

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

**до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

ТЕМА РОБОТИ:

Модернізація електроприводу головного руху верстату типу 7Б110

Виконав: студент групи ЕЕМ-22-1

Даніїл БЕРЕЗНЯК

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Ірина КАСАТКІНА

Нормо контролер _____ к.т.н., доц. Ірина КАСАТКІНА

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг 2026 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

БЕРЕЗНЯК Данііл Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Модернізація електроприводу головного руху верстату типу
7Б110

1. Термін подання студентом роботи: 19 червня 2026 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є модернізація електромеханічної системи головного руху верстату типу 7Б110. Завданням є розрахунок характеристик та дослідження роботи автоматизованого електромеханічного комплексу на новій елементній базі
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Характеристика електромеханічної системи, вибір електрообладнання та розрахунок статичних характеристик привода; II. Обґрунтування і розробка системи керування електроприводом; III. Моделювання динамічних режимів роботи привода механізму на ЕОМ.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Загальний вид механізму та технічна характеристика; II. Розрахунок статичних характеристик системи електроприводу; III. Елементна база системи електроприводу; IV. Система керування електроприводом; V. Модель для дослідження динамічних процесів; VI. Дослідження динаміки системи електроприводу.-

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ірина КАСАТКІНА		
II	Ірина КАСАТКІНА		
III	Ірина КАСАТКІНА		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Основні відомості про технологічний механізм	21.05.26
2	Обґрунтування і вибір системи електроприводу	24.05.26
3	Розрахунок потужності і вибір електродвигуна	27.05.26
4	Розрахунок перетворювача	29.05.26
5	Розрахунок та побудова характеристик	31.05.26
6	Обґрунтування і вибір структури системи керування	02.06.26
7	Розрахунок параметрів елементів системи керування	07.06.26
8	Розробка алгоритмів та програмного забезпечення	11.06.26
9	Моделювання динамічних режимів	14.06.26
10	Аналіз якісних показників розробленої системи	15.06.26

Дата видання завдання 18.05.2026 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Даніїл БЕРЕЗНЯК
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ірина КАСАТКІНА
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Модернізація електроприводу головного руху верстату типу 7Б110»

45 с., 21 рис., 15 літературних джерел

Мета роботи: Підвищення енергоефективності, експлуатаційної надійності та якості механічної обробки деталей на стругально-фрезерному верстаті типу 7Б110 шляхом заміни морально застарілого електроприводу на сучасну систему на базі асинхронного двигуна з частотним керуванням.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

Провести аналіз кінематичної схеми та режимів роботи головного руху стругально-фрезерного верстата 7Б110, виявивши недоліки існуючої системи приводу.

Розрахувати необхідні потужності та моменти різання для забезпечення всього спектра стругальних та фрезерних операцій, передбачених паспортом верстата.

Здійснити вибір оптимального асинхронного електродвигуна та відповідного частотного перетворювача (інвертора) із підтримкою векторного керування для забезпечення жорсткості механічних характеристик на низьких швидкостях.

Розробити принципову електричну схему підключення нового електроприводу, інтегрувавши її в існуючу систему керування верстатом (або розробити нову релейно-контакторну чи мікропроцесорну схему керування).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації, оцінивши очікуваний термін окупності за рахунок економії електроенергії та зниження витрат на технічне обслуговування.

СТРУГАЛЬНО-ФРЕЗЕРНИЙ ВЕРСТАТ, ГОЛОВНИЙ РУХ,
ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ ПРИВІД, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН,
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. . Характеристика електромеханічної системи, її роль в технологічному процесі, постановка задачі проектування.....	11
1.1. Загальний вид, конструкція, кінематика, технічні характеристики поздовжньо - стругального верстату.....	11
1.2. Режими роботи, завдання керування, вимоги до електропривода верстату	15
1.3. Розрахунок потужності і вибір двигуна, перетворювача та інших елементів системної частини	16
1.4. Розрахунок механічних характеристик розімкненої системи електропривода.....	18
1.5. Розрахунок енергетичних характеристик електропривода	22
Розділ 2. Вибір технічних засобів реалізації САК і конструювання елементів (блоків, вузлів) САК.....	25
2.1. Обґрунтування та вибір структури САК ЕП	25
2.2 Структура і принцип роботи перетворювача	27
Розділ 3. Автоматизація технологічних процесів на базі електромеханічної системи	31
3.1. Застосування позиційної системи в стругально-фрезерному верстаті.	31
3.2. Дослідження системи стабілізації пружних деформацій верстата	35
Висновки	41
Список використаних джерел	42
Додаток А.....	44
Додаток Б	45

Вступ

Сучасні тенденції в модернізації металообробного обладнання

На сучасному етапі розвитку машинобудівної галузі одним із ключових завдань є забезпечення високої продуктивності праці за одночасного зниження енергоємності виробництва.

Придбання нових важких верстатів, до яких належить і стругально-фрезерна група, вимагає колосальних капіталовкладень, які часто є непідйомними для багатьох підприємств.

Водночас базові чавунні станини та напрямні такого обладнання мають величезний запас міцності і здатні служити десятиліттями без втрати геометричної точності.

Натомість електрична частина та системи керування застарівають значно швидше — як морально, так і фізично.

Саме тому модернізація (ретрофітинг) існуючого парку важких верстатів є найбільш економічно обґрунтованим та раціональним шляхом оновлення виробничих потужностей.

Особливості експлуатації стругально-фрезерного верстата 7Б110

Верстат типу 7Б110 є класичним представником важкого машинобудування, призначеним для обробки великогабаритних деталей великої маси.

Специфіка його роботи полягає у поєднанні двох різних типів різання — стругання та фрезерування.

Це висуває надзвичайно жорсткі вимоги до приводу головного руху.

При струганні привід повинен забезпечувати високі динамічні показники (швидкий розгін, гальмування та реверсування масивних вузлів), а

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при фрезеруванні — стабільність швидкості обертання інструменту при змінних ударних навантаженнях, характерних для процесу врізання зубів фрези в метал.

Історично на верстатах цієї серії для забезпечення широкого діапазону регулювання швидкості встановлювалися системи електроприводу постійного струму (наприклад, за системою "генератор-двигун" або з тиристорними перетворювачами) або складні багатоступеневі коробки швидкостей з нерегульованими асинхронними двигунами.

Недоліки традиційних систем приводу

Існуючі штатні системи електроприводу верстата 7Б110 мають низку суттєвих недоліків, які знижують загальну рентабельність його використання:

- Низький коефіцієнт корисної дії (ККД). Системи приводу постійного струму мають значні втрати енергії в процесі дворазового перетворення (у випадку системи Г-Д) та високі втрати в пускових і гальмівних резисторах.
- Високі експлуатаційні витрати. Двигуни постійного струму потребують постійного нагляду за колекторно-щітковим вузлом. Заміна щіток, проточка колектора та ремонт у разі кругового вогню вимагають зупинки обладнання, що призводить до економічних збитків через простой.
- Обмеження кінематики. Використання багатоступеневих коробок швидкостей унеможливорює безступеневе регулювання швидкості різання. Це не дозволяє оператору вибрати ідеальний режим різання для конкретного матеріалу та інструменту, що скорочує термін служби фрез та різців, а також погіршує чистоту обробленої поверхні.
- Високий рівень шуму та вібрацій. Зношені механічні передачі є джерелом додаткових вібрацій, які негативно впливають на точність обробки.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Переваги впровадження асинхронного частотно-регульованого приводу (ЧРП)

Бурхливий розвиток силової електроніки та мікропроцесорної техніки зробив асинхронний короткозамкнений двигун, керований за допомогою частотного перетворювача, абсолютним стандартом у сучасному верстатобудуванні.

Заміна застарілого приводу головного руху верстата 7Б110 на ЧРП дозволяє вирішити більшість вищезазначених проблем.

По-перше, асинхронний двигун є найнадійнішим, найдешевшим і найпростішим в обслуговуванні типом електричних машин через відсутність колекторного вузла.

По-друге, сучасні частотні перетворювачі з алгоритмами безсенсорного векторного керування (Sensorless Vector Control) здатні забезпечити номінальний крутний момент двигуна навіть на дуже низьких швидкостях обертання, що є критично важливим для чорнових режимів стругання та фрезерування твердих сплавів.

По-третє, ЧРП дозволяє спростити кінематичний ланцюг верстата шляхом вилучення з нього зайвих механічних передач.

Пряме або ремінне підключення двигуна до шпинделя суттєво підвищує загальний ККД механізму.

Крім того, плавний розгін та гальмування значно знижують динамічні удари в механічних вузлах, подовжуючи термін їхньої служби.

Практична та наукова значущість

З огляду на вищевикладене, тема модернізації електроприводу головного руху верстата 7Б110 є глибоко актуальною.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вона поєднує в собі вирішення конкретної інженерної задачі з відновлення працездатності важкого обладнання та реалізацію сучасних концепцій енергоощадження в промисловості.

Практичне впровадження результатів такої роботи дозволить не лише продовжити життєвий цикл верстата на 10-15 років, але й вивести його продуктивність та точність обробки на рівень, наближений до сучасних світових аналогів, забезпечивши підприємству швидке повернення інвестицій.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. . Характеристика електромеханічної системи, її роль в технологічному процесі, постановка задачі проектування

1.1. Загальний вид, конструкція, кінематика, технічні характеристики поздовжньо - стругального верстату

Багато випускають станки, що, можуть виконувати точну обробку одночасно чотирьох або п'яти сторін призматичної деталі.

При обробці складних деталей, таких, як голівка циліндра або корпус редуктора, що вимагають виконання деякої послідовності різних операцій, багатоцільові верстати заміняють кілька верстатів різного типу.

На рис.1.1 наведений загальний вид стругально-фрезерного верстата 7Б110.



Рис.1.1 Загальний вид стругально-фрезерного верстата 7Б110.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1	Літ.	Лист	Листів
Розробив	Березняк Д.А.						11	14
Перевірив	Касаткіна І.В.							
Реценз.								
Н. Контр.	Касаткіна І.В.							
Затвердив	Пересунько І.І.					КНУ ЕЕМ-22-1		

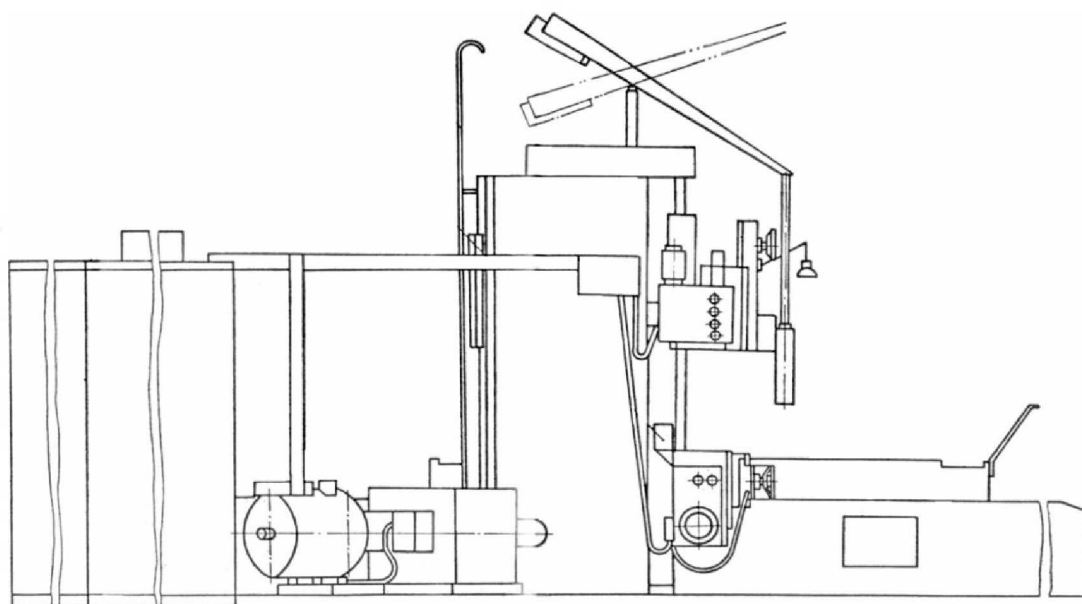
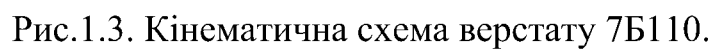


Рис.1.2. Розташування обладнання на стругально-фрезерного верстаті 7Б110.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12



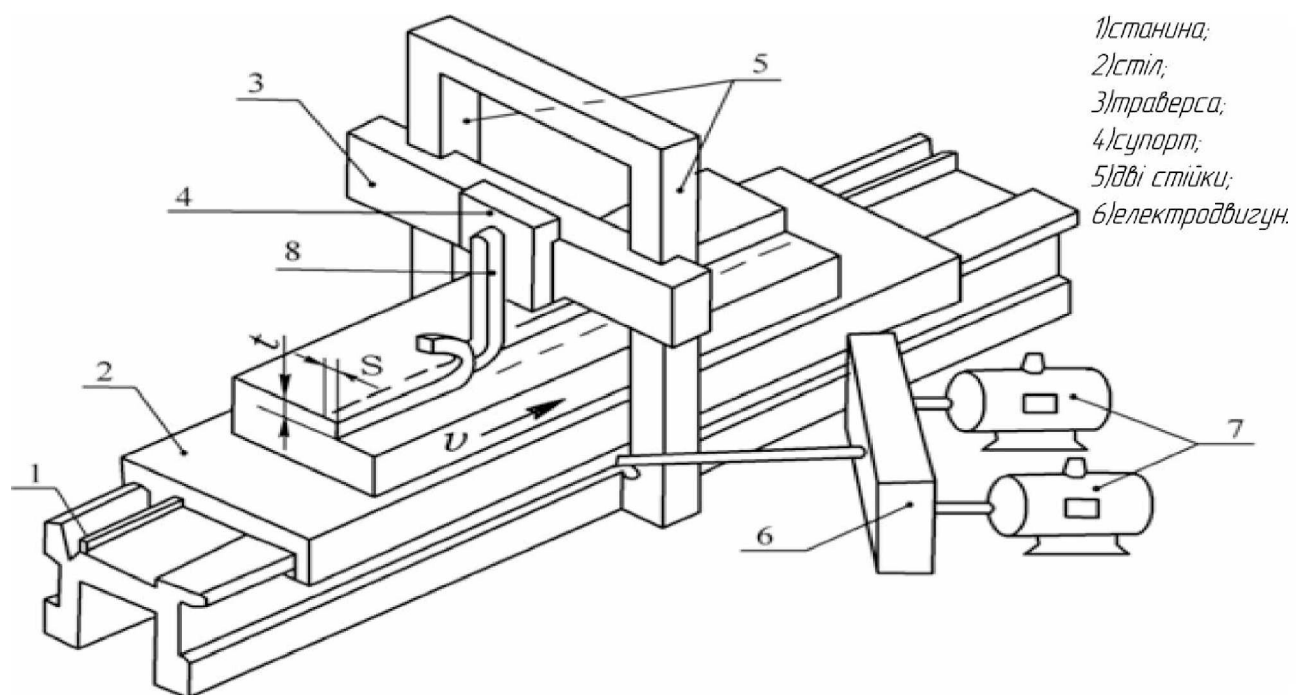


Рис.1.4. Спрощена кінематична схема стругально-фрезерного верстата

1.2. Режими роботи, завдання керування, вимоги до електропривода верстату

Робочий цикл головного руху верстату складається із трьох етапів: розгін; робочий хід (переміщення), холостий хід (повернення механізму у вихідне положення).

Нижче приведені типові тахограма та навантажувальна діаграма механізму верстату (рис.1.5).

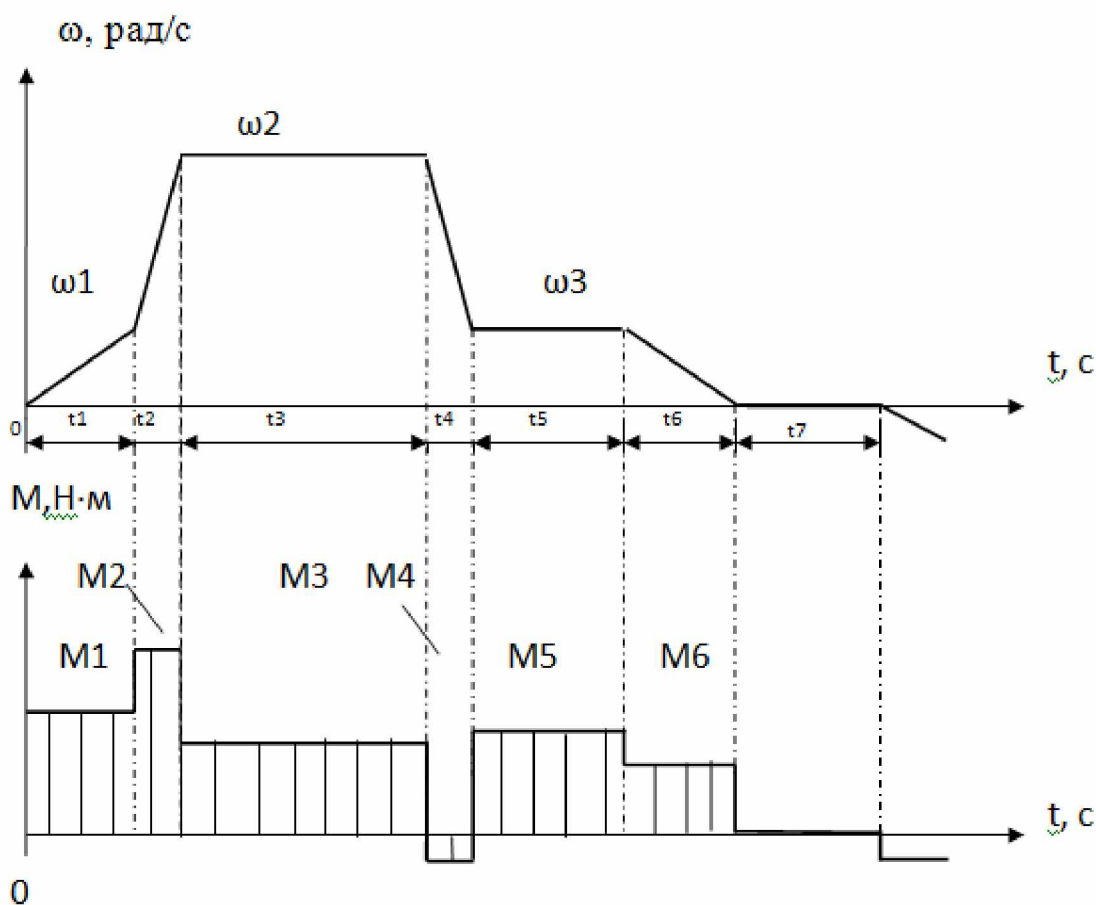


Рис.1.5. Типові тахограма та навантажувальна діаграма механізму головного руху верстату

1.3. Розрахунок потужності і вибір двигуна, перетворювача та інших елементів системної частини

При розрахунку потужності двигуна думаємо, що номінальної швидкості двигуна відповідає швидкість зворотного ходу стола (найбільша швидкість механізму), тому що приймаємо одноступеневе регулювання швидкістю, яке реалізується униз від номінального значення.

Зупинимось на виборі двигуна серії Д, який розраховуємо на номінальний режим роботи (S1) й маючого примусову вентиляцію.

Еквівалентне статичне зусилля за цикл:

$$F_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{F_{xx}^2 \cdot t_n + F_p^2 \cdot t_p + F_{xx}^2 \cdot t_v + F_{xx}^2 \cdot t_{обр}}{t_{\text{ц}}}}$$

$$F_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{2900^2 \cdot 1.25 + 72900^2 \cdot 6 + 2900^2 \cdot 1.25 + 2900^2 \cdot 8.75}{17.25}} \\ = 43057 \text{ Н} \approx 43.06 \text{ кН}$$

Розрахункова потужність двигуна:

$$P_{\text{рас}} = K_z \cdot \frac{F_{\text{экв}} \cdot V_{\text{обр}}}{\eta_{nN}}, \text{ де}$$

K_z - коефіцієнт запасу (приймаємо $K_z = 1.2$);

η_{nN} - ККД механічних передач при робочому навантаженні.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$P_{pac} = 1.2 \cdot \frac{43057 \cdot 0.8}{0.90} = 47842 \text{ Вт} = 47.8 \text{ кВт}$$

Вибираємо асинхронний електродвигун типу АО2-82-4У3 (Додаток).

Для живлення електродвигуна вибираємо перетворювач частоти Altivar 61 типу ATV 61 HD55N4 (Додаток).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4. Розрахунок механічних характеристик розімкненої системи електропривода

Швидкісна характеристика електропривода за системою ПЧ-АД визначається

$$I_2' = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_{\kappa\kappa} \cdot f^*)^2 \right]}}$$

де s – ковзання двигуна при фактичній швидкості ω , яке розраховується:

$$s = \frac{\omega_0 \cdot f^* - \omega}{\omega_0 \cdot f^*}$$

f^* - частота струму живлення АД у відносних одиницях, яка розраховується:

$$f^* = \frac{f_1}{f_c}$$

Після підстановки наведених виразів у вираз струму маємо рівняння швидкісної характеристики

$$I_2' = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(\frac{\omega_0 \cdot f^* - \omega}{\omega_0} \right)^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}};$$

За наведеним виразом будуються швидкісні характеристики для декілька значень частоти живлення АД, наприклад, $f_l = 10, 20, 30, 40, 50$ Гц.

$\omega, \text{рад/с}$

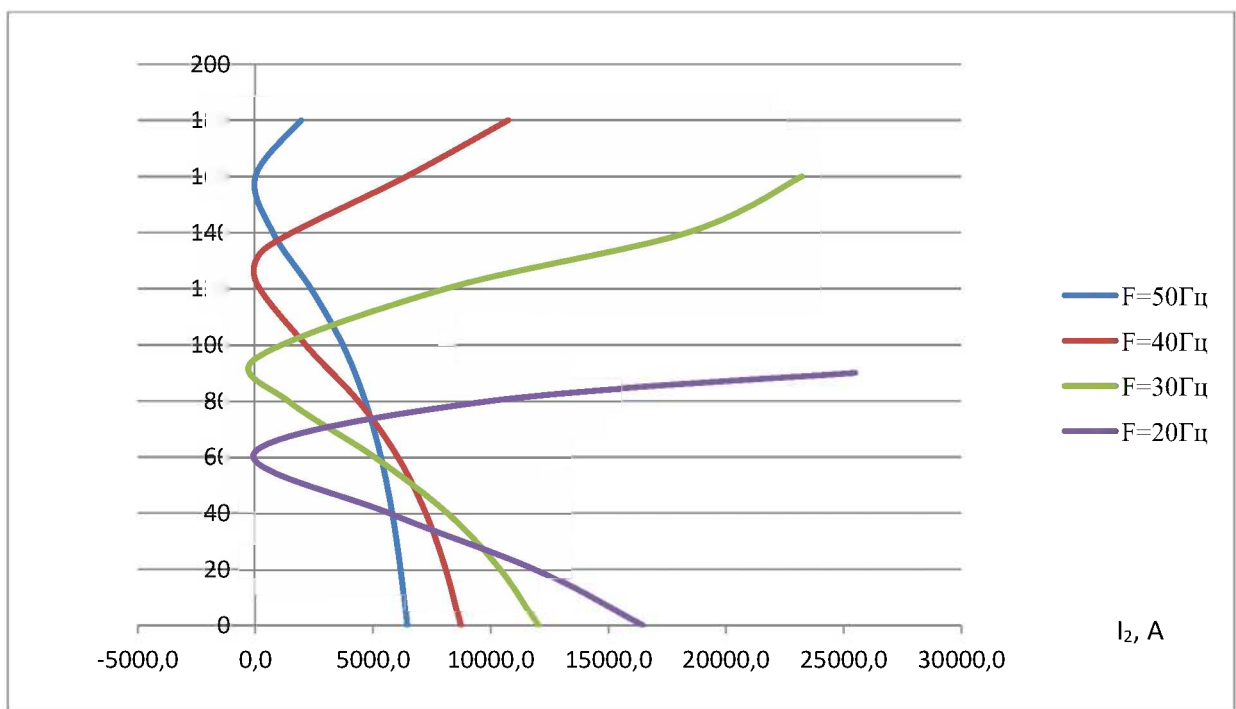


Рис.1.6 Швидкісна характеристика даного електропривода за системою ПЧ – АД

Вираз для механічної характеристики АД має вигляд:

$$M = \frac{3(f^* U_{\phi})^2 R_2'}{(\omega_o * f^* - \omega) \left[\left(R_1 + \frac{R_2' * \omega_o * f^*}{\omega_o * f^* - \omega} \right)^2 + (X_{кз} * f^*)^2 \right]}$$

Аналогічно швидкісним характеристикам будуються механічні характеристики для декілька значень частоти живлення АД, наприклад, $f_1 = 10, 20, 30, 40, 50$ Гц.

Статизм з швидкісної характеристики визначається при номінальному навантаженні:

$$\delta_{ш} = \frac{\omega_o - \omega}{\omega_o} 100, \% = \frac{157,5 - 153,3}{157,5} \cdot 100 = 2,67\%$$

Статизм визначається для номінальної частоти живлення двигуна і для мінімального її значення виходячи із необхідного діапазону регулювання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

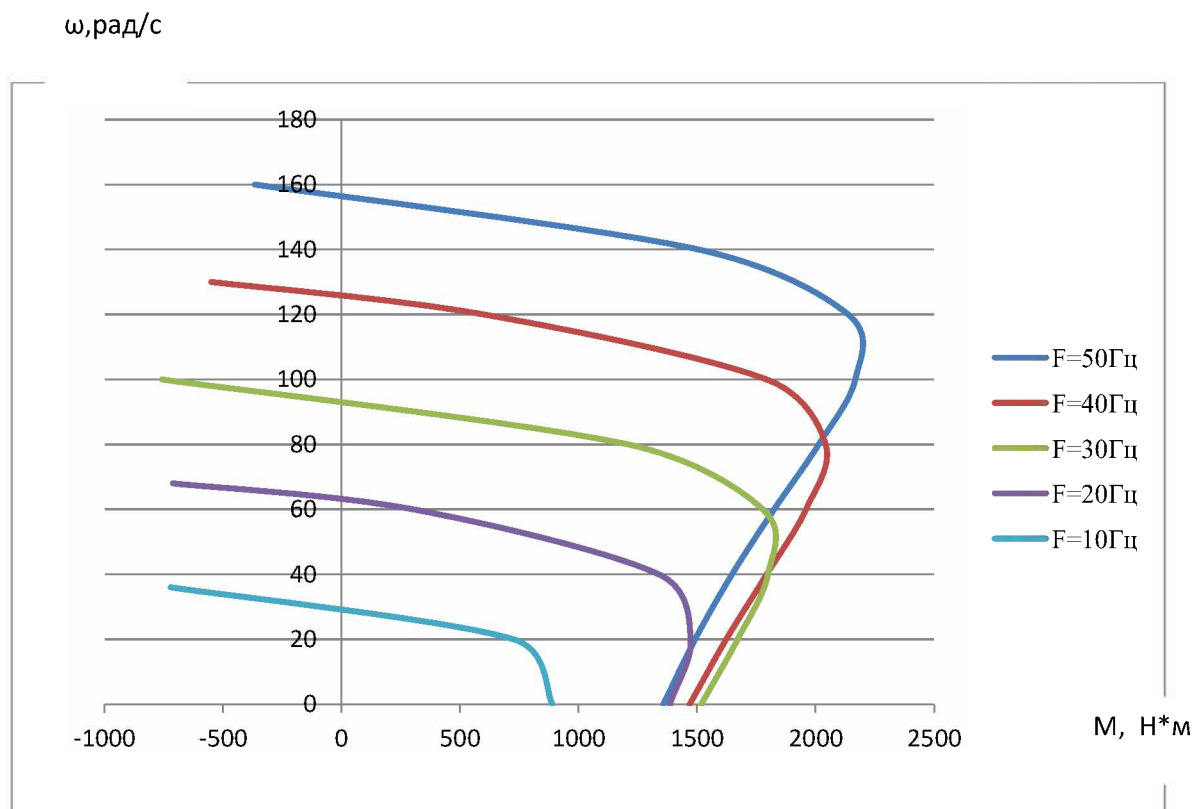


Рис.1.7. Механічна характеристика даного електропривода за системою ПЧ – АД

1.5. Розрахунок енергетичних характеристик електропривода

Розрахунок коефіцієнта корисної дії

Коефіцієнт корисної дії електропривода розраховується за виразом:

$$\eta = \frac{M\omega}{M\omega + \Delta P_{\Sigma}} 100, \%$$

де ΔP_{Σ} - загальні втрати потужності у системі електропривода, які визначаються:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{змін}}$$

Постійні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{\text{пост}} = P_n \frac{(1 - \eta_n)}{\eta_n} - \frac{P_n}{\omega_n} \omega_o s_n \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

Змінні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{\text{пер}} = \frac{P_n}{\omega_n} \left(\frac{M}{M_n} \right)^2 \omega_o f^* s_n \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

У результаті розрахунку побудована характеристика $\eta = f(M)$ для декілька значень частоти двигуна, наприклад, $f = 50; 40; 30; 20 \text{ Гц}$.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

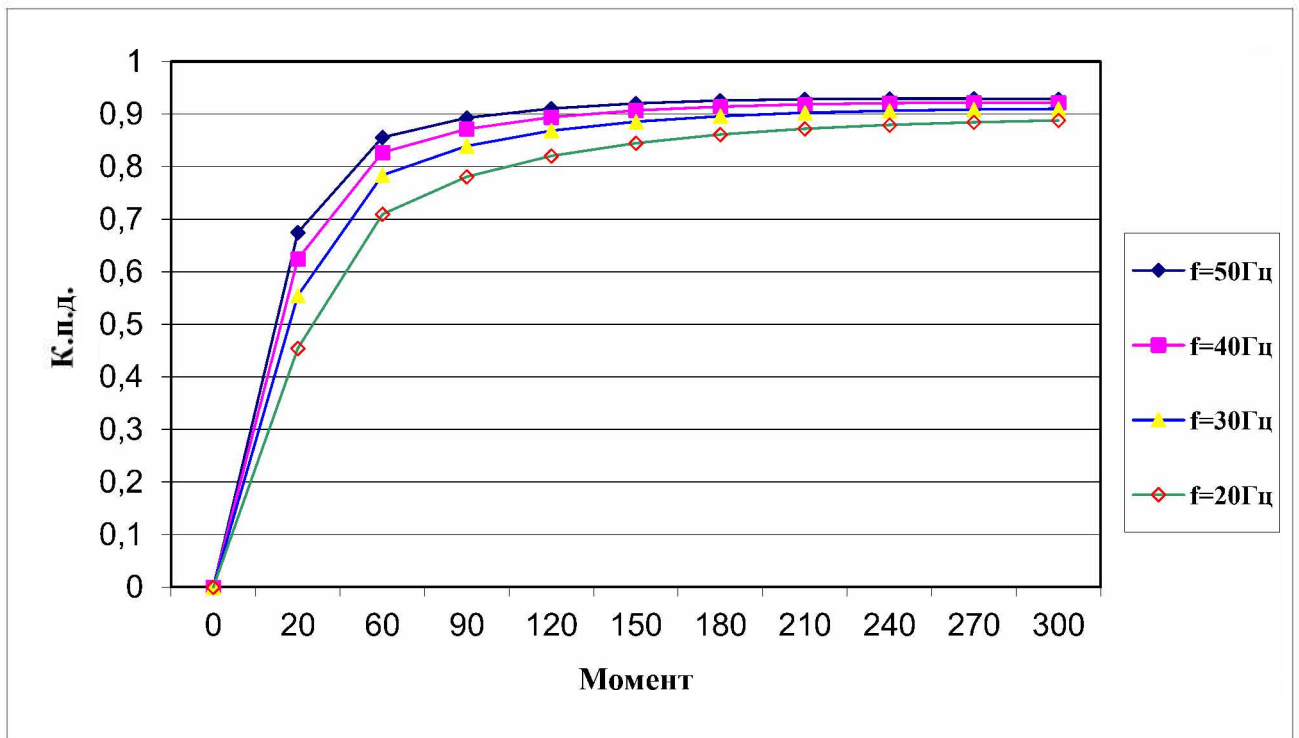


Рис.1.8. Графік залежності коефіцієнта корисної дії від моменту

Розрахунок коефіцієнту потужності

Розрахунок коефіцієнту потужності виконується:

$$\cos \varphi = \frac{\frac{M \cdot \omega}{\eta}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n}$$

Значення к.к.д. використовуються із попереднього розрахунку для відповідних значень моменту і швидкості двигуна.

Розрахована залежність $\cos \varphi = f(\omega)$ для декілька значень моменту двигуна $M = 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 M_n$.

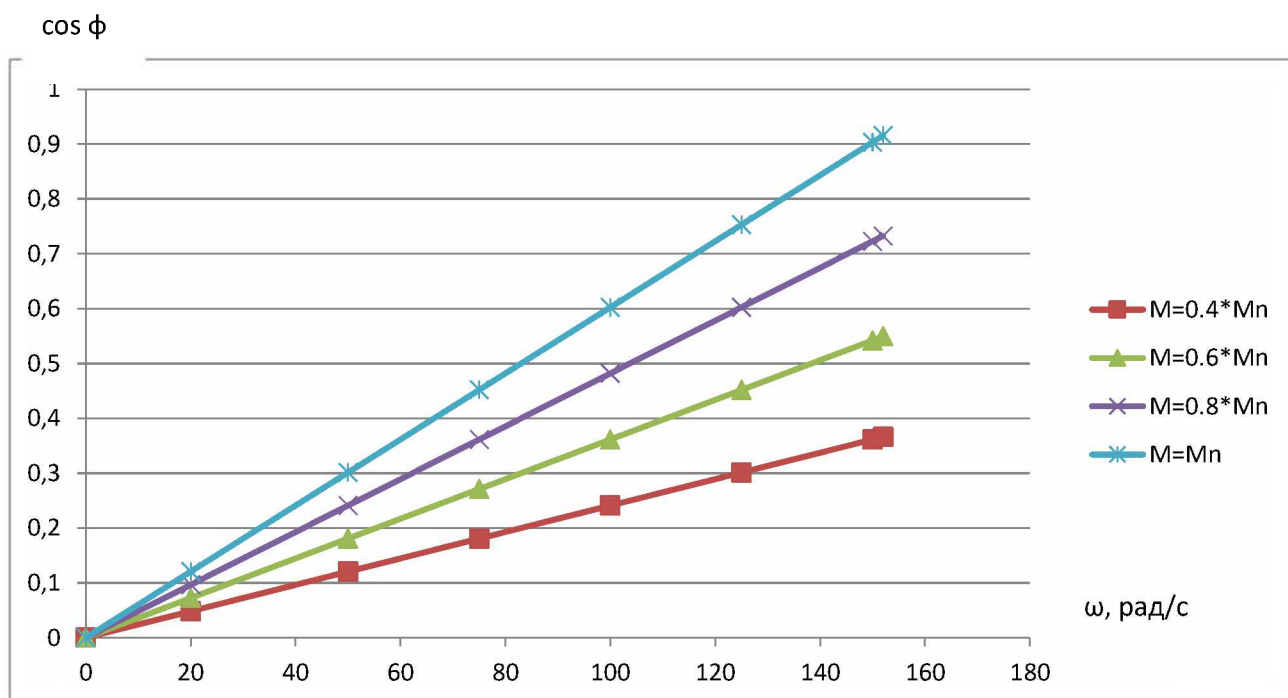


Рис.1.9.Графік залежності коефіцієнта потужності від швидкості

2.1. Обґрунтування та вибір структури САК ЕП

Системи стабілізації параметрів можна поділити на три основні структури, які наведені на рис.2.2.

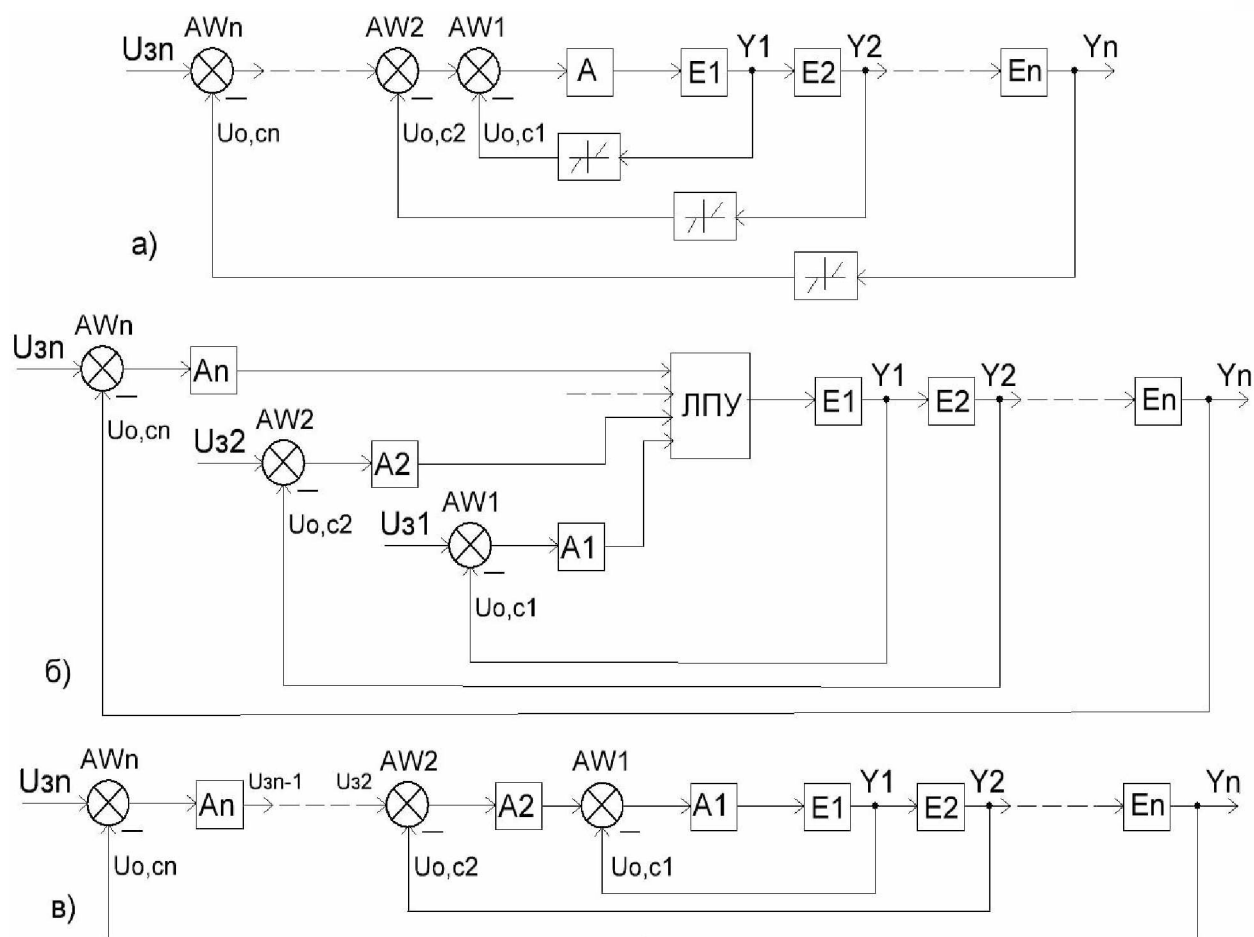


Рис. 2.2 Структурні схеми систем електропривода: а – із проміжним (підсумовуючим) підсилювачем; б – з незалежним регулюванням параметрів; в – з підлеглим регулюванням параметрів

2.2 Структура і принцип роботи перетворювача

У перетворювачі реалізовано векторне управління.

Воно дозволяє працювати з повним моментом в області низьких частот керування, забезпечуючи точне підтримування швидкості при зміні навантаження без датчика зворотного зв'язку, точно контролювати момент на валу двигуна.

На рис.2.3 наведена структура системи векторного керування електропривода змінного струму.

На рис.2.4 представлений загальний вид фільтрів перетворювача.

На рис.2.5 представлена схема підключення перетворювача.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

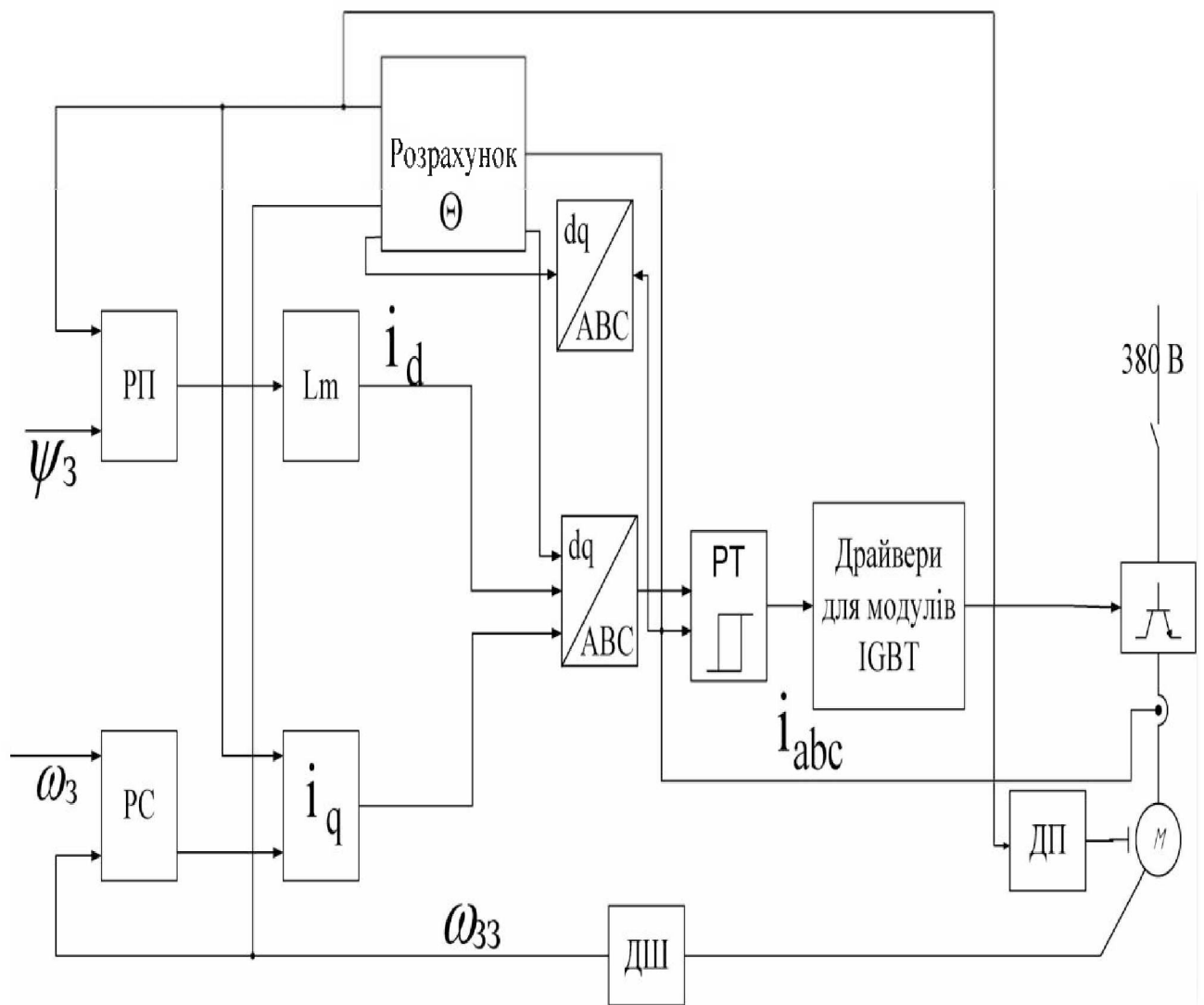


Рис.2.3. Структура системи векторного керування електропривода змінного струму.

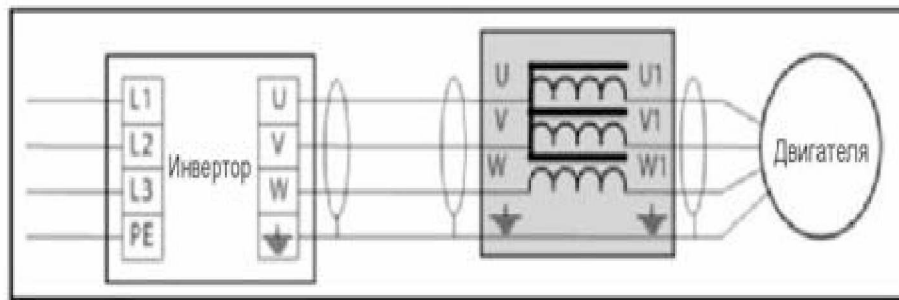


Рисунок 1

Рисунок 2

Рисунок 3

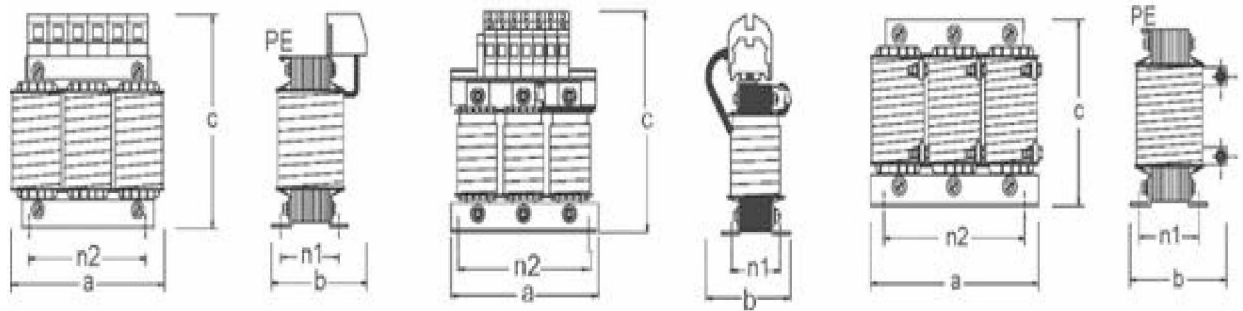


Рис.2.4.Загальний вид фільтрів перетворювача.

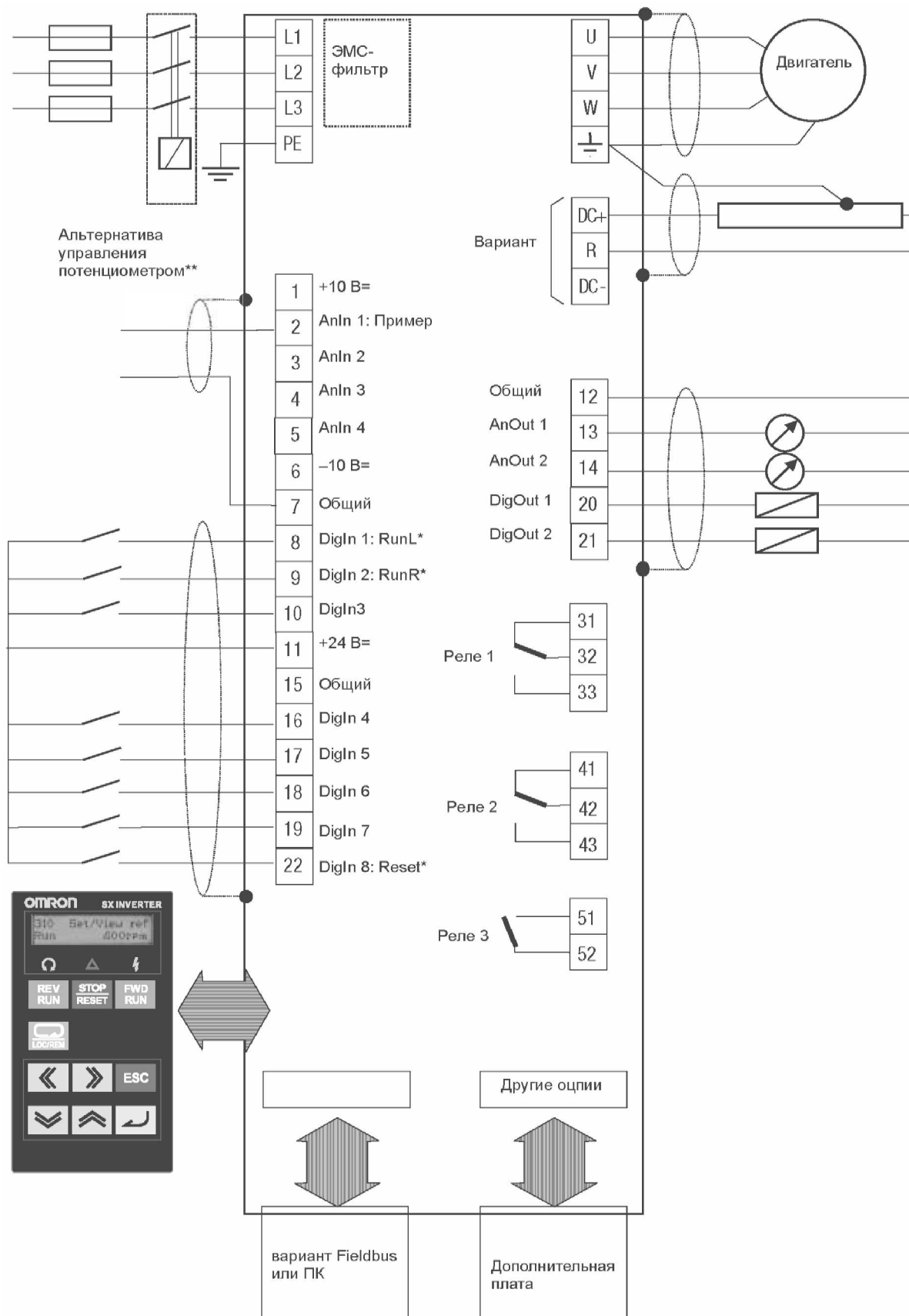


Рис.2.5.Схема підключення перетворювача

Розділ 3. Автоматизація технологічних процесів на базі електромеханічної системи

3.1. Застосування позиційної системи в стругально-фрезерному верстаті

Для позиційного електропривода зона переміщення робочого органу не задається й може бути обрана довільною, а задаються тільки початкове й кінцеве положення об'єкта й точність позиціювання.

Тип траєкторії вибирається з додаткових умов й обмежень.

Такою умовою може бути, наприклад, мінімум часу відпрацьовування заданого переміщення при обмеженні максимальних значень швидкості й прискорення.

Побудована по даній умові тахограма, оптимальна по швидкодії, має трапецеїдальний вид.

Для одержання однакового характеру процесів позиціювання при відпрацьовуванні переміщень різної величини зі зразковою сталістю прискорення $\varepsilon = \varepsilon_{\text{доп}}$ потрібно, щоб напруга РП у момент початку гальмування відповідало б початковій швидкості гальмування, тобто

$$u_{\text{РП}} = k_{\delta} k_{\text{РП}} \Delta \theta = u_{\text{з.с}} \approx k_{\text{о.с}} \omega_{\text{т}}.$$

$$\omega_{\text{т}} = \sqrt{2\varepsilon_{\text{доп}} \theta_{\text{т}}},$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 3				Лім.	Лист	Листів	
Розробив		Березняк Д.А.										
Перевірів		Касаткіна І.В.									31	10
Реценз.									КНУ ЕЕМ-22-1			
Н. Контр.		Касаткіна І.В.										
Затвердив		Пересунько І.І.										

де θ_T – кутовий гальмівний шлях.

Так як $\theta_T = \Delta \theta$, то

$$u_{RP} = k_{o.c} \sqrt{2\varepsilon_{доп} \theta_T}$$

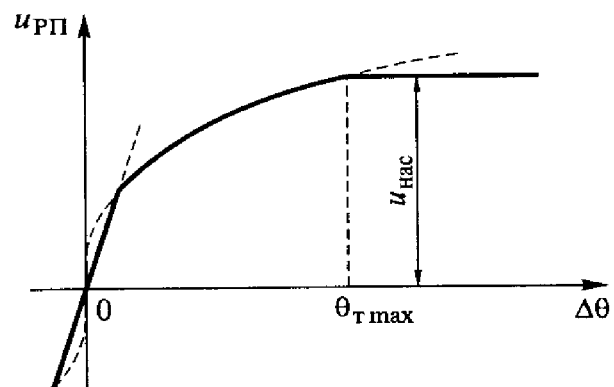


Рис.3.1.Параболічна характеристика регулятора положення.

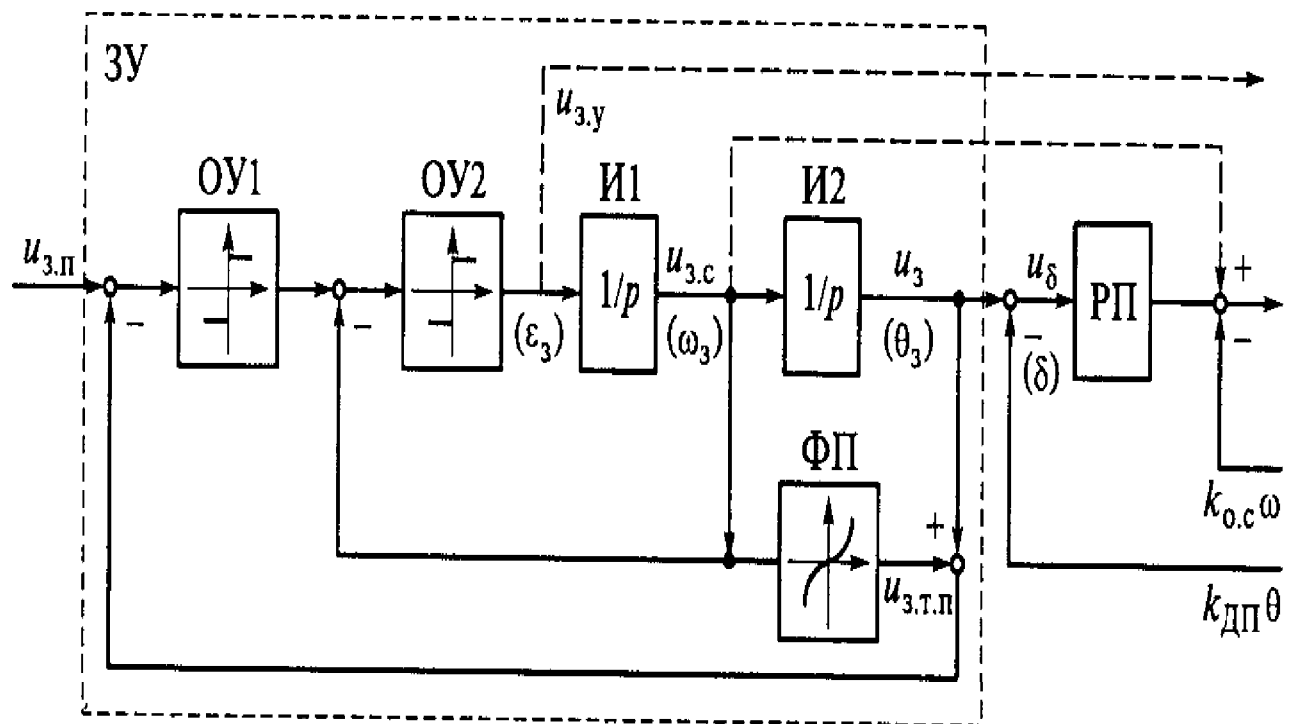


Рис.3.2. Структурна схема пристрою завдання позиційного електропривода.

Синтез даного коригувального пристрою, що визначає структуру й параметри його передатної функції $W_{д.к}(p)$, виконується методом додаткової паралельної корекції.

Метод додаткової паралельної корекції - прирівнюванням передатної функції швидкісної підсистеми $W_{сп}$ із коригувальним зворотним зв'язком бажаної передатної функції:

$$\frac{W_{сп}(p)}{1 + W_{д.к}(p)W_{сп}(p)} = W_{жел}(p),$$

звідки визначається

$$W_{\text{д.к}}(p) = \frac{1}{W_{\text{жел}}(p)} - \frac{1}{W_{\text{СП}}(p)}.$$

3.2. Дослідження системи стабілізації пружних деформацій верстата

Для дослідження системи стабілізації пружних деформацій верстата була розроблена модель електропривода з регуляторами струму, швидкості й положення, наведена на рис.3.3.

У моделі передбачена можливість роботи із пропорційним і параболічним регулятором положення, і перемикання їх здійснюється відповідним перемикачем.

Спочатку були проведені дослідження окремо із пропорційним й окремо з параболічним регулятором положення.

На рис.3.4 - 3.7 наведені графіки параметрів електропривода $I_d, \omega_1, f, M_y, \omega_2$.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

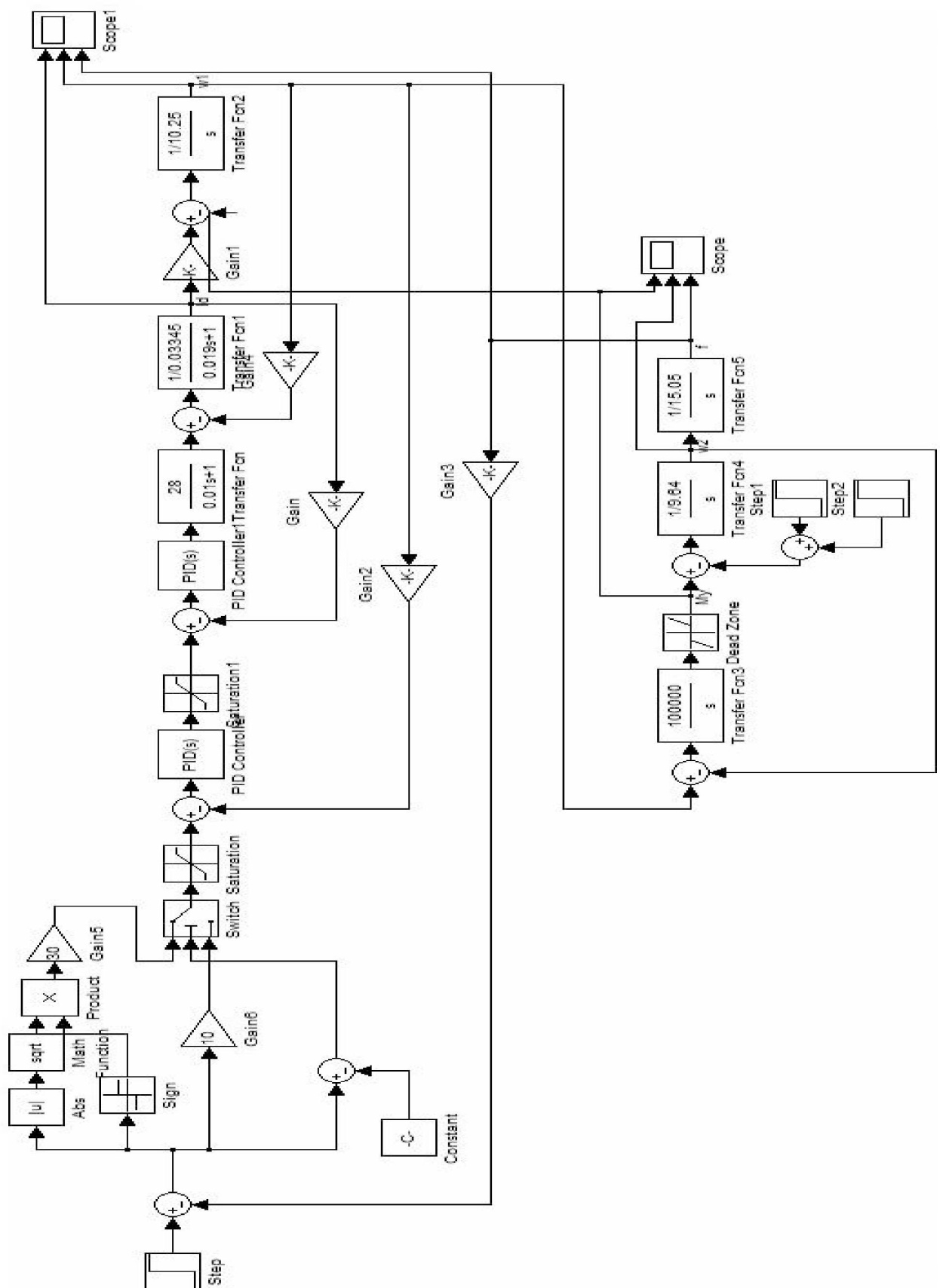


Рис.3.3. Схема моделі позиційного електропривода стругально-фрезерного верстата.

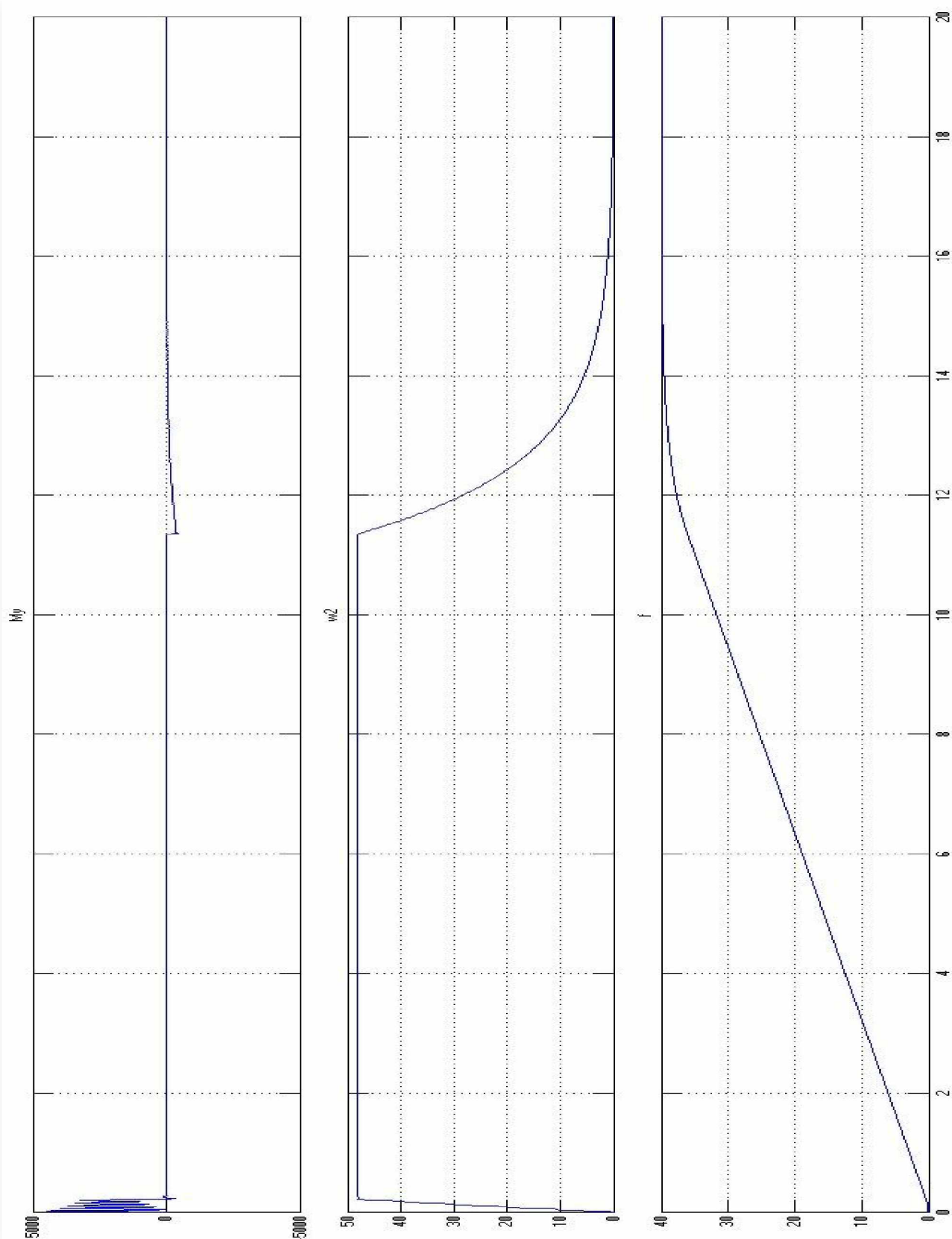


Рис.3.4. Графіки пружного моменту, швидкості механізму й кута повороту електропривода стругально-фрезерного верстата із пропорційним регулятором положення.

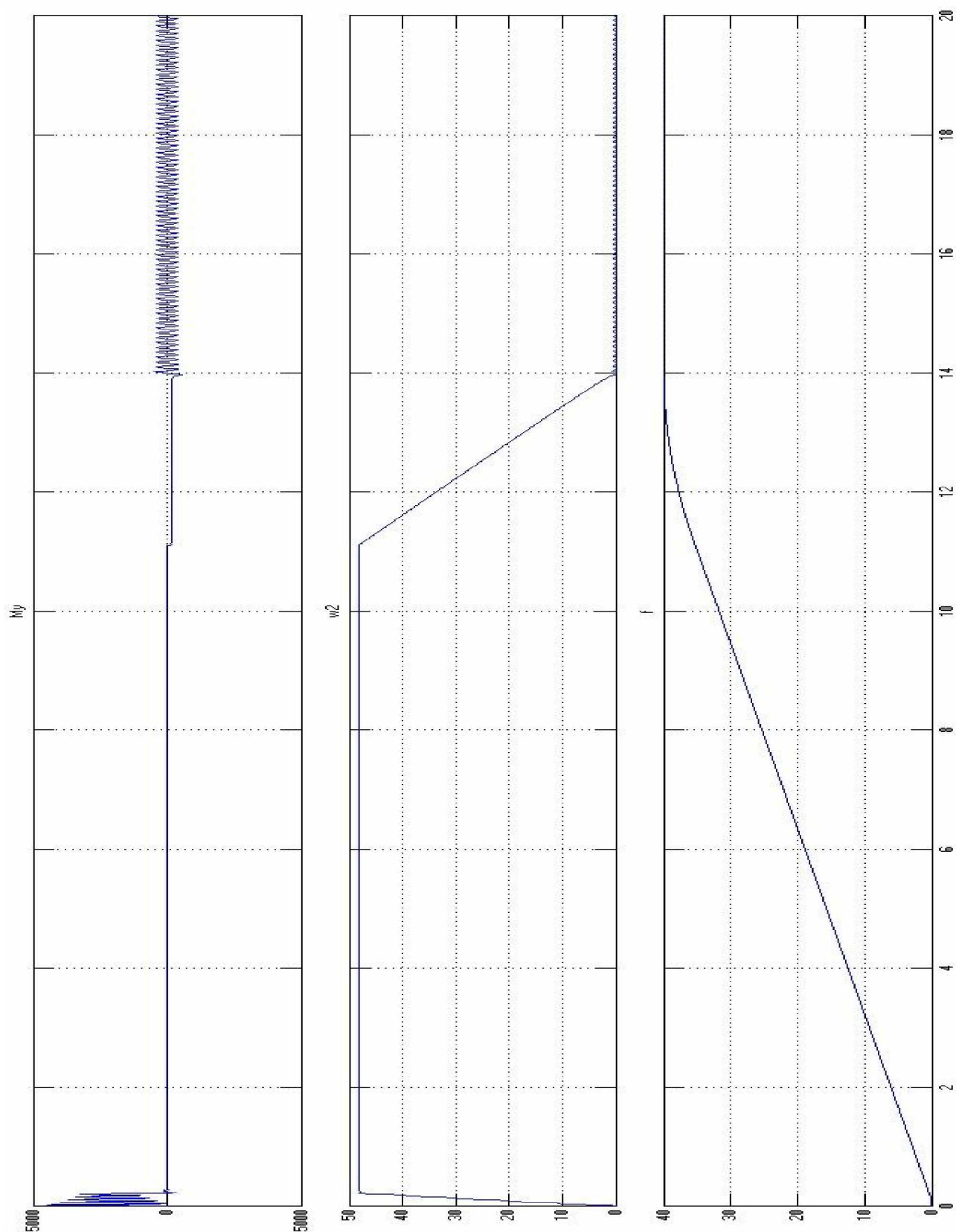


Рис.3.5. Графіки пружного моменту, швидкості механізму й кута повороту електропривода стругально-фрезерного верстата з параболічним регулятором положення.

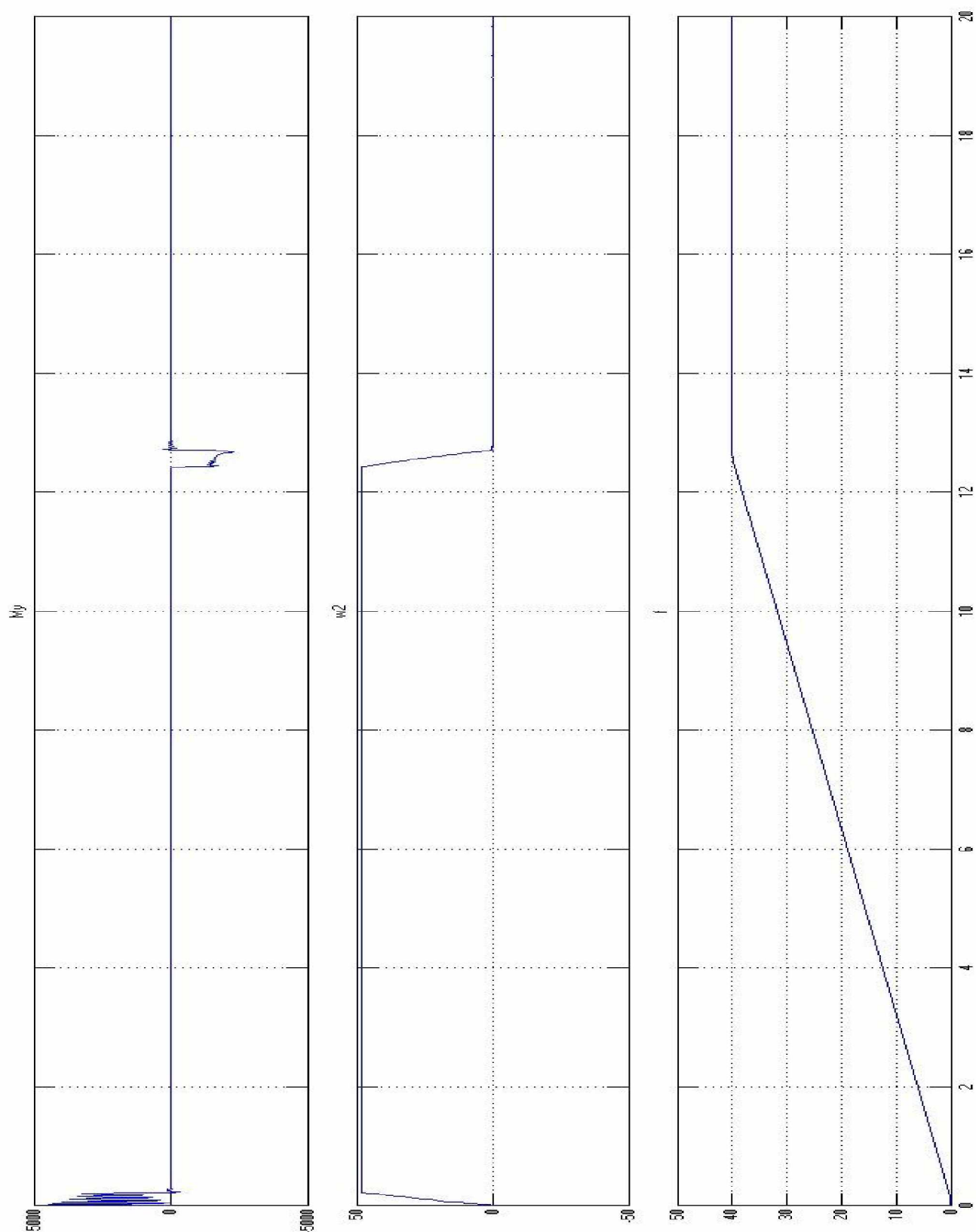


Рис.3.6. Графіки пружного моменту, швидкості механізму й кута повороту електропривода стругально-фрезерного верстата з комбінацією пропорційного й параболічного регуляторів положення.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02

Арк.

39

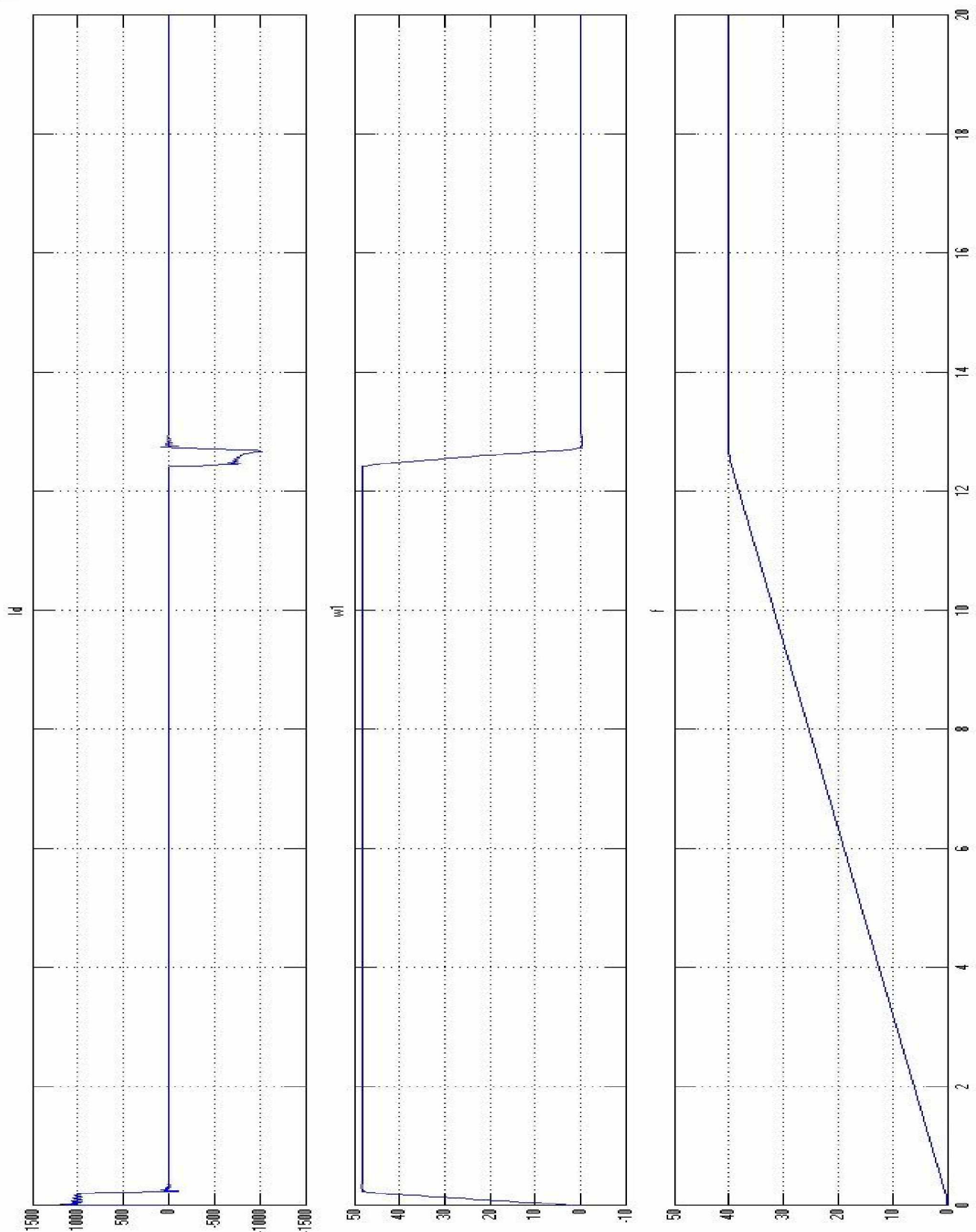


Рис.3.7. Графіки струму, швидкості двигуна й кута повороту електропривода стругально-фрезерного верстата з комбінацією пропорційного й параболічного регуляторів положення.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02

Арк.

40

Висновки

Для досягнення поставленої у роботі мети необхідно було виконати такі завдання:

Провести аналіз кінематичної схеми та режимів роботи головного руху стругально-фрезерного верстата 7Б110, виявивши недоліки існуючої системи приводу.

Розрахувати необхідні потужності та моменти різання для забезпечення всього спектра стругальних та фрезерних операцій, передбачених паспортом верстата.

Здійснити вибір оптимального асинхронного електродвигуна та відповідного частотного перетворювача (інвертора) із підтримкою векторного керування для забезпечення жорсткості механічних характеристик на низьких швидкостях.

Розробити принципову електричну схему підключення нового електроприводу, інтегрувавши її в існуючу систему керування верстатом (або розробити нову релейно-контакторну чи мікропроцесорну схему керування).

Виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації, оцінивши очікуваний термін окупності за рахунок економії електроенергії та зниження витрат на технічне обслуговування.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Altintas, Y. (2012). Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. Cambridge University Press.
2. Bose, B. K. (2006). Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends. Academic Press.
3. Hughes, A., & Drury, B. (2013). Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications (4th ed.). Newnes.
4. Leonhard, W. (2001). Control of Electrical Drives (3rd ed.). Springer.
5. Krishnan, R. (2001). Electric Motor Drives: Modeling, Analysis, and Control. Prentice Hall.
6. Boldea, I., & Nasar, S. A. (2002). The Induction Machine Handbook. CRC Press.
7. Krause, P. C., Wasynczuk, O., Sudhoff, S. D., & Pekarek, S. (2013). Analysis of Electric Machinery and Drive Systems (3rd ed.). IEEE Press/Wiley.
8. Abele, E., Sielaff, T., Schiffler, A., & Rothenbücher, S. (2011). Analyzing energy consumption of machine tool spindle units and identification of potential for improvements of efficiency. Globalized Solutions for Sustainability in Manufacturing, 280-285. Springer.
9. Trzynadlowski, A. M. (2000). Control of Induction Motors. Academic Press.
10. Abrahamsen, F., Blaabjerg, F., Pedersen, J. K., Grabowski, P. Z., & Thogersen, P. (2001). On the energy optimized control of standard and high-efficiency induction motors in CT and HVAC applications. IEEE Transactions on Industry Applications, 37(6), 1780-1788.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Neugebauer, R., Schmitt, W., & Dix, M. (2011). Energy efficiency in machining. *Journal of Cleaner Production*, 19(8), 856-861.
12. Zhao, J., Li, L., Peng, C., & Zhang, Y. (2014). An overview of energy-efficient drive technology for machine tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(5-8), 1149-1158.
13. Novotny, D. W., & Lipo, T. A. (2000). *Vector Control and Dynamics of AC Drives*. Oxford University Press.
14. Lopez de Heredia, A., Rico, J. C., Mandayo, G., & Lizarralde, R. (2011). Energy efficiency of machine tools. *Procedia Engineering*, 19, 290-295.
15. Barnes, M. (2003). *Practical Variable Speed Drives and Power Electronics*. Newnes.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Асинхронний електродвигун типу АО2-82-4У3

№ з/п	Найменування параметра	Значення параметра
1.	Номинальна потужність, кВт	55
2.	Номинальна напруга, В	380/220
3.	Номинальне ковзання, %	2,7
4.	Синхронна частота обертання, об/хв	1500
5.	К.к.д., %	92,5
6.	Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	0,92
7.	Кратність максимального моменту	2.0
8.	Кратність пускового моменту	1,1
9.	Кратність пускового струму	7
10.	Момент інерції, кг*м ²	2.7

Перетворювач частоти Altivar 61

№ з/п	Найменування параметра	Значення параметра
1.	Напруга живлення, В	380
2.	Потужність двигуна, кВт	55
3.	Струм живлення, А	120
4.	Повна потужність, кВт*А	79
5.	Діапазон вихідної частоти, Гц	0,5 – 500
6.	Частота конфігурації, кГц	12
7.	Діапазон зміни швидкості	1-100