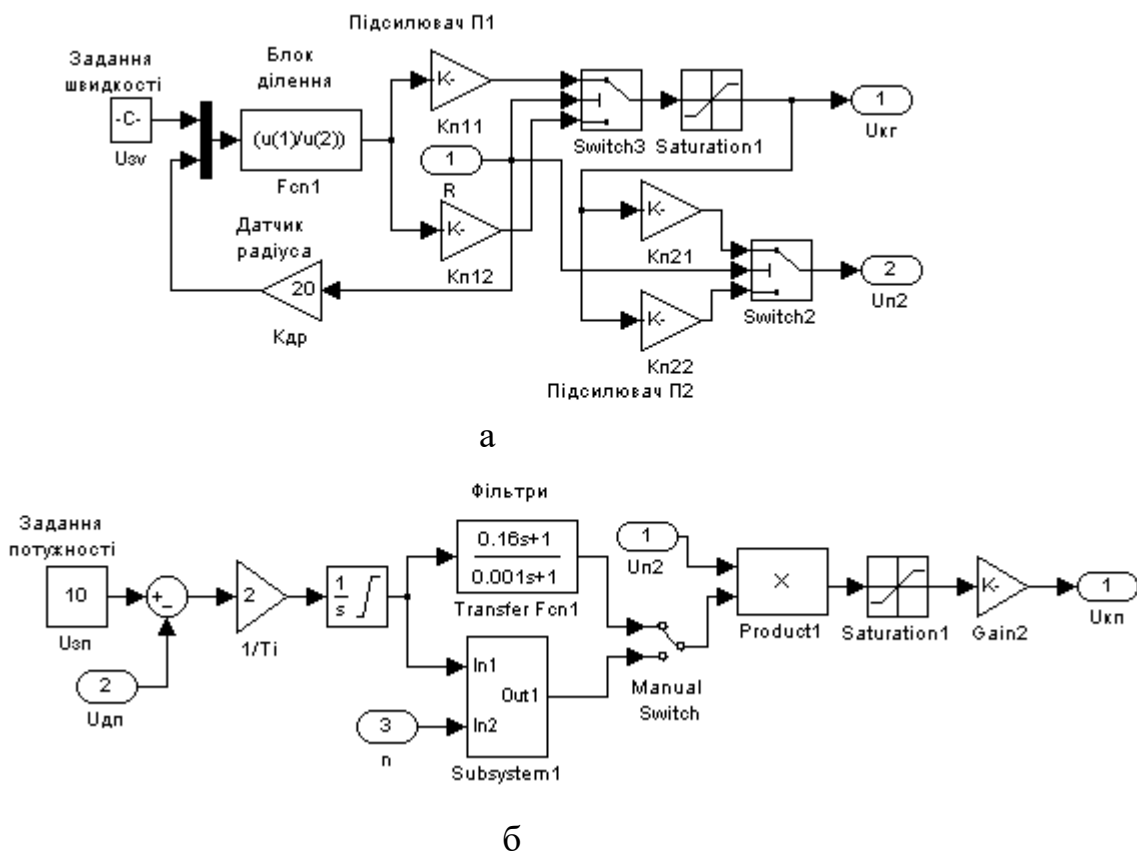


Рисунок 4.2 – Моделі регуляторів швидкості і потужності різання

Модель обробки торцевої поверхні заготовки на токарному верстаті включає в себе обчислення швидкості (блоки "Product", "Gain 2") і подачі на

оберт заготовки (блок "Fcn 3"). Зміна глибини різання (в міліметрах) контролюється через функцію радіусу обробки (в метрах) (блок "Fcn 4").

Потужність обробки визначається у розділі "Fcn 2". Динамічні характеристики процесу обробки, що залежать від часу та змінюються зі зміною частоти обертання заготовки, включаються у модель за допомогою блоку "Стала часу" (позначеного як "Subsystem 1" на рис. 4.3).

Час різання розраховується (у блоку "Fcn 1") шляхом поділу потужності різання на кутову швидкість заготовки. Датчик потужності різання, який може бути побудований на основі компактного динамометричного пристрою [22], моделюється за допомогою аперіодичного зв'язку (Transfer Fcn)..

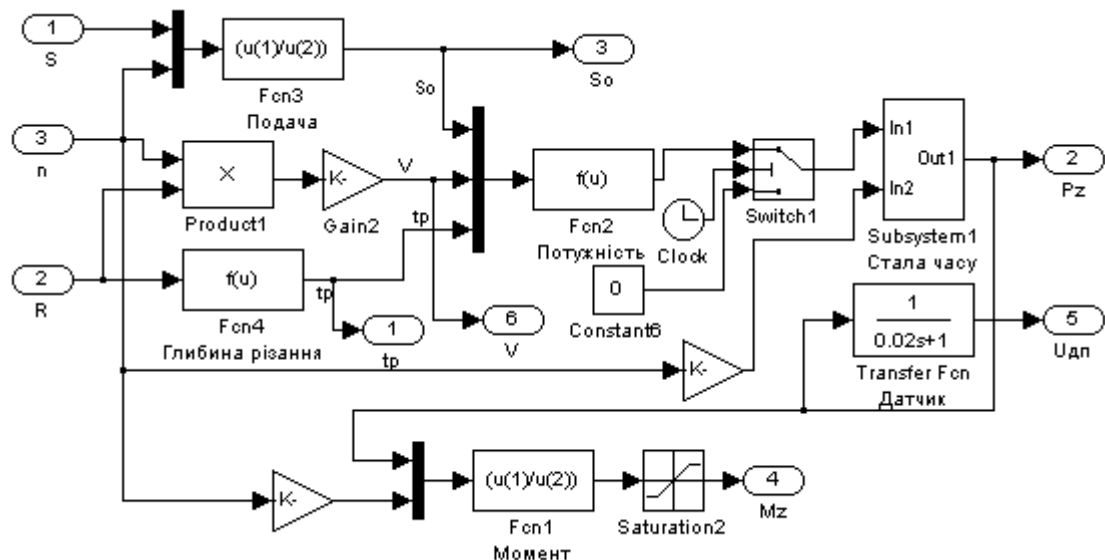


Рисунок 4.3. Модель процесу обробки торцевої поверхні на токарному верстаті

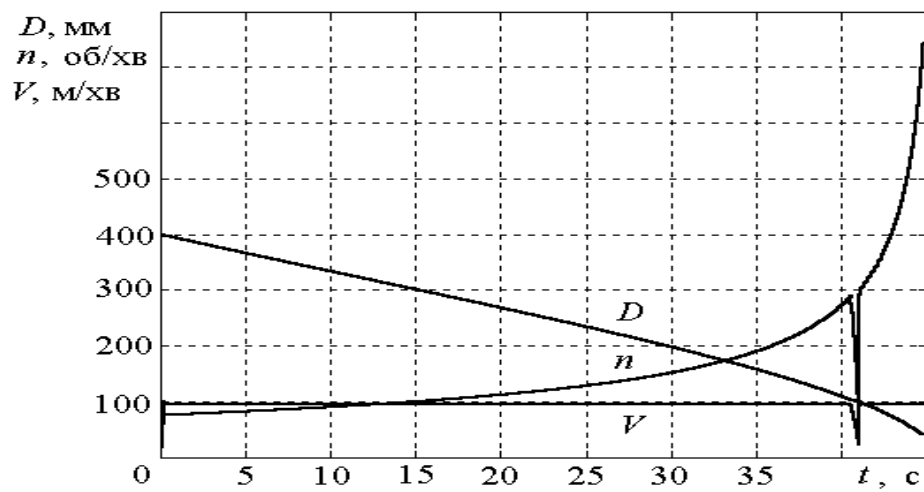
Модель електропривода головного двигуна (підсистема 2) використовує електропривід змінного струму з векторним управлінням ЕГАП-1, оснащений асинхронним двигуном типу 4A160M8У3 та транзисторним перетворювачем частоти. У цій моделі передбачено можливість контролю потужності різання за допомогою датчика статичної потужності на валу електропривода головного руху. Модель електропривода подачі (підсистема 5) використовує комплектний

електропривід ЕПБ2 з вентильним двигуном типу ДВУ 2М165М та транзисторним перетворювачем. У підсистемі, що моделює привід подачі (підсистема 5 на рис. 4.1), також проводиться розрахунок поточного значення радіуса обробки.

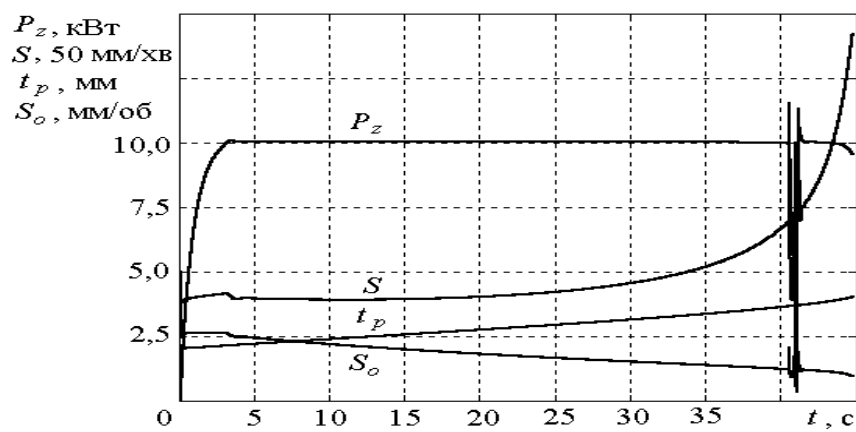
Для вирішення диференціальних рівнянь використовувався метод Рунге-Кутта 4-го порядку (ode45 у Simulink). Під час моделювання системи досліджено обробку торцевої поверхні заготовки з конструкційної сталі діаметром 400 мм різцем, що має твердосплавну пластину Т15К6 товщиною 6 мм. Глибина обробки вздовж поверхні заготовки змінювалася від 2 мм до 4 мм, при цьому відбувалася стабілізація значень швидкості та потужності різання.

Результати моделювання системи представлені у вигляді графіків, де показані залежності діаметра обробки D , швидкості різання V , та частоти обертання заготовки n від часу t обробки (рис. 4.4, а). Також наведено графіки, де показані залежності потужності різання P_z , швидкості подачі S , подачі на оберт заготовки S_o і глибини різання t_p від часу t обробки (рис. 4.4, б).

У проміжку часу від $t = 0$ до $t = 41$ секунд регулювання швидкості електропривода основного руху відбувається за допомогою зміни частоти живлення під час роботи на першому ступені коробки передач. Це забезпечує підтримку потрібної швидкості різання в заданому діапазоні діаметру обробки від 400 мм до 100 мм. Після цього коробка передач переключається на другий ступінь, де при роботі з діаметром обробки менше 40 мм забезпечується підтримка потрібної швидкості різання. На обох ступенях також забезпечується стабілізація потужності різання на заданому рівні.



а



б

Рисунок 4.4 - Графіки процесів в системі стабілізації швидкості і потужності різання

ВИСНОВОК

У даній кваліфікаційній роботі було висунуто пропозицію щодо вирішення завдання по модернізації системи управління верстатом з чисельно-програмованим управлінням (ЧПУ) типу токарно-гвинторізного верстату.

Основні умови та досягнення, отримані під час виконання бакалаврської роботи, можна узагальнити наступним чином:

1. Була проведена детальна аналіз будови та технічних параметрів токарно-гвинтівкового верстату з числовим керуванням модел.
2. Виявлено основні недоліки токарно-гвинторізного верстату з ЧПУ моделі H22-1M.
3. Була розроблена функціональна схема управління верстатом з ЧПУ для токарно-гвинтівкових операцій.
4. Заміна мікропроцесорного комплекту у системі управління токарно-гвинторізного верстату з ЧПУ на ATmega 64.
5. Вибір пристроїв для контролю розмірів деталей та автоматичної заміни інструменту.
6. Був проведений аналіз та створення електроприводу для керування супортом з використанням постійного струму.
7. Було виконано синтез цифрової системи управління токарно-гвинтовим верстатом з ЧПУ 16K20 та розроблено структуру прямого програмування регуляторів.
8. Були створені алгоритми та програми для операційної роботи системи управління верстатом з ЧПУ 16K20, що виконує токарно-гвинтівкові операції.
9. Систему стабілізації потужності і швидкості різання було досліджено з метою підвищення ефективності обробки торцевої поверхні на токарно-гвинторізному верстаті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шагуров О.О. Стан і тенденції розвитку машинобудування в Україні // Актуальні проблеми економіки. -2009. - №3.-С. 57-63.
2. Кузнецов Ю.Н. Станки с ЧПУ и станочные комплексы. Ч.2 – К.: ООО «ЗМОК» - ПП «Гнозис», 1999. – 343 с.
3. І.Б. Хома, В.Б. Горбань. Г.А. Лех – Стратегічні напрями розвитку підприємств машинобудування для агропромислового комплексу – Збірник науково – технічних праць. Науковий вісник, 2008, вип..18.1. 11 ст. 207-211.
4. Обґрунтування стратегічних пріоритетних напрямків інноваційної діяльності в Україні, що витікають з результатів Державної програми прогнозування науково – технологічного та інноваційного розвитку на 2004-2005 роки.
5. Автоматизированная подготовка программ для станков с ЧПУ. (Справочник) – К.: Техніка, 1986. – 191 с.
6. Кузнецов Ю.Н. Станки с ЧПУ: Учеб. пособие. К.: Выща школа, 1991 – 278 с.
7. Муляр Ю. І., Дерібо О. В. Програмування токарної обробки на верстатах з ЧПК. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 91 с.
8. Стискин Г.М., Гаевский В.Д. Токарные станки с оперативным программным управлением. – К. : Техника, 1989. – 176 с.
9. Доля В.М. Програмування, введення та відпрацювання управляючих програм для верстатів з ЧПУ та РТК: Навчальний посібник. Харків: НТУ „ХПІ”, 2003. 169 с.
10. Кузнецов Ю.И. Станки с ЧПУ: Учебное пособие. – К.: Вища школа, 1991. – 278 с.
11. Якимов О.В., Гусарев В.С., Якимов О.О., Линчевський П.А. Технологія автоматизованого машинобудування. – К.: ІСДО, 1994. – 400 с.

12. Инструментальная оснастка для станков с ЧПУ / Ю.И. Кузнецов, Р.Э. Сафраган, Н.А. Кармышкин; Под общ. ред. Р.Э. Сафрагана. – К.: Техніка, 1988. – 152 с.
13. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій: Підручник. - К.: Вища шк., 1995. - 519с.
14. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник Авт. Сорока К.О. – Харків, ХНАМГ, 2006 – 187 с.
15. Попович М.Г., Ковальчук. О.В. Теорія автоматичного керування. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
16. Справочник по обработке металлов резанием / Ф.Н. Абрамов, В.В. Коваленко, В.И. Любимов и др. – К.: Техніка, 1983. – 239 с.
17. Стыскин Г.М., Гаевский В.Д. Токарные станки с оперативным программным управлением. – К.: Техніка, 1989. – 176 с.
18. Оптимизация и управление процессом резание: Учеб. пособие/ О.С Кроль, Г.Л Хмелевский – К.:УМК ВО, 1991. – 140с.
19. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин: Підруч. для студ. / Є. С. Поліщук; Держ. ун-т «Львів. політехніка». – Л., 2018. – 359 с.
20. Васюра А. С. Елементи та пристрої систем управління і автоматики. Віниця.: ВДТУ, 1999. — 157 с.
21. Основи теорії автоматичного регулювання електромеханотронних систем : навч. посібник / Я. В. Щербак, К. Я. Івакіна ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 222 с.
22. Технологія верстатних робіт: навч.пос. для проф.-техн. навч. закладів / М. А. Вайнтрауб, В. Й. Засельський, Д. В. Пополов, за наук. ред. М. А. Вайнтрауба. – К. : 2015. – 199с.