

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра електрифікації, автоматизації та  
інженерної екології

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Сікорський Святослав Володимирович**

УДК 621.9.042

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Розробка схеми електричної принципової модернізації головного  
приводу плоскошліфувального верстату ЗБ-722  
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело

Сікорський С.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи  
Войцицький Анатолій Павлович  
доцент кафедри електрифікації,  
автоматизації виробництва та інженерної екології

Житомир – 2020

## АНОТАЦІЯ

Сікорський Святослав Володимирович: «Розробка схеми електричної принципової модернізації головного приводу плоскошліфувального верстату ЗБ-722».

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Житомирський національний агроекологічний університет, Житомир, 2021.

Запропонована модернізація головного приводу плоскошліфувального верстату ЗБ-722», який застосовується для чистової обробки (точної обробки поверхонь, обдирання, очищення тощо). З його допомогою обробляють сталь, мідь, леговані сталі, алюміній, кольорові метали, сплави

Одним із недоліків цього верстату є його ступінчасте регулювання швидкості у не значному діапазоні. Регулювання швидкості обертання двигуна шліфувального круга доцільно здійснити за допомогою частотного перетворювача, оскільки він має високу точність при роботі і великій діапазон зміни швидкості.

**Ключові слова:** напруга, потужність, шліфувальний верстат, електропровід, мікропроцесор, циклограма.

## ANNOTATION

Sikorsky Svyatoslav Vladimirovich: "Development of the scheme of electric principle modernization of the main drive of the ZB-722 surface grinding machine".

Qualifying work for a master's degree in 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, 2021.

The modernization of the main drive of the ZB-722 surface grinding machine, which is used for finishing (precise surface treatment, peeling, cleaning,

etc.), is proposed. It is used to process steel, copper, alloy steels, aluminum, non-ferrous metals, alloys.

One of the disadvantages of this machine is its stepwise speed control in a small range. It is advisable to adjust the speed of the grinding wheel motor with a frequency converter, as it has high accuracy during operation and a wide range of speed changes.

**Key words:** voltage, power, grinding machine, electric wire, microprocessor, cyclogram.

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. Огляд проблеми модернізації плоскошліфувальних верстатів	7
1.1. Загальна <b>інформація про шліфувальні верстати</b>	7
1.2. Електрообладнання плоскошліфувальних верстатів	8
1.3. Основні відомості про плоскошліфувальний верстат моделі ЗБ722	9
Висновки до першого розділу	11
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ОСНОВНИХ НАПРАВЛЕНЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПЛОСКОШЛІФУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ ЗБ722	12
2.1. Технічне завдання для проектування	12
2.2. Розробка циклограми роботи механізмів та агрегатів верстату	13
Висновок до другого розділу	14
РОЗДІЛ 3. Розробка схеми електричної принципової системи управління плоскошліфувальним верстатом ЗБ722	15
3.1. Аналіз недоліків роботи головного електроприводу	15
3.2. Розрахунок та вибір елементів системи управління	16
3.2.1. Розрахунок потужність двигуна приводу системи змащування	16
3.2.2. Розрахунок потужність двигуна приводу переміщення супорту	16
3.2.3. Розрахунок необхідної потужності двигуна приводу обертання шліфувального інструменту	17
3.3. Захист, керування, контроль, регулювання	18
3.3.1. Вибір реле часу	19
3.3.2. Вибір магнітних пускачів для двигунів	20
3.4. Вибір та обґрунтування частотного перетворювача	20
3.4.1. Принцип роботи частотного перетворювача	20
3.4.2. Критерії вибору частотних перетворювачів	23
3.5. Розробка схеми функціональної електричної модернізованої управління головного приводу плоскошліфувальним верстатом ЗБ722	25
3.6. Розробка модернізованої схеми принципової електричної управління головного приводу плоскошліфувальним верстатом ЗБ722	27
3.7. Алгоритмом роботи пристрою управління	28
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	30
ВИКОРИСТАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА	31

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Коли до деталей пред'являються висока якість поверхні їх обробку потрібно проводити на спеціальних верстатах тобто шліфувальних. Інструментами для обробки на шліфувальних верстатах є абразивні кола заданої форми, розмірів і зернистості.

Склад і принцип роботи системи керування електроприводом докладно викладено у роботі.

**Мета і завдання роботи.** Модернізацію головного електроприводу та системи автоматики управління верстатом ЗБ722 враховуючи направлення за наступними пунктами:

1. Забезпечити регулювання швидкості головного приводу для приводу шліфувального елемента.

2. Провести розрахунки електрообладнання верстату ЗБ722 за наступними параметрами

**Предмет дослідження:** процеси ефективного регулювання швидкості обертання абразивної стрічки для шліфування поверхні відповідної деталі.

**Об'єкт дослідження.** Шліфувальний верстат ЗБ722.

**Методи дослідження.** Методи дослідження носять теоретичний характер з використанням вимог до запропонованих у відповідних нормативних документах.

**Практична цінність.** Модернізація головного приводу плоскошліфувального верстату ЗБ-722 дозволить продляти строк його експлуатації.

**Перелік публікацій автора за темою дослідження**

1. Войцицький А.П., Сікорський С.В. Аналіз роботи існуючих та сучасних електроприводів плоскошліфувальних верстатів. Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. С. 116-119. «Наукові читання – 2020». 5-6 березня 2020 року м. Житомир.

2. Войцицький А.П., Сікорський С.В. Шляхи удосконалення керування електроприводів плоскошліфувальних верстатів Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. С. 83-85. «Наукові читання – 2020». 5-6 березня 2020 року м. Житомир.

3. Сікорський С.В. Розробка циклограми роботи механізмів та агрегатів плоскошліфувального верстату 36722. Студентське читання – 2020: матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики С. 259-262. «Студентське читання – 2020», 26 жовтня 2020р. Житомир: ПНУ, 2020. – 400с.

# РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ МОДЕРНІЗАЦІЇ

### ПЛОСКОШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

#### 1.1. Загальна інформація про шліфувальні верстати

Плоскошліфувальний верстат (рис. 1.1) – це високоефективний обладнання, яке застосовується на завершальних стадіях обробки різноманітних деталей і заготовок для. Стрічковий плоскошліфувальний верстат використовують для точної обробки поверхонь шляхом обдирання, очищення тощо. З його допомогою обробляють такі метали, як чорні так і кольорові метали, сплави [25].

Принцип роботи досить простий: електродвигун приводить в дію абразивний круг, який обертаючись з високою швидкістю, здійснює обробку металевих заготовок з високою точністю.



Рисунок 1.1 – Плоскошліфувальний верстат

Основні переваги:

- висока продуктивність обробки заготовок;
- відносна простота агрегатів верстату;
- можливість швидкої заміни шліфувальної стрічки;
- висока точність обробки заготовок [25,26].

## 1.2. Електрообладнання плоскошліфувальних верстатів

Привід шпинделя: асинхронний короткозамкнений двигун, асинхронний двигун з перемиканням полюсів, або двигун постійного струму.

Гальмування здійснюється – противмиканням або за допомогою електромагніта.

Привід столу шліфувального верстату:

- регульований гідропривід;
- реверсивний асинхронний короткозамкнений двигун з гальмуванням противмиканням або за допомогою електромагніту;
- привод обертання робочого столу.

Для приводу шліфувального круга плоскошліфувальних верстатів зазвичай застосовують асинхронні короткозамкнені двигуни. Вони можуть мати вбудоване виконання і складати одне ціле з шліфувальною бабкою.

Шліфувальний шпиндель є одночасно валом електродвигуна і лише в разі необхідності підвищеної або (рідше) зниженої частоти обертання абразивного круга його пов'язують з валом електродвигуна ремінною передачею. Внаслідок значної інерційності кола час обертання шліфувального шпинделя за інерцією становить 50- 60 с і більше.

Коли цей час необхідно зменшити, вдаються до електричного гальмування. зазвичай частоту обертання електродвигуна шліфувального круга не регулюють.

Безступінчасте регулювання частоти обертання шліфувального шпинделя в невеликих межах (1,5:1), в деяких випадках застосовують для збереження постійної окружної швидкості абразивного круга у міру його зношування.

Особливістю періодичної поперечної подачі шліфувальних верстатів є мала величина найменшою подачі (1- 5 мкм). Таку подачу часто здійснюють за допомогою гідроприводу, що впливає на храповий механізм. Для



переміщення обертових столів плоскошліфувальних верстатів часто застосовують електропривод.

На деяких плоскошліфувальних верстатах з обертовим столом завантаження дрібних деталей, їх закріплення, зняття і розмагнічування відбуваються безперервно під час обертання столу [12,23].

### **1.3. Основні відомості про плоскошліфувальний верстат моделі 3Б722**

Верстати моделі 3Б722 В (рис. 1.2) є типовими представниками плоскошліфувальних верстатів з прямокутним столом середнього типорозміру і дозволяє з мікронною точністю обробляти плоскі поверхні самих різних деталей.

При застосуванні додаткових пристосувань на цих верстатах можлива обробка і фасонних поверхонь.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд верстату 3Б722

Головні рухи складових шліфувального верстату 3Б722:

- рух шліфувального круга;
- поздовжня подача столу із заготівлею.
- поперечна і вертикальна подачі абразивного кругу.

Деталі для оброблення шліфуванням можуть закріплюватися на електромагнітній плиті, або безпосередньо на робочій поверхні столу, а також в спеціальних пристроях – в залежності від матеріалу, форми і розмірів.

Застосування в верстаті гвинтових пар кочення, системи цифрової індикації вертикальних переміщень шліфувальної бабки, високоточних підшипників в шпинделя вузлі і ряду інших конструктивних рішень дозволило підвищити точність, довговічність і продуктивність верстата в порівнянні з аналогічними серійно випускаються верстатами. Відносне переміщення здійснюється інструментом, заготовкою, або найчастіше суміщенням цих двох рухів [31,32].

Таблиця 1.1 –Технічні характеристики верстату 3Б722 [32].

Найменування параметрів	Од. вим.	Значення
Споживана потужність верстату	кВт	2,0
Найбільші розміри поверхні котрі обробляються	мм.	1000 x 320
Відстань від осі шпинделя до дзеркала верстату	мм.	190...630
Робочий стіл верстату		
Розміри робочої поверхні столу	мм.	1000 x 320
Поздовжнє переміщення столу від гідравліки	мм.	300...1050
Швидкість зворотно-поступального руху столу	м/хв	2...40
Шліфувальна бабка		
Розміри шліфувального круга (найменший і найбільший зовнішній діаметри)	мм.	325...450
Число оборотів шліфувального круга	за хв.	1460
Найбільший допустимий крутний момент на шпинделі	кг·м	6,7
Найбільше поперечне переміщення шліфувальної бабки (ручне та від гідравліки)	мм	400
Межі швидкостей поперечної подачі шліфувальної бабки (безступінчасте регулювання)	м/хв.	0,05...3
Автоматична поперечна подача на кожен хід столу (безступінчасте регулювання)	мм	1...30

## Висновки до першого розділу

Ознайомившись з можливостями шліфувального верстата приходимо до висновку:

1) верстат ЗБ722 потребує модернізації для більш ефективного його використання;

2) перейти з ступінчастого регулювання швидкості обертання шліфувального круга на більш плавний, що підвищить точність, довговічність і продуктивність верстата.

3) застосувати зворотній зв'язок для стабілізації швидкості обертання абразивного круга.

## РОЗДІЛ 2

### ОГЛЯД ОСНОВНИХ НАПРАВЛЕНЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПЛОСКОШЛІФУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ ЗБ722

Коли до оброблювальних деталей пред'являються високі вимоги – точності і якості поверхні, їх обробку потрібно проводити на шліфувальних верстатах. Головним інструментом для обробки деталей – шліфувальні кола заданої форми, розмірів і зернистості. Висока точність оброблення поверхні деталі досягається за рахунок застосування прецизійних абразивних інструментів і заданих режимів шліфування [31].

#### 2.1. Технічне завдання для проектування

Технічне завдання для проектування включає модернізацію електроприводу та системи автоматики управління верстатом ЗБ722 враховуючи напрямлення за наступними пунктами:

1. Забезпечити регулювання швидкості головного приводу для приводу шліфувального елемента.
2. Забезпечити захист електрообладнання від: короткого замикання; обриву фаз; перенавантаження головного приводу.
3. Провести розрахунки електрообладнання верстату ЗБ722 за наступними параметрами:
  - 3.1. Коефіцієнт запасу для приводу вентилятору – 1,3.
  - 3.2. Коефіцієнт тертя шліфувального круга – 1,3.
  - 3.3. Маса рухомих частин верстату – 10 кг.
  - 3.4. Максимальна вага заготовки – 3 кг.
  - 3.5. Шар знімання за один прохід максимальний – 0,01 м.
  - 3.6. Швидкість обертання шліфувального круга – 2800 об/хв.

Регулювання швидкості обертання шліфувального інструменту – залежності від необхідності при шліфуванні певного матеріалу.

Регулювання швидкості обертання двигуна доцільно здійснити за допомогою частотного перетворювача, оскільки він має високу точність при роботі, крім того має змогу контролювати і задавати параметри вручну і в залежності від зміни ходу або засобів виробничого процесу.

Частотні перетворювачі регулюють швидкість обертання за допомогою зовнішнього датчика – відповідного навантаження на привід обертання двигуна.

Однією з переваг частотного перетворювача – компактні розміри, здатність програмування. Зміна та регулювання різних електромеханічних параметрів в широких межах, простіший підбір відповідного типу до потужності двигуна і умов експлуатації [30].

## **2.2. Розробка циклограми роботи механізмів та агрегатів верстату**

Робота механізму плоскошліфувального верстату 3Б722 здійснюється за наступним алгоритмом:

1. Вмикання системи змащування та витримка часу до вмикання інших виконавчих механізмів – 10 с.
2. Вмикання головного приводу та витримка до розкручування – 10 с.
3. Переміщення шліфувального круга вперед – 20 с.
4. Переміщення шліфувального круга назад – 20 с.

Циклограма роботи механізмів та агрегатів шліфувального верстату зображена на рис. 2.1.

Оскільки вмикання і переміщення інструменту відбувається одночасно, то загальний час циклу становить: час при обробці деталей може відрізнитись в залежності від товщини шару котрий знімається, а також враховуючи тип матеріалу і розміри деталі котра оброблюється.

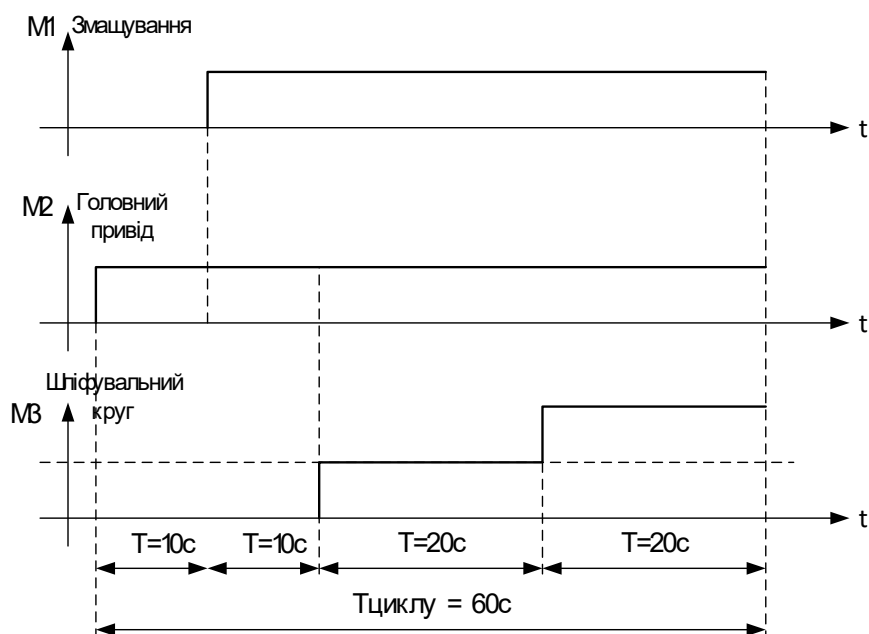


Рисунок 2.1– Циклограма роботи механізму верстату 3Б722

### Висновок до другого розділу

Регулювання швидкості обертання шліфувального інструменту – залежності від необхідності при шліфуванні певного матеріалу.

Регулювання швидкості обертання двигуна доцільно здійснити за допомогою частотного перетворювача, оскільки він має високу точність при роботі, крім того має змогу контролювати і задавати параметри вручну і в залежності від зміни ходу або засобів виробничого процесу.

Розробляти схему принципову електричну враховуючи циклограму роботи електроприводів верстату 3Б722.

### РОЗДІЛ 3

## РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПЛОСКОШЛІФУВАЛЬНИМ ВЕРСТАТОМ ЗБ722

### 3.1. Аналіз недоліків роботи головного електроприводу

Принципова електрична схема є своєрідною «картою» всіх електричних з'єднань електрообладнання – дає повне уявлення про розробку, а також дозволяє на її основі створювати схеми окремих з'єднань. Дає можливість дійснювати розробку конкретних вузлів підключення.

Як вже зауважувалося, головною задачею кваліфікаційної роботи є модернізації головного приводу шліфувального верстату.

Провівши аналіз наведеної схеми, усвідомлюємося в тому, що регулювання швидкості головного електроприводу здійснюється без належного контролю. Тому регулювання швидкості обертання двигуна доцільно здійснити за допомогою частотного перетворювача, оскільки він має високу точність при роботі, крім того має змогу контролювати і задавати параметри вручну і в залежності від зміни ходу або засобів виробничого процесу.

Частотні перетворювачі регулюють швидкість обертання за допомогою зовнішнього датчика – відповідного навантаження на привід обертання двигуна.

Частотний перетворювач забезпечує задані параметри роботи, а також комутацію роботи асинхронних двигунів. До його вибору необхідно підійти відповідально, враховуючи його робочі параметри. [30].

Слід враховувати потужність електродвигуна, для роботи якого передбачено застосувати перетворювач частоти.

На які інші важливі функціональні спроможності потрібно звертати увагу в першу чергу:

- потужність ЧП потрібно вибирати з запасом на 20-30%;
- тип управління для підтримування заданого співвідношення частоти і вихідної напруги частотного перетворювача;
- діапазон коливання напруги;
- частота напруги на виході ЧП, з векторним або скалярним управлінням наближається до 600 Гц;
- кількість входів і виходів ЧП [28,30].

### 3.2. Розрахунок та вибір елементів системи управління

#### 3.2.1. Розрахунок потужність двигуна приводу системи змащування

Потужність двигуна приводу системи змащування розраховується за формулою:

$$P_{нсз} = k_3 \frac{Q \cdot H}{\eta_{нсз} \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3}, \quad (3.1)$$

де  $Q$  – подача насосу,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  – тиск котрий створює насос, Па;  
 $\eta_{нас}$  – ККД насосу, рівний 0,5-0,85;  $\eta_n$  – ККД передачі;  
 $k_3$  – коефіцієнт запасу 1,3 – 1,5 при потужності до 2,0;  
 $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $H = 350 \text{ Па}$ ;  $\eta_{нас} = 0,75$ ;  $\eta_n = 0,93$ ;  $k_3 = 1,5$  [9].

$$P_{нсз} = 1,3 \frac{0,5 \cdot 350}{0,75 \cdot 0,93} \cdot 10^{-3} = 0,326 \text{ кВт}.$$

Обираю двигун 4АХД56М2  $P = 0,37 \text{ кВт}$ . – (табл.3.1).

#### 3.2.2. Розрахунок потужність двигуна приводу переміщення супорту

Потужність одного двигуна з навантаженням розраховується за формулою:



$$P_{nnc} = \frac{F \cdot V}{\eta}, \text{кВт}, \quad (3.2)$$

де  $F$  – сила, яку повинен подолати двигун, Н;

$V$  – швидкість обертання, об/хв.;

$\eta$  – ККД приводу;

$k_T = 1,9$ .

$$F = (m_{\text{рух частин}} + m_{\text{дет}}) \cdot 9,8 \cdot k_T = (10+3) \cdot 9,81,9 = 242 \text{ Н}$$

$$P_{nnc} = \frac{242 \cdot 0,1}{0,8} = 0,325 \text{кВт},$$

Обираю двигун 4АХД56М2  $P = 0,37$ кВт. (табл. 3.1)

### 3.2.3. Розрахунок необхідної потужності двигуна приводу обертання шліфувального інструменту

Розрахунок потужності двигуна приводу обертання шліфувального інструменту здійснюється за формулою:

$$P_{\text{повн}} = k_3 \frac{b \cdot h \cdot V}{60 \cdot 10^2 \cdot \eta_B}, \quad (3.3)$$

де  $b$  – шар знімання за 1 прохід – 0,01м;  $h$  – заточний інструмент – 50 мм;  $\eta$  – ККД приводу – 0,86;  $V$  – швидкість обертання, об/хв. – 2800.

$$P_{\text{повн}} = 1,3 \frac{0,01 \cdot 50 \cdot 2800}{60 \cdot 10^2 \cdot 0,86} = 0,35 \text{кВт}.$$

У цьому випадку підходить двигун 4АХД56М2  $P = 0,37$ кВт.

### 3.3. Захист, керування, контроль

Оскільки ми вибрали три однакові двигуни, обираємо автоматичні вимикачі однакові для всіх трьох двигунів. Для визначення робочого струму двигуна використовується формула:

$$I_p = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3}U \cdot \eta \cdot \cos \varphi} \quad (3.4)$$

$$I_p = \frac{0,37 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,59 \cdot 0,62} = 0,7 \text{ A}$$

Для розрахунку струму спрацювання автомата, використовується формула:

$$I_{\text{авт}} = k \cdot I_n / a, \text{ A}, \quad (3.5)$$

де  $a$  – 0,8...3.

$I_n$  – номінальний струм двигуна.

$k$  – відношення пускового струму до номінального.

$$I_{\text{авт}} = 7 \cdot 0,7 / 1 = 4,9 \text{ A}.$$

Струм теплового розчеплювача автомата розраховується за формулою:

$$I_{\text{тепл}} = 1,1 \dots 2,5 I_n \quad (3.6).$$

$$I_{\text{тепл}} = 1,5 \cdot 0,7 = 1 \text{ A}.$$

Обираю автомат типу ВА76–79-3 з параметрами  $I_T = 1 \text{ A}$ ,  $I_{\text{ел}} = 5 \text{ A}$  (струм спрацювання виставляється вручну) (табл. 3.1).

### 3.3.1. Вибір реле часу

Робота електроприводів плоскошліфувального верстату ЗБ722 здійснюється за наступним алгоритмом:

1. Вмикання системи змащування та витримка часу до вмикання інших виконавчих механізмів – 10 с.
2. Вмикання головного приводу та витримка до розкручування – 10 с.

В цьому разі доцільно вибрати реле часу (рис. 3.1) польського виробництва RTS- 061, яке має час спрацювання від 1до 120с [7].



Рисунок 3.1 – Реле часу RTS- 061

### 3.3.2. Вибір магнітних пускачів для електродвигунів

Магнітний пускач для обраних вибираємо згідно з  $I_n$  двигуна, тип пускача 11BF 10. з параметрами  $U_{спр} = 220V$ ,  $I_{конт} = 9A$  (табл. 3.1).

*Вибір кінцевих вимикачів.* Для схеми управління необхідно два кінцевих вимикача котрі мають нормально розімкнений та нормально замкнений контакти обираю кінцевий вимикач типу RS103 (див. табл. 3.1).

Для схеми управління необхідно два проміжних реле, для цього обираємо реле типу R3 з напругою управління 220V. (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Відомість комплектуючих виробів

Найменування	Одиниця виміру	кількість
Двигун 4АХД56М2	Шт.	3
Реле обриву фаз	Шт.	1
Кнопки тип 18	Шт.	3
Частотний перетворювач AMD-S (APATOR CONTROL, Польща)	Шт.	1
Магнітний пускач 11BF	Шт.	4
Змінний резистор	Шт.	1
Кінцеві вимикачі	Шт.	2
Реле часу	Шт.	2
Тахогенератор	Шт.	1

### 3.4. Вибір та обґрунтування частотного перетворювача

#### 3.4.1. Принцип роботи частотного перетворювача

Збільшення можливості підвищення продуктивності обладнання ставить нові вимоги до електроприводів змінного струму з частотними перетворювачами частоти. Вхід перетворювача частоти (в електроприводі) підключають до мережі живлення з нерегульованими значеннями напруги  $U_1$  і частоти  $f_1$ . На виході частотного перетворювача формується регульовані значення напруги  $U_2$  (чи струму) і частоти  $f_2$  залежно від завдання чи керуючих сигналів  $U_k$  (рис. 3.3).

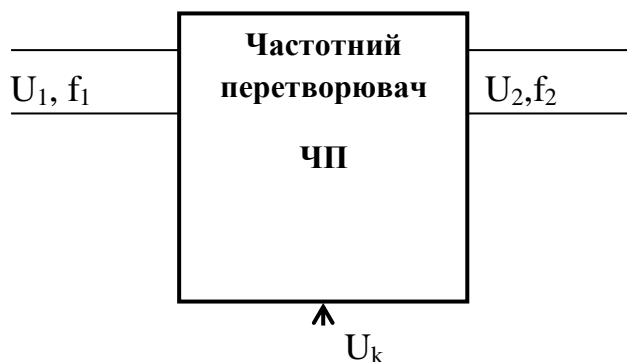


Рисунок 3.2 – Перетворювач частоти в електроприводі

Принцип підключення частотного перетворювача зображений на рис. 3.3.

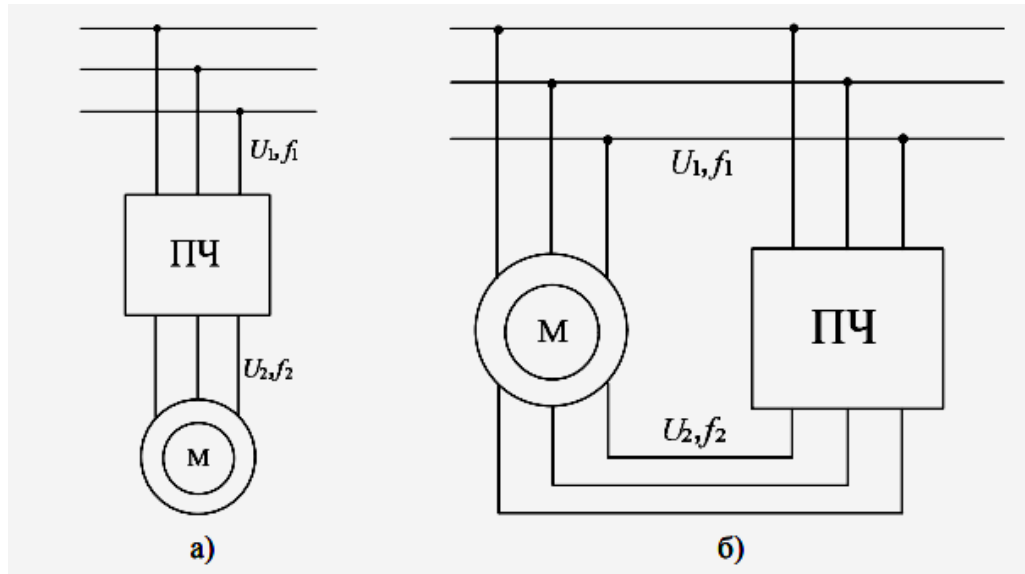


Рисунок 3.3 – Варіант схем підключення перетворювачів:

а – між мережею живлення та статорною обмоткою; б – між роторною обмоткою та мережею живлення

Використання перетворювача частоти забезпечує економічні способи регулювання швидкості і моменту електродвигунів змінного струму. Залежно від типу електропривода перетворювач частоти може бути підключеним між мережею живлення та обмоткою статора двигуна (частотно-керований електропривод, рис. 3.3, а), або між роторною обмоткою двигуна та мережею живлення (наприклад, в електроприводі з машиною подвійного живлення, як це показано на рис. 3.3, б).

Таке включення дозволяє зменшити встановлену потужність перетворювача частоти, проте вимагає використання електродвигуна з фазним ротором.

Першим кроком частотного перетворювача (рис. 3.4) є робота випрямляча, який випрямляє змінну напругу силової мережі (220-380В) у постійну. Далі постійна напруга перетворюється в змінну – необхідної частоти та амплітуди. Це відбувається за допомогою методу широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) [28,30].

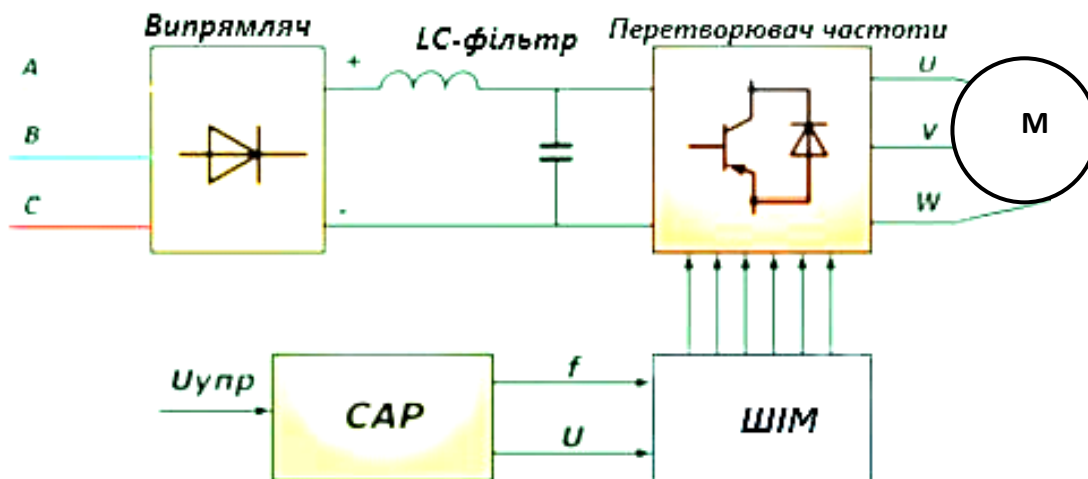


Рисунок 3.4 – Принцип роботи частотного регулювання швидкості обертання електродвигуна з зворотнім зв'язком:

M1 – асинхронний двигун;

Принцип методу ШІМ наступний – пристрій формує сигнали певної частоти, які з врахуванням індуктивності двигуна стають схожими на синусоїдальну напругу, завдяки якій електродвигун – починає здійснювати обертальний момент.

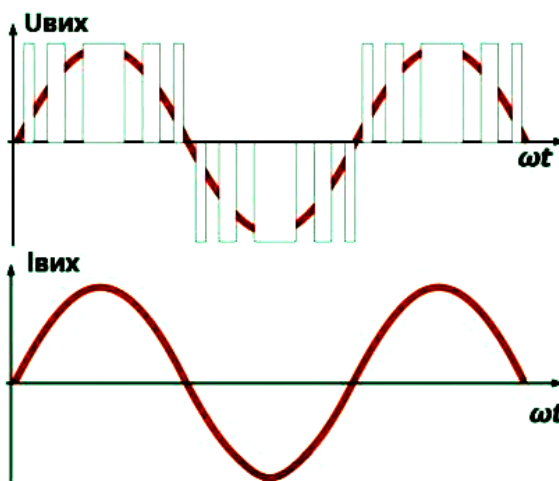


Рисунок 3.5 – Широтно-імпульсна модуляція

Використовують два основні класи систем векторного керування:

- без датчика швидкості на валу двигуна;
- зі зворотним зв'язком за швидкістю.

Останній було використано в кваліфікаційній роботі.

Взаємозв'язок частоти і напруги отримало назву закону частотного керування. Вибір співвідношення між частотою і напругою, найчастіше виходить з умови кратності критичного моменту  $M_k$  до моменту статичного навантаження  $M_c$  і визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{M_k}{M_c} = const. \quad (3.7)$$

У даному випадку нехтується падінням напруги на обмотці статора, в цьому разі отримуємо основний закон зміни напруги при частотному регулюванні швидкості асинхронного двигуна:

$$\frac{U_{1j}}{U_{1k}} = \frac{f_{1j}}{f_{1k}} \sqrt{\frac{M_c(\omega_j)}{M_c(\omega_k)}}, \quad (3.8)$$

де  $U_{1j}$  – фазна напруга джерела живлення при частоті  $f_{1f}$ ;

$M_c(\omega_j)$  – момент статичного навантаження на валу двигуна при швидкості  $\omega_j = 2\pi f_{1j}/p$ .

З отриманих математичних виразів видно, що закон зміни напруги  $U_1$  визначається не тільки частотою джерела живлення  $f_1$ , а і умовами зміни моменту статичного навантаження на валу двигуна при зміні кутової швидкості [28,30].

### 3.4.2. Критерії вибору частотних перетворювачів

Доцільно вибрати частотний перетворювач, який більш функціональний у базовому виконанні, а саме:

1. За способом управління.
2. За потужністю.
3. Типом виконання
4. Перевантажувальної здатністю тощо.

Тому у нашому випадку для більш точного управління, знижуючи статичну помилку, потрібно обирати векторне управління:

1. За потужністю – 0,37 кВт для кожного електродвигуна.

2. За умовами незначного збільшення навантаження:

Необхідно, щоб вихідний струм частотного перетворювача був вище базового струму асинхронного двигуна і струму його перевантаження.

При ШІМ форма струмів в обмотках статора асинхронного двигуна сформована близької до синусоїдної. Це відбувається завдяки фільтруючим властивостям самих обмоток асинхронного двигуна.

Для регулювання частоти обертання головного приводу обираємо векторний перетворювач частоти AMD-S (APATOR CONTROL, Польща).

Він простий в програмуванні і експлуатації у складі устаткування користувача. Функції управління стандартизовані і оптимізовані згідно з правилами управління двигунами.

Передбачений вбудований захист від міжфазного замикання, пробією на землю, перенапруження, заклинювання двигуна і перевантаження по струму приводу. Мікропроцесор приводу програмно обчислює параметри електродвигуна, оптимізує налаштування і забезпечує захист від перевантажень [29,33].

До стандартних функціональних функцій частотного перетворювача AMD-S (APATOR CONTROL, додана функція ПІ регулятора. Властивості ПІ регулятора можуть використовуватися для управління двигунами в системах з зворотним зв'язком.

ПІ-регулятор призначений для порівняння програмованого завдання з реальним значенням процесу, який контролюється. По різниці порівнюваних сигналів формується сигнал управління, який спрямований на зменшення похибки відпрацювання поставленого завдання.

### **Технічні характеристики частотного перетворювача AMD-S:**

Номінальна потужність 0,78-45 кВт.

Прецизійне регулювання швидкості в відкритій чи закритій петлі



зворотного зв'язку.

Векторний режим керування (максимальний момент уже для 0 об./хв.).

Стійкість до перенавантажень 150% номінального струму на протязі 60 с.

Регулятор з 16- бітним мікроконтроллером.

Вихідна частота змінюється від 0,1 Гц до 400 Гц.

Вмонтований PI регулятор.

Доступно 15 заранні відомих частот, вибраних за допомогою зовнішніх управляючих сигналів.

Вмонтована функція економії енергії.

Формування характеристики роботи  $U/f$ .

Програмні функції входів и виходів.



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд частотного перетворювача AMD-S1

### **3.5. Розробка схеми функціональної електричної модернізованої управління головного приводу плоскошліфувальним верстатом ЗБ722**

Для розробки схеми функціональної електричної загального приводу потрібно визначитися, які приводи до них відносяться. До головного

приводу верстата 3Б722 відносяться: привод переміщення супорту; привод обертання шліфувального інструменту; привод системи змащування.

Модернізована електрична принципова схема управління плоскошліфувальним верстатом 3Б722 зображена на рис. 3.7.

Завдання кваліфікаційної роботи – модернізувати електропривод обертання шліфувального круга – він являється головним.

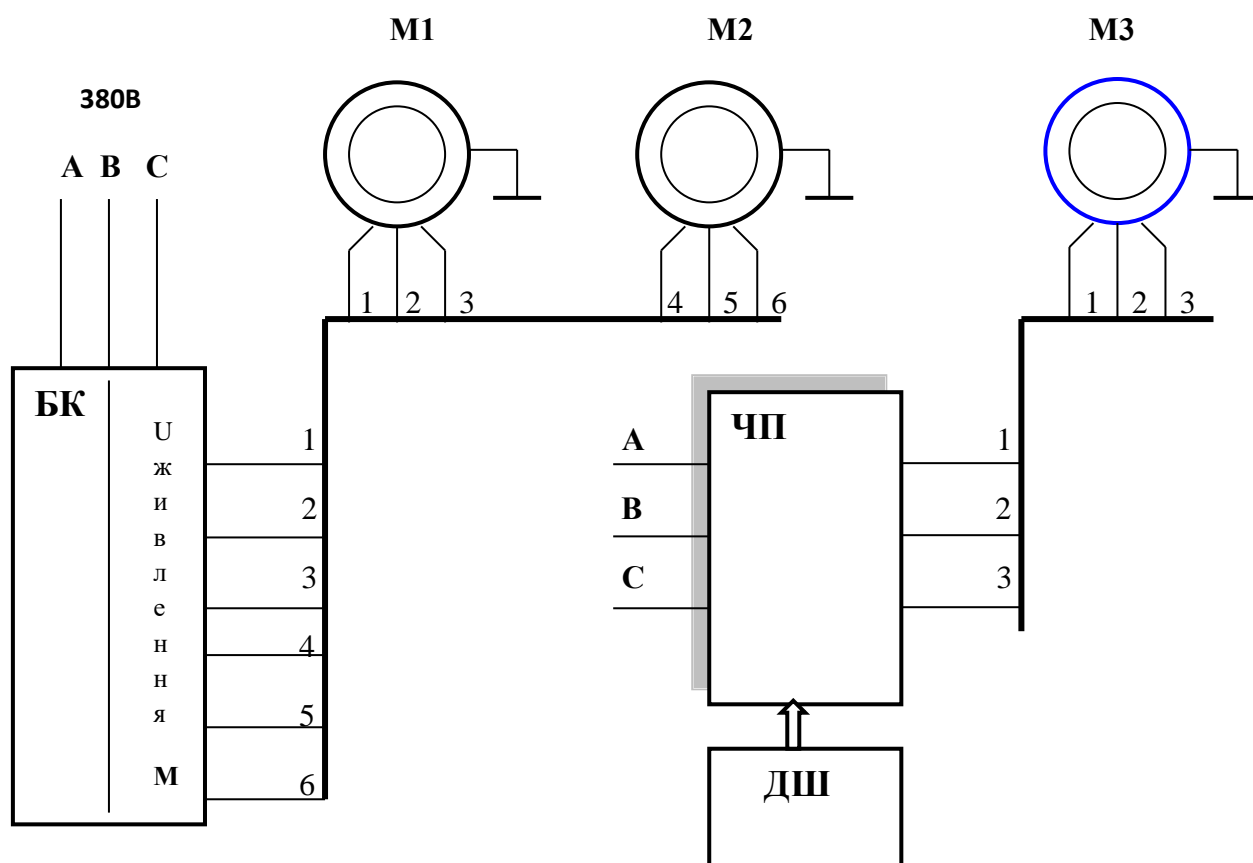


Рисунок 3.7 – Схема електрична функціональна електроприводу шліфованого верстату:

М1 – асинхронний електродвигун приводу переміщення супорту; М2 – асинхронний електродвигун приводу системи змащування; М3 – асинхронний електродвигун приводу обертання шліфувального інструменту; БК – блок керування; ЧП – частотний перетворювач; ДШ – датчик швидкості.

Блок керування головним електроприводом був виконаний без датчика швидкості, що не давало можливості здійснювати контроль та регулювання швидкості обертання ротора асинхронного двигуна електроприводу шліфувального круга.

### 3.6. Розробка модернізованої схеми принципової електричної управління головного приводу плоскошліфувальним верстатом ЗБ722

Схема принципова електрична управління головного приводу плоскошліфувальним верстатом ЗБ722 – це дороблена схема функціональна електрична приводу, який модернізують. В цій схемі БК повністю перероблений (рис. 3.8).

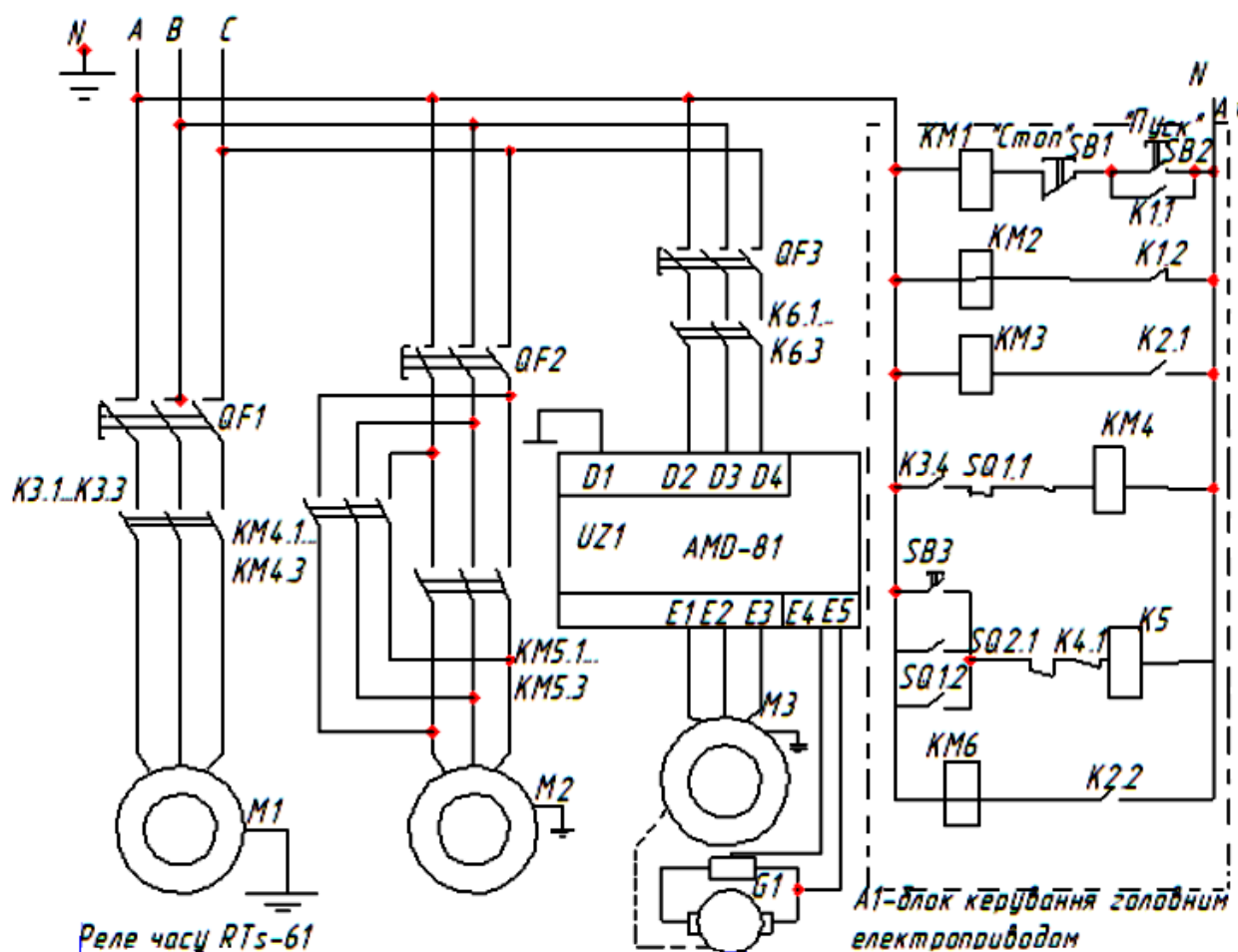


Рисунок 3.8 – Схема принципова електрична управління головним приводом плоскошліфувального верстату ЗБ722

Закон зміни напруги з виходу частотного перетворювача (UZ1) визначається не тільки частотою джерела живлення електродвигуна – зміною моменту статичного навантаження на валу двигуна М3 при зміні кутової швидкості.

### 3.7. Алгоритмом роботи пристрою управління

Алгоритмом роботи пристрою управління передбачає:

- при натисканні кнопки SB2 вмикається проміжне реле КМ1, яке стає на самоблокування та одночасно вмикає реле часу КМ2;
- магнітний пускач КМ2 вмикає проміжне реле КМ3 привід системи змащування виконавчих механізмів.

Якщо необхідно здійснити автоматичне реверсування механізмів у функції шляху та часу, то в схему вмикають контакти кінцевих перемикачів SQ1 і SQ2.

Для пуску двигуна «Вперед» натискають кнопку SB3. Контакт КМ4 вмикає двигун, і механізм рухається до місця встановлення кінцевого вимикача SQ1.

При підході механізму до нього розмикаючий контакт SQ1.1 розмикає коло котушки КМ4, а замикаючий контакт SQ1.2 замикається у колі котушки КМ5.

Контактор КМ1 вимикається, і вмикається контактор КМ2. Двигун реверсується, і механізм починає рухатися у зворотному напрямку до місця встановлення кінцевого перемикача SQ2.

При цьому контакти SQ1 повертаються у вихідний стан і готують коло керування до повторного реверсу. При підході механізму до іншого крайнього положення аналогічно перемикаються контакти перемикача SQ2.

Після того, як спрацювало реле часу, воно своїм контактом К.2.2. вмикає друге реле часу КМ6 воно своїми контактами К6.1...К6.3. підключає частотний перетворювач UZ1 до силової мережі.

Дана схема буде працювати доки не буде натиснута кнопка стоп SB1 яка вимкне схему управління.

Закон зміни напруги З виходу ЧП визначається не тільки частотою джерела живлення, а й характером зміни моменту статичного навантаження на валу двигуна при зміні кутової швидкості.

### **Висновки до третього розділу**

Було б доцільно, коли частотний перетворювач має у широкому діапазоні регулювати амплітуду вихідної напруги. Але у разі зниження вихідної напруги, частотний перетворювач швидше за все почне відключатись. А при підвищеному – до збою роботи пристрою.

При первинному включенні доцільно – потужність частотного перетворювача ставити на 10-15% вище потужності самого двигуна.

При використанні частотного перетворювача, перш за все, користувач набуває впевненості в злагодженій, ефективній роботі системи в якій і при цьому заощаджувати значну економію електроенергії.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Область застосування частотних перетворювачів безмежно широка. Скрізь, де є двигун змінного струму може бути застосований частотний перетворювач.

Переваги та недоліки використання частотного перетворювача.

До переваг:

1. Захист мотора від перенавантаження, коротких замикань, перегріву, перепадів напруги тощо.
2. Висока точність регулювання частоти обертання двигуна.
3. Достатньо високий пусковий момент.
4. Відсутність пускових струмів

До недоліків:

1. Деякі моделі частотних перетворювачів є джерелом перешкод.
2. Високі вимоги до точнісних спроможностей вимірвальних приладів та датчиків струму.

Таким чином вибраний частотний перетворювач підходить за всіма цими вимогами.

## ВИКОРИСТАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА

1. Водічев В.А. Аналіз критеріїв оптимізації технологічного процесу металообробки // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса. – 2003. – Вып. 1 (19). – С. 153-156.
2. Кузнецов Ю.Н. Станки с ЧПУ. – К.: Вища школа, 1991. – 254 с.
3. Кузнецов Ю.Н. Станки с ЧПУ и станочные комплексы. – К.: ЗМОК-Гнозис, 2000. – 343 с.
4. Программное управление станками. Учебник. Под ред. В.Л. Сосонкина. – М.: Машиностроение, 1990. – 398 с.
5. Никифоров В.М.. Технология конструкционных материалов. – Л.: Машиностроение, 1987. – 363 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков. Том 1. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
7. Реле времени RTs-61 220 V с колодкой, таймер – SkyLots: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.google.com/search?lr>.
8. Сосонкин В.Л. Программное управление технологическим оборудованием. - М.: Машиностроение, 1991. – 512 с.
9. Тарзиманов Г.А., Проектирование металлорежущих станков.– 3-е изд., перераб. и доп.– М.:Машиностроение, 1990.– 288с.
10. Ю.І. Чучман. Технологія машинобудування для електромеханіків: навч. посіб. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2001. - 348 с.
11. Чернов Н.Н., Металлорежущие станки: Учебник.– 3-е изд., перераб. и доп.– М.:Машиностроение, 1988.– 389с.
12. Харизоменов И.В., Электрооборудование и электроавтоматика металлорежущих станков: Учеб. пособие. – 4-е изд., перераб. и доп.– М.:Машиностроение, 1975.– 264с.
13. Василюк Г.Д., Лещенко М.Л., Мельничук П.П. Експлуатація технологічного обладнання. – Житомир: ЖИТИ, 1999. – 332 с.

14. Глембоцька Л. Є., Мельник О. Л., Степчин Я. А. Г 53 Металообробне обладнання: навч. посіб. [Електронне видання] / Глембоцька Л. Є., Мельник О. Л., Степчин Я. А. – Житомир: Житомирська політехніка, 2019. – 205 с.

15. Технологія конструкційних матеріалів /М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І.Некоз та ін.; – К.: Вища школа, 1993. – 300 с.: іл.

16. Детали и механизмы металлорежущих станков. Т.1: Общие основы конструирования; направляющие и несущие системы/ Д.Н.Решетов, В.В. Каминская, А.С. Лapidус; Под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1982.– 664с

17. Кобзар Є.П., Мельничук Л.С., Громовий О.А. Розрахунки та проектування вузлів та деталей верстатів і систем: Навчальний посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2000. – 361 с.

18. Мельничук П.П., Василюк Г.Д., Лоев В.Ю. Конструювання, розрахунок та експлуатація токарних верстатів з ЧПК. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 268 с.

19. Мельничук П.П., Василюк Г.Д., Лоев В.Ю. Саморегулювання параметрів комп'ютеризованої технології у машинобудуванні. – Житомир.: ЖДТУ, 2005. – 285 с.

20. Соломенцев Ю.М., Жуков К.П. и др. Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении: Альбом схем и чертежей. Учебное пособие для вузов. Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.; Машиностроение, 1989.

21. Технология конструкционных материалов /Г.А. Прейс, Н.А. Сологуб, И.А. Рожнецкий и др.; – К.: Вища школа, 1984. – 359 с.: ил. 3.

22. Технология конструкционных материалов /А.М. Дальский, В.С. Гаврилюк, Л.Н. Бухаркин и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.: ил.

23. Плоскошліфувальні верстати, їх влаштування і характеристики. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.starki.com.ua/harakterystyky>.



24. Шліфувальні та доводочні верстати. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5083095/page:3/>
25. Плоскошліфувальні верстати. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://jettools.net.ua/jua/produkcija>.
26. Конструктивні особливості та кінематика плоскошліфувальних верстатів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://um.co.ua/9/9-5/9-58088.html>.
27. Частотне керування лінійним асинхронним двигуном: Теряєв В.І., Островерхов М.О. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2010 (62). Частина 1. С. 45-47.
28. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода : навч. посібник / М. В. Загірняк, Т. В. Коренькова, А. П. Калінов, А. І. Гладир, В. Г. Ковальчук. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Харків: Видавництво «Точка», 2017. – 206 с.
29. Як вибрати частотний перетворювач? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electro100.com.ua/>.
30. Частотний перетворювач, як інструмент управління асинхронним електродвигуном: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://k-r.com.ua/dovidnyk/item/>
31. 3Д722 станок плоскошлифовальный с горизонтальным шпинделем универсальный: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://stanki-katalog.ru/sprav\\_3d722.htm](http://stanki-katalog.ru/sprav_3d722.htm)
32. Паспорт 3Д722 Станок плоскошлифовальный с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.prompassport.ru/index.php>.
33. Векторний перетворювач частоти АМД-В: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.electrosphere.com.ua/index.php?>