

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра електронних  
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра  
**Комп'ютеризоване керування приводом**

студента гр. ЕІс3-61к

А.О.Неледва

Науковий керівник,

ст. викладач, к.т.н.

В.І.Васильєв

Нормоконтроль,

ст. викладач, к.т.н.

О.Д. Динник

## РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є системи контролю переміщення робочих органів верстатів методами зчитування і послідовного рахунку.

Мета роботи полягає у порівнянні технічних характеристик і ефективності існуючих систем аналогово-цифрового перетворення для систем з ЧПК і резервів їх можливостей.

При виконанні роботи використовувалися методи математичного аналізу, комп'ютерного моделювання цифрових схем з використанням спеціалізованих пакетів програмного забезпечення ПК для моделювання цифрових систем. Також використалися методи програмного керування аналоговими приладами через комп'ютерні інтерфейси, пристрої сполучення й цифрово-аналогового перетворення для них.

У результаті проведених досліджень встановлено, що аналого-цифрові системи контролю параметрів руху універсальні, надійні, гнучкі і зручні в експлуатації.

Робота викладена на 39 сторінках, у тому числі включає 14 рисунків, список цитованої літератури із 10 джерел.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** АНАЛОГО-ЦИФРОВЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ (АЦП), АЦП ПЕРЕМІЩЕННЯ-КОД, КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ СИСТЕМИ, ІНТЕРФЕЙСИ, КЕРУВАННЯ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ (САК), СИСТЕМИ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (ЧПК).

**ЗМІСТ**

	<b>с.</b>
<b>ВСТУП</b>	<b>4</b>
<b>РОЗДІЛ 1 Класифікація та огляд існуючих прототипів</b>	<b>5</b>
1.1 Особливості та класифікація пристрою приводів	5
1.2 Приводи головного руху	8
1.3 Аналого-цифровий перетворювач переміщення-код	13
1.4 Фотоелектричний перетворювач переміщення-код	15
<b>РОЗДІЛ 2 Принципи перетворення переміщення код</b>	<b>20</b>
2.1 Перетворення переміщення в цифровий код	20
2.2 Стежучий привод подач	26
<b>РОЗДІЛ 3 Перспективні способи контролю переміщення</b>	<b>31</b>
3.1 Призначення та принцип роботи виробів на основі системи контролю	31
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>38</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	<b>39</b>

## Вступ

Якщо глянути на історичний розвиток електроніки то насамперед бачимо, що успіхи, досягнуті електронікою, історично значною мірою пов'язані з розвитком обчислювальної техніки. Обидві ці галузі техніки розвивалися у тісному взаємозв'язку. Перші електронні комп'ютери з'явилися в першій половині 20 століття. На відміну від попередніх, вони могли виконувати задану послідовність операцій за програмою, що була задана раніше, або послідовно розв'язувати задачі різних типів. Перші комп'ютери були здатні зберігати інформацію в спеціальній пам'яті. Розробка новітніх електронних систем та пристроїв на сьогоднішній день є одним із пріоритетних завдань, які вирішує кожна розвинена держава.

Прогрес електроніки сприяв виникненню та розвитку кібернетичної – науки, що займається в машинах і живих організмах питаннями управління та зв'язку. Наука забезпечила створення швидкодіючих обчислювальних машин, без широкого застосування яких неможливе використання космосу контролю штучних супутників землі, ракет та атомної, метрологічної, вимірювальної техніці та медицині. Електронні обчислювальні системи розвиваються, набувають нових характеристик, їх виробництво стає більш екологічним та дешевим, з'являються нові галузі в електроніці.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є дослідити сучасні тенденції розвитку обчислювальних приладів в машинобудуванні а також оволодіння сучасними технологіями, навичками майстерності у галузі майбутньої професії, формування на базі одержаних у навчальному закладі знань професійних умінь та навичок, а також отримання практичних навичок .

## 1 Класифікація та огляд існуючих прототипів

### 1.1 Особливості та класифікація пристрою приводів

Приводи верстатів з ЧПУ класифікуються за призначенням і принципом роботи (основні ознаки), за типами двигунів, видами схем управління, місця установки і додатковими ознаками. За призначенням виділяють приводи головного руху, подачі і допоміжних механізмів. Одне з рухів, здійснюваних в процесі різання і що вимагає основні енергетичні витрати, називають головним. Привід, що реалізує цей рух, називається приводом головного руху. Рухи, що здійснюються в процесі різання, службовці для взаємного переміщення інструменту і заготовки і вимагають менших (порівняно з головним рухом) витрат енергії, називаються рухами подачі. Приводи, що реалізують ці рухи, називаються приводами подачі. Так, в свердлильних верстатах головним рухом є обертання свердла, а рухом подачі-переміщення пінолі. Приводи, що реалізують руху, що мають допоміжний характер (наприклад, в затискних пристосуваннях, завантажувальних пристроях, насосах, магнітних сепараторах і т. д.), називаються приводами допоміжних механізмів [1].

За принципом роботи приводи бувають електричні, електромеханічні, гідравлічні та електрогідравлічні. Електричним приводом називається пристрій, перетворює електричну енергію в механічну і керує параметрами сформованого при цьому руху. Основним елементом електроприводу є електричний двигун, в якому і відбувається перетворення енергії. Управління параметрами руху здійснюють за допомогою перетворювача основного керуючого параметра, датчика зворотного зв'язку, що задає пристрої, пристрої захисту і т. д. На даний момент можна виділити кілька типів електроприводів для верстатного обладнання: частотно-регульований електропривод з асинхронним двигуном, вентильний сервопривід (синхронний двигун на постійних магнітах зі

спеціалізованим частотним перетворювачем) і кроковий електропривод з електричним дробленням кроку.

Перетворювачі є ланками системи електроприводу, в яких відбувається зміна параметрів струму або напруги, т.е. перетворювач трансформує електричну енергію з одними параметрами в електричну енергію з іншими параметрами. Так, у перетворювача змінного струму в постійний на вході змінний струм, А на виході постійний. Крокові двигуни в приводах верстатів з ЧПУ використовуються найчастіше в комплекті з гідропідсилювачем моменту. Гідність крокового електроприводу є відсутність зворотного зв'язку по шляхи, що спрощує систему управління в цілому, але при цьому знижує надійність приводу. У практиці створення та експлуатації верстатів з ЧПУ знаходять застосування також силові крокові двигуни, які не потребують проміжного гідропідсилювача, всілякі лінійні електроприводи, в тому числі крокові. Поряд з електродвигуном і перетворювачем до складу приводу входять і механічні передачі. Механічна передача-частина системи приводу, укладена між вихідною ланкою джерела руху (наприклад, вихідним валом електродвигуна або штоком гідроциліндра) і ланкою споживання механічної енергії і призначена для кінематичного перетворення руху на цьому шляху. Під кінематичним перетворенням розуміють зміну напрямку зусилля і швидкості при лінійному переміщенні або зміна площині повороту при обертальному русі. Основні функції механічних передач: розподіл енергії (від одного джерела руху) між різними ланками її споживання; поєднання енергії, що надходить від різних джерел руху, і підведення її до однієї ланки споживання; зниження або підвищення швидкості при одночасному підвищенні або зниженні зусиль або обертаючих моментів; обмеження швидкості або крутного моменту; регулювання швидкості; перетворення виду руху (обертального в поступальне); зміна напрямку осі обертання і т. д. У перспективі механічні передачі в приводі верстатів будуть грати менш значну роль, так як їх функції можна буде реалізувати за допомогою електричних або гідроелектричних пристрій. Однак в даний час, незважаючи на перехід до електричним способам управління рухами,

механічні передачі знаходять застосування в верстатах з ЧПУ, що пояснюється їх простотою і надійністю.

Для передачі обертального руху використовують ремінні, зубчасті і черв'ячні передачі, а для перетворення обертального руху в поступальне-зубчасто-рейкові і гвинтові. У більшості приводів верстатів з ЧПУ для перетворення обертального руху в поступальне застосовують передачу "гвинт-гайка кочення» (рисунок. 1.1). У корпусі передачі, крім гайки, поміщені кульки, які переміщуються між гайкою і гвинтом по замкнутому контуру і дозволяють затягнути гайку так, щоб виключити зазор в передачі. Затягування при відсутності кульок створило б силу тертя, що перешкоджає повороту гвинта.

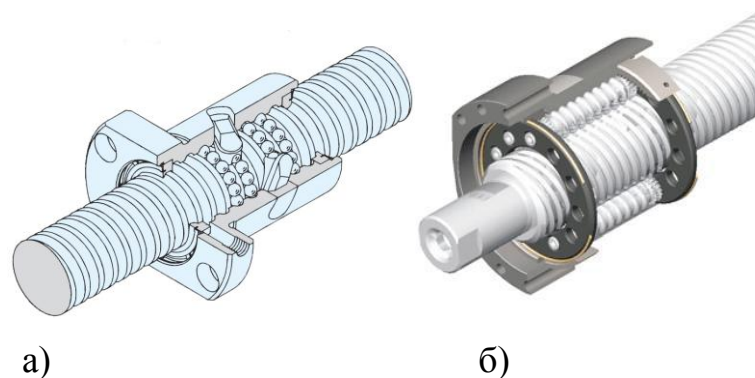


Рисунок 1.1 – Передача гвинт гайка кочення: а-кулькова; б-роликова

У кульковій передачі кульки циркулюють з поверненням, втрати в цій передачі невеликі, однак для забезпечення рівномірного натягу по довжині і виключення зазорів вона повинна бути виконана з високою точністю. Також в верстатах з ЧПУ знаходять застосування муфти, електромагнітні фрикційні муфти і гальма, зубчасті передачі і редуктори (рисунок.1.2) [5].

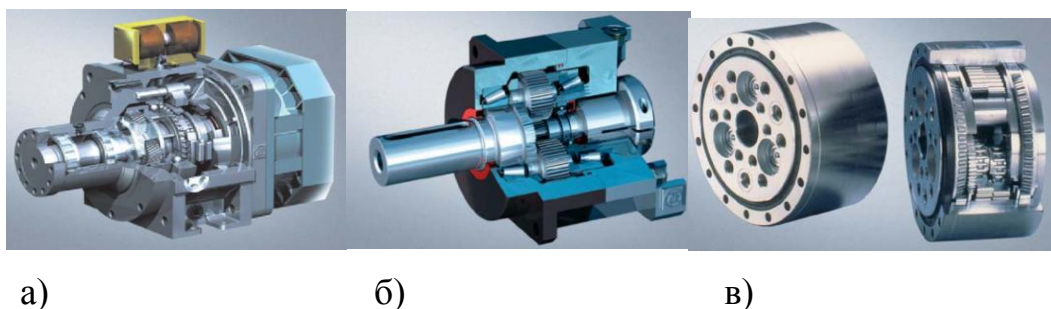


Рисунок 1.2 – Редуктори, використовувані в верстатах з ЧПУ: а, б-планетарні;  
в –циклоїдальний

## 1.2 Приводи головного руху

Приводи головного руху і подачі в верстатах з ЧПУ призначені для забезпечення процесу знімання металу з максимальною продуктивністю при заданих точності і якості обробки. У приводах головного руху іноді виникає необхідність точно і швидко зупинити двигун, наприклад, точно зупинити шпиндель токарного верстата для автоматичного вивантаження виробу і завантаження нової заготовки або точно зупинити різець алмазно-розточувального верстата навпроти шпонкового паза розточується отвори для виведення різця з отвору. У цьому випадку, крім збільшення діапазону регулювання, використовують датчики нульового положення, або привід виконується стежить. Для збільшення надійності і довговічності механізмів приводу слід вирішувати завдання забезпечення ненаголошеності його пуску і гальмування. У деяких верстатах, наприклад, токарно-гвинторізних, необхідно забезпечити можливість синхронного руху робітників органів головного руху і подачі. Для цього на головному приводі встановлюється круговий імпульсний датчик [2].

Регулювання частоти обертання приводу головного руху може бути ступінчастим, безступінчатим і комбінованим. Ступінчасте регулювання стало історично першим способом зміни частоти обертання шпинделя верстата і було обумовлено наступними факторами: спочатку верстата з ЧПУ проектувалися на основі аналогічного універсального обладнання, що має регулювання частоти обертання з що дозволяє реалізувати ідею безступінчатого регулювання частоти обертання потужного електродвигуна при збереженні сталості крутного моменту в широкому діапазоні частота.



Ступінчасте регулювання має наступні переваги – двигун головного руху обертається з постійною оптимальною швидкістю, забезпечуючи максимальний робочий момент; застосування асинхронного електродвигуна дозволяє відмовитися від перетворювача, що спрощує електричну схему. Недостатки такого приводу: потрібна наявність складних автоматичних механічних пристроїв зміни частоти обертання, гальмування.

Ступінчасте регулювання у великому діапазоні здійснюється за допомогою:

- багатовалових коробок (число ступенів до 24; діапазон регулювання і потужність не обмежуються);
- ступінчасто-шківних передач з одинарним або подвійним перебором (число ступенів до 12; діапазон регулювання до 30);
- багатошвидкісних асинхронних двигунів в поєднанні з многоваловими коробками передач.

Автоматичне перемикання швидкостей в передачах здійснюється за допомогою електромагнітних фрикційних муфт. Такі системи регулювання мають такі суттєві недоліки: неможливість в процесі обробки підтримувати оптимальні режими різання, висока кінематична складність коробки швидкостей, зміна частоти обертання вимагає зупинки шпинделя, низька надійність і недовговічність електромагнітних фрикційна муфта. Поява відповідної електронної бази призвела до створення приводу з комбінованим способом регулювання: частота обертання валу електродвигуна змінюється в обмеженому діапазоні за допомогою електронних перетворювачів. Розширення діапазону регулювання до необхідного при обробці здійснюється за допомогою простих (зазвичай триступеневих) коробка швидкостей. Такий привід дозволяє оптимізувати режими різання при обробці, підтримувати постійну швидкість різання, однак при переході з одного діапазону частот обертання до іншого вимагає зупинки процесу обробки, а в ряді верстатів такий перехід здійснюється вручну, наприклад 16A20Ф3.

Поява нових синхронних і асинхронних двигунів, забезпечують сталість крутного моменту в широкому діапазоні частот обертання ( синхронні змінного

струму-робоча частота обертання до 40 000 об / хв, асинхронні-до 12 000 об / хв), дозволило повністю відмовитися від коробки швидкостей, а в ряді випадків і від всіх механічних передач в ланцюзі головного руху, і результатом стала розробка мотор-шпинделів (безпосередньо шпиндель верстата є одночасно і ротором електродвигун). З метою зниження впливу тепловиділення двигуна на шпиндель верстата використовується рідинне охолодження електродвигун.

В якості таких двигунів можуть бути використані асинхронні електродвигуни 1ph2 фірми "Сіменс" (рисунк.1.3) [5]. Вбудовані двигуни 1ph2 використовуються на верстатах з підвищеними вимогами до якості обробки, точності та плавності ход (токарні верстати, шліфувальні верстати).



Рис. 1.3. Фотографія асинхронного вбудованого електродвигуна 1ph2 Siemens

Переваги від використання:

- компактна конструкція, завдяки видаленню механічних компонентів: балансира двигуна, ремінної передачі, редукторної коробки і шпиндельного датчика;
- висока питома потужність, завдяки рідинному охолодження;
- найвища точність обробки внаслідок спокійного, точного обертання шпинделя на малих обертах, так як немає впливу поперечних зусиль приводу;
- прискорений розгін і гальмування;
- повний номінальний момент обертання доступний у всьому діапазоні частот обертання;
- підвищена жорсткість шпиндельного приводу, завдяки монтажу компонентів двигуна між головними підшипниками шпиндель;

- низький рівень шуму, завдяки видаленню багатьох раніше використовуваних елементів верстата;

- передача моменту обертання на шпиндель відбувається без зазору і з силовим замиканням через циліндричну ступінчасту пресову посадку[10].

Ротор монтується на шпиндель термічної стикуванням. Пресове з'єднання може бути роз'єднано гідравлічним методом без порушення стикуються поверхонь. Знаходять застосування і синхронні електродвигуни (рисунок. 1.4).



Рисунок. 1.4. Фотографія вбудованого синхронного електродвигуна моделі 1FE1 Siemens

Переваги використання вбудованого синхронного двигуна аналогічні перевагам застосування асинхронного, однак він має ряд додаткових позитивних сторін:

- максимальна частота обертання до 40 000 об / хв;
- ротор залишається холодним внаслідок збудження постійними магнітами, як наслідок-значне зменшення втрат потужності в роторі і менший нагрів підшипників;
- потрібно менший тепловідвід притієї ж потужності по порівнянні з 1PH2, тобто збільшення ККД;
- необхідний тільки один датчик для визначення швидкості і положення шпинделя;

- збільшення продуктивності верстата: мотор-шпинделі з збудженням постійними магнітами збільшують питому потужність і рентабельність верстатів з ЧПУ [10].

Синхронні вбудовувані двигуни з рідинним охолодженням 1fe1 використовуються там, де пред'являються підвищені вимоги до якості обробки, точності, плавності ходу, а також потрібно найменший час розгону.

Основний недолік синхронних двигунів-неможливість експлуатації без спеціального частотно-імпульсного перетворювач.

Структурна схема управління головним приводом з синхронним електродвигуном (рис. 1.5) передбачає безтрансформаторне живлення і рекуперування енергії при гальмуванні [3].

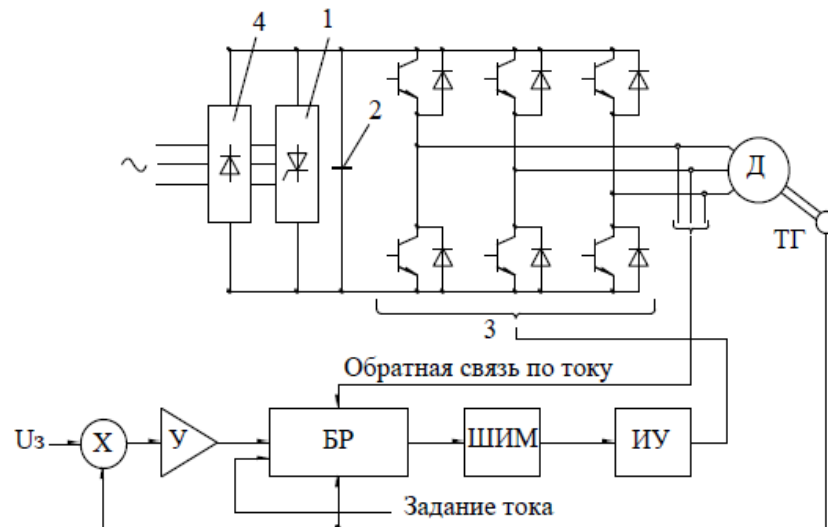


Рис. 1.5. Структурна схема управління головним приводом з двигуном змінного струму: Д-синхронний двигун з збудженням від постійних магнітів; ТГ-тахогенератор; ШИМ-блок широкоімпульсної модуляції; Іу-імпульсний Підсилювач;  $U_s$ -завдання швидкості; БР-блок регулятора; У-Підсилювач; 1-ланцюг рекуперативного гальмування; 2-конденсатор; 3 — Високовольтні транзистори з шунтуючими діодами; 4-випрямляч.

Даний привід забезпечує постійну потужність на валу двигуна в досить широкому діапазоні частот обертання. Двигуни, завдяки їх високій частоті обертання, дозволяють використовувати знижувальну передачу з великим

ставленню. Транзисторний блок управління в поєднанні з вентильним блоком рекуперації працює так, що при гальмуванні енергія повертається в живильну мережу змінного струму. Це дозволяє реалізувати високу частоту чергування прискорення і уповільнення і забезпечити високу якість процесу гальмування. Електронний блок регулятора струму дозволяє зменшити вібрації і шум у всьому діапазоні частот обертання, а введення в схему управління головним приводом датчика кута повороту забезпечує орієнтацію шпинделя і зупинку його у фіксованому положенні, що необхідно в верстатах з автоматичною зміною інструменту.

### **1.3 Аналого-цифровий перетворювач переміщення-код**

У кваліфікаційній роботі розглядається область автоматики та обчислювальної техніки, що служить для перетворення переміщення в код.

Відомі аналого-цифрові перетворювачі - код містять оптико-волоконний кодуючий пристрій, джерело і приймачі світла, входи яких з'єднані вихідними кінцями оптико-волоконного пристрою. Однак ці перетворювачі внаслідок відсутності додаткових світловодів, призначених для усунення неоднозначності зчитування, мають низьку точність перетворення.

З метою підвищення точності роботи у перетворювачі приймачі світла і світловоди оптико-волоконного пристрою об'єднані в три групи. Вхідні кінці світловодів першої групи розміщені послідовниками на шляху сканування променя, джерела світла, а світловоди другої і третьої груп - на шляху сканування променя, відбитого від вхідних кінців світловодів першої групи, і в одній площині з джерелом світла.

На рисунку (1.6) наведена схема пристрою в плані зі схемою включення приймачів світла старшого розряду. Вона містить оптико-волоконний кодуючий пристрій 1, що складається з першої 2, другої 3 і третьої 4 груп світловодів, джерело світла 5, приймачі світла 6-8, випромінювачі 9 і навантаження 10.

При подачі аналогового сигналу на вхід аналого-цифрового перетворювача промінь джерела світла 5 відхиляється в положення, відповідне величині поданого сигналу. Падаючий промінь світла на вхідні кінці світловодів першої групи частково проходить через них і по світловодах направляється до приймача світла 6 першої групи. Відбитий промінь світла (70%), потрапляючи на світловоди 3 і 4, розподіляється між ними приблизно порівну.

Далі по гнучким світловодам потік світла передається до відповідних світлоприймачів 7 і 8. Подачею світлового імпульсу на приймач 6 проводиться запуск схеми випромінювача, який супроводжується різким зростанням провідності приймача 7 і, отже, зростанням струму. Так як випромінювач 9, навантаження 10 і приймач 6 з'єднані послідовно, то на них відбувається стрибкоподібний перерозподіл напруг. Частка напруги  $V_1$ , на випромінювачі 9 виявляється достатньою для збудження його світіння.

Між світлоприймачем 6 і випромінювачем здійснюється позитивний зворотний зв'язок, в результаті чого комірка володіє S-подібною вольтамперною характеристикою. При знятті запускаючого світлового імпульсу або зменшенні його яскравості після включення випромінювача, обумовленої флуктуаціями променя, такий стан схеми підтримується світінням випромінювача до напруги  $V_2$  (випромінювач знаходиться в стані «1»). Зі зміною аналогової величини переміщується світловий промінь. При цьому відбувається запуск схеми інших комірок, який супроводжується короточасним провалом напруги живлення, обумовленим перехідним процесом. Тоді напруга, при якому ще підтримується світіння випромінювача, стає менше  $V_2$ . Задовольняється умова гасіння випромінювача, що знаходиться в стані «1», і останній переходить в стан з малою провідністю — «0».

Таким чином, на виході аналого-цифрового перетворювача аналогова величина представляється комбінацією станів («0» або «1») випромінювачів, що утворюють три «вагових» розряду, що дає можливість отримати 999 умовних одиниць, відповідних її максимальному значенню. Закодоване значення аналогової величини може бути зчитано по електричному і оптичному каналах.

Аналого-цифровий перетворювач переміщення-код, що містить оптико-волоконне кодуєчий пристрій, джерело і приймачі світла, вхід яких з'єднаний з вихідними кінцями оптико-волоконного пристрою, що відрізняється тим, що з метою підвищення точності роботи перетворювача, в ньому приймачі світла і світловоди оптико-волоконного кодуєчого пристрою об'єднані в три групи, вхідні кінці світловодів першої групи, розміщені послідовно на шляху сканування променя джерела світла, а світловоди другої і третьої груп — на шляху сканування променя, відбитого від вхідних кінців світловодів першої групи, і в одній площині з джерелом світла [4].

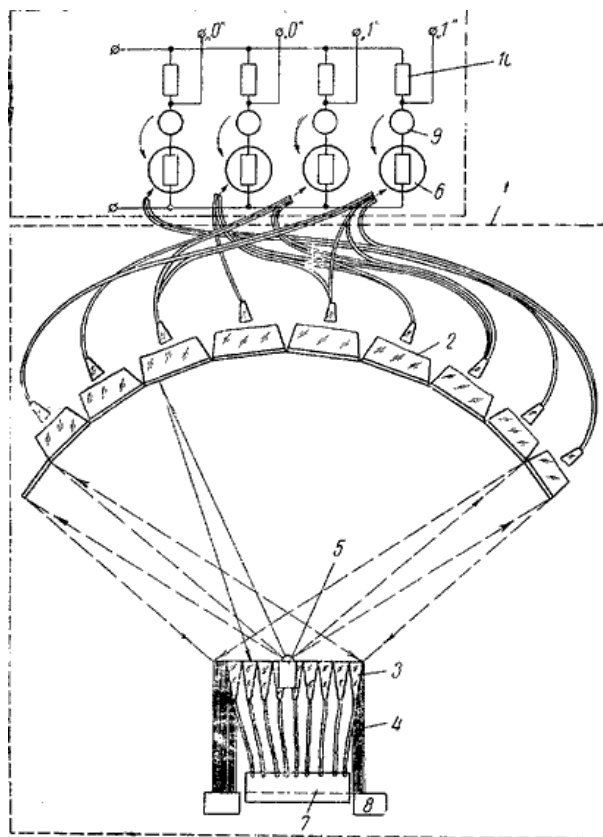


Рисунок 1.6 – Аналого-цифровий перетворювач переміщення-код

#### 1.4 Фотоелектричний перетворювач переміщення-код

Відомі перетворювачі переміщення код, що містять кодуєчий елемент в системі залишкових класів, що зчитують елементи, розташовані за методом подвійної щітки, підсилювачі-формуєвачі, вихід зчитуючого елементу доріжки молодшого розряду парної підстави з'єднаний через відповідні підсилювач-

формував з першим входом першого суматора по модулю 2 і з керуючими входами перших і других вентилів, виходи яких попарно об'єднані, а входи з'єднані через відповідні підсилювачі-формувачі з виходами зчитувальних елементів парної підстави, відстаючий зчитуючий елемент доріжки молодшого розряду непарної основи з'єднаний з другим входом першого суматора по модулю 2 і з першим входом другого суматора по модулю 2, до другого входу якого підключений через відповідний підсилювач-формував випереджаючий зчитуючий елемент доріжки молодшого розряду непарної підстави, вихід першого суматора по модулю 2 з'єднаний через перший ключ з керуючими входами третіх і четвертих вентилів, до виходів зчитуючих елементів які попарно об'єднані, а входи підключені через відповідні підсилювачі-формувачі до виходів зчитувальних елементів непарної основи, вихід другого суматора по модулю 2 з'єднаний зі входом другого ключа і з керуючими входами першого і другого ключів. Однак відомі пристрої мають низьку роздільну здатність.

З метою підвищення точності роботи і роздільної здатності перетворювача в ньому встановлені два інвертора і три додаткових ключа, вхід першого доповнюючого ключа з'єднаний через відповідний підсилювач-формував з виходом зчитуючого елемента молодшого розряду парної підстави, а вихід — з входом другого додаткового ключа і першого інвертора, вихід якого підключений до виходів другого і третього додаткових ключів і другого інвертора, вхід якого з'єднаний з виходом другого ключа, керуючі входи першого і третього додаткових ключів підключені до виходу другого суматора по модулю 2, а керуючий вхід другого додаткового ключа з'єднаний з другим входом першого суматора по модулю 2, вхід третього додаткового ключа з'єднаний з виходом першого ключа.

У дипломній роботі розглядається схема на рисунку (1.2), в якому приведена блок схема перетворювача, що містить кодууючий елемент 1 в системі залишкових класів, що зчитують елементи 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, розташовані за методом «подвійної щітки», виходи яких підключені до входів відповідних підсилювачів-формуваців 9.



Зчитуючий елемент доріжки молодшого розряду парного підстави 2 через підсилювач 9 з'єднаний зі входом першого суматора 10 по модулю 2 і з керуючими входами вентилів 11 і 12, входи яких з'єднані через підсилювач 9 відповідно зі зчитувальними елементами 4 і 3 розрядних доріжок парного підстави, а виходи попарно з'єднані і підключені до виходу. Зчитуючий елемент доріжки молодшого розряду непарної основи з відстаючого ряду з'єднаний через підсилювач 9 зі входом суматора 10 і входом другого суматора 13 по модулю 2. Ще до одного входу другого суматора 13 через підсилювач 9 підключений зчитуючий елемент 6 з випереджаючого ряду. Вихід першого суматора 10 через ключ 14 з'єднаний з керуючими входами вентилів 15 і 16, приєднаних до входу через підсилювач 9 відповідно зі зчитувальними елементами 8 і 7 своєї основи, а по виходу вентилі 15 і 16 об'єднані попарно і виведені на вихід всього пристрою.

Крім того, зчитувальний елемент 2 через підсилювач 9 з'єднаний з ключем 17 і далі с інвертором 18, зашунтованим керуючим ключем 19, утворюючи ланцюг формування коду молодшого розряду непарної підстави.

Вихід інвертора 18 виведений на вихід всього пристрою.

Вихід суматора 13 через ключ 20 і інвертор 21 з'єднаний з виходом першого інвертора 18 і з ключем 22, інший кінець якого з'єднаний з керуючими входами вентилів 15 і 16. Крім того, вихід суматора 13 з'єднаний з керуючими входами ключів 14, 17, 20, 22, а ланцюг керуючого ключа 19, шунтируючого інвертор 18, з'єднана через підсилювач 9 зі зчитувальним елементом 5.

Пристрій працює наступним чином. Якщо код зчитуючого елемента доріжки молодшого розряду парного підстави «0», то відкриті вентилі 12, якщо «1», то відкриті вентилі 11. Якщо коди зі зчитувальних елементів молодшого розряду непарної основи 5 і 6 збігаються, то вихід суматора 13 дорівнює нулю.

Цей сигнал відкриває ключі 17 і 22 і закриває ключі 14 і 20. Через ключ 17 проходить сигнал зі зчитувального елемента 2 для формування коду молодшого розряду непарної основи. Якщо код зі зчитуючого елемента 5 «0», то відкривається ключ 19, шунтуючий інвертор 18. У цьому випадку код молодшого розряду непарної основи збігається з кодами молодшого розряду парної основи.

Якщо код зі зчитуючого елемента 5 «1», то ключ 19 закритий і сигнал зі зчитуючого елемента інвертується в інверторі 18. У цьому випадку код молодшого розряду непарної основи протилежний коду молодшого розряду парної підстави. Утворений код молодшого розряду надходить через ключ 22, керуючі входи вентилів 15 і 16. Якщо коди зі зчитувальних елементів 5 і 6 не збігаються, то вихід суматора 13 дорівнює одиниці. Цей сигнал відкриває ключі 14 і 20 і закриває ключі 17 і 22.

Код молодшого розряду непарного основи в цьому випадку «0» і утворюється шляхом інвертування сигналу на виході суматора 13, що проходить через ключ 20 на інвертор 21. На керуючі входи вентилів 15 і 16 проходить через ключ 14 сигнал з суматора 10. Якщо код зі зчитуючого елемента 5 не збігається з кодом молодшого розряду парної підстави, то на виході суматора 10 сигнал: відповідає коду «1».

Якщо сигнал, що надходить на керуючі входи вентилів 15 і 16, відповідають коду вентилів «1», то відкриті вентиля 15, а якщо коду «0», то відкриті вентиля 16.

Фотоелектричний перетворювач переміщення-код, що містить кодуєчий елемент в системі залишкових класів, що зчитують елементи, розташовані за методом подвійної щітки підсилювачі-формувачі, вихід зчитувального елемента доріжки молодшого розряду парної підстави з'єднаний через відповідний підсилювач-формувач з першим входом першого суматора по модулю 2 і з керуючими входами перших і других вентилів, виходи яких попарно об'єднані, а інші входи з'єднані через відповідні підсилювачі-формувачі з виходами зчитувальних елементів парної підстави, відстаючий зчитуючий елемент доріжки молодшого розряду непарної підстави з'єднаний з другим входом першого суматора за модулем 2 і з першим входом другого суматора по модулю 2, до другого входу який підключений через відповідний підсилювач-формувач випереджаючий зчитуючий елемент доріжки молодшого розряду непарного підстави, вихід першого суматора по модулю 2 з'єднаний через перший ключ керуючими входами третіх і четвертих вентилів, виходи яких попарно об'єднані, а входи підключені через відповідні підсилювачі-формувачі до входів зчитувальних

елементів непарної підстави, вихід другого суматора по модулю 2 з'єднаний зі входом другого ключа і з керуючими входами першого і другого ключів. Відрізняється тим, що, з метою підвищення точності роботи перетворювача, в ньому встановлені два інвертори і три додаткових ключа, вхід першого додаткового ключа з'єднаний через відповідний підсилювач-формувавч з виходом зчитуючого елемента молодшого розряду парного підстави, а вихід зі входами другого додаткового ключа і першого інвертора, вихід якого підключений до виходів другого і третього додаткових ключів і другого інвертора, вхід якого з'єднаний з виходом другого ключа, керуючі входи першого і третього додаткових ключів підключені до виходу другого суматора по модулю 2, керуючий вхід другого додаткового ключа з'єднаний з другим входом першого суматора по модулю 2, а вхід третього додаткового ключа з'єднаний з виходом першого ключа [4].

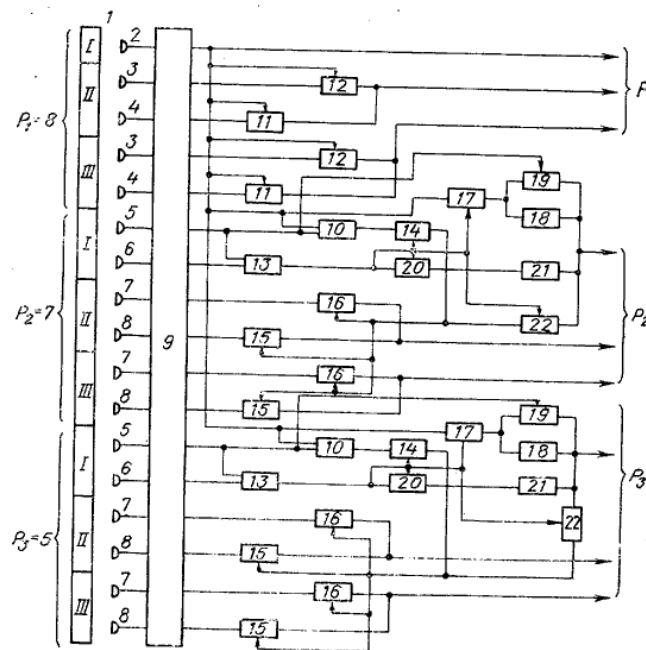


Рисунок 1.7 – Фотоелектричний перетворювач переміщення-код

## 2 Принципи перетворення переміщення код

### 2.1 Перетворення переміщення в цифровий код

У кваліфікаційній роботі розглянемо питання дискретизації інформаційних сигналів, інформаційні характеристики і принципи побудови аналогових і, цифрових пристроїв відбору, перетворення, передачі, реєстрації та відображення інформації. При побудові перетворювачів переміщень в цифровий код використовуються тільки метод зчитування і метод послідовного рахунки. Слід зазначити, що при побудові таких АЦП використовують різні фізичні явища, чим обумовлюється різноманіття елементів, що застосовуються в перетворювачах. В більшості випадків кодується кутове переміщення, бо в багатьох випадках лінійні переміщення за допомогою різних пристроїв перетворюються в кутові. Тому в подальшому будемо розглядати тільки преобразователем кутових переміщень.

Для підтримки роботи системи зчитування необхідно мати  $2^n - 1$  еталонів, з якими проводиться порівняння перетвореної величини, і стільки ж схем порівняння. Практично створюють кодові шкали, кількість яких дорівнює кількості розрядів коду, а число інтервалів між поділами окремих шкал визначається як  $2^i$  де  $i$  - номер цієї шкали, починаючи з нуля. Мінімальна ціна ділення при цьому буде визначатися кроком квантування. Але число схем порівняння скоротиться з  $2^n - 1$  до  $n$ .

Таким чином, в складі перетворювач повинні бути, як мінімум, кодові шкали і пристрої порівняння. Реально до складу такого АЦП входить ряд пристроїв посилення і перетворення сигналів, схеми зчитування та зберігання кодів, інші схеми.

Принцип дії перетворювачів кутового переміщення в код можна розглянути на прикладі перетворювача кодового сигналу. Розрізняють перетворювачі з натискним і зі ковзаючим контактами. Кодові шкали перетворювачів можуть бути дисковими або барабанними на рисунку. 2.1 и 2.2 зображені кодируючий диск і кодируючий барабан чотирирозрядного перетворювача.

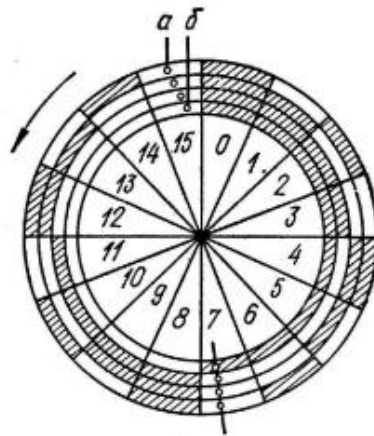


Рисунок 2.1 Кодуючий диск

На кодуєчому диску рисунок 2.1 шкали являють собою концентрически кільця, що складаються з чергуючихся провідних і непровідних майданчиків. Кількість кілець дорівнює числу розрядів коду. Розміри майданчиків в кожному кільці однакові, а їх число визначається позицією даного розряду в коді. Всі провідні майданчики електрично з'єднуються між собою і зі спеціальним кільцем, який є загальним струмоведучим елементом. Загальним струмоведучим елементом може бути матеріал диска, якщо диск виготовити з провідного матеріалу.

Зазвичай шкали молодших розрядів, що містять найбільшу кількість елементів, розташовуються на периферії диска, а шкали старших розрядів -

ближче до центру. Це дає можливість при прочих умовах збільшити розміри мінімального елемента на диску.

У перетворювачі з кодованим барабаном шкали використовуються у вигляді кілець, розташованих на поверхні барабана і складаються з чергуючихся провідних і невідних ділянок зображено на 2.2

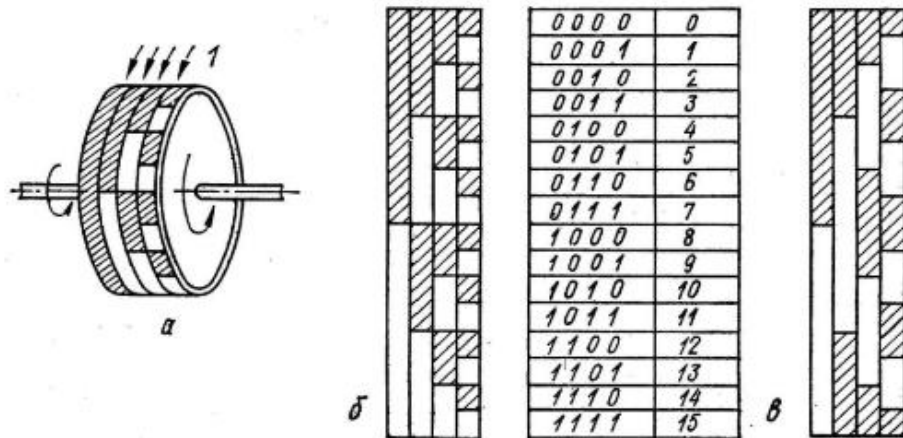


Рисунок 2.2 Кодуючий барабан: а) конструкція; розгортка кодуєчих масок в б) двійковому коді і в) коді Грея

В якості чутливих елементів використовуються щітки - струмозійомники наявні над розрядними кільцями диска або барабана. При знаходженні струмознімачів на провідних ділянках в відповідних розрядах коду формуються одиниці. якщо щітка знаходиться на невідній ділянці, в даному розряді буде нуль.

Зазвичай струмозійомники встановлюються на одній прямій, званої лінією зчитування. На диску лінія зчитування орієнтована по радіусу диска, на барабані - паралельна утворює барабана.

При використанні звичайних двійкових шкал з'являється небезпека виникнення помилкових кодів при переході від одного числа до іншого.

Щоб уникнути цього явища необхідно, щоб кордон між числами була прямою лінією, а струмозійомники розташовувалися точно уздовж цієї лінії. В реальних умовах цього досягти не вдається внаслідок неминучого технологічного розкиду розмірів елементів диска або барабана і неточності установлення

струмознімачів. Внаслідок цього всі струмозьемниці не будуть одночасно переходити границю між числами. Нехай диск зображений на рисунку 2.1 рухається в напрямку, вказанному стрілкою, а струмозійомники розташовані так, що їх крайні положення розташовані такна позиціях а и б. У вихідному стані все струмозійомники знаходяться на провідних ділянках і вихідний код буде равний 1111. Наступне значення коду має бути 0000 проте у міру переміщення диска струмозійомники перейдуть межу між числами неодноразомно (спочатку струмозійомники старших розрядів, а потім - молодших). В результаті цього код при такому переході буде приймати значення 0111, потім 0011, 0001 і 0000 хоча кодований кут значень 0111, 0011, 0001 (7, 3 і 1 в десятковій системі) не приймав. Помилка при цьому може досягти 50%. Аналогічна ситуація може створитися і в місцях інших переходів від одного значення кута до іншого. Щоб цього уникнути, використовуються спеціальні шкали дискретизації, що наносяться на диск з метою виключення можливості зчитування коду на кордонах між числами. У багатьох випадках використовуються спеціальні види кодів, що відрізняються тим, що при переході від одного числа до іншого змінюється одиниця лише в одному з розрядів числа. До числа таких кодів відносяться так звані рефлексні коди, з яких в перетворювачах кутових переміщень використовується рефлексний двійковий код, названий кодом Грея. Утворення коду Грея зі звичайного дволічного коду проводиться за такими правилами. Якщо позначити двійкове число.

$$a = a_n a_{n-1} \dots a_l \dots a_2 a_1, \quad (2.1)$$

Це ж число в кодi Грея

$$b = b_n b_{n-1} \dots b_l \dots b_2 b_1, \quad (2.2)$$

Де  $a_i$  і  $b_i$  значення коду

$$b_i = |a_{i+1} + a_i|_{\text{mod}2}. \quad (2.3)$$

Перехід від коду Грея до двійкового здійснюється відповідно до виразу

$$a_i = \left| \sum_{k=n}^{k=i} b_k \right|_{\text{mod}2} \quad (2.4)$$

Як видно зображення 2.2, на кодовій шкалі, побудованій з використанням коду Грея, відсутні переходи, що характеризуються одночасною зміною одиниць в декількох розрядах. Крім того, розміри елемента шкали молодшого розряду вдвічі більше, ніж при звичайному двійковому коді, що дозволяє при розмірах шкали реалізувати вдвічі більшу роздільну здатність.

Після зчитування код Грея перетворюється в звичайний двійковий код за допомогою спеціальних пристроїв. Структурна схема такого перетворювача приведена на рисунку 2.3 Використання рефлексного коду не є єдиним заходом усунення неоднозначності при кодуванні кутових переміщень. Відомі й інші методи, серед яких слід відзначити метод Баркера, що полягає у виборі елементів знімання на підставі аналізу коду молодшого розряду, метод подвійної щітки і ряд інших [6].

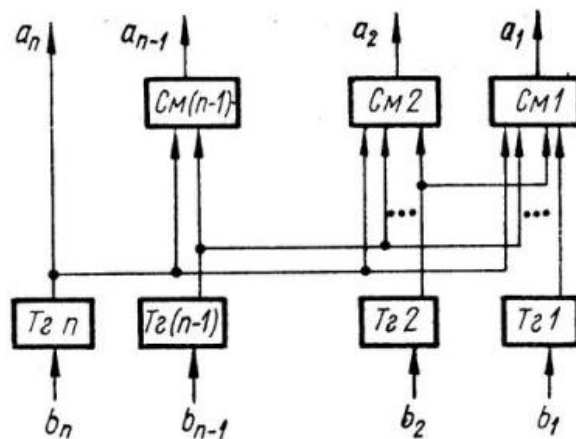


Рисунок 2.3 Перетворювач коду Грея в двійковий код

Фотоелектричні перетворювачі в даний час є найбільш поширеними. Це пояснюється тим, що при порівняно невеликих габаритах перетворювача реалізується висока точність перетворення. Крім того, такі перетворювачі мають малий момент інерції і створюють невелике навантаження на вал, кут повороту якого кодується. Основним елементом фотоелектричного перетворювача є



кодуючий диск, виконаний з прозорого матеріалу (зазвичай оптичне скло), на якому нанесена кодова маска, що представляє собою поєднання прозорих і непрозорих ділянок. Як чутливих елементів використовуються фотоприймачі (фотодіоди, фототранзистори, фоторезистори), що розташовуються зазвичай по радіусу диска. Світло від джерела проходить через кодуючий диск і потрапляє на фотоприймачі. При засвіченні фотоприймача через прозору ділянку диска формується одиниця даного розряду коду. Якщо фотоприймач закритий непрозорим ділянкою, то в даному розряді формується нуль.

Найпростіша кодова маска може мати вигляд, як показано на рисунку 2.1, якщо прийняти, що непрозорі ділянки заштриховані, а прозорі немає. Так само, як і в контактних перетворювачах, доріжки молодших розрядів розташовуються на периферії диска, а старших ближче до центру. Для зчитування коду необхідно забезпечити підсвічування лінії зчитування. Створення світлового променя у вигляді лінії проводиться за допомогою оптичних систем з вирізують щілинами, а також за допомогою точкових або лінійних джерел світла. При використанні вирізують щілин і діафрагм можна отримати ширину світлового променя на лінії зчитування порядку 0,02 мм.

Зазвичай з метою усунення неоднозначності відліків в фотоелектричних перетворювачах використовують шкали з кодом Грея.

Вибір пари джерело світла-фотоприймач проводиться з умов узгодження спектральних характеристик джерела випромінювання і фотоприймач. У парі з такими фотоприймачами, як фотодіоди, фототранзистори, фоторезистори, використовуються газорозрядні, дугові лампи і лампи розжарювання. Часто для підвищення надійності роботи застосовують модуляцію світлового потоку джерела світла.

Для фотоелектричних перетворювачів характерно відносно мале значення відношення корисного сигналу до шуму, оскільки фотоприймач працює при малих рівнях освітленості. Для підвищення відношення сигналу до шуму і надійності роботи перетворювача в цілому в даний час в якості джерел світла

використовують світлодіоди. Фотоелектричні перетворювачі з одним диском дозволяють отримати роздільну здатність до 16-18 розрядів.

Розглянемо перетворювачі послідовного рахунку, перетворювачі кутових переміщень послідовного рахунку діляться на дві групи: накопичують і циклічні. Перетворень першого типу вимірюють збільшення кута, другі повні значення кутового переміщення.

У перетворювачах накопичує типу діапазон вимірювання вхідної величини умовно розбивається на одиничні збільшення кванти. Чутливий елемент виробляє сигнали при вині кута більшого, ніж величина кванта. Підрахунок сигналів виводиться за допомогою лічильника, в якому підсумовуються з урахуванням знака одиничні збільшення. Недолік такого способу полягає в тому, що в таких перетворювачах є можливість накопичення помилки при пропажі сигналів чутливого елемента. ця помилка буде у всіх результатах кодування, а при наступних пропусках сигналів може навіть накопичуватися. На скляному диску нанесена лічильна шкала, аналогічна шкалою молодшого розряду перетворювачів зчитування, На другій доріжці нанесена допоміжна шкала, ідентична першій, але зрушена на половину елемента шкали. Диск укріплений на валу, кутове переміщення якого кодується. До складу перетворювача входять два фотоприймача, що формують сигнали при проходінні перед ними ділянок відповідних шкал [6].

## **2.2 Стежучий привод подач**

Привід подач-один з основних вузлів, що визначають продуктивність і точність верстата з ЧПУ. Оскільки ЧПУ практично безінерційно формує сигнали управління приводом, що забезпечують рух по заданій траєкторії або позиціонування в заданій координаті, велике значення набуває вдосконалення параметрів виконавчого двигуна і схеми управління ним з урахуванням особливостей кінематичного ланцюга приводу. У міру вдосконалення ЧПУ, збільшення жорсткості і точності вузлів верстата, підвищуються вимоги до

швидкодії і точності приводу подач: швидкість швидких переміщень в сучасних верстатах доведена до 50 м / хв, а дискретність переміщень - до 1 нм.

Зазначеним вимогам задовольняють приводи і двигуни, розроблені спеціально для верстатів з ЧПУ. Високими показниками характеризується тиристорний привід з низькошвидкісним високомоментним двигуном постійного струму і збудженням від високоенергетичних магнітів зображено на рисунку 2.4). Двигун має великий момент інерції, забезпечує хороші динамічні характеристики, отримані в результаті використання (для збудження) високоенергетичних керамічних магнітів, що витримують 10-15-кратні пікові моменти без розмагнічування. Значна маса і теплоємність ротора дозволяють досить довго (до 30 хв) витримувати значні перевантаження.

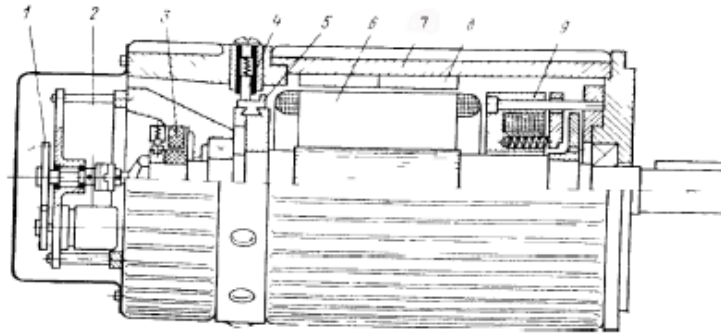


Рисунок 2.4 Конструктивна схема високомоментного двигуна: 1 — підвищувальна передача( мультиплікатор ); 2-резольвер ; 3-тахогенератор; 4 і 5-коллектори; 6-ротор; 7-корпус статора; 8-феритовис полюси; 9-електромагнітне гальмо

У приводах з високомоментними двигунами в багатьох случаях виключена необхідність в редукторі або значно спростилася його конструкція, що зменшило динамічне навантаження приводного механізму та її вплив на перехідні процеси. Високий ККД сучасних гвинтових передач і напрямних забезпечує прискорені переміщення при крутному моменті приводу, рівному 15-20% від номінального крутного моменту, необхідного для процесу різання. У той же час, різання з великими зусиллями можливо лише при швидкості, рівній 15-20 % від швидкості

швидкого переміщення. Ці особливості і визначають специфіку створення приводу подач верстатів.

Однак, незважаючи на всі свої переваги, високомоментний двигун постійного струму не використовується в сучасних верстатах. Це обумовлено наявністю колекторних вузлів в конструкції двигун. Будучи ненадійним і швидко зношується вузлом, колектор призводить до частих відмов приводу. Внаслідок цього, найбільшого поширення в сучасних приводах отримали синхронні електродвигатели. Вони мають задовільні характеристиками, і в їх конструкції повністю відсутня колектор, т. к. ротор такого двигуна виконаний з високоенергетичних магнітів, а обмотки розташовані в нерухомому статорі.

Стежучий привід має, як мінімум, два датчика зворотного зв'язку-по швидкості (тахогенератор) і по шляху. Тахогенератор завжди встановлюють на вал двигуна подачі, при цьому часто вбудовують безпосередньо в двигун. Що стосується датчика зворотного зв'язку по шляху, то існують три варіанти його установки, в залежності від яких розрізняють і структурні схеми стежачь привода зображені на рисунку 2.5.

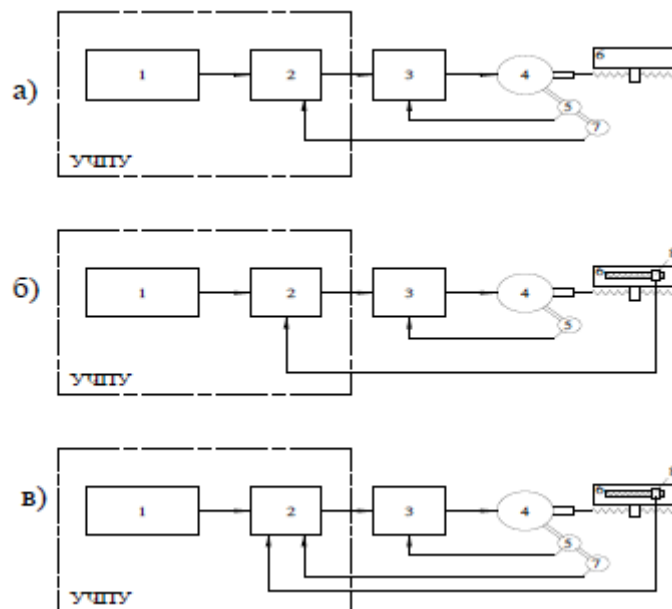


Рисунок 2.5 Структурні схеми стежучих приводів: а-с напівзамкненим контуром зворотного зв'язку по шляху; б - то ж із замкнутим контуром; в-с гібридною схемою зворотного зв'язку; 1-основний блок ЧПУ; 2-вузол управління

приводом; 3-блок приводу; 4-двигун подачі; 5 — тахогенератор; 6-стіл верстата; 7-круговий датчик зворотного зв'язку по шляху; 8-лінійний датчик зворотного зв'язку по шляху

У верстатах нормальної точності датчик зворотного зв'язку по шляху виконують круговим і встановлюють на ходовий гвинт або на вал двигуна (рисунок. 2.5 (а)); оскільки пара гвинт-гайка не охоплена зворотним зв'язком, похибки цієї пари переносяться на виріб. Систематичний доданок цих похибок, що повторюється стабільно, можна компенсувати за допомогою заздалегідь програмованих коригуючих сигналів. Стежать приводи такою структурною схемою, званої схемою з напівзамкненим контуром зворотного зв'язку по положенню, забезпечують точність позиціонування  $\pm 10$  мкм.

У мікропроцесорних системах ЧПУ Зворотні зв'язки по шляху замикаються в УЧПУ, а Зворотні зв'язки по швидкості - в блоці керування приводом. Таким чином, в стежать системах використовують регульований привід з введенням зворотного зв'язку по шляху. У прецизійних верстатах встановлюють на столі верстата високоточний лінійний датчик 8 (рисунок . 2.5 (б)). Така структурна схема називається замкнутою по положенню. При цій схемі зазори в кінематичного ланцюга і пружні деформації впливають на коливання.

Тому, в ряді випадків застосовують гібридну схему зворотного зв'язку (рис. 2.5 (б)), в якій використовують два датчика: круговий, встановлений на вал двигуна або ходовий гвинт, і лінійний, встановлений на стіл верстат.

При цьому круговий датчик використовують для позиціонування, а лінійний - для автоматичної корекції похибок кінематичного ланцюга. Для зменшення величини вибігу (тобто шляху, який проходить робочий орган після отримання команди на зупинку) способи інтенсивного гальмування. Підходити до позиції точної зупинки можна лише на дуже низькій швидкості. Тому між першою (на гальмування) і другою (на відключення) командами в позиції точної зупинки доводиться вводити проміжну швидкість. У циклових системах управління при одноступінчатому графіку позиціонування після отримання команди на

гальмування робочий орган верстата, наприклад координатний стіл, може зупинитися в будь-якій точці ділянки, який називається ділянкою розкиду гальмівного шляху при одноступінчастій зупинці. Якщо робочий орган зупиниться на початку цієї ділянки, то всю ділянку доведеться проходити на повзучій швидкості. Найчастіше зупинка відбувається в середині цієї ділянки і половину, що залишилася проходять на повзучій швидкості. У порівнянні з одноступінчастим двоступеневий графік (показаний жирними лініями на рисунку. 2.6) дозволяє значно (приблизно в три рази) скоротити час позиціонування: після отримання першої команди (на гальмування) виконується перехід робочого органу на проміжну швидкість, з якою він переміщається до отримання команди на друге гальмування; потім швидкість знижується до рівня повзучої і робочий орган потрапляє на ділянку, званий ділянкою розкиду гальмівного шляху при другому гальмуванні.

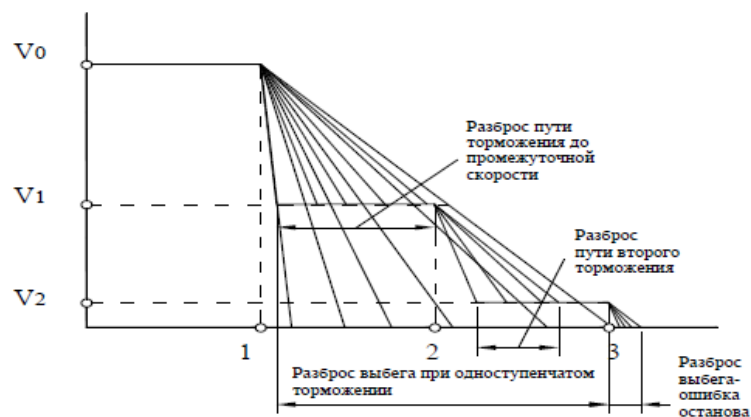


Рисунок 2.6 Траєкторія одноступінчастого і багатоступінчастого позиціонування: 1-команда на гальмування; 2-команда на зниження швидкості; 3-команда на зупинку;  $V_0$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ -швидкість швидкого ходу, проміжна і повзуча відповідно

Збільшуючи число ступенів, переходять до графіка з безперервним позиціонуванням, який називається оптимальним і забезпечує задану точність позиціонування при мінімальних витратах часу. Здійснення оптимального графіка

вирішується в системах ЧПУ зі стежить приводом; в цих системах реалізуються також дво-і триступінчаті цикли позиціонування [7].

### **3 Перспективні способи контролю переміщення**

#### **3.1 Призначення та принцип роботи виробів на основі системи контролю**

Стенд для контролю точності контурних переміщень промислового робота відноситься до вимірювальної техніки і може бути використано для перевірки параметрів контурного руху роботів таких, як точність, повторюваність, вібрація. Стенд зображений на рисунку 3.1 містить технологічну основу, еталон, три датчика лінійних переміщень, пов'язану з ними реєструючу апаратуру і опорну стійку. Реєструюча апаратура виконана у вигляді персонального комп'ютера, оснащеного вбудованим аналого-цифровим перетворювачем, який підключають до згаданих датчиків. Датчики встановлені на опорній стійці таким чином, що вісь чутливості кожного з них зорієнтована по одній з осей декартової системи координат. При цьому еталон виконаний з контактною частиною у вигляді кульки, що встановлюється з можливістю взаємодії з датчиками лінійних переміщень. Винахід дозволить підвищити точно вимірювати відхилення реальної траєкторії робота від запрограмованої.

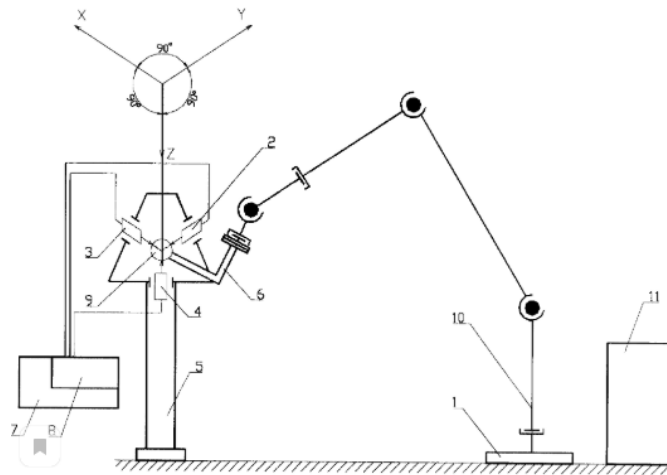


Рисунок 3.1 Стенд для контролю точності контурних переміщень промислового робота

Даний виріб направлений на підвищення точності вимірювань і збільшення продуктивності праці. Для цього стенд для контролю точності контурних переміщень промислового робота, що містить технологічну основу, еталон, три датчика лінійних переміщень і пов'язану з ними реєструючу апаратуру, забезпечений опорною стійкою. Реєструюча апаратура виконана у вигляді персонального комп'ютера, забезпеченого вбудованим аналого-цифровим перетворювачем, який підключають безпосередньо до датчиків лінійних переміщень. При цьому датчики встановлені на опорній стійці таким чином, що вісь чутливості кожного з них зорієнтована по одній з осей декартової системи координат. Еталон виконаний з контактною частиною у вигляді кульки, що встановлюється з можливістю взаємодії з датчиками лінійних переміщень.

Заміряється маніпулятор 10 робота встановлюється на технологічну основу 1. На фланці останньої ланки маніпулятора 10 закріплюється еталон 6, геометричні параметри якого вносяться в систему управління 11 робота. На кінці еталона 6 знаходиться кулька 9, центр якого для системи управління 11 робота є кінцевою точкою інструменту. Для проведення вимірювання в системі управління 11 робота знаходиться програма, по якій робот підводить еталон 6 в точку виміру. Точкою виміру є точка перетину осей чутливості трьох датчиків лінійних переміщень 2, 3 і 4, закріплених ортогонально один одному на опорній стійці 5.



Стійка 5 з датчиками 2, 3 і 4 зорієнтована щодо технологічного підстави 1 таким чином, що осі чутливості кожного з датчиків 2, 3 і 4, зорієнтовані по одній з осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  декартової системи координат, сонаправлені з осями декартової системи координат маніпулятора 10 робота, встановленого на підставі 1. Запам'ятовуються поточні показання датчиків 2, 3 і 4. Після цього робот починає відпрацьовувати програму контурного переміщення. За цією програмою відбувається зміна орієнтації еталона 6 в просторі без зміни положення центру кульки 9. Зміна орієнтації відбувається навколо всіх трьох осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  декартової системи координат робота, на максимально можливі кути, обумовлені кінематичною схемою маніпулятора 10. В ідеальному випадку, при такому характері контурного руху, кінцева точка інструменту робота (центру кульки 9) повинна залишатися нерухомою в просторі, на практиці існують відхилення кінцевої точки від заданих координат.

Зняття відхилень центру кульки 9 від програмно-заданих декартових координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  проводиться за допомогою трьох датчиків 2, 3 і 4, сигнали з яких через аналого-цифровий перетворювач 8 передаються в системний блок комп'ютера 7, програмне забезпечення якого виробляє обробку сигналів, що надходять і обчислення відхилень центру кульки 9, результати якого відображають точність контурних переміщень промислового робота.

Таким чином, даний стенд має багато переваг. Розташування трьох датчиків на опорній стійці таким чином, що їх осі чутливості ортогональні один одному і сонаправленні з осями декартової системи координат робота дозволяє точно вимірювати відхилення реальної траєкторії робота від запрограмованої строго по всіх трьох осях  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  декартової системи координат робота. Контроль точності контурних переміщень робота шляхом виміру відхилень положення центру кульки еталона від заданих декартових координат при зміні його орієнтації дає однозначну відповідь про здатність робота точно відтворювати запрограмовані контурні траєкторії [8].

Розглянемо виріб рисунок 3.2 для визначення положення і орієнтації рухомого об'єкта. Спосіб та варіанти відстежуючий системи для визначення

положення і орієнтації рухомого об'єкта відноситься до способу визначення положення і орієнтації з використанням магнітного поля. Сутність: в області переміщення об'єкта створюють неоднорідне несиметричне постійне магнітне поле. Розраховують градієнти цього поля. У згаданій області розміщують щонайменше шість диференціальних однокомпонентних датчиків із забезпеченням жорсткого зв'язку з об'єктом і виключенням взаємного дублювання. Координати датчиків визначені в системі координат об'єкта. В процесі переміщення об'єкта виробляють вимірювання диференціальними датчиками поточних значень градієнтів магнітного поля. Потім складають систему щонайменше шести алгебраїчних рівнянь, що включає згадані координати датчиків, за допомогою прирівнювання вимірних значень градієнтів до розрахованих градієнтів магнітного поля. Згадану систему рівнянь вирішують з отриманням трьох лінійних і трьох кутових координат об'єкта. Система містить джерело магнітного поля, щонайменше шість однокомпонентних диференціальних датчиків магнітного поля, жорстко пов'язаних з об'єктом, пристрій для прийому сигналів датчиків і передачі цих сигналів на засоби обробки даних, обчислювальний блок.

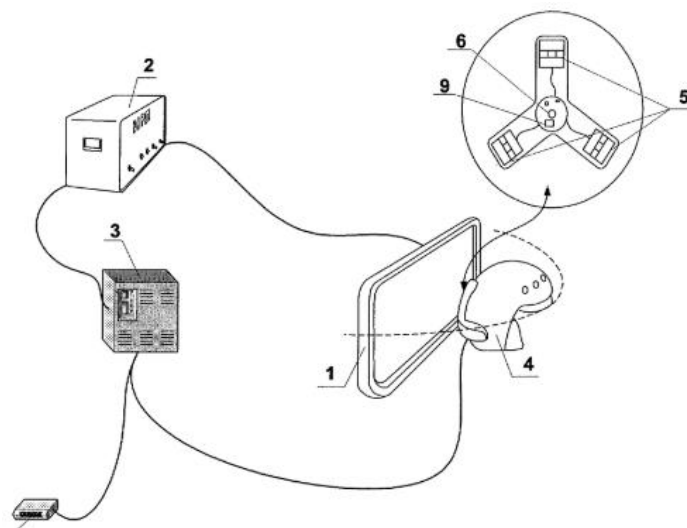


Рисунок 3.2 Відстежуюча система для визначення положення і орієнтації рухомого об'єкта

Виріб відноситься до способу визначення положення і орієнтації переміщуючого об'єкта з використанням магнітного поля, а також до пристрою для здійснення цього способу. Винахід може бути використано в авіаційній техніці, стежучих і охоронних системах і мультимедійних комп'ютерних технологіях, проте його застосування не обмежене перерахованими областями.

Використання електромагнітного поля в системах спостереження для визначення положення та орієнтації об'єкта, що рухається в обмеженій області простору, добре відоме з рівня техніки. У таких системах зазвичай застосовуються дипольні передавальні антени, що генерують або змінні, або імпульсні (квазіпостійні) магнітні поля, вимірювані закріпленими на об'єкті датчиками. Показання датчиків потім використовуються для обчислення орієнтації, яка визначається в загальному випадку трьома кутовими координатами (азимут, кут місця і крену), і трьома лінійними координатами об'єкта. Подібні способи знаходять широке застосування в авіації, стежать і охоронних системах, а також системах віртуальної реальності, наявних на ринку.

Перевага систем, заснованих на змінному синусоїдальному магнітному полі частотою 10-12 кГц, полягає у відсутності необхідності окремого вимірювання магнітного поля Землі. Однак при наявності поблизу джерела магнітного поля електропровідних матеріалів, наприклад алюмінію, точність таких систем в значній мірі схильна до впливу вторинних магнітних полів, що генеруються наводяться вихровими струмами, при цьому величина і розподіл поля істотно спотворюються в разі присутності поблизу робочої області матеріалів з високою магнітною проникністю, наприклад феромагнетиків.

Основною перешкодою для використання таких систем в авіаційній техніці є необхідність очікування загасання вихрових струмів. Як показали дослідження, час загасання вихрових струмів в кубі з дюралюмінію 1x1x1 м, відповідному розмірам стандартної кабіни пілота, становить близько 1 мс, а загальноприйнята частота перемикання струму в випромінювачі, при якій стежить система в найменшій мірі схильна до впливу електричних полів, становить 400 Гц. Отже, швидкодія стежить системи знаходиться на межі вже при частоті циклів

вимірювань 100 Гц, оскільки тривалість часу загасання порівнянна з тривалістю одного такту, в той час як необхідна частота видачі кутових координат об'єкта (в даному випадку шолома пілота) повинна бути не менше 200 Гц, що практично недосяжно в існуючих системах. Завданням цього виробу є пропозиція способу визначення положення і орієнтації рухомого об'єкта в просторі, що містить обмежену область переміщення об'єкта, що забезпечує більш високу точність обчислення лінійних і кутових координат об'єкта за рахунок виключення необхідності в окремому вимірі магнітного поля Землі.

Дане завдання вирішується за допомогою створення в згаданій області переміщення об'єкта неоднорідного постійного магнітного поля, вимірюваного диференціальними однокомпонентними датчиками. Мінімальна кількість датчиків дорівнює шести і визначається обчисленням трьох лінійних і трьох кутових координат об'єкта в нерухомій системі координат, наприклад системі координат, пов'язаної з літальним апаратом. Диференціальні датчики розміщують в області переміщення об'єкта з жорсткою прив'язкою до самого об'єкта і винятком взаємного дублювання. Таким чином, датчики зафіксовані в системі координат об'єкта, що переміщається разом з об'єктом щодо згаданої нерухомої системи. Для обчислення необхідних координат об'єкта визначають лінійні і кутові координати кожного датчика в системі координат об'єкта. В процесі переміщення об'єкта виробляють одночасне вимірювання із заданою частотою, яка зазвичай становить близько 100-400 Гц, всіма диференціальними датчиками поточних значень градієнтів магнітного поля в області переміщення об'єкта. Згадане неоднорідне постійне магнітне поле має бути несиметричним для уникнення отримання ідентичного набору показань датчиків, що може призвести до неоднозначності в обчисленні координат об'єкта. Показання датчиків, тобто виміряні поточні значення градієнтів магнітного поля, прирівнюють до розрахункових градієнтів неоднорідного несиметричного постійного магнітного поля, створюваного джерелом робочого поля. Розрахунок градієнтів цього поля проводиться стандартними методами з урахуванням конкретної геометрії джерела. В результаті складають систему щонайменше шести алгебраїчних

рівнянь, що включає координати датчиків в системі координат об'єкта, яку вирішують з отриманням трьох лінійних і трьох куткових координат об'єкта.

Таким чином, виріб усуває одну з основних похибок вимірювань у відомих технічних рішеннях, обумовлену урахуванням магнітного поля Землі, пропонуючи заміну вимірювання компонент магнітного поля в області переміщення об'єкта вимірюванням його градієнтів.

У практичній ситуації на магнітне поле джерела в області переміщення об'єкта часто впливають джерела перешкод у вигляді магнітних матеріалів, що породжують магнітне поле перешкод. Для обліку цього поля попередньо здійснюють магнітне картографування області переміщення об'єкта. Ця процедура є добре відомою і полягає у вимірюванні значень компонент магнітного поля з побудовою карти магнітного поля перешкод в області переміщення об'єкта. У кращому варіанті способу згідно винаходу пропонується чисельне диференціювання результатів вимірювань з отриманням набору градієнтів магнітного поля перешкод, які віднімають з вимірних поточних значень градієнтів магнітного поля в області переміщення об'єкта. Набір градієнтів поля перешкод зазвичай зберігається у вигляді тензора в блоці пам'яті засобів обробки даних, наприклад бортового комп'ютера літального апарату, які також використовують для вирішення згаданої системи рівнянь тобто при реалізації способу, що не вимагає попереднього картографування [9].

## **Висновки**

Протягом виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було розглянуто комп'ютеризовану систему контролю.

В першому розділі проекту були оглянуто існуючі прототипи в яких ознайомилися їх класифікацію та основні характеристиками.

В другому розділі було описано принципи перетворення переміщення в цифровий код, призначення та основні характеристики, складу виробу, будову та роботу. Використання методів програмного керування аналоговими приладами через комп'ютерні інтерфейси, пристрої сполучення й цифрово-аналогового перетворення для них.

Після чого можна зробити висновок, що кожна схема має ряд своїх переваг та недоліків у будові та роботі.

В третьому розділі було описано призначення та принцип роботи виробів на основі системи контролю та використання їх в майбутньому.

В результаті проведених досліджень встановлено, що аналого цифрові системи контролю параметрів руху універсальні, надійні, гнучкі і зручні в експлуатації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каштальян, і. А. обробка на верстатах з числовим програмним управлінням : справ. посібник / І.А. Каштальян, В. і. Клевзович. Мінськ:Виш. шк., 1998. - 271 с.
2. Бочков, в. м. Розрахунок і складання програм для обробки деталей на верстатах з програмним управлінням: навч. посібник / В.М. Бочков, Р.В. Юревич. - Львів: ЛПІ, 1981. - 130 с.
3. Дерябін, А. Л. Програмування технологічних процесів для верстатів з ЧПУ / А.Л. Дерябін . - М.: Машинобудування, 1984. - 224 с.
4. <http://patents.su>– [Електронний ресурс]. – Довідник про обчислювальну техніку та їх характеристики.
5. <http://www.alplast-spb.ru/>– [Електронний ресурс]. – Каталог пристроїв.
6. Електронні промислові пристрої. Абакумов В. Г, Київ, видавнича об'єднання «Вища школа», 1978, 376 с »

7. Жолобов, А. а. Програмування обробки деталей на верстатах з мікропроцесорними УЧПУ: навч. посібник / А.А. Жолобов, А.Н. Жигалов. - Мінськ: БПІ, 1990. - 129 с
8. <https://yandex.ru/patents/doc/RU2185953C1/>– [Електронний ресурс]. Довідник про пристрій.
9. <https://yandex.ru/patents/doc/RU2241958C1/>– [Електронний ресурс]. Довідник про пристрій.
10. Інноваційні центри високих технологій в машинобудуванні: монографія / В. і. Аверченков, а. в. Аверченков, В. А. Беспалов, В. А. Шкаберін, Ю. М. Казаков, А. є. Симуні, м. в. Терехов; Під заг. ред. Аверченкова В.і., Аверченкова а. в. – Брянськ: БДТУ, 2009. - 108 с