

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему «Модернізація системи автоматизованого керування
металообробного верстата»

Виконав: студент групи 201-пМЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Полтавський Я.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Галай В.М

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2021 рік

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи бакалавра на тему «Модернізація системи автоматизованого керування металообробного верстата»

Робота містить 58 сторінок, 7 плакатів, та список використаних джерел із 30 найменувань.

Ключові слова: металообробний верстат, асинхронний двигун, система електроприводу.

У даній роботі було проведено модернізацію системи автоматизованого керування металообробного верстата.

До результатів проведеної модернізації відносяться:

- розраховано потужність різання та вибраний відповідний мотор-редуктор привода полотна верстата;
- проведено аналіз сучасних систем електропривода та принципів будови сучасного асинхронного електропривода;
- вибрана система асинхронного електропривода з векторним керуванням, вибрані та розраховані окремі елементи системи привода, побудовано механічні характеристики електропривода;
- розроблена функціональна схема векторного керування асинхронним електроприводом та математична модель асинхронного електродвигуна із структурною схемою електропривода;
- по розробленій моделі за допомогою програмного середовища MATLAB Simulink побудовані графіки перехідних процесів для різних режимів роботи привода.

Розроблений проект має практичну цінність і його результати можуть бути рекомендовані для використання у виробництві.

ABSTRACT

Bachelor's thesis on "Modernization of the automated control system of a metalworking machine"

The work contains 58 pages, 7 posters, and a list of used sources from 30 titles. Key words: metalworking machine, induction motor, electric drive system.

In this work, the modernization of the automated control system of the metalworking machine was carried out. The results of the modernization include:

- the cutting power is calculated and the corresponding motor-reducer of the drive of a cloth of the machine is chosen;

- the analysis of modern systems of the electric drive and principles of a structure of the modern asynchronous electric drive is carried out;

- selected system of asynchronous electric drive with vector control, selected and calculated individual elements of the drive system, built the mechanical characteristics of the electric drive;

- the functional scheme of vector control of the asynchronous electric drive and the mathematical model of the asynchronous electric motor with the structural scheme of the electric drive are developed;

- on the developed model by means of the MATHLAB Simulink software environment graphs of transients for various modes of operation of the drive are constructed.

The developed project has practical value and its results can be recommended for use in production.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНКИ МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ.....	9
1.1. Призначення та принцип роботи верстата.....	9
1.2. Основні технічні характеристики верстата	10
1.2. Обґрунтування тематики проектування	11
1.3. Опис конструкції приводів верстата	12
1.4. Розрахунок потужності двигуна шпінделя верстата.	13
1.5. Перевірка електродвигуна за статичним моментом.	17
1.6. Перевірка електродвигуна за динамічним моментом.	18
2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕТАЛООБРОБНОГО ВЕРСТАТА.	21
2.1. Огляд сучасного стану систем керування АД.....	21
2.1.1. Методи керування	21
2.1.2. Побудова силової частини.....	25
2.1.3. Побудова системи керування.	28
2.1.4. Основні завдання, програмного забезпечення ПЧ.....	32
2.2. Вибір системи електроприводів верстата	34
2.3. Опис функціональної схеми електропривода	39
2.4. Розрахунок механічних характеристик електропривода	43
2.5. Розрахунок баластного резистора.....	49
2.6. Розробка принципової схеми керування верстатом.	52
ЗАКЛЮЧЕННЯ	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА. 57
ЛІТЕРАТУРА.	59

ВСТУП

У провідних верствах промисловості - металургійній, машинобудівній, хімічній, та ряді інших коефіцієнт електрифікації, що являє собою відношення встановленої потужності електродвигунів до потужності двигунів усіх видів, наближається до 100%. Відомими перевагами електричної енергії перед іншими видами є легкість її видобутку та розподілення, легкість перетворення її в інші види енергії. Разом із цим, електричний привід має свої власні переваги та відмінні риси:

- можливістю виготовлення електродвигунів на найрізноманітніші потужності та швидкості руху. Діапазон потужностей сучасних електроприводів коливається від сотих часток вата до мегаватів, а границі частоти обертання – від часток оберту валу за хвилину до кількох сотень обертів на хвилину;

- можливістю створення електроприводів для роботи в найрізноманітніших умовах: в середовищі агресивних рідин та газів, в умовах космічного простору, при низьких та високих температурах і т.д. Різноманітність конструктивних виконань електродвигунів дозволяє виконувати раціональне з'єднання електропривода з робочою машиною;

- можливістю за допомогою простих засобів реалізувати різноманітні та складні види рухів виконавчих органів робочих машин, а також змінювати напрямок руху та його параметри: швидкість, прискорення;

- легкістю автоматизації виробничих і технологічних процесів, простотою включення електропривода в загальну систему керування виробництвом;

- високим ККД електропривода, надійністю в експлуатаванні, сприятливими умовами до обслуговуючого персоналу, відсутністю забруднень оточуючого середовища.

Електричним приводом називається система, що складається з електродвигунного, перетворювального та керуючого пристроїв, призначена для приведення до руху виконуючих органів робочої машини та керування

цим рухом. Для виконання цих функцій електропривод виробляє механічну енергію за рахунок електричної енергії, що одержується ним від джерела електричної енергії (мережа електропостачання). Механічна енергія, що виробляється електроприводом, передається різним виконуючим органам робочих машин та механізмів (стрічці транспортера або конвєсера, шпинделю токарного верстата, крильчатці насоса, валкам прокатного стана, кабіні ліфта, антені радіотелескопа та ін.) і при необхідності регулюється згідно з технічними вимогами до режимів роботи виконуючого органу.

За рахунок отриманої енергії виконуючий орган здійснює потрібний механічний рух, забезпечуючи тим самим виконання виробничих і технологічних операцій: переміщення вантажів, обробку деталей, транспортування рідин або газів, стеження за небесними тілами і т.д.

Більшість систем керування електроприводом, побудовані до дев'яностих років нашого століття, як правило, аналогові або розімкнені цифрові. Сучасні системи керування електроприводами, побудовані на цифрових мікроконтролерах, дозволяють ефективно керувати як розімкненими електроприводами, призначеними для загальнопромислового використання, так і замкненими електроприводами спеціального застосування, що характеризуються високими точністю та швидкодією [5]. Використання цифрових засобів дозволяє суттєво по-іншому розглядати багато проблем синтезу керування електроприводом, дає можливість реалізувати практично довільно складні закони керування, що раніше вважалися недоцільними, забезпечити нові споживацькі властивості, такі як адаптація електропривода під нові умови застосування або умови застосування, що змінюються, самонастройку та оптимізацію параметрів, поглиблену діагностику, контроль та зручність для користувача дистанційне або місцеве керування. Прогрес у розвитку електроприводів останні 5-10 років мав вибуховий характер. Практично кожен рік оновлюється продукція, що випускається серійно, пропонуються нові електроприводи з поліпшеними споживацькими властивостями.

Для опису сучасного стану систем керування електроприводами перед усе слід розглянути об'єкт та постановки задач керування, що характерні для розглядуваного періоду.

Об'єкт керування, тобто незмінна частина загальної системи електропривод-електродвигуни змінного струму, силові перетворювачі та вимірювальні пристрої, в останні роки не визнавав якісних змін, поступово та часом, досить суттєво покращуючись у своїх характеристиках [5].

Найбільш часто застосовується асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором (АД). В регульованому приводі продовжують використовуватися серійні АД, спроектовані для умов прямого включення в загальнопромислову мережу. Існуючі модифікації, як правило, обмежуються конструктивними вдосконаленнями серійного АД.

Спостерігається ріст випуску електроприводів із синхронними двигунами зі збудженням від постійних магнітів (так званий безконтактний двигун постійного струму). Ці двигуни мають найкращі масогабаритні показники. Серед інших типів двигунів можна виділити індукторний двигун (switch reluctance motor) [6], що активно пропонується в останній час. Як стверджують розробники, його характеристики покращенні, що в комбінації зі спрощеним силовим перетворювачем дозволяє сподіватися на його масове застосування. З перспективних також потрібно відмітити синхронно-реактивний двигун [7], який за прогнозами володіє масогабаритними показниками, що лежать у проміжку між відповідними рекордними значеннями синхронного двигуна й АД, а за енергетичною ефективністю, можливо, перевищує їх, до речі, при більш низькій вартості. Однак поки що це – двигуни майбутнього.

Загальна маса промислових силових перетворювачів (СП) будується за схемою трьохфазний випрямляч – трьохфазний автономний інвертор напруги [8]. Вимоги до впливу споживача на живлячу мережу постійно посилюються, стандарти, що вводяться, виключають використання простих випрямляючих схем на вході СП (стандарти IEEE-519, МЭК 555, ГОСТ 13109). Для

покращення якості енергоспоживання, підвищення коефіцієнта потужності, зниження встановленої потужності та вартості СП застосовують випрямлячі на повністю керованих ключах із системою стабілізації напруги ланцюгів постійного струму, схеми з додатковою індуктивністю і та комутуючим ключем для високочастотного імпульсного регулювання вхідного струму; силова схема при цьому володіє вбудованим “інтелектом” (SMART технологія). В СП використовуються сучасні силові прилади (MOSFET, IGBT, МСТ), що мають досить малі динамічні втрати. Характерним режимом використання СП стає режим високочастотної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Частота ШІМ до 10 – 20 кГц, яка для розглядуваного діапазону потужностей досить засвоєна, може виявитися зовсім не зайвою при підвищенні фундаментальної частоти живлення нових електродвигунів, що розробляються.

Перспективи безпосереднього перетворення частоти на повністю керованих силових ключах (матричні перетворювачі), при цьому виключаються додаткові реактивні елементи в основній силовій схемі (як індуктивності, так і конденсатори). Матричний перетворювач дозволяє одночасно синтезувати потрібну для живлення двигуна вихідну напругу (струм) і забезпечити бажаний характер енергоспоживання від живлячої мережі (аж до випереджуючого $\cos \varphi$).

1. Технологічна частина проектування та розрахунки механічної частини.

1.1. Призначення та принцип роботи верстата

Верстат стрічково-пилний призначений для розрізання металу та інших довгомірних матеріалів на заготовельних ділянках цехів заводів, ремонтних майстерень.

Розрізуємий матеріал встановлюється на підтримуючі ролики верстата та рольганга, що складається із декількох окремих секцій. Оператор вручну затискає встановлений матеріал на подаючих роликах, налагодивши підведений упор на необхідну довжину відрізуємої заготовки. Оператор вмикає верстат на автоматичний режим і всі подальші рухи у верстаті виконуються у автоматичному режимі, поки не закінчиться розрізаємий матеріал. У верстаті також передбачений налагодочний режим, при якому всіма рухами у верстаті керує оператор.

Верстат виготовлений у кліматичному виконанні УХЛ категорії 4. Група умов експлуатації 1 за ГОСТ 15150-69.

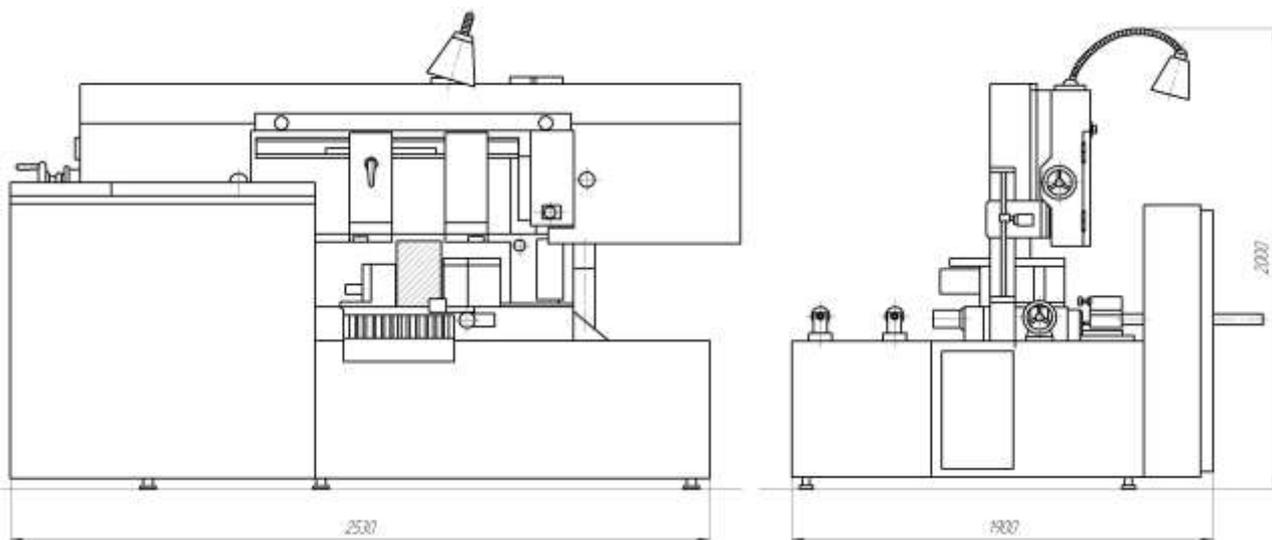


Рисунок 1.1. Загальний вигляд верстата.

1.2. Основні технічні характеристики верстата

Основні технічні характеристики верстата наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

№ п/п	Найменування параметру	Норма
1	Розмір перетину розрізуемого матеріалу, мм	25...350
2	Найбільша довжина матеріалу, що відрізається в автоматичному режимі, мм	500
3	Швидкість різання, м/хв	18...120
4	Розміри стрічкової пилки, мм довжина ширина товщина	4150 34 1,1
5	Швидкість подачі матеріалу, м/хв	$1,8 \pm 0,5$
6	Відстань від низу верстата до опорної поверхні столу, мм	750
7 8	Струм живлячої мережі	трифазний, змінний
9	Частота струму, Гц	50
10	Напруга живлячої мережі, В	380
11	Напруга ланцюгів керування, В	110
12	Кількість двигунів на верстаті	4
13	Сумарна потужність двигунів, кВт	4
14	Габаритні розміри верстата, мм довжина ширина висота	2250 1900 1750
15	Маса верстата, кг	1000

1.2. Обґрунтування тематики проектування

Стрічкопильні технології вже доказали, що у області простого продуктивного відрізного обладнання майбутнє за ними. Великий зріст парку стрічкопильних верстатів призводить до багатократних пропозицій відрізного обладнання на українському ринку.

Технічні параметри верстата обумовлюються наступними характеристиками:

- діапазоном розмірів оброблюваних заготовок;
- маркою матеріалу та його фізичними властивостями;
- необхідною продуктивністю;
- коефіцієнтом завантаження обладнання.

Привод обертання пилки забезпечується електроприводом постійного струму з використанням циліндричного редуктора та клинопасової передачі, що на даний час призводить до втрат ККД електромеханічної системи, та неефективному використанню потужності двигуна. Також використання привода постійного струму пов'язано з частими відмовами електричної частини модуля керування двигуном, внаслідок морального старіння обладнання та виходу з ладу багатьох елементів схеми керування. Підвищення діапазону регулювання значно покращило якісні показники обробки, як то шорсткість поверхні відрізу, час роботи верстат за один цикл.

Тому було вирішено модернізувати електрообладнання верстата, а саме:

- замінити привод руху полотна стрічкової пилки сучасним регульованим електроприводом змінного струму з векторним керуванням;
- обладнати верстат електронним реле підрахунку відрізаних заготовок, що дозволить автоматизувати процес роботи верстатника, та зменшити час обробки;
- провести дослідження по оптимізації перехідних процесів при пуску та навантаженні приводу різання.

1.3. Опис конструкції приводів верстата

Кінематична схема верстата приведена на рис 1.2.

Планетарний мотор редуктор 2 передає обертання на приводний барабан і приводить у рух стрічкову пилку. Від планетарного мотор-редуктора 1 і ланцюгової передачі 3 обертання передається на приводні ролики 4 механізму подачі заготовки. Щітка чистки пилки 5 приводиться у рух самою пилкою.

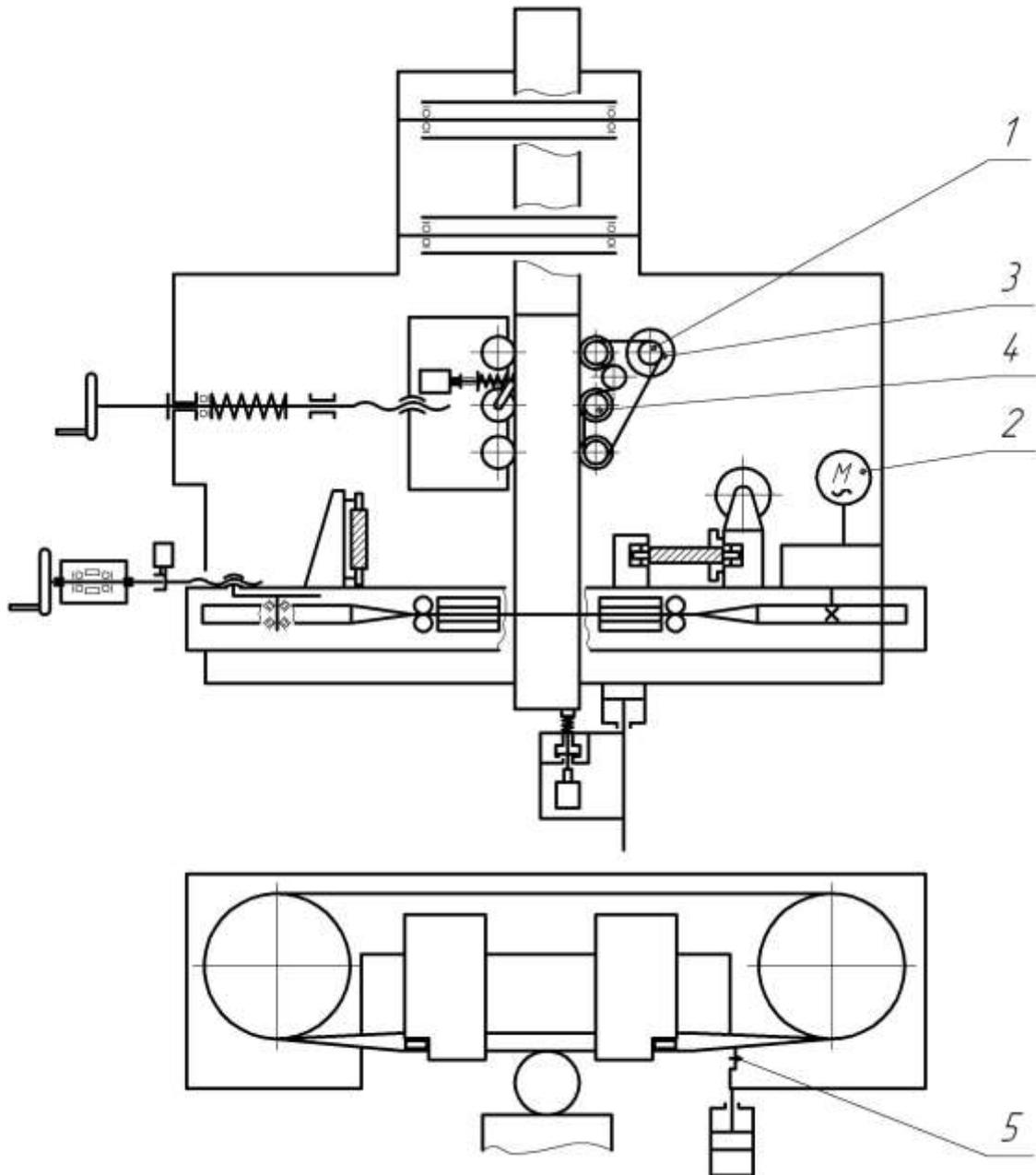


Рис. 1.2. Кінематична схема металообробного верстату СЛП 8535

1.4. Розрахунок потужності двигуна шпінделя верстата.

Питання про вірний вибір потужності електродвигуна є дуже важливим та відповідальним. Завищення потужності двигуна збільшує витрати електропривода та погіршує енергетичні показники (ККД, $\cos\varphi$). Зниження потужності веде до перенавантаження двигуна, швидкого виходу його з ладу, виникне необхідність ремонту і в результаті зменшує продуктивність верстата.

В процесі різання виникають значні сили різання, що діють вздовж тіла стрічкової пилки і направлені у сторону, протилежну її руху.

На величину сили різання при стрічковому розпиленні деталей впливають ряд факторів: механічні властивості оброблюваного матеріалу, величина подачі, сумарна овжина ріжучої кромки, геометрія зуба, стан ріжучої кромки та використовуємо охолодження. Наприклад, при розпилюванні сталі сила різання більше, ніж при обробці чавуну та легких сплавів.

Поведемо розрахунок потужності різання, виходячи з максимальної товщини розрізуємого матеріалу. Нехай необхідно розпилювати поковку-круг діаметром $D=350\text{мм}$. Матеріал заготовки вуглеродиста конструкційна сталь 40 С з межею міцності $\sigma_m = 640\text{МПа}$.

Сила різання визначається за наступною формулою:

$$P_{\text{різ}} = C_p \cdot s_z^{0,85} \cdot b \cdot z_{\text{раб}} \cdot K \quad (1.1)$$

де C_p – коефіцієнт, що характеризує матеріал, який обробляється, та умови його обробки, $C_p = 360$;

b – ширина пропилу, приймаємо рівною ширині полотна, $b = 1,3\text{мм}$;

s_z – подача на зуб в мм. При різанні сталей з $\sigma_m \leq 800\text{ МПа}$ необхідна подача коливається за [19] в межах $s_z = 0,03 \div 0,12\text{ мм/зуб}$. Приймаємо $s_z = 0,08$.

$z_{\text{раб}}$ – кількість одночасно працюючих зубів;

$$z_{раб} = \frac{D}{t_{зуб}} + 1, \quad (1.2)$$

$t_{зуб}$ – довжина робочої поверхні зуба, $t_{зуб} = 10$ мм;

$$z_{раб} = \frac{350}{10} + 1 = 36.$$

K – поправочний коефіцієнт на силу різання, що характеризує вплив переднього куту зуба, охолодження та ступені зносу зубців пилки, для проектного розрахунку прийmemo $K = 1$.

$$P_{риз} = 360 \cdot 0,08^{0,85} \cdot 1,3 \cdot 36 \cdot 1 = 1968 \text{ Н.}$$

Швидкістю різання при розпилюванні називається довжина шляху, що проходять зуби пилки відносно розрізуємої поверхні деталі за хвилину.

Розрахуємо швидкість різання, допустиму властивостями свердла:

$$v_p = \frac{C}{T^m S_z^y} \quad (1.3)$$

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

T – стійкість пилки, вибирається в залежності від режимів різання та вимоги до чистоти поверхні, хв.;

m – показник відносної стійкості;

y – показник степені.

Для даного випадку: $C_v = 170$; $T = 98$ хв.; $m = 0,65$; $y = 0,62$.

Тоді підставивши всі значення у (1.2) отримаємо:

$$v_p = \frac{170}{90^{0,65} \cdot 0,08^{0,62}} = 43,7 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання барабану натягування пилки, відповідна знайдений швидкості різання:

$$n_p = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi \cdot D_{бар}} \quad (1.4)$$

де $D_{бар}$ – діаметр приводного барабана натягування пилки, $D_{бар} = 420$ мм.

$$n_p = \frac{1000 \cdot 43,7}{3,14 \cdot 420} = 33 \text{ об/хв.}$$

Визначимо частоти обертання барабану відповідно до робочих швидкостей різання вертата згідно до паспортних даних:

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot 120}{3,14 \cdot 420} = 90,9 \text{ об/хв;}$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 18}{3,14 \cdot 420} = 13,6 \text{ об/хв;}$$

Величина ефективної потужності, витрачаємої на різання може бути визначена за формулою:

$$P_{\text{різ}} = \frac{P_{\text{різ}} \cdot v_p}{60 \cdot 1020} \quad (1.5),$$

$$P_{\text{різ}} = \frac{1968 \cdot 43,7}{60 \cdot 1020} = 1,4 \text{ кВт.}$$

Визначимо необхідну потужність електродвигуна. ККД передачі приймемо $\eta_n=0,8$. Тоді

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{різ}}}{\eta_n} \quad (1.6)$$

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{різ}}}{\eta_n} = \frac{1,4}{0,8} = 1,75 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт запасу, який враховує втрати на нагрів, тертя та інше лежить в межах 1,05...1,2. Приймемо $k = 1,1$.

Виходячи з цих припущень визначимо необхідну потужність двигуна:

$$P_{\text{необх}} = k \cdot P_{\text{дв}} = 1,1 \cdot 1,75 = 1,925 \text{ кВт.} \quad (1.7)$$

Номінальну потужність електродвигуна P_n вибираємо за довідником [21], додержуючись наступного співвідношення

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{необх}}. \quad (1.8)$$

Так як раніше зазначалося, що електропривод планується виконати на базі асинхронного електропривода змінного струму, тому вибираємо асинхронний електродвигун змінного струму серії 4А90В4У3.

Електродвигуни цієї серії призначаються для використання у приводах механізмів загального призначення, режим роботи S1 за ГОСТ 183, ступінь захисту IP44 за ГОСТ 17494, спосіб охолодження IC0141 за ГОСТ 20459, кліматичне виконання УЗ за ГОСТ 15150.

Таблиця 1.2

Технічні характеристики електродвигуна 4А80В2У3.

Найменування параметру	Значення
Номінальна потужність $P_{\text{ном}}$, кВт	2,2
Номінальна фазна напруга, $U_{1\text{ном}}$, В	220
Номінальний струм, $I_{\text{ном}}$, А	4,62
Номінальна частота обертання, $n_{\text{ном}}$, об/хв	2871
Номінальне ковзання, $s_{\text{ном}}$	0,043
Коефіцієнт корисної дії, не менше	83
$\cos \varphi$	0,87
Маса, кг	51

Таблиця 1.3

Технічні характеристики мотор-редуктора ЗМП 40-90 310У2.

Найменування параметру	Значення
Номінальна частота обертання вихідного валу n_2	90
Номінальний крутний момент вихідного валу, M_2 , Нм	225
Допустиме радіальне консольне навантаження, що прикладене всередині посадочної частини вихідного валу, F_2 , Н	3750
Коефіцієнт корисної дії, не менше	81
Маса, кг	51

Зовнішній вигляд та габаритно-під'єднувальні розміри електродвигуна наводяться на рис. 1.5.

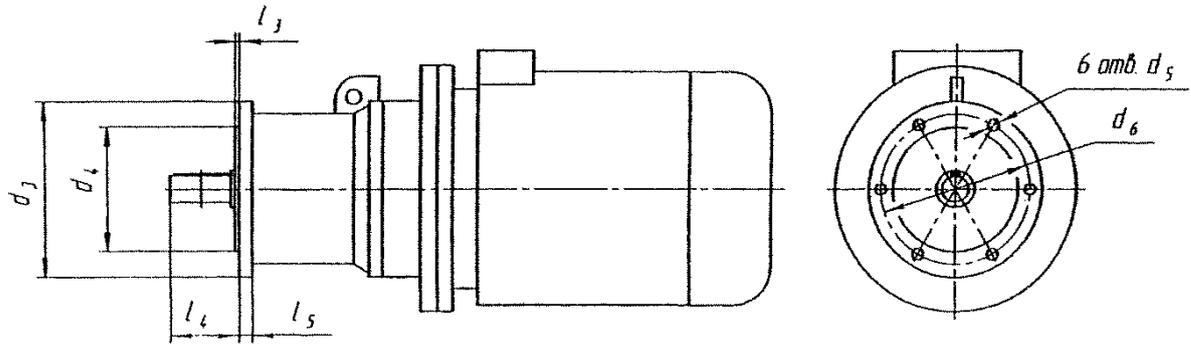


Рисунок 1.5. Габаритно-під'єднувальні розміри мотор-редуктора фланцевого виконання ЗМП 40-90-310У2 з електродвигуном 4А80В2У3.

1.5. Перевірка електродвигуна за статичним моментом.

Визначимо номінальний момент, що розвивається двигуном за формулою:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}, \quad (1.9)$$

де $\omega_{ном}$ – номінальна кутова швидкість двигуна, рад/с:

$$\omega_{ном} = \frac{n_{ном} \cdot \pi}{30} = \frac{2871 \cdot 3,14}{30} = 300,5 \text{ рад/с}. \quad (1.10)$$

Тоді

$$M_{ном} = \frac{2200}{300,5} = 7,32 \text{ Нм}.$$

Перевіримо двигун за еквівалентним моментом. На основі рівняння енергетичного балансу при усталеному режимі електропривода для передавального механізму можемо записати наступне рівняння [20]:

$$M_c \omega_{ов} \eta = M_{дiйс} \omega_{об} \quad (1.11)$$

де M_c – приведений до вала двигуна статичний момент навантаження;

η – ККД передавального механізму;

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

$\omega_{об}$ – швидкість обертання шпинделя.

Звідки:

$$M_c = \frac{M_{дiйc}}{\eta} \cdot \frac{\omega_{об}}{\omega_{дв}} = \frac{M_{дiйc}}{u \cdot \eta} \quad (1.12)$$

де u – передавальне число кінематичної ланки.

$$M_c = \frac{6,89}{0,9 \cdot 33,3} = 8,76 \text{ Нм};$$

$$M_{ном} = 7,32 > M_c = 8,76$$

Бачимо, що умова, $M_{ном} > M_c$, виконується, тобто в статичних режимах двигун вибраний вірно.

1.6. Перевірка електродвигуна за динамічним моментом.

Для перевірки можливості електродвигуна вистояти пускове навантаження, а також для розрахунку динамічної міцності деталей що обертаються, необхідно визначити момент сил інерції $M_{дин}$, тобто динамічний момент, який необхідно подолати двигуну при пуску, за формулою [19]:

$$M_{дин} = J_{пр} \cdot \varepsilon \quad (1.13).$$

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

ε - кутове прискорення вала двигуна.

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

$$E_k = J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + \sum_{i=1}^n J_i \frac{\omega_i^2}{2}, \quad (1.14)$$

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

ω_1 – номінальна кутова швидкість вала електродвигуна при усталеному русі;

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

ω_n – кутова швидкість n-го вала.

Запишемо рівняння кінетичної енергії для обертових мас:

$$E_k = J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_1^2}{2} + \sum_{i=3}^{10} J_i \frac{\omega_i^2}{2} \quad (1.15)$$

В свою чергу,

$$E_k = J_{np} \frac{\omega_1^2}{2}, \quad (1.16)$$

тому підставивши (1.28) в (1.29) та поділивши обидві частини рівняння на $\frac{2}{\omega_1^2}$, одержимо

$$J_{np} = J_{\text{дв}} + J_2 + \sum_{i=3}^{10} J_i \frac{\omega_i^2}{\omega_1^2}. \quad (1.17)$$

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

$$J_{np} = J_{\text{дв}} + J_2 + \sum_{i=3}^{10} J_i \frac{1}{u_i^2} \quad (1.18)$$

де u_i – передавальні числа передач i-х валів.

Враховуючи достатню простоту розглядаємої системи та враховуючи незначний вплив намотувального пристрою та клинопасової передачі за рекомендаціями з [13] для подібної систем можна з достатньою мірою точності прийняти:

$$J_{np} = 1,27 \cdot J_{\text{дв}}, \quad (1.19)$$

$$J_{np} = 1,27 \cdot 0,0056 = 7,11 \cdot 10^{-3} \text{ кгм}^2$$

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

$$t_{\text{пуск}} = \frac{J_{np} \cdot \omega_n}{M_{\text{пуск}}} \quad (1.20).$$

де ω_n – номінальна кутова швидкість вала електродвигуна;

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

$M_{\text{пуск}}$ – пусковий момент двигуна. Згідно з [21] для цієї серії двигунів

$$M_{\text{пуск}} = 2M_{\text{ном.}}$$

Тобто:

$$t_{\text{пуск}} = \frac{7,11 \cdot 10^{-3} \cdot 2871 \cdot \pi}{2 \cdot 14,8 \cdot 30} = 0,036 \text{ с.}$$

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

$$\varepsilon = \frac{\omega_n}{t_{\text{пуск}}} \quad (1.21),$$

$$\varepsilon = \frac{2871 \cdot \pi}{0,036 \cdot 30} = 4130,6 \text{ рад/с}^2.$$

Підставивши отримані значення в формулу (1.27) визначимо динамічний момент:

$$M_{\text{дин}} = 4130,6 \cdot 7,11 \cdot 10^{-3} = 29,36 \text{ Нм.}$$

Двигун можна вважати вибраним правильно, якщо відношення $k_n = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$, буде більшим ніж відношення динамічного до номінального

моменту $k = \frac{M_{\text{дин}}}{M_{\text{ном}}}$.

$$k = \frac{M_{\text{дин}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{29,36}{7,32} = 1,98 < k_n = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 2,0.$$

Звідси бачимо, що двигун вибраний вірно.

2. Розробка системи електропривода металообробного верстата.

2.1. Огляд сучасного стану систем керування АД.

У загальному випадку можна виділити два основних завдання, що вирішуються регульованим електроприводом: керування моментом і швидкістю обертання двигуна. Необхідність регулювання моменту диктується технічними і технологічними вимогами, що пред'являються до електроприводу. Для нормального функціонування привода необхідно обмежувати момент і струм двигуна допустимими значеннями в перехідних процесах пуску, гальмування і додатки навантаження. Для механізмів, що випробовують при роботі значні перевантаження аж до стопорення робочого органу, виникає необхідність безперервного регулювання моменту двигуна в цілях обмеження динамічних ударних навантажень. У багатьох випадках потрібне також точне дозування зусилля на робочому органі (приводи металообробних верстатів, намотувальні машини і ін.).

Технологічні режими багатьох виробничих механізмів на різних етапах роботи вимагають руху робочого органу з різною швидкістю, що забезпечується або механічним, або шляхом електричного регулювання швидкості електроприводу. При цьому вимоги до діапазону і точності регулювання швидкості можуть змінюватися в щонайширших межах залежно від області застосування електропривода.

2.1.1. Методи керування

Для вирішення завдань регулювання швидкості і моменту в сучасному електроприводі застосовують два основні методи частотного керування:

- скалярне керування;
- векторне керування.

Асинхронний електропривод з скалярним керуванням є на сьогодні найбільш поширеним. Він застосовується у складі приводів насосів, вентиляторів, компресорів і інших механізмів, для яких важливо

підтримувати або швидкість обертання валу двигуна (при цьому використовується датчик швидкості), або технологічний параметр. Основний принцип скалярного управління - зміна частоти і амплітуди що живить напругу згідно із законом $U/f^n = const$, де $n \geq 1$. Конкретний вид залежності визначається вимогами, що пред'являються до приводу навантаженням. Звично за незалежну дію береться частота, а значення напруги при даній частоті визначає вид механічної характеристики, значення пускового і критичного моментів. Скалярне керування забезпечує постійність перевантажувальної здатності приводу незалежно від частоти напруги, проте має місце зниження моменту, що розвивається двигуном, при низьких частотах (при $f < 0,1 \cdot f_{ном}$). Максимальний діапазон регулювання швидкості обертання ротора при незмінному моменті опору для приводів з скалярним керуванням досягає 1:10.

Метод скалярного управління відносно простий в реалізації, але володіє двома істотними недоліками. По-перше, за відсутності датчика швидкості на валу двигуна неможливо регулювати швидкість обертання валу, оскільки вона залежить від навантаження. Наявність датчика швидкості вирішує цю проблему, проте залишається другий істотний недолік – не можна регулювати момент на валу двигуна. З одного боку, і цю проблему можна вирішити установкою датчика моменту, проте такі датчики мають дуже високу вартість, що часто перевищує вартість всього приводу. Але навіть за наявності датчика управління моментом виходить дуже інерційним. Більш того, при скалярному управлінні не можна регулювати одночасно і момент і швидкість, тому доводиться вибирати ту величину, яка є найбільш важливою для даного технологічного процесу.

Для усунення недоліків, властивих скалярному управлінню, фірмою SIEMENS ще в 1971 році був запропонований метод векторного управління. Перші варіанти приводів з векторним керуванням вимагали використання двигунів з вбудованими датчиками потоку. Це істотно обмежувало застосування таких приводів.

У сучасних електроприводах в систему керування закладається математична модель двигуна, яка дозволяє розраховувати момент на валу і швидкість обертання валу. При цьому необхідними є тільки датчики струму фаз статора двигуна. Завдяки спеціальній структурі системи управління забезпечується незалежне і практично безінерційне регулювання двох основних параметрів - моменту на валу і швидкості обертання.

На сьогодні сформувалися два основні класи систем векторного управління - бездатчикові системи (без датчика швидкості на валу двигуна) і системи із зворотним зв'язком за швидкістю. Застосування того або іншого методу векторного керування визначається областю застосування електропривода. При невеликих діапазонах зміни швидкості (не більше 1:100) і вимогах до точності її підтримки не більш $\pm 0,5\%$ застосовують бездатчикове векторне управління. Якщо ж швидкість обертання валу змінюється в широких межах (до 1:10000 і більш), є вимоги до високої точності підтримки швидкості обертання (до $\pm 0,02\%$ при частотах обертання менше 1 Гц) або є необхідність позиціонування валу, а також при необхідності регулювання моменту на валу двигуна на дуже низьких частотах обертання, застосовують методи векторного управління із зворотним зв'язком за швидкістю.

При використанні векторного управління досягаються наступні переваги:

- висока точність регулювання швидкості навіть за відсутності датчика швидкості;
- плавне, без ривків, обертання двигуна у області малих частот;
- можливість забезпечення номінального моменту на валу при нульовій швидкості (за наявності датчика швидкості);
- швидка реакція на зміну навантаження: при різких стрибках навантаження практично не відбувається стрибків швидкості;
- забезпечення такого режиму роботи двигуна, при якому знижуються втрати на нагрів і намагнічення, а отже, підвищується ККД двигуна.

Разом з очевидними перевагами, методу векторного керування властиві і деякі недоліки, такі, як велика обчислювальна складність і необхідність знання параметрів двигуна. Крім того, при векторному керуванні коливання швидкості на постійному навантаженні більше, ніж при скалярному керуванні.

Таблиця 2.1

Методи формування вихідної напруги	<ul style="list-style-type: none"> – синусоїдальна ШІМ – метод просторової модуляції базових векторів (Space Vector Modulation)
	<p>Частота ШІМ настроювана, 8...16 кГц для потужності від 0,75 до 30 кВт и 4...8 кГц для потужності вище 37 кВт.</p> <p>Для зниження рівня акустичного шуму використовується метод «м'якої» ШІМ.</p>
Метод керування двигуном	<p>Скалярне керування:</p> <ul style="list-style-type: none"> – класичне скалярне керування по заданній характеристиці U/f; – скалярне керування з компенсацією падіння напруги на статоре (IR компенсація); – скалярное управление с компенсацией скольжения.
	<p>Векторне керування:</p> <ul style="list-style-type: none"> – бездатчикове векторне керування швидкістю; – бездатчикове векторне керування моментом; – векторне керування швидкістю с датчиком зворотнього зв'язку; – векторне керування моментом с датчиком зворотнього зв'язку.
Метод гальмування двигуна	<ul style="list-style-type: none"> – Постійним струмом; – динамічне гальмування з використанням вбудованого чи зовнішнього гальмівного резистора.

2.1.2. Побудова силової частини

Найбільшого поширення набули перетворювачі частоти (ПЧ) з проміжною ланкою постійного струму, побудовані по схемі випрямляч – автономний інвертор. Принцип роботи і області застосування таких ПЧ залежать від типу використовуваного випрямляча і автономного інвертора (інвертор напруги або інвертор струму).

Існує декілька різних схем випрямлячів. За принципом дії вони можуть бути розділені на три групи: керовані, напівкеровані і некеровані. Схемотехнічно всі випрямлячі будуються за трифазною мостовою схемою. Найбільшого поширення набули некеровані випрямлячі. Виконувані на найпростіших і дешевших напівпровідникових приладах – діодах, вони характеризуються максимальною простотою і надійністю, високим ККД, а також достатньо високою якістю вихідної (випрямленого) напруги і гармонійного складу струму, споживаного з мережі. Проте некерованість процесу перетворення енергії не дозволяє реалізувати режими рекуперації, необхідні у багатьох випадках.

Керовані випрямлячі, що виконуються звично на низькочастотних тиристорах, позбавлені як недоліків, так і більшості достоїнств діодних випрямлячів. Вони володіють високими ККД і властивістю оборотності по напрямку перетворення енергії і звично використовуються спільно з автономними інверторами струму для регулювання величини вихідного струму перетворювача. Недоліки керованих випрямлячів полягають в підвищеному рівні пульсацій випрямленої напруги, в зниженому значенні коефіцієнта потужності, який зменшується пропорційно вихідній напрузі, і в односторонньому напрямі вихідного струму. При необхідності забезпечити протікання випрямленого струму в обох напрямках використовують реверсивні тиристорні перетворювачі, що складаються з двох включених зустрічно-паралельно тиристорних випрямлячів, один з яких призначений для протікання струму навантаження в прямому, а інший у зворотному напрямі. Це ускладнює і здорожує перетворювач.

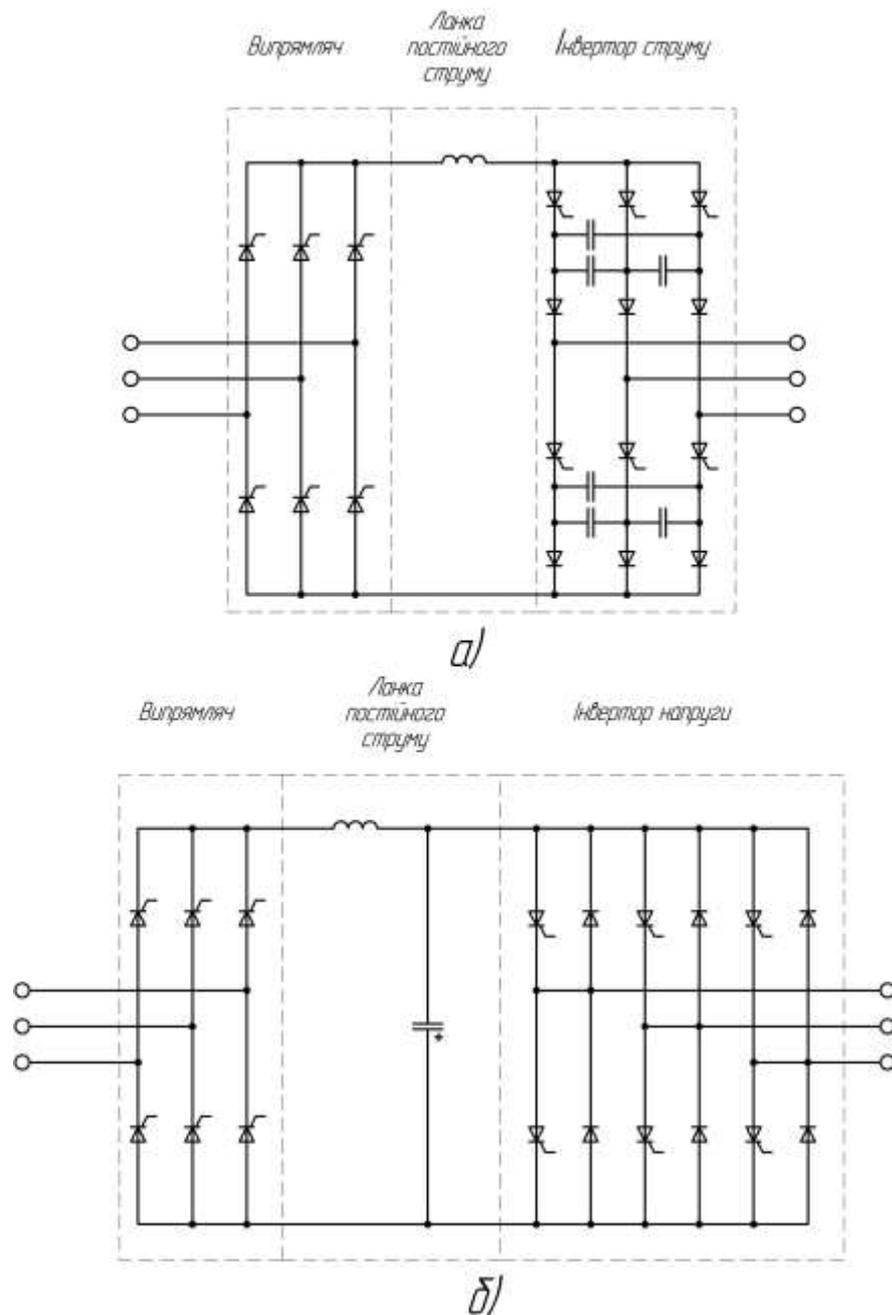


Рис. 2.1. Принципова схема силової частини перетворювачів:

- а) автономний інвертор струму (АІС);
- б) автономний інвертор напруги (АІН).

Напівкеровані випрямлячі займають проміжне положення між керованими і некерованими випрямлячами, дозволяючи регулювати значення випрямленої напруги без можливості рекуперації енергії в мережу. У разі керованих і напівкерованих випрямлячів з'являється можливість відключення силової схеми ПЧ від мережі без використання додаткового устаткування.

Залежно від типу автономного інвертора контур постійного струму може бути виконаний як ланка, що забезпечує постійну напругу (звично С- або LC-фільтр), або як ланка, що підтримує постійність струму (фільтр у вигляді реактора із значною індуктивністю). Величина місткості конденсатора в ланці постійного струму звично складає 2000-20000 мкФ.

Характерними особливостями автономних інверторів струму (АІС, мал. 1а) є живлення від джерела струму (у ланцюг джерела включений дросель значної індуктивності), обмін реактивною енергією навантаження з комутуючим конденсатором, значне коливання напруги на вході інвертора при постійному струмі джерела, а також залежність форми кривої напруги на виході і вході інвертора від характеру навантаження. АІС технічно реалізуються простіше, ніж АІН, оскільки в них відсутній поворотний діодний міст. У ПЧ на основі АІС при використанні керованих випрямлячів можлива рекуперація енергії в мережу, що важливе для електроприводів, що працюють в повторно-короткочасних режимах роботи.

Характерним недоліком АІС є те, що він не може працювати на холостому ході (з відключеним двигуном). Крім того, при використанні АІС можливі істотні втрати потужності і формування додаткових обурюючих моментів в двигуні, що приводять до коливань швидкості.

При необхідності формування струмів двигуна, близьких до синусоїдальних, потрібне значне ускладнення схеми АІС.

Особливостями автономних інверторів напруги (АІН, мал. 1б) є живлення від джерела напруги, замикання контура реактивного струму навантаження через зворотні діоди і незалежність форми кривої напруги на виході інвертора від характеру навантаження. Недоліком АІН є необхідність використання реверсивних випрямлячів для організації рекуперативних режимів роботи електроприводу. Проте застосування інверторів напруги дозволяє без ускладнення схеми одержати високі енергетичні показники і забезпечити вихідні струми, близькі до синусоїдальних. Саме це обумовлює широке застосування АІН в сучасному електроприводі.

Для побудови силових ключів у області комутованих струмів до 50 А використовуються біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT) і польові транзистори з ізольованим затвором (MOSFET), а також низькочастотні і високочастотні діоди і тиристри. Силові біполярні транзистори в діапазоні до 50 А знаходять основне застосування в дешевому промисловому устаткуванні. У області комутованих струмів більше 50 А основними використовуваними приладами є силові модулі на базі біполярних транзисторів, тиристри, що замикаються (GTO, GCT, IGCT). Особливо слід виділити транзисторні і діодно-транзисторні модулі, виконані за інтегральною технологією на основі транзисторів типу IGBT. Низькі втрати потужності в ключових режимах, великі значення робочої напруги і струмів, малі часи включень і відключень цих модулів, а також можливість їх використання при паралельній роботі дозволяють створювати могутні і компактні перетворювальні установки з високої частотою комутації напівпровідникових ключів.

2.1.3. Побудова системи керування.

Основним елементом систем керування сучасних ПЧ є спеціалізований мікроконтролер або цифровий сигнальний процесор (DSP). Побудова системи керування на базі DSP обумовлене необхідністю проведення у великого об'єму складних обчислень в режимі реального часу для реалізації сучасних алгоритмів управління. Найбільшою мірою це критично для бездатчикових систем векторного управління.

Система управління може бути одно чи багатопроцесорною. Однопроцесорні системи мають істотні недоліки: до мікроконтролера пред'являються підвищені вимоги по наявності вбудованих периферійних модулів і портів введення-виводу, по швидкодії і об'єму пам'яті; значно ускладнюється розробка програмного забезпечення. Проте при рішенні задач управління невисокої складності гідністю однопроцесорних систем є простота апаратної і програмної реалізації.

В даний час більшість перетворювачів будуються на двопроцесорній основі. Перший процесор (ЦП1) виконує основні функції ПЧ (реалізація алгоритмів управління інвертором, випрямлячем, опит датчиків і т. д.), другий (ЦП2) забезпечує роботу пульта управління, зв'язок з системою верхнього рівня і інші сервісні функції. Слід зазначити, що розподіл функцій між мікроконтролерами може бути проведений і іншим способом. Достоїнства двопроцесорної системи в порівнянні з однопроцесорною - зниження вимог до ЦП1 і ЦП2 та вбудованій периферії, швидкодії і об'єму пам'яті; можливість застосування єдиного інтерфейсу для зв'язку центрального контролера з пультом управління і з системою автоматизації верхнього рівня; значне спрощення розробки програмного забезпечення для кожного з контролерів.

Управління драйверами інвертора здійснюється за допомогою формування шестиканального ШІМ-сигналу з автоматичним додаванням «мертвого часу». У більшості мікроконтролерів модуль ШІМ реалізований апаратно. Для отримання форми вихідної напруги, близької до синусоїдальної (що особливо критично при скалярному управлінні), може використовуватися програмна або апаратна корекція «мертвого часу». Також в більшості випадків реалізується апаратне блокування сигналів ШІМ у разі аварії.

Керування перетворювачем може здійснюватися за допомогою пульта, дискретних або аналогових входів. Перетворювачі конструктивно будуються за модульним принципом, що дозволяє вводити в них додаткові функціональні модулі, які в поєднанні з вбудованими програмними засобами дозволяють одержати різну конфігурацію електропривода – від простих розімкнених до точних замкнених систем позиціонування. Як правило, такі модулі розширення містять в своєму складі аналогові і дискретні входи і виходи, а також інтерфейси зв'язку.

Всі аналогові входи і виходи на платні розширення мають вбудоване джерело живлення і звично виконуються гальванічно розв'язаними від

системи управління і дискретних входів і виходів. Функції, що виконуються аналоговими входами і виходами, програмуються з пульта управління. Аналогові входи служать для підключення датчиків зворотного зв'язку по технологічним параметрам.

У більшості ПЧ є також вхід для підключення потенціометра, використовуваного як задатчика вихідної частоти (для ПЧ із скалярним керуванням) або частоти обертання ротора двигуна (для ПЧ з векторним керуванням), при цьому для живлення задатчика частоти використовується вбудоване джерело живлення.

Можливо також наявність додаткового входу для підключення датчика температури двигуна (терморезистора). Аналогові виходи служать для індикації одного з параметрів стану ПЧ (наприклад, поточної вихідної частоти або розрахункового значення моменту на валу двигуна). Можливість підключення до виходів як вольтметрів, так і амперметрів досягається за рахунок наявності виходу напруги і виходу струму. Вихідні аналогові сигнали формуються з допомогою ЦАП (як правило, 10-бітових); в окремих випадках вихідна напруга формується методом широтно-імпульсної модуляції. Дискретні входи і виходи на платні розширення використовуються для підключення зовнішніх сигналів, що управляють, що поступають з електромагнітних реле, а також для формування сигналів управління такими реле.

Звично в ПЧ є від чотирьох до восьми дискретних входів типу «відкритий колектор», що виконують наступні функції: вибір однієї з трьох вихідних частот (або швидкостей обертання ротора), управління відключенням і реверсом, аварійне відключення ПЧ. Всі дискретні входи виконуються гальванічно розв'язаними від системи керування.

Дискретні виходи можна розділити на дві категорії: силові («релейні») виходи для управління зовнішніми електромагнітними реле і виходи типу «відкритий колектор» для роботи із зовнішніми логічними схемами. Плата розширення звично містить два релейні виходи, що мають пару нормально

замкнених і пару нормально розімкнених контактів, а також чотири виходи типу «відкритий колектор». Функції виходів можна запрограмувати з пульта управління; звично це: готовність, перевантаження, аварія, вихід на задану частоту. Всі дискретні виходи гальванічно розв'язані від системи керування, при цьому релейні виходи розв'язані між собою, а виходи типу «відкритий колектор» мають загальний нульовий сигнал.

Перетворювач може вбудовуватися в сучасні системи автоматизації. Широко використовується керування у реальному часі декількома перетворювачами, для чого пропонуються рішення з різними інтерфейсами зв'язку і топологіями мережі. Більшість перетворювачів частоти комплектуються стандартним інтерфейсом RS-422 або RS-485. При цьому взаємодія здійснюється з використанням протоколів Modbus або Profibus, або їх спрощених модифікацій. При використанні модулів розширення доступні додаткові інтерфейси (наприклад, CAN) і протоколи (Interbus, CANOpen, DeviceNet).

Як правило, ПЧ в своєму складі має пульт керування, який розташовується на лицьовій панелі корпусу перетворювача. Пульт містить декілька спеціалізованих кнопок, в окремих випадках може бути присутньою цифрова клавіатура. Висновок інформації здійснюється за допомогою одно- або дворядкового спеціалізованого ЖК або декількох семисегментних індикаторів, а також світлодіодів, що відображають режими роботи. На етапі введення ПЧ в експлуатацію пульт служить для конфігурації перетворювача і настройки відповідних параметрів; під час роботи - для спостереження за параметрами робочого режиму.

В процесі обслуговування на індикаторі відображається інформація про виниклі несправності, що забезпечує можливість постійного контролю стану приводу.

Пульт керування, як правило, виконується знімним, що дозволяє підключати його ПЧ тільки при необхідності і використовувати один пульт для декількох перетворювачів. Для зберігання налаштувань системи,

калібрувальних параметрів, журналу аварій і іншої інформації використовується додаткова незалежна пам'ять. Часто вона виконується на основі мікросхем Flash-пам'яті (як правило, з послідовним інтерфейсом I2C або SPI). Крім того, багато мікроконтролерів і DSP мають можливість збереження даних у внутрішній незалежній пам'яті.

2.1.4. Основні завдання, програмного забезпечення ПЧ

1. Реалізація різних методів керування двигуном і методів формування вихідної напруги.
2. Керування вхідним випрямлячем (у разі використання керованого або напівкерованого випрямляча) - видача імпульсів управління на силові ключі відповідно до заданого кута відкриття тиристорів. При цьому необхідна синхронізація з живлячою мережею, тобто визначення моменту проходження фаз вхідної напруги через нуль і коректування моментів відкриття ключів випрямляча.
3. Прийом і обробка інформації з датчиків. Дана інформація використовується для визначення поточного стану ПЧ і двигуна, що необхідне для реалізації необхідних законів керування, відстежування аварійних ситуацій і т.д.
4. Взаємодія з периферійними модулями контролера (робота з Flash-пам'яттю, годинником реального часу і іншими пристроями, що забезпечують додаткові сервісні функції).
5. Взаємодія з системою автоматизації верхнього рівня. Здійснюється за принципом «ведучий - відомий» (Master - Slave), причому ПЧ виступає в ролі відомого пристрою. Програмне забезпечення реалізує необхідний протокол обміну, забезпечує прийом і виконання команд керування, а також видачу необхідної інформації про поточний режим роботи, стан датчиків і параметри ПЧ. У разі двопроцесорної системи забезпечується можливість спільної роботи основного контролера і контролера пульта керування.

6. Обробка зовнішніх сигналів і видача дій, що управляють, на зовнішню апаратуру у разі керування перетворювачем частоти через дискретні або аналогові входи.
7. Забезпечення інтерфейсу з користувачем. Слід зазначити, що складність реалізації зручного інтерфейсу визначається набором засобів керування і індикації, передбаченого на пульті.
8. Діагностика апаратури і самодіагностика. Діагностика полягає у визначенні працездатності різних модулів, що входять в склад ПЧ (як силових, так і керування) і підключеного двигуна. Крім того, проводиться контроль цілосності програми і даних, що зберігаються в незалежній пам'яті.
9. Реалізація захисних функцій. Сучасні ПЧ реалізують максимально-струмовий захист, захист від перегріву двигуна і перетворювач, від перевантаження, надмірних відхилень напруги живлення, обриву фази, міжфазного короткого замикання, замикання фази на землю і помилок зв'язку. Коректний вихід із стану аварії можливий, тільки якщо ліквідовані причини її виникнення. Для окремих видів аварій (наприклад, пропажа напруги в мережі, аварія зв'язку) система в стані самостійного відстежити можливість продовження роботи. Відновлення після інших аварій вимагає втручання обслуговуючого персоналу.
10. Збереження інформації про режими, тривалість роботи, періодичності включення ПЧ; підрахунок показників ефективності за певний період; ведення журналу збоїв, що відбулися і аварій. Це дозволяє проаналізувати ефективність використання перетворювача і полегшує пошук причин збоїв в роботі устаткування.
11. Реалізація додаткових функцій. Різні модифікації перетворювачів володіють набором таких можливостей, як завдання програмованих фіксованих установок швидкості; управління режимом гальмування приводу; управління декількома двигунами; здійснення роботи ПЧ за розкладом. До програмованих функцій, що управляють, що забезпечують можливість

адаптації статичних і динамічних характеристик приводу під умови навантаження, відносять:

- плавний пуск і зупинка двигуна з вибором форми кривої зміни швидкості (звично використовують лінійну, S- і U-образну характеристики зміни швидкості) і роздільною настройкою часу розгону і гальмування з автоматичною корекцією прискорення і уповільнення у разі перевищення допустимого моменту;
- режим «підхоплення» двигуна, використовуваний при включенні ПЧ на двигун, що обертається (наприклад, після короткочасної пропажі напруги мережі);
- пропуск частот, при яких робота приводу небажана;
- компенсацію падіння напруги на активному опорі статора (IR-компенсація), яка може бути замінена настройкою необхідного профілю кривої «напруга - частота» для забезпечення роботи з мінімальним струмом споживання;
- підтримку високого пускового моменту на низьких частотах за рахунок додаткового збільшення напруги;
- стабілізацію швидкості обертання шляхом дії на частоту у функції навантаження (компенсація ковзання);
- настройку реакції на стрибок швидкості або моменту навантаження з урахуванням інерційних властивостей механізму;
- автоматичне визначення параметрів підключеного двигуна (адаптація).

2.2. Вибір системи електроприводів верстата

Промисловістю країн пост-радянського простору в останній час випускається достатньо велика кількість різновидів систем частотно-регулюємого приводу. В даній дипломній роботі ми зупиняємося на розробці НДЛ „Вектор” Іванівського державного енергетичного університету – комплектному електроприводі ЕПВ.

Приводи серії ЕПВ являють собою нове покоління багатофункціональних „інтелектуальних пристроїв” керування асинхронними електродвигунами змінного струму, що призначаються для регульованого привода механізмів та технологічних процесів із самими різноманітними вимогами до параметрів регулювання та умов використання [6].

Для електропривода привода стрічкової пилки вибираємо електропривод серії ЕПВ на базі перетворювача частоти з адаптивно-векторним керуванням для високоефективних широкодіапазонних асинхронних електроприводів, що призначений для механізмів з підвищеними вимогами до статичних та динамічних характеристик.

Основні характеристики перетворювача
ЕПВ ТТПТ-10-380-2АП380-УХЛ4.

Таблиця 2.2

Найменування параметра	Значення
Номінальна вихідна потужність, кВА	6,5
Типова потужність двигуна, кВт	3
Напруга живлення, В	380 +10/-15%
Частота напруги живлення, Гц	48...63
Вихідна напруга, В	0...380
Вихідна частота, Гц	0-400
Частота модуляції, Гц	2500-16000
Номінальний вихідний струм, А	10
Максимальний вихідний струм, А	13
Струм спрацювання захисту, А	21
Максимальний струм гальмування, А	15
Мінімальний опір баластного резистора, Ом	43
Потужність втрат в номінальному режимі, Вт	100
Максимальна температура радіатора, °С	85

Електропривод являє собою електромеханічну систему, що включає в себе асинхронний двигун із датчиком швидкості і перетворювач частоти типу «некеруємий випрямляч – інвертор напруги» з мікропроцесорною системою керування. Електропривод призначений для високоякісного керування об'єктом, що вимагає підвищені вимоги до динамічних якостей та діапазону

регулювання швидкості (полоса пропускання контуру швидкості – не менше 20 Гц). Перетворювач конструктивно виконаний у вигляді навісного блоку одностороннього обслуговування. Основне виконання перетворювача частоти за кліматичними вимогами – УХЛ, по категорії розміщення – 4, по степеню захисту IP00 згідно до ГОСТ 15150-69, ГОСТ 14254-80, при цьому температура воздуха у шафі комплектного пристрою не повинна перевищувати 40°C.

Електропривод в режимі регулювання швидкості забезпечує наступні характеристики:

- полоса пропускання частот – не менше 20 кГц;
- повний діапазон регулювання швидкості – не менше 1000;
- піддіапазон регулювання швидкості вище номінальної – не менше 3;
- точність підтримання швидкості наведена в таблиці 3.2;
- зміна швидкості обертання при накиданні чи скиданні навантаження $0,4 M_{ном}$ при $0,1 n_{мах}$ не повинно перевищувати 10%, а час відновлення швидкості до статичного допуску 2% не більше 0,15с.

Таблиця 2.3

Швидкість двигуна	Похибка швидкості, % не більше			Коефіцієнт нерівномірності обертання, K_n , не більше
	при зміні навантаження Δ_n	при зміні напряму обертання $\Delta_{об}$	сумарна Δ_Σ	
$n_{мах}$	0,5	1	2	0,1
$0,1n_{мах}$	2	2	10	0,1
$0,01n_{мах}$	5	5	15	0,2
$0,001n_{мах}$	10	10	25	0,25

Перетворювач частоти забезпечує захист електропривода у відповідності до ГОСТ24607-88:

- максимально-струмовий захист перетворювача;
- захист від пропадання живлення ланцюгів керування;
- захист від збоїв програмного забезпечення;
- захист від недопустимих відхилень живлячої напруги;

- захист від аварії вузла скидання енергії;
- захист від невідповідності швидкості заданій, у тому числі від несправності в ланцюгах оберненого зв'язку по швидкості;
- захист від перегріву силового блоку перетворювача;
- часо-струмовий захист.

Показники надійності електропривода:

- середнє напрацювання на відмову – не менше 8000 г;
- середній час відновлення – не більше 8 год, при використанні резервних плат – 0,5 год.
- середній строк служби – не менше 12 років,
- гарантований строк служби – 2 роки.

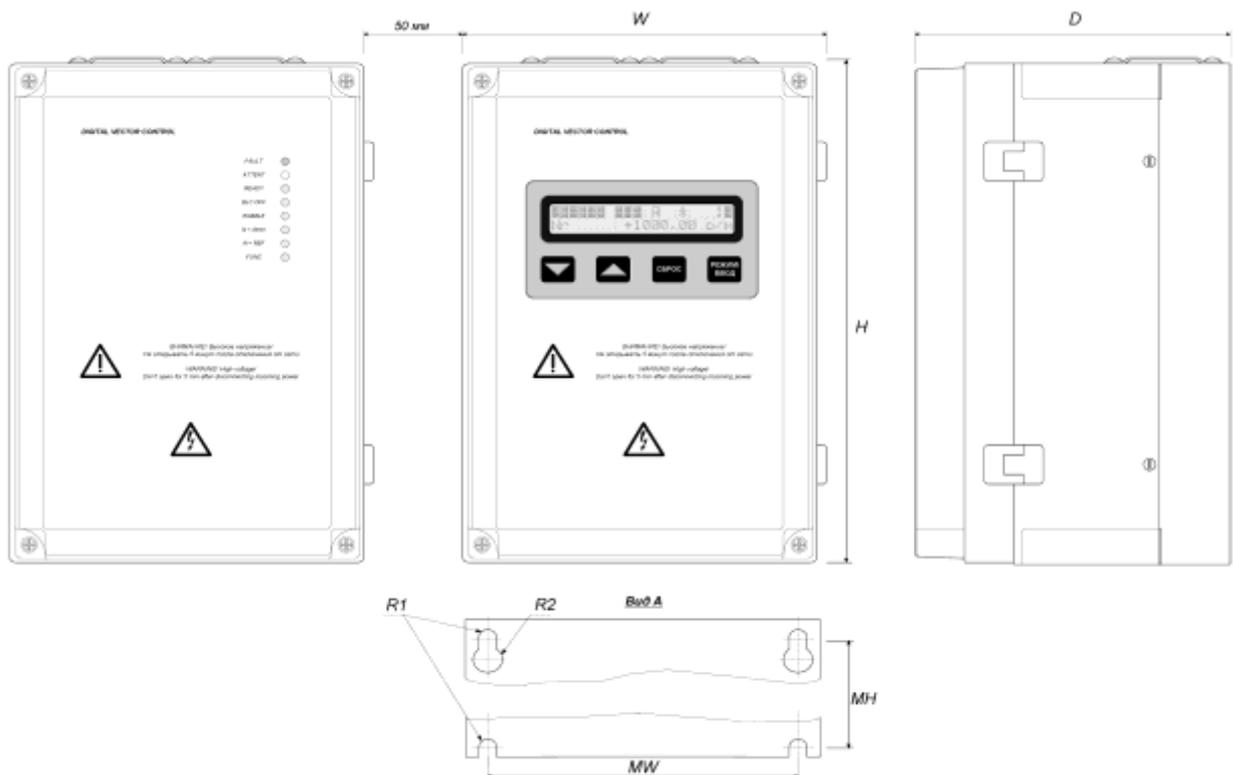


Рисунок 2.3. Габаритно-під'єднувальні розміри електропривода.

Таблиця 2.4

	W	H	D	MW	MH	R1	R2
ЕПВ-10	195	278	180	120	265	3	6

Електропривод виконаний на базі трифазного асинхронного електродвигуна з короктозамкненим ротором з датчиком швидкості, встановленим на валу, і перетворювача частоти з некеруємим випрямлячем і інвертором напруги. На виході перетворювача формується напруга регулюємої амплітуди і частоти, що подається на обмотки статора двигуна. Використовуючи сигнали зворотнього зв'язку система керування регулює момент і швидкість двигуна у відповідності з отриманим завданням.

Блок перетворювача частоти монтується у вертикальному положенні із забезпеченням вільного простору між сусідніми блоками та до стінок шафи, необхідного для відкриття кришок, а також для забезпечення необхідної вентиляції.

Монтажна площа повинна бути виконана із негорючого матеріалу і мати достатню механічну прочність, щоб витримати вагу перетворювача. Напрямок основного потоку охолоджуючого повітря повинно мати напрям – знизу догори через радіатор блоку. При монтажу у шафі перетворювач повинен бути встановлений так, щоб не попадати у потік повітря від тепловіділяючих елементів зовнішнього обладнання, в тому числі баластних резисторів вузла скидання енергії гальмування.

Температура повітря на вході перетворювача не повинна перевищувати 40°C. Вентилятор примусового охолодження шафи повинен бути встановлений так, щоб отримати максимальний обдув перетворювача.

Розрахуємо необхідні розміри теплопровідної поверхні шафи за формулою:

$$A_{Ш} = \frac{P_{\Pi}}{\Delta T \cdot K_t}, \quad (2.1)$$

де, P_{Π} – сумарна потужність втрат, для обраного електропривода становить при частоті модуляції 10кГц $P_{\Pi} = 142$ Вт;

K_t – коефіцієнт теплопередачі, для окрашеної сталеві шафи приймаємо, $K_t = 5,5$ Вт/м²·К;

ΔT – різниця між максимальною температурою зовні шафи та максимально допустимою температурою у внутрішньому просторі, приймаємо $\Delta T = 20$ К;

$$A_{ш} = \frac{142}{20 \cdot 5,5} = 1,29 \text{ м}^2.$$

Мінімальний об'єм повітря, що вентилюється, визначається за наступною формулою:

$$V_{вент} = \frac{3,1 \cdot P_{п}}{\Delta T}, \quad (2.2)$$

$$V_{вент} = \frac{3,1 \cdot 142}{20} = 22,01 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Одержані значення враховуємо при виборі шафи та вентиляторів.

2.3. Опис функціональної схеми електропривода

Силовий модуль призначений для перетворення напруги мережі постійної частоти в напругу змінної амплітуди та частоти для живлення виконуючого двигуна.

Силовий модуль складається з наступних основних елементів:

- трифазний мостовий випрямляч з варистор ним обмежувачем перенапруги та фільтром на вході;
- ємнісний фільтр ланки постійної напруги;
- трифазний мостовий IGBT – інвертор;
- вузол скидання енергії гальмування, що складається з IGBT-чоппера та зовнішнього баластного резистора;
- драйвер силових ключів, який забезпечує керування затворами IGBT, формування сигналів захистів та гальванічне розв'язання силових та керуючих ланцюгів;
- вентилятор, що керується в функції сигналу температури силового модуля;

- вузол перезаряджання ємності фільтра, що забезпечує обмеження струму заряду та плавне наростання напруги на конденсаторах.

Датчикова система формує нормовані сигнали зворотніх зв'язків з гальванічним розв'язанням силових та керуючих ланцюгів. Вона включає:

- датчик струму ДС1, ДС2, що встановлені в двох вихідних фазах інвертора;
- датчик температури силового блоку, що складається з резистора, встановленого в силовому модулі, та ізолюючого підсилювача;
- терморезистор захисту двигуна (РТС-резистор) з схемою компаратора та оптронним розв'язанням;
- інкрементний датчик кутових переміщень, встановлений на валу виконуючого двигуна.

Блок живлення ланцюгів керування перетворює випрямлену напругу мережі в стабілізовану напругу +5В для живлення цифрової частини системи керування, +/-5В для живлення аналогової частини системи керування, +12В для живлення вентилятора, ізольоване джерело для живлення драйверів.

Система керування складається із мікропроцесорного ядра, інтерфейсного модуля та пульта ручного керування.

Процесорне ядро утворене двома 16-розрядними мікро контролерами. Службовий контролер (Host controller FUJITSU MB90F598) виконує завантаження програм, обслуговування пульту ручного керування, комунікаційних портів, вхідних та вихідних сигналів інтерфейса, взаємодіє з контролером керування двигуном, реалізує „повільні” захисти. Контролер керування двигуном (Motor controller ADMC401), виконаний на базі DPS, обробляє сигнали датчиккової системи, виконує алгоритми розрахунків регуляторів, керує силовим модулем та обслуговує „швидкі” захисти.

Інтерфейсний модуль включає набір заходів взаємодії із зовнішніми керуючими пристроями. Він складається із аналогового інтерфейса, цифрового інтерфейса, таймера реального часу та інтерфейса датчика швидкості.

Пульт ручного керування дозволяє виконувати процедури просмотру, редагування параметрів електропривода, запуску та контролю режимів його роботи. Конструктивно виконується встановленим на лицевій панелі блоку перетворювача частоти. Має свій контролер для обслуговування рідкокристалічного монітора і клавіатури. Обмін інформацією із службовим контролером виконується по шині I₂C.

2.4. Розрахунок механічних характеристик електропривода

Розрахуємо механічні характеристики обраного електропривода для випадку розімненої системи керування при законі частотного керування $E_a/\bar{\omega}_0 = const$ а також залежності потокозчеплення статора і ротора від навантаження у встановленому режимі.

Вибраний нами електродвигун 4A80B2У3 має наступні параметри, що зведені в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5

Кількість полюсів	2
Активний опір фази статора, R_1'	0,076
Активний опір фази ротора, R_2'	0,049
Індуктивний опір розсіювання статора, X_1'	0,050
Індуктивний опір розсіювання ротора, X_2''	0,087
Індуктивний опір взаємоіндукції, X_m	2,7

Для розрахунку моменту двигуна та побудови механічних характеристик розглянемо Г-подібну схему заміщення з винесеним магнітним контуром [23]. Вона наводиться на рис. 2.2.

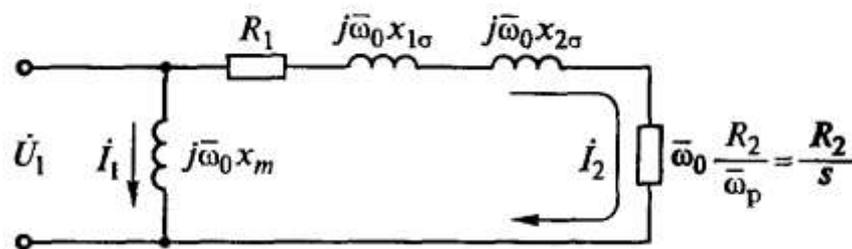


Рисунок 2.5. Г-подібна схема заміщення електродвигуна

Такий вигляд схеми дозволяє отримати більш прості та наочні вирази для визначення моменту та швидкості в характерних точках механічної характеристики.

Для переходу до абсолютних одиниць ці значення необхідно помножити на базовий опір Z_0 :

$$Z_{\phi} = \frac{U_{1H\phi}}{I_{1H}}, \quad (2.3)$$

$$Z_{\phi} = \frac{220}{4,62} = 47,62 \text{ Ом.}$$

Індуктивні опори розраховуються на номінальній частоті за наступними формулами:

$$R_1 = \bar{R}_1 \cdot Z_{\phi}, \quad (2.4)$$

$$R_2 = \bar{R}_2 \cdot Z_{\phi}, \quad (2.5)$$

$$R_1 = 0,076 \cdot 47,62 = 3,62 \text{ Ом;}$$

$$R_2 = 0,049 \cdot 47,62 = 2,33 \text{ Ом.}$$

$$X_m = \bar{x}_m \cdot Z_{\phi}; \quad (2.6)$$

$$X_{1\sigma} = \bar{x}_{1\sigma} \cdot Z_{\phi}; \quad (2.7)$$

$$X_{2\sigma} = \bar{x}_{2\sigma} \cdot Z_{\phi}; \quad (2.8)$$

$$X_m = 2,7 \cdot 47,62 = 128,62 \text{ Ом;}$$

$$X_{1\sigma} = 0,05 \cdot 47,62 = 2,381 \text{ Ом;}$$

$$X_{2\sigma} = 0,087 \cdot 47,62 = 4,14 \text{ Ом;}$$

$$X_1 = X_m + X_{1\sigma}; \quad (2.9)$$

$$X_2 = X_m + X_{2\sigma}; \quad (2.10)$$

$$X_1 = 128,62 + 2,381 = 131 \text{ Ом;}$$

$$X_2 = 128,62 + 4,14 = 132,71 \text{ Ом;}$$

Для знаходження індуктивності необхідно значення індуктивних опорів поділити на значення номінальної кутової частоти $\omega_{0ел.ном}$:

$$L_m = \frac{X_m}{\omega_{0ел.ном}}; \quad (2.11)$$

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{\omega_{0ел.ном}}; \quad (2.12)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{X_{2\sigma}}{\omega_{0ел.ном}} \quad (2.13)$$

$$L_m = \frac{128,62}{314} = 0,4096 \text{ Гн};$$

$$L_{1\sigma} = \frac{2,381}{314} = 0,0076 \text{ Гн};$$

$$L_{2\sigma} = \frac{4,14}{314} = 0,013 \text{ Гн};$$

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma}; \quad (2.14)$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma}; \quad (2.15)$$

$$L_1 = 0,4096 + 0,0076 = 0,4172 \text{ Гн};$$

$$L_2 = 0,4096 + 0,013 = 0,4226 \text{ Гн}.$$

Визначимо значення коефіцієнту розсіювання машини:

$$\sigma = 1 - k_1 \cdot k_2, \quad (2.16)$$

$$k_1 = \frac{L_m}{L_1}, \quad (2.17)$$

$$k_1 = \frac{0,4096}{0,4172} = 0,982;$$

$$k_2 = \frac{L_m}{L_2}, \quad (2.18)$$

$$k_2 = \frac{0,4096}{0,4226} = 0,969;$$

$$\sigma = 1 - 0,982 \cdot 0,969 = 0,048.$$

U/f – регулюванням швидкості електропривода з асинхронним двигуном називається регулювання, при якому зміна швидкості досягається шляхом дії на частоту напруги на статорі при одночасній зміні модуля напруги.

Бажаним законом регулювання вважається такий, при якому у всьому діапазоні регулювання швидкості підтримується постійність перевантажувальної здатності двигуна:

$$\lambda = \frac{M_{\max.\text{доп}}}{M_{\text{ном}}}, \quad (2.19)$$

де $M_{\max. доп}$ – максимально допустимий момент з умови роботи двигуна;
 $M_{ном}$ – номінальний момент двигуна.

Для асинхронного двигуна з номінальним моментом $M_{ном}$ ця вимога зводиться до необхідності підтримання постійності критичного моменту у всьому діапазоні регулювання швидкості зміною частоти.

Вираз для моменту двигуна набуває вигляд:

$$M_{\partial} = 3 \frac{p_n \cdot k_1^2}{\omega_{0ел.н}} \cdot \frac{R_2 / \bar{\omega}_p}{\left(\frac{R_2}{\omega_p}\right)^2 + (\sigma X_2)^2} \cdot \left(\frac{U_1}{\bar{\omega}_0}\right)^2. \quad (2.20)$$

$$k_1 = \frac{X_m}{X_1} = \frac{L_m}{L_1}, \quad (2.21)$$

Дослідивши цей вираз на екстремум, визначаємо критичну роторну частоту:

$$\bar{\omega}_{p.кр} = \frac{R_2}{\sigma \cdot X_2}. \quad (2.22)$$

Підставляючи це значення у вираз для моменту двигуна, одержимо формулу для критичного моменту:

$$M_{кр} = \frac{3}{2} \frac{p_n \cdot k_1^2}{\omega_{0ел.н}} \cdot \frac{1}{\sigma X_2} \cdot \left(\frac{U_1}{\bar{\omega}_0}\right)^2. \quad (2.23)$$

із якої бачимо, що при $U_1 / \bar{\omega}_0 = const$ критичний момент залишається постійним незалежно від частоти.

Так як при розгляданні цього закону регулювання передбачається нехтування активним опором обмоток статора $R_1 = 0$, для використання формул (2.20) необхідно в них замінити напругу на статорі U_1 на напругу за активним опором статора E_a . Тоді одержимо наступні залежності:

$$M_{Д} = 3 \frac{p_n \cdot k_1^2}{\omega_{0ел.н}} \cdot \frac{R_2 / \bar{\omega}_p}{\left(\frac{R_2}{\omega_p}\right)^2 + (\sigma X_2)^2} \cdot \left(\frac{E_a}{\bar{\omega}_0}\right)^2. \quad (2.24)$$

$$M_{кр} = \frac{3 p_n \cdot k_1^2}{2 \omega_{0ел.н}} \cdot \frac{1}{\sigma X_2} \cdot \left(\frac{E_a}{\bar{\omega}_0} \right)^2. \quad (2.25)$$

Механічні характеристики електропривода розрахуємо для роботи у режимі при законі частотного керування $E_a / \bar{\omega}_0 = const$.

Врахуємо плив нагрівання обмотки на їх опір:

$$R_{1t} = R_1 \cdot (1 + 0,23) = 1,23 \cdot 3,62 = 4,45 \text{ Ом}, \quad (2.26)$$

$$R_{2t} = R_2 \cdot (1 + 0,23) = 1,23 \cdot 2,33 = 2,87 \text{ Ом}.$$

Співвідношення E_a / ω_0 визначається виходячи із номінального режиму

двигуна:

$$E_{ан} = U_{1нф} - I_{1н} R_1 = 220 - 4,62 \cdot 4,45 = 199,4 \text{ В}.$$

Оскільки у номінальному режимі $\bar{\omega}_0 = \bar{\omega}_{0н} = 1$, то

$$\frac{E_a}{\bar{\omega}_0} = \frac{E_a}{\bar{\omega}_{0н}} = 199,4 \text{ В}. \quad (2.27)$$

Діюче значення потокозчеплення статора визначимо за виразом:

$$\Psi_1 = \frac{E_a}{\bar{\omega}_0 \cdot \omega_{0ел.н}}, \quad (2.28)$$

$$\Psi_1 = \frac{199,4}{1 \cdot 314} = 0,634 \text{ Вб}.$$

Потокозчеплення ротора визначається за формулою:

$$\Psi_2 = \frac{k_1 \Psi_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma X_2}{R_2} \right)^2 \omega_p^2}}. \quad (2.29)$$

Для розрахунку механічної характеристики при відомих значеннях напруги джерела живлення U_1 і відносної частоти напруги живлення $\bar{\omega}_0$, а також номінальної частоти напруги двигуна $\omega_{0ел.н}$, задаємося рядом значень відносної частоти роторної ЕРС $\bar{\omega}_p$, обчислюємо відповідний момент двигуна. Діапазон зміни частоти роторної ЕРС лежить у межах $0 \leq \bar{\omega}_p \leq \bar{\omega}_0$.

Кутова швидкість двигуна обчислюється за формулою:

$$\omega = \omega_{0\text{ел.н}} \cdot \frac{\bar{\omega}_0 - \bar{\omega}_p}{P_n} \quad (2.30)$$

Розрахунок проводимо для десяти значень частоти:

$$\bar{\omega}_0 = 1; 0,9 \dots 0,2; 0,14.$$

У зв'язку із громіздкістю розрахунків по кожній частоті, розрахунки проводяться із використанням програмного середовища математичного прикладного пакету MathCAD V13, від компанії MathSoft.

Графіки побудовані із використанням майстра роботи із графічним поданням інформації 2D Plot та наводяться на рис 2.6 та 2.7 відповідно.

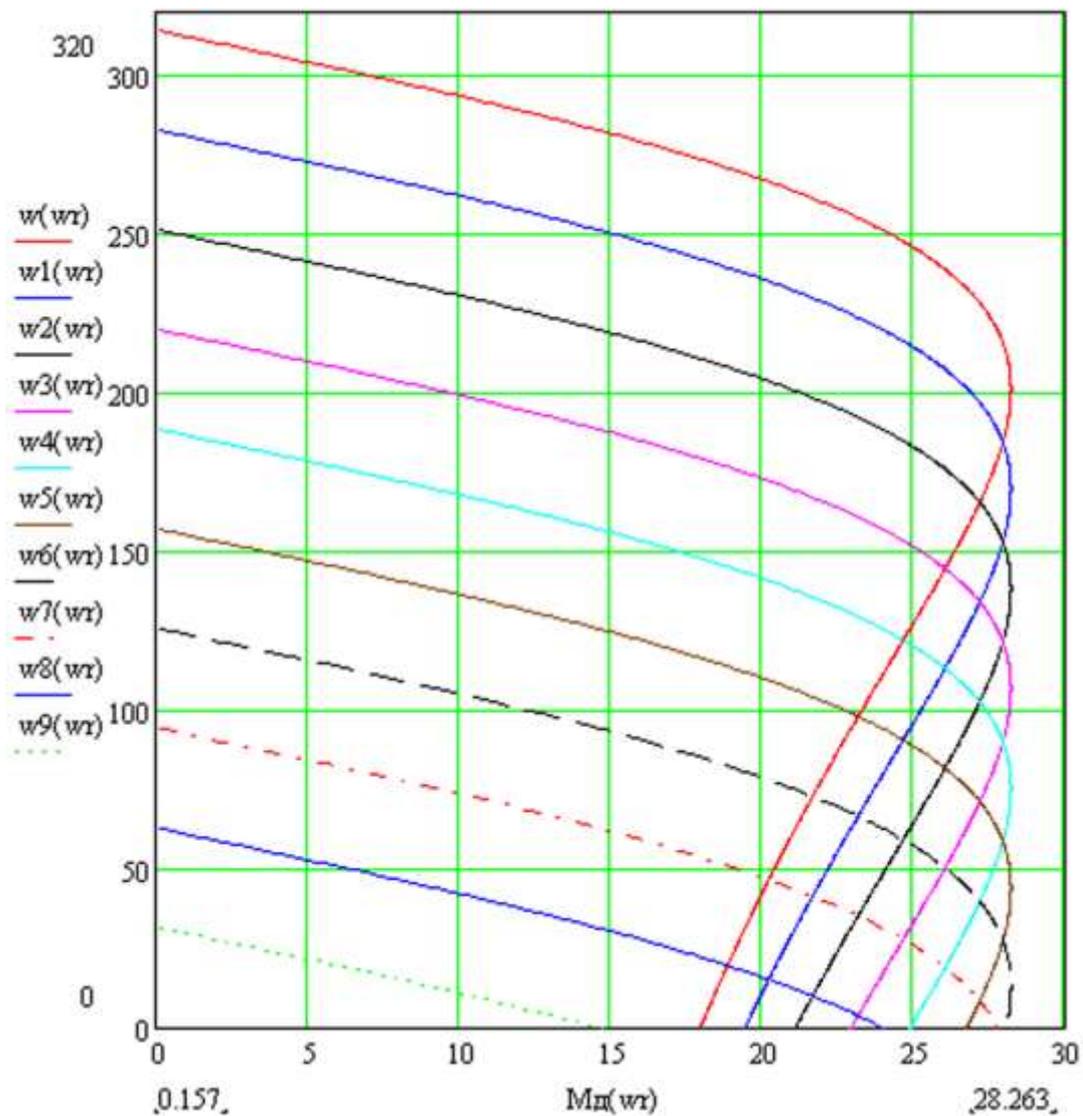


Рисунок 2.6. Механічні характеристики електропривода з асинхронним двигуном при законі частотного регулювання $E_a / \bar{\omega}_0 = const$

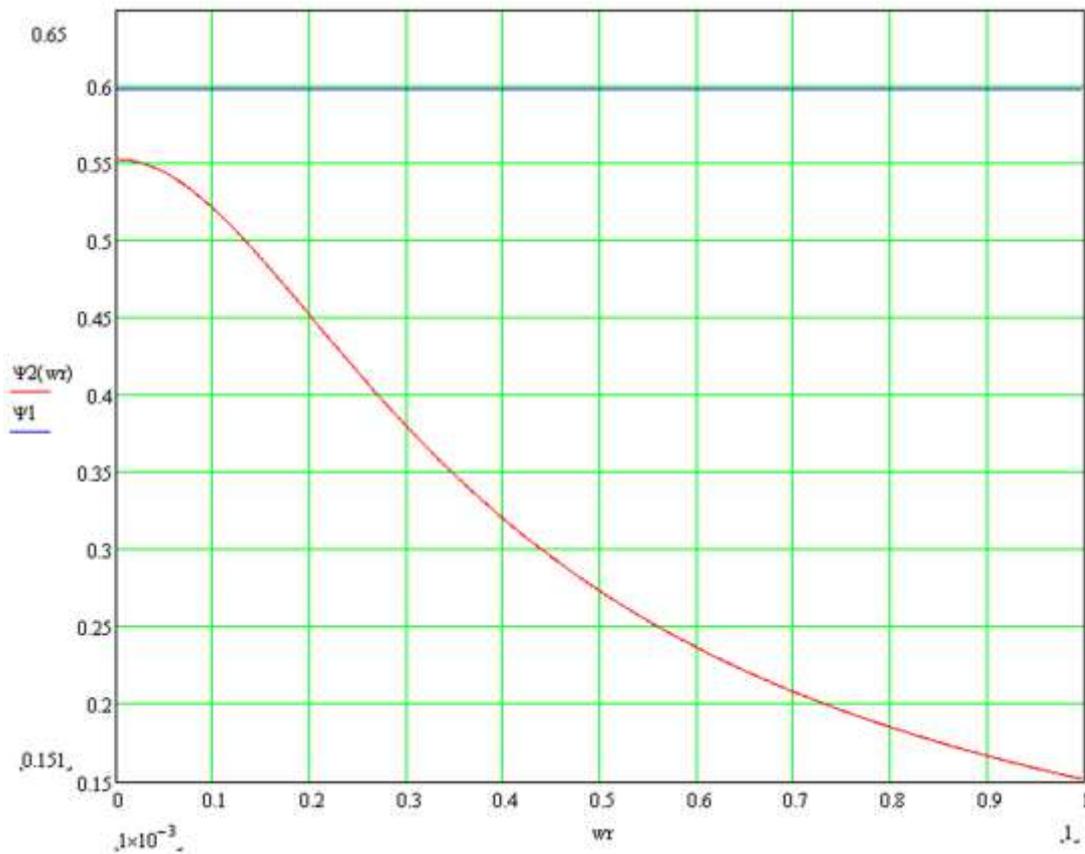


Рисунок 2.7. Графіки залежності потокозчеплення статора і ротора від відносної роторної частоти.

2.5. Розрахунок баластного резистора.

Баластний резистор використовується для розсіювання кінетичної енергії, що запасається навантаженням електропривода, яка повертається в конденсатори фільтра ланцюга постійної напруги при гальмуванні чи реверсі. При зменшенні оборотів двигуна частина кінетичної енергії обертання витрачається на виконання корисної роботи та подолання сил тертя. Друга частина перетворюється в електричну і через обернені діоди транзисторного інвертора передається у ланку постійного струму.

Вибір баластного резистора виконується по номінальному опору, максимальній робочій напрузі та навантажувальній здатності. Номінальний опір визначає струм через резистор у режимі рекуперації, який повинен відповідати максимальному струму двигуна. При завищеному значенні опору струм розряду конденсаторів фільтру може бути недостатнім для

забезпечення необхідного темпу гальмування, що може викликати спрацювання захисту від перевищення напруги. При зниженому значенню опору може спрацювати максимально-струмовий захист IGBT вузла скидання енергії гальмування.

Резистор повинен витримувати максимальну робочу напругу на рівні 800 В. Можливе використання послідовно з'єднаних резисторів з меншою робочою напругою.

Необхідна потужність резистора може бути отримана за допомогою паралельного чи послідовного з'єднання декількох резисторів.

Для надійної роботи вузла скидання енергії гальмування необхідне виконання умови:

$$W_{\text{ор}} \geq J_{\Sigma} \frac{\omega_{\text{max}}^2 - \omega_{\text{min}}^2}{2}, \quad (2.31)$$

де $W_{\text{ор}}$ – максимальна однократно розсіювання енергія, Дж.

J_{Σ} – сумарний момент інерції двигуна і механізма, приведений до валу двигуна, кг м²;

$\omega_{\text{max}}, \omega_{\text{min}}$ – максимальне і мінімальне значення швидкості на початку та в кінці гальмування, рад/с.

$$W_{\text{ор}} = 7,11 \cdot 10^{-3} \frac{300^2}{2} = 321,3 \text{ Дж.}$$

Необхідну потужність баластного резистора можна визначити при заданій довжині робочого циклу «розгін-гальмування» із наступного співвідношення:

$$P_{\text{ор}} \geq \frac{J_{\Sigma} \cdot (\omega_{\text{max}}^2 - \omega_{\text{min}}^2)}{4 \cdot T_{\text{ц}}}, \quad (2.32)$$

$P_{\text{ор}}$ – сумарна потужність баластного резистора;

$T_{\text{ц}}$ – довжина робочого циклу, с.

Перетворювач виконує часо-струмовий захист вузла скидання енергії гальмування. Для правильного налагодження захисту повинні бути

встановлені діючі параметри баластного резистора $P_{\bar{b}p}$ та $R_{\bar{b}p}$ у відповідних строках меню «ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ / БАЛЛАСТНЫЙ РЕЗИСТОР» пульту керування. Захист виконується шляхом порівняння розсіюваної в режимі рекуперації потужності з номінальною з урахуванням допустимого перевантаження (вказується параметром $K_{\bar{b}p}$, приймається $K_{\bar{b}p}=1,5$) і час її дії вказується параметром $T_{\bar{b}p} = 30$ с.

Для розрахунку необхідно визначити максимальний гальмівний момент за формулою:

$$M_{z_{\max}} = \frac{J_{\Sigma} \cdot n_{\max}}{9,55 \cdot t_z}, \quad (2.33)$$

Визначаємо цей момент для максимальної швидкості електродвигуна і часу гальмування $t_z = 1$ с:

$$M_{z_{\max}} = \frac{7,11 \cdot 10^{-3} \cdot 2871}{9,55 \cdot 1} = 2,14 \text{ Нм.}$$

Визначимо максимальну енергію гальмування:

$$P_{e_{\max}} = \frac{M_{z_{\max}} \cdot n_{\max}}{9,55}, \quad (2.34)$$

$$P_{e_{\max}} = \frac{2,14 \cdot 2871}{9,55} = 643,3 \text{ Вт}$$

Визначаємо максимальну електричну енергію гальмування враховуючи внутрішні втрати у двигуні:

$$P_{el} = P_{e_{\max}} - k \cdot P_{\text{дв.ном}}, \quad (2.35)$$

де k – коефіцієнт зменшення для генераторного режиму електродвигуна, приймається $k = 0,15$;

$P_{\text{дв.ном}}$ – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$$P_{el} = 643,3 - 0,15 \cdot 2200 = 313,3 \text{ Вт.}$$

Величину опору гальмівного блоку резисторів вибираємо із виконання співвідношення:

$$R_2 = \frac{U_{мер}^2}{P_{el}}, \quad (2.36)$$

$$R_2 = \frac{220^2}{313,3} = 154,5 \text{ Ом.}$$

Визначаємо номінальну потужність гальмівного резистора:

$$P_{г.ном} = \frac{P_{el}}{f_k}, \quad (2.37)$$

де f_k – константа гальмівного резистора, залежна від періода вмикання зменшення для генераторного режиму електродвигуна, приймається $k = 0,5$;

$$P_{г.ном} = \frac{313,3}{0,5} = 626 \text{ Вт.}$$

2.6. Розробка принципової схеми керування верстатом.

Електрообладнання верстата складається:

- асинхронний електродвигун переміщення заготовки М1;
- асинхронний електродвигун гідропривода М2;
- асинхронний електродвигун привода полотна М3;
- асинхронний електродвигун насоса подачі ЗОР М4;
- електромагніти золотників YA1 ... YA3;
- апаратура керування, захисту та сигналізації.

Електроапаратура розміщена безпосередньо на верстаті та електрошафі, що встановлена на станині верстата.

Керування верстатом виконується з пульта керування, встроєного в електрошафу.

Живлення електрообладнання верстата виконується від трифазної мережі змінного струму 380 В, 50 Гц із заземленою нейтраллю та захисним проводом (РЕ), під'єднаним до точки заземлення.

У верстаті використовуються наступні величини напруги системи живлення змінного струму частотою 50 Гц:

- силові ланцюги – 380 В;

- ланцюги керування та живлення електромагнітів та золотників – 110 В;
- ланцюги світлової сигналізації – 110 В;
- ланцюги освітлення – 24 В.

Електрична принципова схема наведена на кресленні АЕП 6МЕ.025.000ЕЗ.

Включенням ввідного автомата QF1 подається живлення на силові ланцюги та ланцюги керування. За допомогою перемикача SA4 відбувається вибір режиму роботи верстата: «Налагодження», «0», «Автомат».

Кнопка SB4 вмикає двигун гідропривода M2. Відключення гідропривода можливо кнопкою SB2.

Встановленням перемикача SA3 в положення «Вперед» чи «Назад» відбувається відповідне переміщення заготовки. Перемикач SA6 забезпечує підйом та опускання пилки.

Для включення електродвигуна привода пилки M3 необхідно натиснути кнопку SB5 при умові, що перемикач SA2 стоїть в положенні «Упор відведений», при цьому включиться реле K6 і подасть сигнал керування на перетворювач частоти A1. Електродвигун привода пилки включиться, а на табло перетворювача висвітяться цифри, які позначають лінійну швидкість пилки у м/хв. При необхідності змінити швидкість пилки, перемикач SA1 встановлюється у положення «Більше» або «Менше», при цьому зміна швидкості відображується на табло перетворювача.

Зупинка пилки забезпечується натисненням кнопки SB3.

Пуск циклу відбувається насканням кнопки SB5, при цьому спрацьовує реле K6, яке в свою чергу дає команду на включення пилки.

Під'єднання силових ланцюгів інвертора виконується у відповідності до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

№ клеми X1	Позначення на схемі	Під'єднання
1	DC+	баластний резистор

2	DC–	
3	L1	фаза А мережі
4	L2	фаза В мережі
5	L3	фаза С мережі
6	U	фаза U двигуна
7	V	фаза V двигуна
8	W	фаза W двигуна
9	BR	баластний резистор
10	PE	Захисне заземлення

Під'єднання мережі, двигуна та баластного резистора слід виконувати кабелями з ізоляцією, відповідній нарузі живлячої мережі та нагрівостійкістю до 70°C. Під'єднання до мережі виконується через захисний автоматичний вимикач QF4. Переріз провідників кабелів виконуємо у відповідності з вимогами DIN VDE 0100.430.1.

Для під'єднання датчику зворотнього зв'язку використовується роз'єм перетворювача X7 базової інтерфейсної плати. Під'єднання необхідно виконати екранованим кабелем з витими парами, використовуючи жили кожної з пар для сигналів відповідної послідовності та її інверсії. Екран кабелю зі сторони перетворювача повинен бути під'єднаний до корпусу відповідної частини роз'єму X5, а із сторони датчику – до корпусу датчика.

Алгоритм підготовки електропривода до роботи наводиться на рис. 2.8.

При модернізації електропривода полотна верстата, для покращення роботи обладнання пропонується додати у схему керування верстатом електронне реле підрахування кількості різів. Це дозволить використовувати автоматичну порізку заготовок у заданій кількості.

При подачі напруги на реле на світло діоді повинен з'явитися напис 000. Далі необхідно провести налагодження реле виставивши за допомогою функціональних клавіш необхідну кількість різів.

В процесі роботи верстата по закінченні кожного різку на реле подається імпульс напруги. При цьому кількість імпульсів буде строго відповідати кількості різів. При досягненні відповідної кількості імпульсів (тобто кількості різів) заданому числу спрацьовує контакт реле і перериває автоматичний цикл верстата.

Для повернення реле у вихідне становище необхідно натиснути кнопку STOP/START. На індикаторі з'явиться напис 000. Реле повернулося у початковий стан.

При початковому пуску верстата необхідно перевірити надійність заземлення та якість монтажу електрообладнання зовнішнім оглядом.

При відкритому входному автоматі та автоматах захисту повинні бути перевірені:

- відсутність механічних пошкоджень елементів електрообладнання, електропроводки, монтажних з'єднань;
- правильність і надійність монтажу електрошафи, пульта та окремих вузлів;
- типи і технічні данні встановлених елементів електрообладнання;
- уставки реле часу.

Після огляду за допомогою вводного автомату під'єднати верстат до мережі. При відкритому вводному автоматі та автоматах захисту в режимі «Налагодження» повинні бути перевірені:

- величини напруги ланцюгів керування, сигналізації та освітлення;
- чіткість спрацювання релейної апартури;
- правильність напрямку обертання електродвигунів;
- правильність спрацювання гідро золотників;
- робота кнопки аварійного відключення та шляхових вимикачів;
- робота блокувань;
- робота сигналізації та освітлення.

Схемою верстата передбачені наступні блокування:

- аварійний останок при обриві полотна (кінцевий вимикач SQ1);

- при перевантаженні полотна;
- при спрацюванні захисту перетворювача частоти;
- при виході заготовки із зони дії кінцевого вимикача SQ2.

Схемою передбачена світлова сигналізація, встановлена на пульті керування: подача напруги на верстат (HL1), відсутність замикання на корпус ланцюгів керування (HL2, HL3); режим «Налагодження» (HL6), включення гідропривода (HL5); включення циклу (HL7); перевантаження полотна і аварійний зупин пилки (HL4).

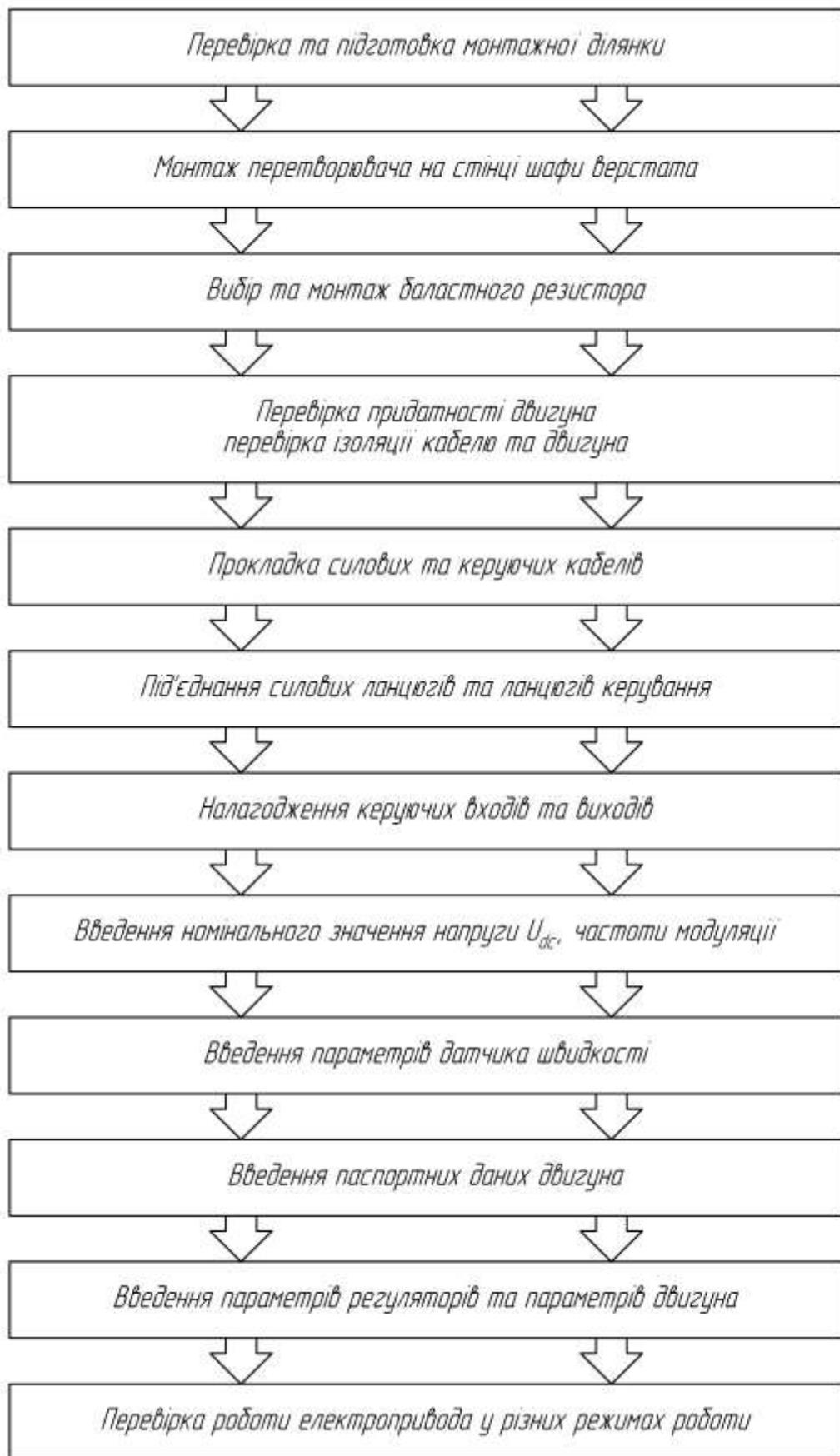


Рисунок 2.8. Алгоритм налагодження електропривода полотна вертата.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було проведено модернізацію системи автоматизованого керування металообробного верстата.

До результатів проведеної модернізації відносяться:

- розраховано потужність різання та вибраний відповідний мотор-редуктор привода полотна верстата;
- проведено аналіз сучасних систем електропривода та принципів будови сучасного асинхронного електропривода;
- вибрана система асинхронного електропривода з векторним керуванням, вибрані та розраховані окремі елементи системи привода, побудовано механічні характеристики електропривода;
- розроблена функціональна схема векторного керування асинхронним електроприводом та математична модель асинхронного електродвигуна із структурною схемою електропривода;
- по розробленій моделі за допомогою програмного середовища MATLAB Simulink побудовані графіки перехідних процесів для різних режимів роботи привода.

Розроблений проект має практичну цінність і його результати можуть бути рекомендовані для використання у виробництві.

ЛІТЕРАТУРА

1. Булгаков А. А. Частотное управление асинхронным двигателем - М.: Энергоиздат, 1982. - 216 с.
2. Волков А.В. Регулирование скорости в асинхронных электроприводах с релейным частотно-токовым управлением. – Электротехника. 2005. №1. с. 20-29.
3. Богачев Ю.П., Изосимов Д.Б. Электропривод нетрадиционных транспортных средств..Приводная техника. 1998. №2.
4. Miller T.J.E. Switch Reluctance Motor and Their Control//Magna Physics Publishing&Clarendon Press, 1993.
5. Vagati A. The Synchronous Reluctance Solution: a New Alternative in A.C.Drives//Proc of the IECON'94, Bologna, Italy, Sept. 1994.
6. Флоренцов С.Н., Ковалев Ф.И. Современная элементная база электроники//Электротехника. 1996. №4. С.2 - 4.
7. Виноградов А.Б., Чистосердов В.Л., Сибирцев А.Н. Адаптивная система векторного управления асинхронным электроприводом. – Электротехника. 2003. №7. с. 7-17.
8. Виноградов А.Б., Сибирцев А.Н., Чистосердов В.Л. Новые серии преобразователей частоты и объектно-ориентированный комплектный электропривод на их основе. – Электротехника. 2005. №.5 с. 47-54.
9. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: Навчальний посібник для технічних вузів. – Полтава.: Видавництво “Полтава”, 1988. – 470с.
10. Захаров П. А. Расчет установившихся режимов асинхронного электропривода. - В сб.: Электрооборудование промышленных установок. - Н.Новгород: НГТУ, 1996. - С. 79 - 84.
11. Калашніков В.І. Векторне управління асинхронним частотно-регульованим приводом. Практичний курс лабораторних робіт. Донецьк, 2001.

12. Козаченко В. Основные тенденции развития встроенных систем управления двигателями и требования к микроконтроллерам. // ChipNews. №1 1999г.
13. Кочетков В.Д., Дацковский Л.Х., Бирюков А.В. и др. Системы регулирования электроприводов переменного тока с Микропроцессорным управлением. Электротехн. пром-сть Сер.08. Электропривод: Обзорн. информ. 1989. Вып. 26. с 1-80.
14. Общетехнический справочник под ред. засл. деятеля науки и техники РСФСР д-ра техн. наук проф. Малова А.Н., – М.: Машиностроение, 1971. – 464 с.
15. Онушко В. В., Галай М. В. Передавальна функція асинхронного двигуна при частотному керування//Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2/2003(19), с.131-135.
16. Охрана труда в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов/ Е.Я.Юдин, С.В.Белов, С.К.Баланцев и др.; Под ред. Е.Я.Юдина, С.В.Белова – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 432с.
17. Павлице В.Г. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. – К.: Вища школа, 1993. – 558 с.
18. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997.
19. Рудаков В.В., Столяров И.М., Даргау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. Л.: Энергоатомиздат, 1987.
20. Соколов Н.Г. Елисеев В.А. Расчеты по автоматизированному электроприводу металлорежущих станков. – М., Высшая школа, 1970. – 435 с.
21. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А.Елисеева и А.В.Шинявского. –М.: Энергоатомиздат. 1983, –661с.
22. Справочник по электрическим машинам. В 2 т./ Под общ. ред. И.П.Копылова и Б.И.Клокова. Т.1. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 456с.

23. Станок ленточно-пильный СЛП-8. Руководство по эксплуатации.
24. Трехфазный привод. Основы. КЕВ. Antriebstechnik. – 1996. №12.
25. Фаермарк М.А., Семенова Н.В. Местное освещение. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 88с.
26. Шапарев Н.К. Расчет автоматизированных электроприводов систем управления металлообработкой: Учебн. пособие. – 2-е изд., перер. и доп. – К. Либідь, 1992.
27. Шипилло В. П. Автоматизированный вентильный электропривод. М: Энергия, 1996г – 200с.
28. Шрейнер Р.Т., Ефимов А.А., Мухаматшин И.А. Релейное управление активными токовыми преобразователями частоты. – Электротехника. 2005. №.9 с. 47-52.
29. Шулаков Н. В., Медведев Е. И. Асинхронный вентильный каскад с последовательным возбуждением двигателя. Электромеханика. – 1988. – №1. – С. 47–54
30. Дацковский Л.Х., Роговой В.И., Абрамов Б.И., Моцохейн Б.И., Жижин С.П. Современное состояние и тенденции в асинхронном частотно-регулируемом электроприводе (краткий аналитический обзор)// Электротехника, 1996, №10, с. 18-28.

ДОДАТКИ

2 . Development of an electric drive system for a metalworking machine.

2.1 . Review of the current state of BP control systems .

In general, we can distinguish the yard and mostly s problems solved electrically adjustable, control point and the speed of the engine. The need to adjust the torque is dictated by the technical and technological requirements for the electric drive. For normal operation of the drive and it is necessary to limit the torque and current of the engine to admissible values in transient processes of start, braking and application of loading. For mechanisms that experience significant overload during operation up to lockingworking body, there is a need for continuous adjustment of engine torque in order to limit the dynamic shock loads. In many cases, accurate dosing of force on the working body (drives of metalworking machines, winding machines, etc.) is also required.

Technological modes of many production mechanisms at different stages of work require the movement of the working body at different speeds, which is provided either mechanically or by electrical speed control of the electric drive. The requirements for the range and accuracy of speed control can vary as wide as possible depending on the scope of the electric drive a .

2.1.1. Management methods

To solve the problem of speed and torque control in a modern electric drive, two main methods of frequency control are used :

- scalar control ;
- vector control .

Asynchronous electric drive with scalar control is the most common today. It is used as a part of drives of pumps, fans, compressors and other mechanisms for which it is important to support

either speed of rotation of a motor shaft (at the same time the speed sensor is used), or technological parameter. The basic principle scalar control - changing the frequency and amplitude of the voltage feeding by law, where. The specific type of dependence is determined by the requirements for the load. Usually the frequency is taken as an independent action, and the value of the voltage at a given frequency determines the type of mechanical characteristics, the value of the starting and critical moments. Scalar control ensures the constant overload capacity of the drive regardless of the voltage frequency, but there is a reduction in torque developed by the motor at low frequencies (at). The maximum range of speed control of the rotor at a constant torque for drives with scalar control reaches 1:10.

The method of scalar control is relatively easy to implement, but has two significant disadvantages. First, in the absence of a speed sensor on the motor shaft, it is impossible to adjust the speed of rotation of the shaft, because it depends on the load. The presence of a speed sensor solves this problem, but there is a second significant drawback - you can not adjust the torque on the motor shaft. On the one hand, this problem can be solved by installing a torque sensor, but such sensors have a very high cost, which often exceeds the cost of the entire drive. But even with a torque control sensor is very inertial. Moreover, with scalar control it is impossible to adjust both torque and speed, so you have to choose the value that is most important for this process.

To eliminate the shortcomings inherent in scalar control, SIEMENS in 1971 proposed a method of vector control. The first versions of vector- controlled drives required the use of motors with built-in flow sensors. This significantly limited the use of such drives.

In modern electric drives in the control system is laid a mathematical model of the engine, which allows you to calculate the

torque on the shaft and the speed of rotation of the shaft. Only motor phase stator current sensors are required. Due to the special structure of the control system provides independent and virtually inertial control of the two main parameters - the torque on the shaft and speed.

To date, two main classes of vector control systems have been formed - sensorless and system (without speed sensor on the motor shaft) and system with speed feedback. The application of one or another method of vector control is determined by the scope of the electric drive a . At small ranges of change of speed (no more than 1: 100) and requirements to accuracy of its support no more than $\pm 0,5\%$ apply bezdotnikov e vector control. If the speed of rotation of the shaft varies widely (up to 1: 10000 and more), there are requirements for high accuracy of maintaining the speed of rotation (up to $\pm 0.02\%$ at speeds less than 1 Hz) or there is a need to position the shaft, and if necessary torque control on the motor shaft at very low speeds, apply vector control methods with speed feedback.

When using vector control, the following advantages are achieved:

- high accuracy of speed regulation even in the absence of the speed sensor;
- smooth, without jerks, engine rotation in the low frequency range;
- the ability to provide rated torque on the shaft at zero speed (in the presence of a speed sensor);
- fast reaction to change of loading: at sharp jumps of loading practically there are no speed jumps;
- providing such a mode of operation of the engine, which reduces the loss of heat and magnetization , and therefore increases the efficiency of the engine.

Along with the obvious advantages of the vector control method , there are some disadvantages, such as the high computational complexity and the need to know the parameters of the engine. In addition, with vector control, the oscillation of the speed at constant load is greater than with scalar control .

Table 2 .1

Methods of output voltage formation	<ul style="list-style-type: none"> - sinusoidal PWM - method of spatial modulation of basic vectors (Space Vector Modulation)
	<p>PWM frequency tuned , 8... 16 kHz for power from 0.75 to 30 kW and 4 ... 8 kHz for power in ISHCH is 37 kW. To reduce akustych tion noise to use the method of "m " I k at th 'W and M.</p>
Engine control method	<p>Rock RNE management :</p> <ul style="list-style-type: none"> - klassychnot f scalar control by default and also parameter these U / f; - scalar control with compensation iyeyu pad and Mr. tion eg Ugi on the stator (IR compensation and I); - scalar control with slip compensation .
	<p>Vector is control :</p> <ul style="list-style-type: none"> - sensorless vector speed control ; - sensorless vector torque control ; - vector speed control with sensor feedback connection ; - vector torque control with feedback sensor .
Engine braking method	<ul style="list-style-type: none"> - DC current ; - Dynamic ne braking using the built-in or external braking resistor.

2.1.2. Construction of the power unit

The most common are frequency converters (IF) with an intermediate link of direct current, built on the scheme of a rectifier - a stand - alone inverter. The principle of operation and applications of PT depends on the type of rectifier and autonomous inverter (inverter voltage or current inverter).

There are several different rectifier circuits. According to the principle of operation, they can be divided into three groups: controlled, semi-controlled and uncontrolled. Shemotehni chno all built on three-phase rectifier bridge circuit. The most common are uncontrolled rectifiers. Made on the simplest and cheapest semiconductor devices - diodes, they are characterized by maximum simplicity and reliability, high efficiency, as well as a fairly high quality of the output (rectified) voltage and the harmonic composition of the current consumed from the network. However, the uncontrollability of the energy conversion process does not allow to implement the recovery modes required in many cases.

Controlled rectifiers, which are usually performed on low-frequency thyristors, are devoid of both the disadvantages and most of the advantages of diode rectifiers. They have high efficiency and reversibility in the direction of energy conversion and are commonly used in conjunction with stand-alone current inverters to control the output current of the converter. The disadvantages of controlled rectifiers are the increased level of ripple of the rectified voltage, the reduced value of the power factor, which decreases in proportion to the output voltage, and the one-way direction of the output current. If necessary, to ensure the flow of rectified current in both directions using reversible thyristor converters, consisting of two included counter- parallel thyristor rectifiers, one of which is designed for the

flow of load current in the forward and the other in the reverse direction. This complicates and increases the cost of the converter.

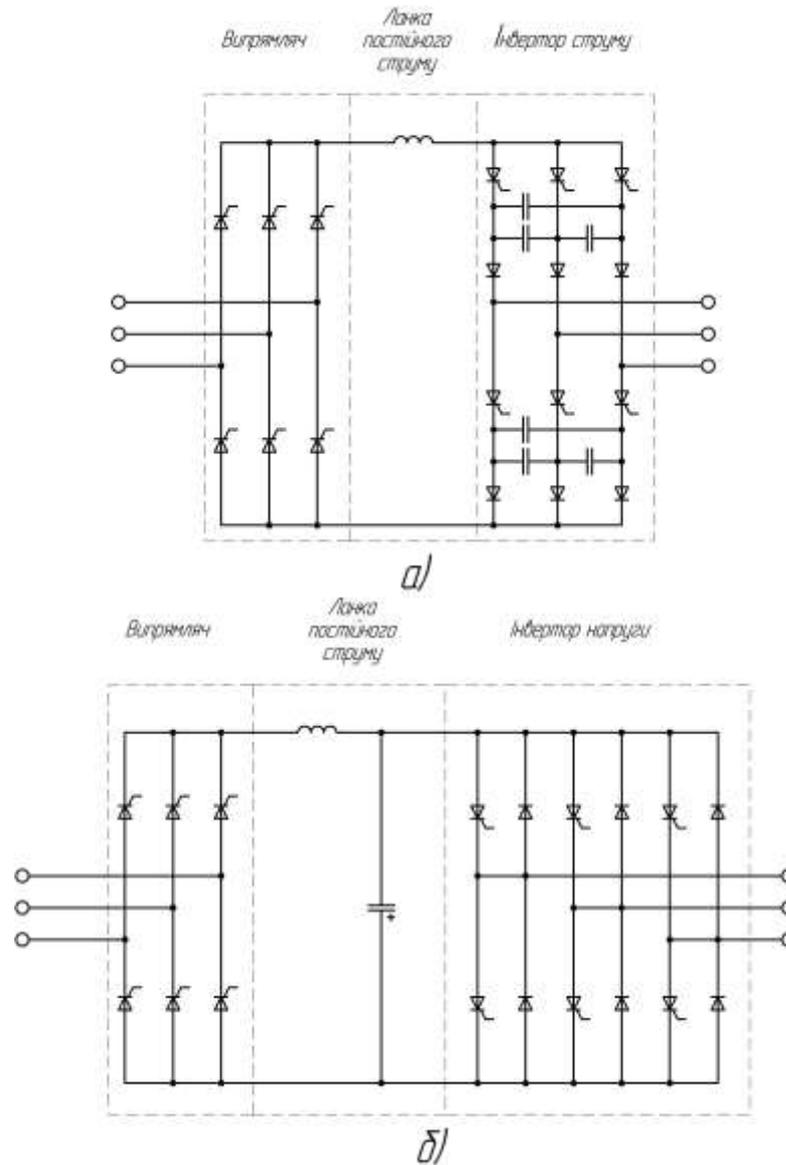


Fig. 2.1. Schematic diagram of the power part of the converters:

- a) autonomous current inverter (AIS);
- b) autonomous voltage inverter (AIN).

Semi- controlled rectifiers occupy an intermediate position between controlled and uncontrolled rectifiers, allowing to adjust the value of the rectified voltage without the possibility of energy recovery in the network. In the case of controlled and semi- controlled rectifiers, it is possible to disconnect the power circuit of the inverter from the network without the use of additional equipment.

Depending on the type of stand-alone inverter, the DC circuit can be made as a link that provides DC voltage (usually a C- or LC-filter), or as a link that maintains a constant current (filter in the form of a reactor with significant inductance). The value of the capacitance of the capacitor in the DC link is usually 2000-20000 μF .

Characteristic features of autonomous current inverters (AIS , Fig . 1a) are power supply from the current source (the source circuit includes a choke of significant inductance), exchange of reactive load energy with a switching capacitor, significant voltage fluctuations at the inverter input at constant source current, and voltage curve at the output and input of the inverter from the nature of the load. AIS are technically easier to implement than AINs because they do not have a rotary diode bridge. In the PT -based AIS using controlled rectifiers possible energy recovery into the network, which is important for electric drives, working in short-term re-modes.

A characteristic disadvantage of the AIS is that it can not idle (with the engine off). In addition, when using AIS , significant power losses and the formation of additional outrageous moments in the engine, leading to speed fluctuations.

If it is necessary to generate motor currents close to sinusoidal, a significant complication of the AIS circuit is required .

Features of autonomous voltage inverters (AIN , Fig . 1b) are power supply from the voltage source, short circuit of the reactive load current through reverse diodes and the independence of the shape of the voltage curve at the output of the inverter from the nature of the load. The disadvantage of AIN is the need to use reversible rectifiers to organize the regenerative modes of operation of the electric drive. However, the use of voltage inverters allows without complicating the circuit to obtain high energy performance and provide output currents

close to sinusoidal. This is the reason for the widespread use of AIN in modern electric drive.

Bipolar transistors with isolated gate (IGBT) and field-effect transistors with isolated gate (MOSFET), as well as low-frequency and high-frequency diodes and thyristors are used to build power switches in the field of switched currents up to 50 A. Power bipolar transistors in the range up to 50 A are mainly used in cheap industrial equipment. In the field of switched currents more than 50 A the main devices used are power modules based on bipolar transistors, closing thyristors (GTO, GCT, IGCT). Special mention should be made of transistor and diode-transistor modules made by integrated technology based on transistors such as IGBT. Low power losses in key modes, high values of operating voltage and currents, short on and off times of these modules, as well as the ability to use them in parallel operation allow you to create powerful and compact converters with high switching frequency semiconductor switches.

2.1.3. Construction of a control system .

The main element of peruvannya current IF is a specialized microcontroller or digital signal processor (DSP). Construction of the control system on the basis of DSP is caused by necessity of carrying out in a large volume of difficult calculations in real time for implementation of modern control algorithms. This is most critical for sensorless vector control systems.

The control system can be obno or multiprocessor th . Uniprocessor systems have also stotn and disadvantage and , to a microcontroller increased demands on the available embedded modules and peripheral ports, you water , for speed and memory; software development is significantly complicated . However, when

solving problems of low complexity, the advantage of single-processor systems is the simplicity of hardware and software implementation.

Currently, most converters are built on a dual-processor basis. The first processor (TSP1) performs the basic functions IF (implementation of control algorithms inverter, rectifier, survey sensors and so on. D.) Each second (TSP2) provides remote management, connection with upper level system and other service functions. It should be noted that the distribution of functions between microcontrollers can be carried out in another way. Advantages of the two-processor system in comparison with one-processor - decrease in requirements to TsP1 and TsP2 and the built-in peripherals, speed and volume of memory; the possibility of using a single interface for communication of the central controller with the control panel and with the automation system of the upper level; significant simplification of software development for each of the controllers .

Control of inverter drivers is carried out by means of formation of a six-channel Sh and M-signal with automatic addition of "dead time". Most microcontroller module W and M are implemented in hardware at . To obtain a form of output voltage close to sinusoidal (which is especially critical in scalar control), you can use software or hardware correction of "dead time". Also, in most cases, hardware blocking of W & M signals in case of an accident is implemented.

The converter can be controlled by remote control, discrete or analog inputs. Converters are constructively built on the modular principle, which allows you to enter additional functional modules, which in combination with built-in software allow you to get a different configuration of the electric drive and - from simple open to precise closed positioning systems. Typically, such expansion modules include analog and digital inputs and outputs, as well as communication interfaces.

All analog inputs and outputs for paid extensions have a built-in power supply and are usually galvanically isolated from the control system and discrete inputs and outputs. Functions performed by analog inputs and outputs are programmed from the control panel. Analog inputs are used to connect feedback sensors on technological parameters.

Most IF are also input for the potentiometer used as dial output frequency (for PT and with scalar control) or the rotor speed of the engine (for PT with vector control), with the power to dial frequency using built-in power supply.

It is also possible to have an additional input for connecting a motor temperature sensor (thermistor). Analog outputs are used to indicate one of the parameters of frequency converter (eg, frequency or output current estimated value since the motor shaft). The ability to connect to the outputs of both voltmeters and ammeters is achieved due to the presence of voltage output and current output. Output analog signals are generated using a DAC (usually 10-bit); in some cases, the output voltage is formed by Shiro TNO -impulsnoyi modulation. Discrete inputs and outputs for paid extensions are used to connect external control signals coming from electromagnetic relays, as well as to generate control signals for such relays.

Usually, the inverter has from four to eight discrete inputs of the "open collector" type, which perform the following functions: selection of one of the three output frequencies (or rotor speeds), control of shutdown and reverse, emergency shutdown of the inverter . All discrete inputs do be galvanically untied from the system management .

Discrete outputs can be divided into two categories: power ("relay") outputs for control of external electromagnetic relays and outputs of the "open collector" type for work with external logic

circuits. Plath and expansion habitually contains two relay outputs with a pair of normally closed and normally opened contact pair, and four output type "open collector". Output functions can be programmed from the control panel ; usually it is: readiness, overload, accident, access to a given frequency. All discrete outputs are galvanically isolated from the control system , while the relay outputs are disconnected from each other, and the outputs of the type "open collector" have a common zero signal.

The converter may Embedded vatsya into modern automation systems. Commonly used controls in real time several converters, which offer solutions with different interfaces and communication topologies of erezhi. Most frequency converters come with a standard RS-422 or RS-485 interface. The interaction is carried out using the Modbus or Profibus protocols , or their simplified modifications. When using expansion modules, additional interfaces (eg CAN) and protocols (Interbus , CANOpen , DeviceNet) are available.

Typically, IF incorporates a remote control , which is located on the front of the chassis converter. The remote control contains several specialized buttons, in some cases there may be a numeric keypad. The information is output using one- or two-line specialized LCD or several seven-segment indicators, as well as LEDs that display the operating modes. At the stage of putting the inverter into operation, the remote control is used to configure the converter and set the appropriate parameters; during operation - to monitor the parameters of the operating mode.

In the course of service the information on the arisen malfunctions is displayed on the indicator that provides a possibility of constant control of a condition of the drive.

The control panel , as a rule, is made removable that allows to connect its inverter only if necessary and to use one panel for several

converters . Additional independent memory is used to store system settings, calibration parameters, alarm log and other information. It is often performed on the basis of Flash memory chips (usually with a serial I2C or SPI interface). In addition, many microcontrollers and DSPs have the ability to store data in internal independent memory.

2.1.4. The main task programs th provision IF

1. Implementation of various methods of management for engine and methods of generating the output voltage.
2. Control of the input rectifier (in the case of using a controlled or semi- controlled rectifier) the issuance of control pulses on the power switches in accordance with the specified opening angle of the thyristors. This requires synchronization with the mains, ie determining the moment of passage of the phases of the input voltage through zero and adjusting the opening moments of the rectifier keys.
3. Reception and processing of information from sensors. This information is used to determine the current state of the PT and the engine needed to implement the necessary legislation management , tracking of emergencies and so on .
4. Interaction with the peripheral modules of the controller (work with Flash memory, real-time clock and other devices that provide additional service functions).
5. Interaction with the top level automation system. Carried out on the principle of "master - known" (Master - Slave), and the inverter acts as a known device. The software implements the necessary exchange protocol, provides reception and execution of control commands , as well as the issuance of the necessary information about the current mode of operation, the state of the sensors and the parameters of the inverter . In the case of a dual-processor system, the main controller and the controller of the control panel can work together .

6. Processing of external signals and issuance of control actions on external equipment in case of control of the frequency converter through discrete or analog inputs.

7. Providing a user interface. It should be noted that the complexity of implementing a user-friendly interface is determined by the set of controls and indications provided on the remote control.

8. Equipment diagnostics and self-diagnostics. Diagnosis is to determine the efficiency of different modules that are part of the PT (as strength and supervisor ents) and the connected motor. Also held control o o snosti programs and data stored in nonvolatile memory.

9. Implementation of protective functions. Modern inverters implement maximum current protection, protection against overheating of the motor and the converter, overload, excessive deviations of the supply voltage, phase break, phase-to- phase short circuit, phase short circuit to ground and communication errors. Correct exit from the state of the accident is possible only if the causes of its occurrence are eliminated. For certain types of accidents (eg, mains voltage loss, communication failure), the system is able to independently monitor the possibility of continuing to work. Recovery from other accidents requires the intervention of maintenance personnel.

10. Preservation of information on modes, duration of work, frequency of inclusion of the inverter ; calculation of efficiency indicators for a certain period; keeping a log of failures and accidents. This allows you to analyze the efficiency of the converter and makes it easier to find the causes of equipment failures.

11. Implementation of additional functions. Various modifications of the converters have a set of features such as the task of programmable fixed speed settings; control of a mode of braking of the drive; control of several engines; implementation of inverter work on schedule. The

programmable control functions that provide the ability to adapt the static and dynamic characteristics of the drive under load conditions include:

- smooth starting and stopping a motor with a selection of waveform change speeds (customarily used linear, S- and U-shaped characteristics change speed) and resolution setting time of acceleration and deceleration with automatic adjustment of acceleration and deceleration in excess of allowable moment;
- mode "pick-up" of the motor, used when turning on the inverter on a rotating motor (for example, after a short loss of mains voltage);
- skip frequencies at which the operation of the drive is undesirable;
- compensation of voltage drop on the active resistance of the stator (IR-compensation), which can be replaced by setting the required profile of the curve "voltage - frequency" to ensure operation with a minimum current consumption;
- maintenance of high starting torque at low frequencies due to additional voltage increase;
- stabilization of rotation speed by acting on the frequency as a function of load (slip compensation);
- adjustment of reaction to a jump of speed or the moment of loading taking into account inertial properties of the mechanism;
- automatic determination of the parameters of the connected engine (adaptation) .

2.2. Choice of machine drive system

The industry of the post-Soviet space has recently produced a large number of varieties of frequency-controlled drive systems . In this thesis, we focus on the development of NDL "Vector" Ivanovo State Energy University - a complete electric drive EPO.

EPV series drives are a new generation of multifunctional "intelligent" control devices for asynchronous AC motors, designed for controlled drive mechanisms and processes with a variety of requirements for control parameters and conditions of use [6] .

For the electric drive of the band saw drive we choose the electric drive of the EPV series on the basis of the frequency converter with adaptive- vector control for highly effective wide-range asynchronous electric drives which is intended for mechanisms with the increased requirements to static and dynamic characteristics.

The main characteristics of the converter

EPV TTPT-10-380-2AP380-UHL4.

Table 2.2

The name of the parameter	Value
Rated output power, kVA	6.5
Typical engine power, kW	3
Supply voltage, V	380 + 10 / -15%
Supply voltage frequency, Hz	48 ... 63
Output voltage, V	0 ... 380
Output frequency, Hz	0-400
Modulation frequency, Hz	2500-16000
Rated output current, A	10
Maximum output current, A	thirteen
Protection tripping current, A	21
Maximum braking current, A	15
Minimum resistance of the ballast resistor, Ohm	43
Power losses in nominal mode, W.	100
Maximum radiator temperature, ° C	85

The electric drive is an electromechanical system that includes an asynchronous motor with a speed sensor and a frequency converter such as " uncontrolled rectifier - voltage inverter" with a microprocessor control system. The electric drive is designed for high-quality control of the object, which requires increased requirements for dynamic qualities and speed control range (speed bandwidth - not less than 20 Hz). The converter is structurally made in the form of the hinged block of unilateral service. The main version of the frequency converter according to climatic requirements - UHL, by placement category - 4, by degree of protection IP00 according to GOST 15150-69, GOST 14254-80, while the air temperature in the cabinet of the complete device should not exceed 40 °C.

Electric a mode adjustment speed provides the following features:

- band transmission frequencies - not less than 20 kHz;
- full range of speed control - not less than 1000;
- subband of speed regulation above nominal - not less than 3;
- τ_{ϵ} accuracy of maintaining the speed is shown in table 3.2;
- τ_{ϵ} change in the speed of rotation when applying or dropping a load of $0.4 M_{nom}$ at $0.1 n_{max}$ should not exceed 10%, and the recovery time of the speed to a static tolerance of 2% should not exceed 0.15 s.

Table 2 . 3

Engine speed	Speed error ,% no more			The coefficient of non-uniformity of rotation , K_n , no more
	when changing the load Δ_n	when changing the direction of rotation Δ_{about}	total Δ_{Σ}	
n_{max}	0.5	1	2	0.1
$0.1n_{max}$	2	2	10	0.1
$0.01n_{max}$	5	5	15	0.2
$0.001n_{max}$	10	10	25	0.25

The converter frequency provides protection electric drive in accordance to HOST24607-88:

- maximum current protection of the converter ;
- protection of propadannya supply chain management ;
- protection from crashes software maintenance ;
- protection against inadmissible deviations of supply voltage;
- protection against accident of the energy discharge unit ;
- protection of non-compliance rate given , including those from failures in circuits inverse relation to schvydkosti ;
- protection against overheating of the power unit of the converter ;
- time-current protection .

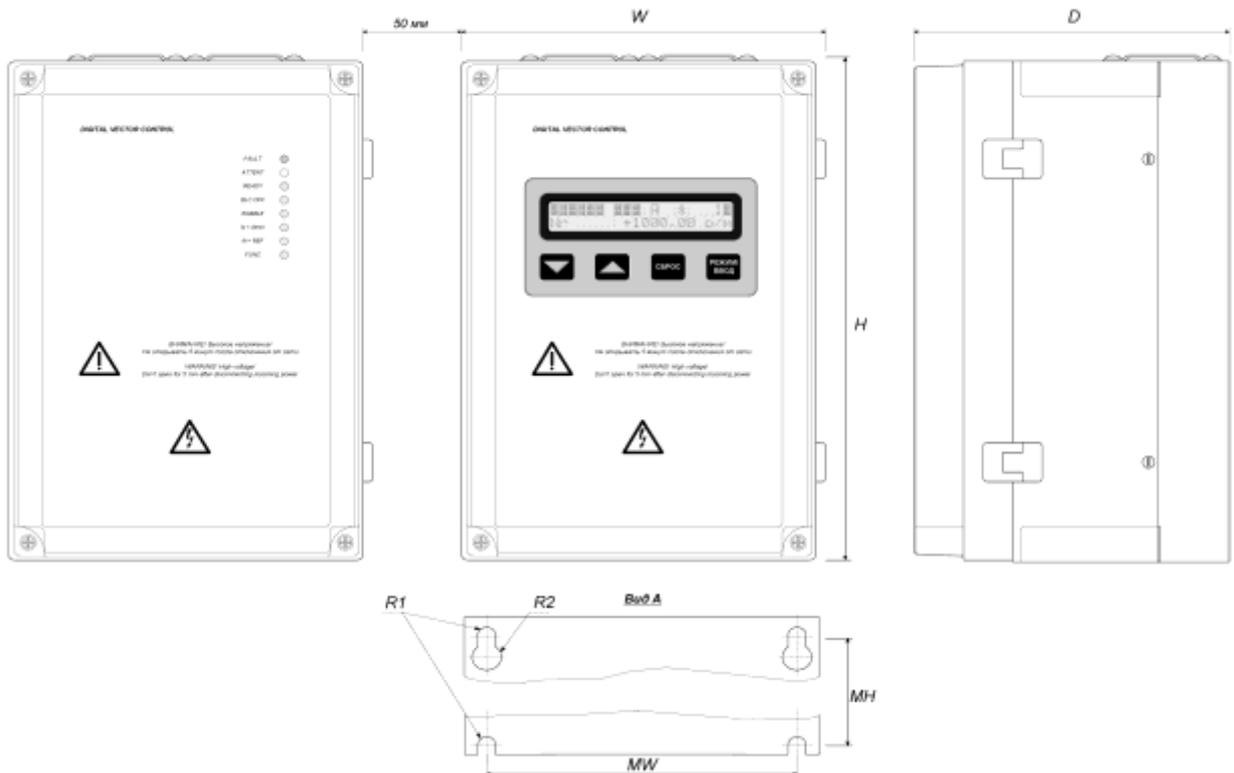


Figure 2. 3. Overall and connecting dimensions of the electric drive .

Reliability indicators of the electric drive :

- average operating time to refusal - not less than 8000 g ;

- average recovery time - no more than 8 hours, when using spare boards - 0.5 hours.
- average term of service - not less than 12 years ,
- guaranteed term life - 2 years .

Table 2 . 4

	W	H	D	MW	MH	R1	R2
EPV-10	195	278	180	120	265	3	6

Electric made on the basis of a three-phase asynhroonoho motor with koroktozamknenym rotor-sensing speed , installed on the shaft and transducer frequency of nekeruyemym rectifier and inverter voltage . At the output of the converter formed Voltage Adjustable amplitude and chasoty , which is supplied to the stator winding engine . Using feedback signals , the control system adjusts the torque and speed of the motor in accordance with the received task .

The frequency converter unit is mounted in a vertical position, providing free space between adjacent units and to the walls of the cabinet, necessary to open the lids, as well as to provide the necessary ventilation.

The mounting area should be made of non-combustible material and have sufficient mechanical prochnist , to withstand the weight of the transformer . The direction of the main flow of cooling air must have a direction - from the bottom up through the radiator unit. When mounting in cabinet converter must be set so as to not fall in the flow of air from the fuel elements vnshoho equipment , including including ballast resistors node discharge energy braking .

The temperature of the air at the inlet of the converter must not exceed 40 ° C . The forced cooling fan of the cabinet must be installed so as to obtain maximum blowing of the converter .

Calculate the required dimensions of the heat-conducting surface of the cabinet by the formula:

$$A_{III} = \frac{P_{II}}{\Delta T \cdot K_t}, \quad (2.1)$$

where, - the total power loss, for the selected electric drive is at a modulation frequency of 10 kHz W ; $P_{II} = 142$

K_t - heat transfer coefficient , for a painted steel cabinet we accept, W / m² · K;

ΔT - the difference between the maximum temperature outside the cabinet and the maximum allowable temperature inside, we accept $\Delta T = 20\text{K}$;

$$A_{III} = \frac{142}{20 \cdot 5,5} = 1,29 \text{ m}^2.$$

The minimum volume of ventilated air is determined by the following formula:

$$V_{\text{вент}} = \frac{3,1 \cdot P_{II}}{\Delta T}, \quad (2.2)$$

$$V_{\text{вент}} = \frac{3,1 \cdot 142}{20} = 22,01 \text{ m}^3 / \text{h}.$$

The obtained values are taken into account when choosing a cabinet and fans.

2.3. Description of the functional diagram of the electric drive

The power module is designed to convert the mains voltage of a constant frequency into a voltage of variable amplitude and frequency to power the actuating motor.

The power module consists of the following main elements:

- three-phase bridge rectifier with varistor overvoltage limiter and inlet filter;
- capacitive filter of a direct voltage link;

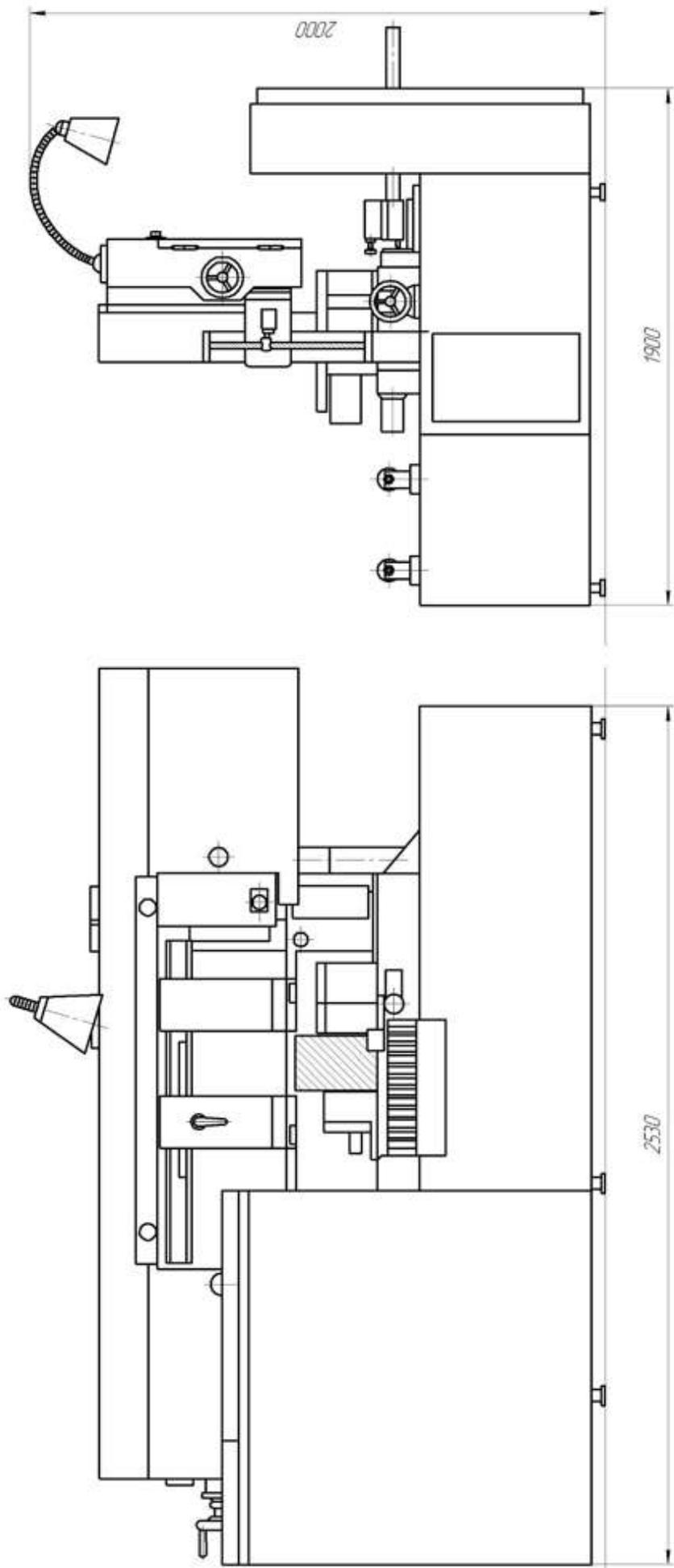
- three-phase bridge IGBT - inverter;
- braking energy discharge unit consisting of IGBT - chopper and external ballast resistor;
- power key driver, which provides control of IGBT gates , generation of protection signals and galvanic isolation of power and control circuits;
- fan controlled as a function of the temperature signal of the power module;
- unit for recharging the filter capacity , which provides limiting the charge current and a smooth increase in voltage across the capacitors.

The sensor system generates normalized signals reverse connections plated solving power and control circuits. It includes:

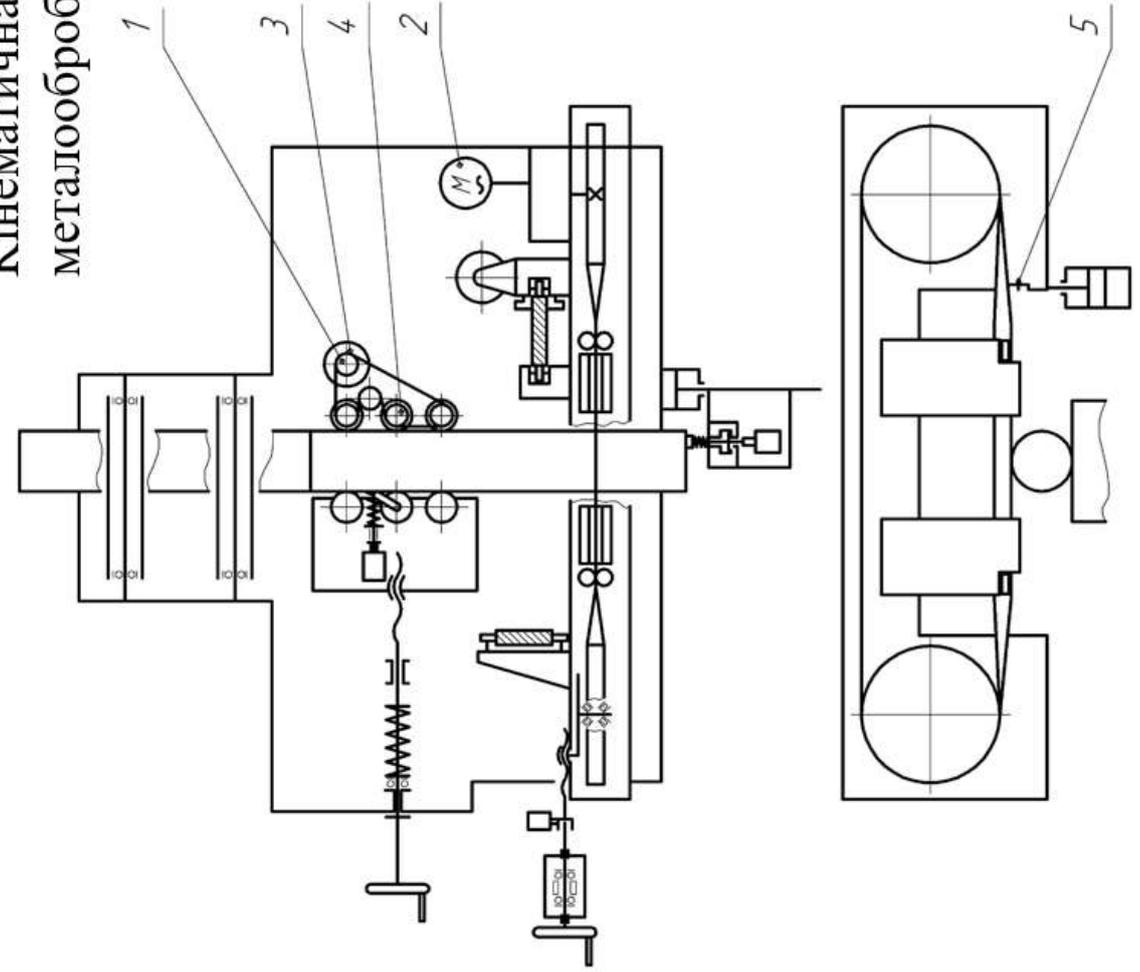
- current sensor DS1, DS2, which are installed in the two initial phases of the inverter ;
- sensor temperature of the power unit, which consists of resistor installed in the power module and the insulating amp ;
- thermistor protection engine (PTC-resistor) зы circuit comparator and it optocoupler solution ;
- incremental sensor angle Move and schen , mounted on the shaft performing engine .

Загальний вигляд верстата

1



Кінематична схема
металообробного верстату



1,2 - Планетарний мотор
редуктор;

3 - Ланцюгова передача;

4 - Приводні ролики

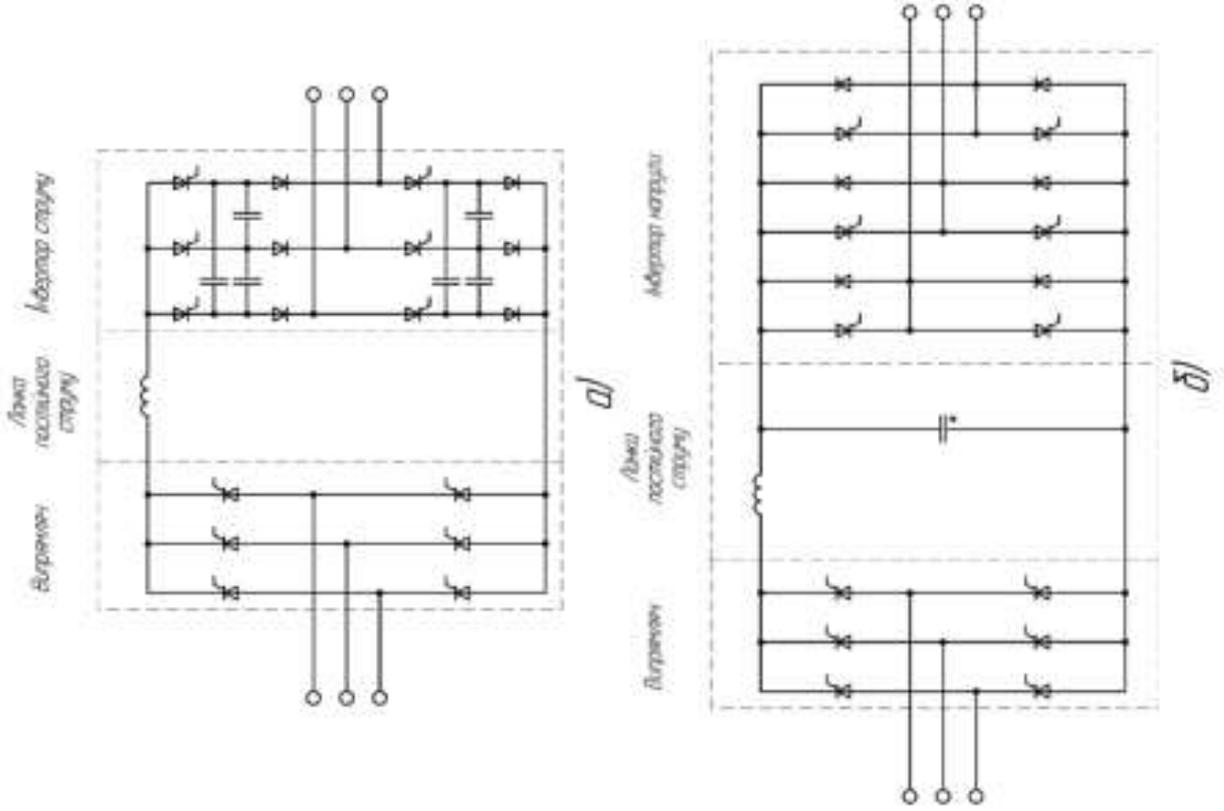
механізму подачі

заготовки;

5 - Щітка чистки пилки

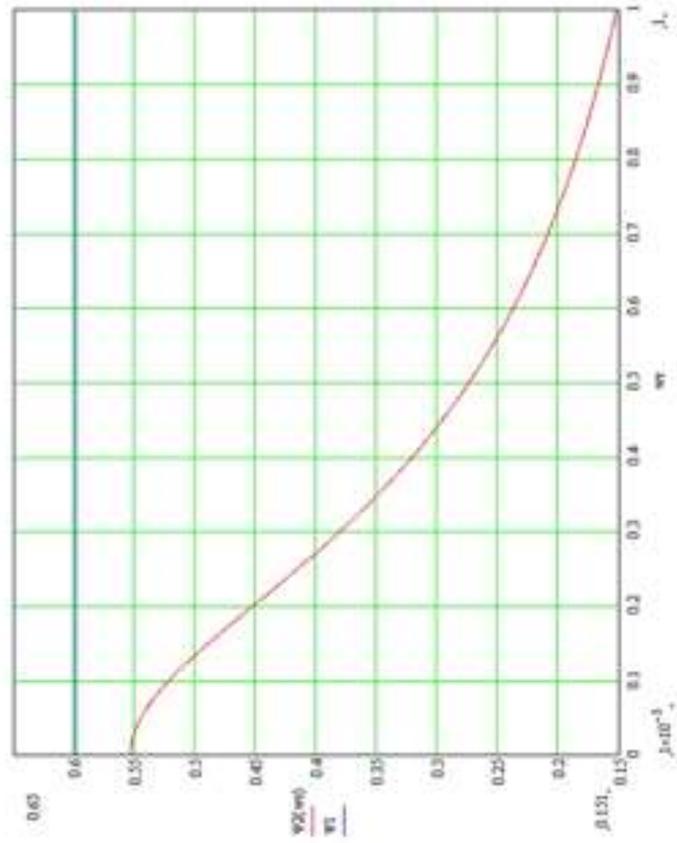
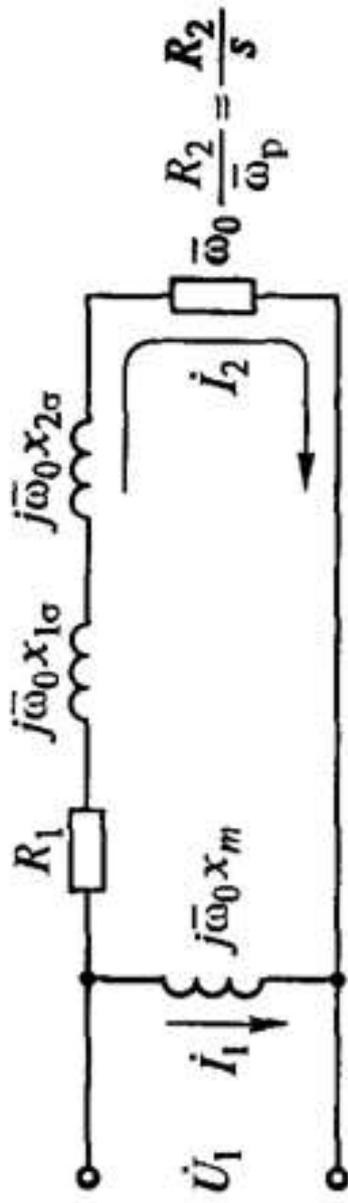
Принципова схема силової частини перетворювачів:

- а) автономний інвертор струму (АІС);
- б) автономний інвертор напруги (АІН).



Г-подібна схема заміщення електродвигуна

5



Графіки залежності
потокосцеплення
статора і ротора від
відносної роторної
частоти

при законі частотного регулювання $E_a / \omega_0 = const$

