

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**



**РОБОЧА ПРОГРАМА,**  
методичні вказівки та індивідуальні завдання  
до вивчення дисципліни «Спеціальні питання систем керування  
електроприводами»  
для студентів спеціальності 141 – електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка  
(магістерський рівень)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

РОБОЧА ПРОГРАМА,  
методичні вказівки та індивідуальні завдання  
до вивчення дисципліни «Спеціальні питання систем керування  
електроприводами»  
для студентів спеціальності 141 – електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка  
(магістерський рівень)

Друкується за Планом видань навчальної та методичної літератури,  
затвердженим Вченою радою НМетАУ  
Протокол №1 від 27.01.2019

Дніпро НМетАУ 2019

УДК 621.3

Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Спеціальні питання систем керування електроприводами» для студентів спеціальності 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (магістерський рівень)/ Укл.: В. В. Стьопкін,– Дніпро, НМетАУ, 2019.– 24с.

Наведені робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Спеціальні питання систем керування електроприводами», література, пояснення до виконання контрольної роботи.

Призначена для студентів спеціальності 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (магістерський рівень) заочної форми навчання.

Іл.36. Бібліогр.: 13 найм.

Друкується за авторською редакцією

Укладач В. В. Стьопкін, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск А.В. Ніколенко, канд. техн. наук, доц.

Рецензент

Відповідальний за комп'ютерний набір В.В. Стьопкін, канд. техн. наук, доц.

Підписано до друку 18.10.2017Формат 60х84 1/16. Папір друк.

Друк плоский. Облік.-вид. арк. 2.70 Умов. друк. арк. 2.66

Тираж 100 пр. Замовлення № 154

Національна металургійна академія України

49600, м. Дніпро-5, пр. Гагаріна, 4

---

Редакційно-видавничий відділ НМетАУ

**1. Робоча програма навчальної дисципліни**  
**«Спеціальні питання систем керування електроприводами»**

**1.1. Розподіл навчальних годин (заочна форма навчання)**

	Усього	По семестрах	
		І	ІІ
<b>Усього годин за навчальним планом</b>	90	90	
у тому числі:			
<b>аудиторні заняття</b>	12	12	
з них:			
лекції	8	8	
лабораторні заняття	4	4	
практичні заняття			
семінари			
<b>самостійна робота</b>	78	78	
у тому числі при:			
підготовці до аудиторних занять			
підготовці до контрольних заходів			
виконанні курсових проектів			
виконанні індивідуальних завдань	КР	КР	
опрацюванні розділів програми, які не викладаються на лекціях			
<b>Підсумковий контроль</b>		Діф	

## 1.2. Характеристика дисципліни

Навчальна дисципліна «Спеціальні питання систем керування електроприводами» входить до циклу дисциплін вільного вибору студента.

Мета вивчення дисципліни – засвоєння знань та придбання навичок, необхідних для розрахунку параметрів регуляторів, корегуючих та зворотних зв'язків однозонного електроприводу постійного струму з пружним зв'язком, зі спостерігачем повного порядку та з адаптивною системою при підпорядкованому регулюванні параметрів, та моделювання такої електромеханічної системи за допомогою математичного пакету Matlab.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен знати:

- принципи керування швидкістю однозонного електроприводу постійного струму з урахуванням пружного зв'язку в механічній передачі;
  - принципи керування швидкістю однозонного електроприводу постійного струму з пружними зв'язками та спостерігачем стану повного порядку;
  - принципи керування швидкістю однозонного електроприводу постійного струму з адаптивною системою автоматичного керування;
- вміти:
- складати диференційні рівняння двохмасових пружних систем;
  - складати структурні схеми двохмасових пружних систем;
  - будувати структурні схеми систем підпорядкованого регулювання параметрів з урахуванням пружності в механічній передачі;
  - виконувати складні математичні перетворення з використанням апарату передатних функцій;
  - аналізувати вплив пружного зв'язку на контур струму та швидкості в однозонному двоконтурному електроприводі постійного струму;
  - налагоджувати контур швидкості однозонного електроприводу з системою підпорядкованого регулювання параметрів із урахуванням пружного зв'язку;
  - синтезувати та аналізувати способи корегування системи підпорядкованого регулювання з урахуванням пружності в механічній передачі;
  - проектувати систему автоматичного керування за методом змінних стану;

- складати матриці стану;
- будувати спостерігач повного порядку;
- будувати систему підпорядкованого керування швидкістю зі спостерігачем стану;
- оптимізувати систему підпорядкованого керування швидкістю зі спостерігачем стану з урахуванням пружних зв'язків;
- вести розрахунок параметрів електромеханічної системи однозонного електроприводу постійного струму з пружним зв'язком і спостерігачем стану повного порядку;
- проектувати адаптивні спостерігаючі пристрої ідентифікації параметрів електромеханічної системи;
- складати структурні схеми адаптивних спостерігаючих пристроїв;
- будувати та розраховувати параметри електромеханічної системи з адаптивним спостерігаючим пристроєм ідентифікації моменту інерції електропривода постійного струму;
- будувати та розраховувати параметри однозонного електроприводу з адаптивним спостерігаючим пристроєм ідентифікації опору якорного кола двигуна.

Критерії успішності – отримання позитивної оцінки при захисті індивідуальних завдань та складанні екзамену.

Засоби діагностики успішності навчання – індивідуальні завдання та комплект екзаменаційних білетів.

Зв'язок з іншими дисциплінами – дисципліна є логічним продовженням дисципліни «Системи керування електротехнічними комплексами». Вона пов'язана з матеріалом дисциплін: «Теорія автоматичного керування», «Теорія електроприводу» та «Моделювання електромеханічних систем».

Набуті знання і вміння використовуються при дипломному проектуванні.

### **1.3. Зміст дисципліни за темами, теоретичний курс**

**Тема 1. Керування електроприводом з пружністю.** Керування швидкістю однозонного електропривода постійного струму з урахуванням пружного зв'язку в механічній передачі

**Тема 2. Керування електроприводом з пружністю та спостерігачем.** Керування швидкістю в однозонному електроприводі постійного струму з пружним зв'язком та спостерігачем стану повного порядку

**Тема 3. Однозонний електропривод постійного струму з адаптивною системою автоматичного керування.** Математичний опис багатомасових ЕМС. Підвищення якості динамічних режимів багатомасових ЕМС. Аналіз гальмівних режимів кранових ЕМС. Демпфування коливань вантажу.

## **2. Зміст та методичні вказівки за темами дисциплін**

### **2.1. Тема 1. Керування електроприводом з пружністю**

#### **2.1.1. Зміст та методичні вказівки до теми 1**

До теми 1 входять наступні розділи, що виведені на самостійне вивчення.

**Керування швидкістю однозонного електропривода постійного струму з урахуванням пружного зв'язку в механічній передачі.** Загальні положення. Оцінка впливу пружності на роботу системи регулювання швидкістю однозонного електропривода при стандартному налагодженні контурів регулювання. Оцінка впливу пружності на роботу контуру струму. Оцінка впливу пружності на роботу контуру швидкості. Налагодження системи керування швидкістю однозонного електропривода з пружністю без застосування додаткових паралельних корегуючих зв'язків та паралельне корегування. Зворотний зв'язок за похідними швидкостей та струму якоря

При підготовці до заходів поточного контролю рекомендовано використовувати таку літературу [1-2; 13-15].

### **2.1.2. Контрольні запитання для самоперевірки**

1. Які системи можна визначити як "жорсткі", а які "пружні"?
2. Навіщо демпфірувати коливання в електромеханічній системі з пружністю в механічній передачі?
3. Типові припущення, що приймають при складанні диференціальних рівнянь двомасових механічних систем?
4. Які типові нелінійності використовуються при математичному опису двомасової системи?
5. Як приводити параметри двомасової системи до валу двигуна?
6. Як визначається еквівалентна жорсткість системи "вал-редуктор"?
7. При яких співвідношеннях параметрів електромеханічної системи можна нехтувати впливом пружності на контур струму?
8. Умови нехтування пружністю на контур швидкості?
9. За яких умов можна використовувати налагодження регулятора швидкості без використання корегуючих зв'язків?
10. Для чого використовують критерій Вишнеградського?
11. Які гнучкі зворотні зв'язки використовуються при корегуванні електромеханічної системи з пружним механічним зв'язком?
12. Як відбивається на динаміці електромеханічної системи з пружністю в механічній передачі дія задатчика інтенсивності на вході контуру швидкості.

## **2.2. Тема 2. Керування електроприводом з пружністю та спостерігачем**

### **2.2.1. Зміст та методичні вказівки до теми 2**

До теми 2 входять наступні розділи, що виведені на самостійне вивчення.

**Керування швидкістю в однозонному електроприводі постійного струму з пружним зв'язком та спостерігачем стану повного порядку.** Метод змінних стану. Загальні відомості. Рівняння стану. Приклад складання рівняння стану. Керуваність спостережуваність і відновлюваність. Принцип побудови спостерігача повного порядку. Приклад складання спостерігача стану повного порядку. Використання спостерігача в системі керування швидкістю однозонного електропривода з пружним зв'язком.



При підготовці до заходів поточного контролю рекомендовано використовувати таку літературу [1-3; 12].

### **2.2.2. Контрольні запитання для самоперевірки**

1. Метод змінних стану?
2. Рівняння стану на прикладі однозонного електропривода з підпорядкованим регулюванням параметрів?
3. Поняття керованості, спостережуваності та відновлюваності?
4. Принцип побудови спостерігача повного порядку?
5. Форми розподілу коренів характеристичного рівняння (Баттерворта та Біноміальна)?
6. Структурна схема однозонного електропривода зі спостерігачем повного порядку?

## **2.3. Тема 3. Керування електроприводом з адаптивною системою**

### **2.3.1. Зміст та методичні вказівки до теми 3**

До теми 3 входять наступні розділи, що виведені на самостійне вивчення.

**Однозонний електропривод постійного струму з адаптивною системою автоматичного керування.** Загальні відомості. Визначення частотних та часових характеристик. Адаптивні спостерігаючі пристрої ідентифікації. Адаптивна система керування зі спостерігаючим пристроєм ідентифікації моменту інерції. Адаптивна система керування зі спостерігаючим пристроєм ідентифікації опору кола якоря

При підготовці до заходів поточного контролю рекомендовано використовувати таку літературу [1-3; 12].

### **2.3.2. Контрольні запитання для самоперевірки**

1. Які чинники призводять до суттєвого збільшення динамічних похибок в САК?
2. За рахунок чого можна зменшити похибки регулювання в САК?
3. На вирішення яких задач направлене адаптивне керування?
4. У яких випадках використовуються прийоми адаптації?
5. Які збурюючі фактори можуть впливати на динаміку електромеханічних систем?
6. В якому вигляді може бути отримана інформація про стан системи?

7. Яким чином можна отримати інформацію про стан системи?
8. Як можна виміряти відхилення фази досліджуваної системи від фази моделі на будь-якій частоті?
9. Який недолік є притаманним для способів визначення імпульсних перехідних функцій?
10. Призначення спостерігаючих пристроїв?
11. Які спостерігаючі пристрої можна називати «адаптивними»?
12. Наведіть приклади адаптивних САК.

### **3. Завдання та методичні вказівки до виконання контрольної роботи**

#### **3.1. Загальні вказівки**

Контрольну роботу, що включає визначене число індивідуальних завдань, необхідно виконати в окремому зошиті, на обкладинці якого вказати: найменування дисципліни, прізвище, ім'я, по батькові, номер залікової книжки, факультет та курс.

Розрахунки, формули та пояснювальний текст слід писати чітко і розбірливо, залишаючи на сторінці справа поле шириною близько 3 см; схеми та графіки необхідно виконувати на комп'ютері або кульковою ручкою, використовуючи креслярські інструменти (ксерокси графіків не приймаються). Умовні графічні позначення усіх елементів схем необхідно креслити згідно з вимогами ДСТУ.

**3.2. Індивідуальне завдання. «Розрахунок та моделювання однозонного електропривода з пружним зв'язком на базі двигуна постійного струму»**

В індивідуальному завданні розглядається однозонний електропривод з пружним зв'язком (рис.1) на базі двигуна постійного струму типу П101 з визначенням шляхів покращення динаміки електромеханічної системи, використовуючи набуті знання щодо корегування подібних систем.

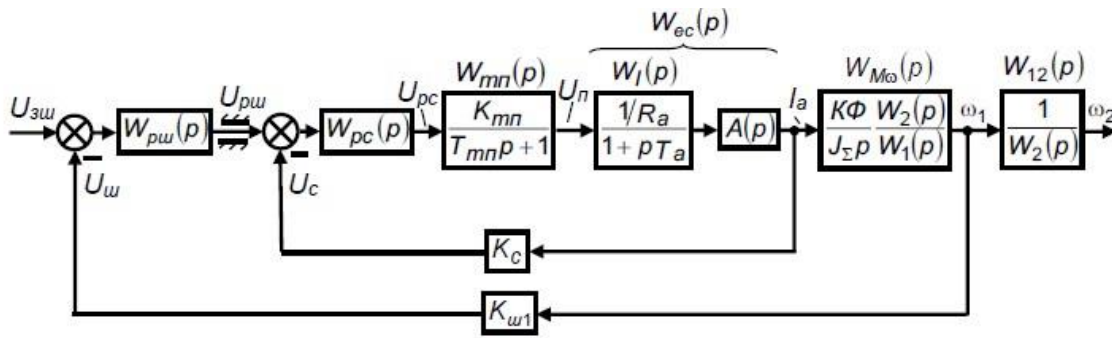


Рис.1 – Структурне представлення системи регулювання швидкістю однофазного електропривода з пружним механічним зв'язком

## 1. Визначення вихідних даних:

- 1.1 Параметри двигуна: П101;  $P_H=32$  кВт;  $n_H=600$  об/хв.;  $U_H=220$  В;  $I_H=172$  А;  $r_a=0,0749$  Ом;  $N=372$ ;  $2a=2$ ;  $2p=4$ ;  $J_{дв}=2,575$  кгм<sup>2</sup>.
- 1.2 Перевантажувальна здатність двигуна –  $\lambda = 2$ .
- 1.3 Співвідношення моментів інерції –  $\gamma = 1,5$ .
- 1.4 Частота незатухаючих коливань механічної системи –  $\Omega_0 = 30$  рад / с .
- 1.5 Бажане співвідношення моментів інерції –  $\gamma_0 = 5,8$ .
- 1.6 Реактивний момент навантаження –  $0,1 \cdot M_H$ .
- 1.7 Випадковий активний момент навантаження –  $0,3 \cdot M_H$ .
- 1.8 Регулятор струму – ПІ.
- 1.9 Регулятор швидкості – ПІ.
- 1.10 ЕРС – некомпенсована.

**2 Рекомендації щодо налагодження системи підпорядкованого керування швидкістю однофазного електропривода з пружною механічною передачею, враховуючи, що умови нехтування впливом пружності не виконуються (таблиця 1)**

Таблиця 1 – Умови нехтування пружністю на контури регулювання

Контур	№ з/п	Умови можливості нехтування впливом пружності на контур	Примітки	
Струму	1	$\gamma \approx 1$	-	
	2	$T_{\text{ем}} \geq \sqrt{\gamma} \cdot T_{\text{п}},$ може виконуватись $T_{\text{ем}} \geq 20 \cdot T_{\text{шл}}$	умова 1 не виконується	
	3	$T_{\text{ем}} \geq 20 \cdot T_{\text{шл}}$ та $T_{\text{п}} \geq 5 \cdot T_{\text{шл}}$	умова 1 і частково 2 не виконується	
Швидкості	1	$\gamma \approx 1$	-	Зворотним зв'язком за ЕРС можна знехтувати
	2	$T_{\text{шл}} \geq \sqrt{\gamma} \cdot T_{\text{п}}$	-	
	3	$4T_{\text{шл}} \leq T_{\text{п}}$ (обов'язкова наявність П-регулятора швидкості)	Прийняти $k_{\text{рш}}^{(\text{П})} = \frac{k_{\text{рш}}^{(\text{опт})}}{\gamma}$	

2.1 При  $\gamma = 3 \div 10$  необхідно введення додаткових зворотних зв'язків, налагодження регулятора швидкості за виразом (1). Проте, якщо умова (2) не виконується, слід знижувати швидкодію системи за рахунок зменшення коефіцієнту підсилення регулятора швидкості або струму. Перевагу слід віддати переналагодженню контуру швидкості – зниженню  $K_{\text{рш}}$ . Використання додаткового зворотного зв'язку за похідною струму якоря двигуна малоефективне.

$$K_{\text{рш}(2.1)} = \frac{K_{\text{с}} \cdot J_{\Sigma}}{\gamma^4 \cdot T_{\text{п}} \cdot K_{\text{шл}} \cdot K_{\Phi}}. \quad (1)$$

$$T_{\text{шл}} \leq \frac{T_{\text{п}}}{2 \cdot \sqrt[4]{\gamma}}. \quad (2)$$

2.2 Якщо  $\gamma > 10$ , найкращий ефект можна отримати при введенні додаткового зворотного зв'язку за похідною швидкості двигуна. При відносно великих значеннях «малих» сталих часу, таке корегування неефективне. За таких умов, слід використовувати регулятор швидкості з передатною функцією типу (3) або зменшувати швидкодію контуру струму:

- за рахунок зниження коефіцієнту підсилення регулятора струму;
- використовуючи додатковий зворотний зв'язок за похідною струму.

$$W_{\text{рш}}(p) = K_{\text{рш}(2.1)} \cdot \frac{\tau_{\text{рш1}} p + 1}{\tau_{\text{рш2}} p + 1}, \quad (3)$$

тут  $\tau_{\text{рш1}} = 0,5 \cdot \gamma^{\frac{3}{4}} \cdot T_{\text{п}}$ ,  $\tau_{\text{рш2}} = T_{\text{п}}$  – сталі часу регулятора швидкості ( $\tau_{\text{рш2}} > \tau_{\text{рш1}}$ ).

Пропорційну частину регулятора швидкості  $K_{\text{рш}(2.1)}$  відповідно до передатної функції (3) можна визначити за виразом (1).

2.3 При  $\gamma = 1 \div 3$  слід використовувати додатковий зворотний зв'язок за похідною швидкості ВВ. Якщо умова (4) не виконується, слід організувати корегування із використанням другої похідної швидкості ВВ. Найбільший ефект від використання останнього способу корегування має місце при  $\gamma < 1,5 \div 2$ . Якщо за технічних причин неможливо реалізувати другу похідну, слід вводити корегування за різницею швидкостей двигуна та виконавчого валу.

$$T_{\text{мв}} \leq (0,2 \div 0,3) \cdot T_{\text{п}}. \quad (4)$$

2.4 В усіх випадках є принципова можливість використання гостоналагоджених фільтрів із метою зменшення коефіцієнту підсилення контуру швидкості в зоні частот пружних коливань. Але необхідно враховувати, що такий спосіб корегування потребує точного налагодження фільтру.

2.5 Використання задатчика інтенсивності на вході контуру швидкості в режимах розгону або гальмуванні електроприводу сприятиме зменшенню максимального динамічного моменту, а також швидкості двигуна та виконавчого валу, але за рахунок збільшення періоду розгону або гальмування.

### 3. Розрахункові формули параметрів ЕМС

Номинальна кутова частота обертання двигуна:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}. \quad (5)$$

Конструктивний коефіцієнт КФ:

$$КФ = \frac{U_n - I_n \cdot R_a}{\omega_n}. \quad (6)$$

Індуктивність кола якоря:

$$L_{я} = k \cdot \frac{30 \cdot U_{ян}}{\pi \cdot p_n \cdot I_{ян} \cdot n_n}, \quad (7)$$

$k=0,5$  – коефіцієнт для компенсованих машин.

Електромагнітна стала часу:

$$T_a = \frac{L_a}{R_a}. \quad (8)$$

Згідно з вихідними даними співвідношення  $4 \cdot T_{тп} / T_a = 0,294 < 1$ , це означає, що для забезпечення підвищеної швидкодії можна контур струму налагоджувати за симетричним критерієм оптимізації. Проте для спрощення математичного опису контуру регулювання струму (використання на вході фільтру) будемо використовувати налагодження за технічним оптимумом.

Стала часу тиристорного перетворювача та коефіцієнт його передачі:

$$T_{тп} = 0,005 \text{ с}, K_{тп} = U_n / 10. \quad (9)$$

Момент інерції ВМ:

$$J_2 = J_1 \cdot (\gamma - 1). \quad (10)$$

Коефіцієнт жорсткості:

$$C_{12} = \Omega_0 \cdot \frac{J_1 \cdot J_2}{J_1 + J_2}. \quad (11)$$

Стала часу пружних коливань:

$$T_{п} = \sqrt{\frac{J_1 \cdot J_2}{C_{12} \cdot (J_1 + J_2)}}. \quad (12)$$

Мала стала контуру швидкості:  $T_{\mu\omega} = 4 \cdot T_{\delta\ddot{\omega}}$ .

Визначаємо ефективний паралельний корегуючий зв'язок. Для цього враховуючи рекомендації (п.2) слід віддавати перевагу введенню додаткового зворотного зв'язку за похідною швидкості ВВ. Перевіримо, чи виконується умова (4) для застосування цього способу корегування при заданих параметрах ЕМС. В силу того, що  $T_{\mu\omega} = 0,02$ , а  $T_{\pi} = 0,025$ , умова (4) не виконується. За таких умов, слід використовувати корегування за другою похідною ВВ.

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом:

$$K_c = \frac{10}{I_n \cdot \lambda}. \quad (13)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю двигуна:

$$K_{\omega 1} = \frac{10}{\omega_n}. \quad (14)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за різницею швидкостей двигуна та ВМ:

$$K_{\omega 2} = T_{\pi} \cdot \sqrt{K_{\omega 1} \cdot (\gamma_0 - \gamma)}. \quad (15)$$

Коефіцієнт підсилення пропорційної частини регулятора струму:

$$K_{pc}^{(\Pi)} = \frac{R_a \cdot T_a}{2 \cdot T_{\pi\pi} \cdot K_{\pi\pi} \cdot K_c}. \quad (16)$$

Коефіцієнт підсилення інтегральної частини регулятора струму:

$$K_{pc}^{(i)} = \frac{R_a}{2 \cdot T_{\pi\pi} \cdot K_{\pi\pi} \cdot K_c}. \quad (17)$$

Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості у відповідності до обраного регулятора швидкості:

$$K_{p\omega} = \frac{1}{\gamma_0^{\frac{3}{4}}} \cdot \frac{K_c \cdot (J_1 + J_2)}{K_{\omega 1} \cdot K_{\Phi} \cdot T_{\pi}}. \quad (18)$$

Обмеження регулятора швидкості приймаємо на рівні 10В.

Завдання на швидкість:

$$U_{\text{зш}} = \begin{cases} 9 \\ 5, \text{ якщо } t > t_1, \end{cases} \quad (19)$$

тут  $t_1$  – час початку гальмування (через 3,5 секунди після початку руху).

Прикладене навантаження:

$$M_c = \begin{cases} 0,1 \cdot I_n \cdot K\Phi \cdot \text{sign}(\omega_2); \\ 0,3 \cdot I_n \cdot K\Phi + 0,1 \cdot I_n \cdot K\Phi \cdot \text{sign}(\omega_2), \text{ якщо } t > t_2, \end{cases} \quad (20)$$

тут  $t_1$  – час накиду додаткового навантаження, що подається через 2 секунди після початку руху.

На рис.2 наведений приклад програми моделювання у пакеті Matlab однозонного електропривода постійного струму із пружністю в механічній передачі. Математичні розрахунки виконані у вигляді m-файлу. Програма моделювання розглянутої ЕМС виконана в пакеті бібліотек Simulink (рис.3).

Графіки перехідних процесів в однозонному електроприводі постійного струму у заданих режимах роботи при корегуванні за другою похідною ВВ представлені на рис.4, за умови стандартного налагодження контуру швидкості без корегування – на рис.5.

```

1  % Розрахунок однозонного електропривода з пружним зв'язком
2  % 1.Вихідні данні двигуна
3  % ТИП П101
4  nn=600; % номінальна частота обертань (об/хв)
5  Un=220; % номінальна напруга живлення
6  In=172; % номінальний струм
7  Ra=0.0749; % активний опір якорного кола
8  J1=2.575; % момент інерції
9  p=2; % кількість пар полюсів
10 Lambda=2; % перевантажувальна здатність
11 % 2.Розрахунок додаткових параметрів двигуна
12 wn=pi*nn/30; % номінальна кутова швидкість (рад/с)
13 KF=(Un-In*Ra)/wn;
14 Kk=0.5; % коефіцієнт для компенсованих машин
15 La=30*Kk*Un/(pi*p*In*nn); % індуктивність якорного кола
16 Ta=La/Ra; % електромагнітна стала часу
17 % 3.Механічна частина електропривода
18 Wo=30; %частота незатухаючих коливань
19 g=1.5; % співвідношення моментів інерції двигуна та ВМ
20 go=5.8; % бажане співвідношення моментів інерції
21 J2=g*J1-J1; %момент інерції ВМ
22 C12=Wo^2*J1*J2/(J1+J2); %коефіцієнт жорсткості
23 Ty=sqrt(J1*J2/(C12*(J1+J2))); % стала часу пружних коливань двомасової системи
24 % 4.Збурюючі впливи
25 Mst=0.9*In*KF; % активний момент навантаження
26 Mr=0.1*In*KF; % реактивний момент навантаження

```



Рис.2 – Розрахунки у вигляді m-файлу в пакеті Matlab

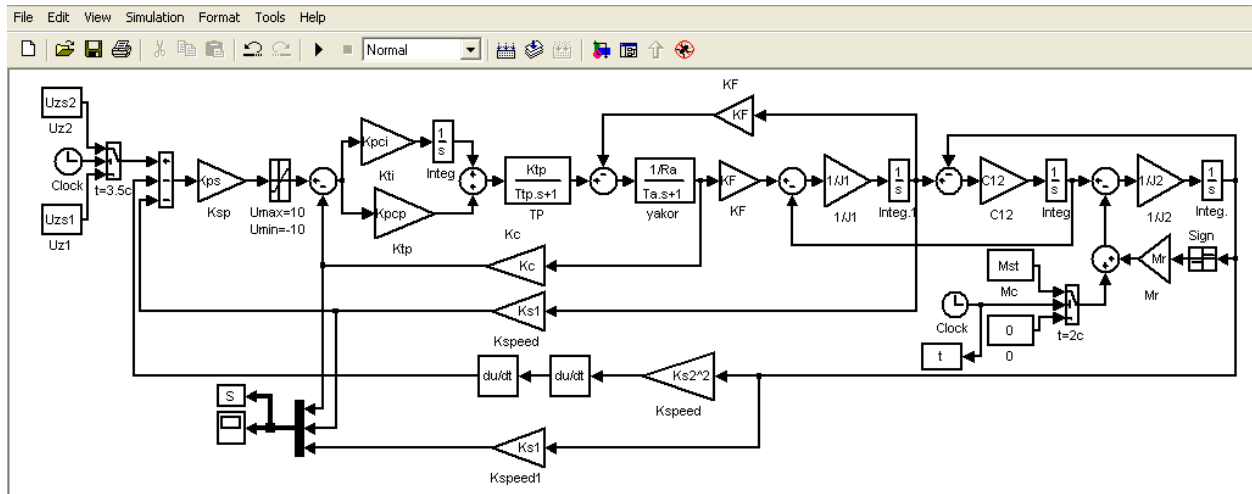


Рис.3 – Програма моделювання ЕМС в пакеті бібліотек Simulink

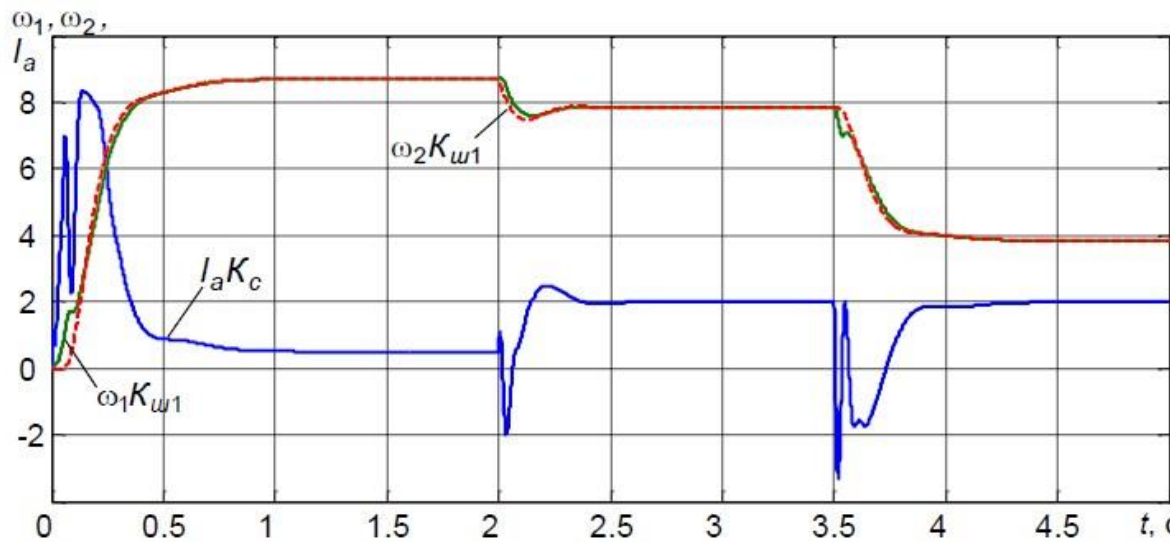


Рис.4 – Графіки перехідних процесів в однозонному електроприводі постійного струму з пружністю в механічній передачі при корегуванні

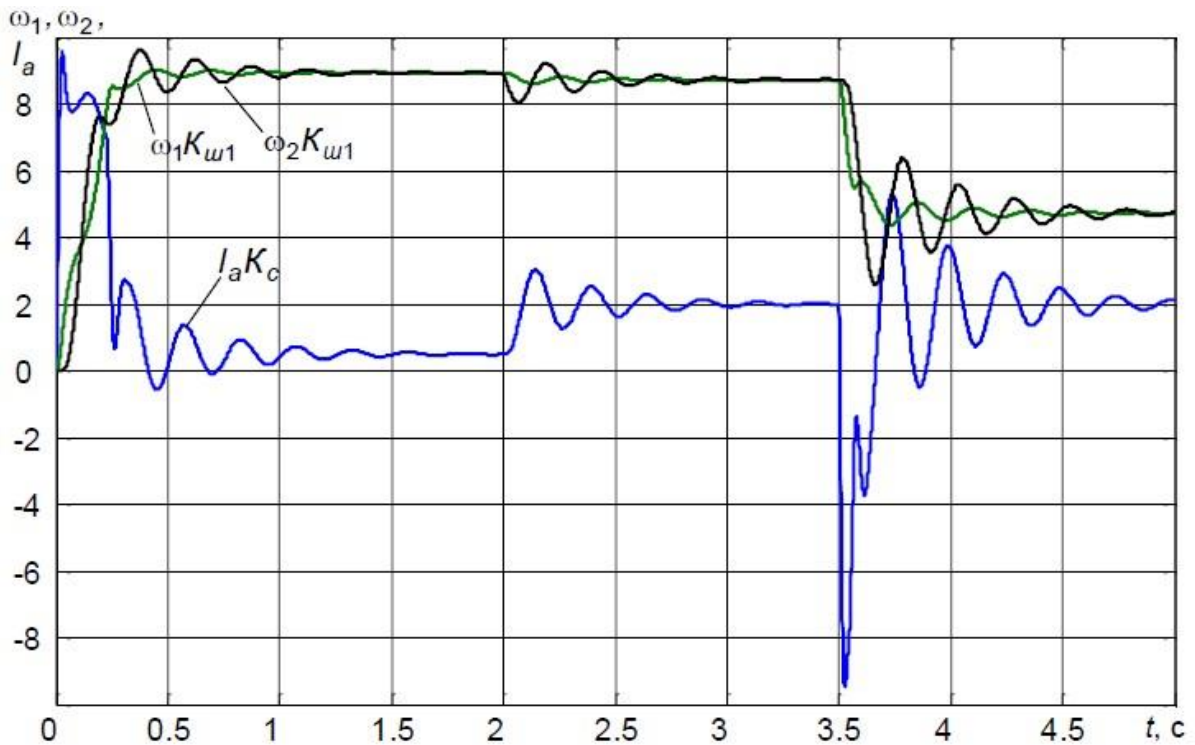


Рис.5 – Графіки перехідних процесів в однозонному електроприводі постійного струму з пружністю в механічній передачі при стандартному налагодженні П-регулятора швидкості

#### 4. Завдання на моделювання

4.1 Здійснити розрахунок параметрів електромеханічної системи за даними електродвигуна згідно з індивідуальним завданням (таблиця 2) при різних  $\gamma$  та САК (таблиці 3,4) із:

- стандартним налагодженням П-регулятора швидкості (стовпчик I у таблицях 3,4);
- корегуванням за похідною швидкості виконавчого валу при відповідному бажаному налагодженні П-регулятора швидкості (стовпчик II у таблицях 3,4);
- корегуванням за похідною швидкості виконавчого валу при відповідному бажаному налагодженні ПП-регулятора швидкості (стовпчик III у таблицях 3,4);
- корегуванням за другою похідною швидкості виконавчого валу при відповідному бажаному налагодженні П-регулятора швидкості (стовпчик IV у таблицях 3,4);

- корегуванням за різницею швидкостей виконавчого валу та двигуна при відповідному бажаному налагодженні П-регулятора швидкості (стовпчик V у таблицях 3,4);

- корегуванням за різницею швидкостей виконавчого валу та двигуна при відповідному бажаному налагодженні ПІ-регулятора швидкості (стовпчик VI у таблицях 3,4);

- корегуванням за похідною швидкості двигуна при відповідному бажаному налагодженні П-регулятора швидкості (стовпчик VII у таблицях 3,4);

- корегуванням за похідною струму при стандартному налагодженні П-регулятора швидкості (стовпчик VIII у таблицях 3,4).

4.2 За допомогою бібліотеки Simulink математичного пакету Matlab та m-файлу розрахунку параметрів системи, виконати моделювання однозонного електропривода з пружним зв'язком при різних  $\gamma$ , налагодженнях регулятора швидкості та наявності додаткових корегуючих зв'язків (таблиці 3,4).

4.3 Прийняти  $T_n = 0,2$  с та провести дослідження електромеханічної системи відповідно до п.1. Результати досліджень занести до таблиць 3,4.

4.4 Прийняти  $T_n = 0,05$  с та провести дослідження електромеханічної системи відповідно до п.1. Результати досліджень занести до таблиць 3,4.

4.5 Проаналізувати отримані результати та зробити висновок щодо ефективності використання того чи іншого додаткового корегуючого зв'язку при відповідних співвідношеннях мас.

Варіант завдання у таблиці 2 обирається за номером у журналі викладача.

## **5. Критерії оцінки**

Перші чотири завдання оцінюються по 2 бали, а останнє п'яте у 4 бали (усього 12 балів).

## **6. Зміст індивідуального завдання**

6.1 Вихідні дані.

6.2 m-файл та програма в пакеті бібліотек Simulink однозонного електропривода з пружним зв'язком та різними додатковими зворотними зв'язками.

6.3 Заповнені таблиці 3,4 за результатами виконаних досліджень при  $T_{\pi} = 0,2 \text{ с}$ .

6.4 Заповнені таблиці 3,4 за результатами виконаних досліджень при  $T_{\pi} = 0,05 \text{ с}$ .

6.5 Графіки перехідних процесів усіх координат електромеханічної системи  $[\omega_1(t), \omega_2(t), I_a(t)]$  при  $\gamma = 2$  та різних САК відповідно п.4.1 (8 кривих на одній координатній вісі).

6.6 Висновки щодо ефективності використання додаткових корегуючих зв'язків.

Таблиця 2 – Вихідні дані до індивідуального завдання

№*	Тип	$P_n$ , кВт	$n_n$ , об/хв	$U_n$ , В	$I_n$ , А	$R_a$ , Ом	$J_{дв}$ , кг·м <sup>2</sup>
1	П41	1	750	220	6,8	5,35	0,037
2	П41	1,5	1000	220	9,3	2,9	0,037
3	П41	3,2	1500	220	18,4	1,032	0,037
4	П41	6	3000	220	33	0,36	0,037
5	П42	1,5	750	220	9,75	2,92	0,045
6	П42	2,2	1000	220	13,3	1,75	0,045
7	П101	42	750	220	222	0,049	2,575
8	П101	55	1000	220	286	0,0292	2,575
9	П101	100	1500	220	508	0,0131	2,575
10	П102	42	600	220	223	0,05	3
11	П102	55	750	220	286	0,0311	3
12	П102	75	1000	220	385	0,0199	3
13	П102	125	1500	220	632	0,0079	3
14	П111	55	600	220	287	0,0362	5,1
15	П111	75	750	220	387	0,0236	5,1

\*Примітка

При розрахунках САК електропривода прийняти перевантажувальну здатність двигуна  $\lambda = 2$ .

Таблиця 3 – Результати досліджень за швидкістю

Режим роботи	$\gamma$	а	$\omega_{1\max}$ , рад / с							
		б	$\omega_{2\max}$ , рад / с							
		Per*	I*	II*	III*	IV*	V*	VI*	VII*	VIII*
Пуск електропривода до номінальної швидкості без навантаження	15	а								
		б								
	10	а								
		б								
	7	а								
		б								
	5,8	а								
		б								
	3	а								
		б								
	2	а								
		б								
	1,5	а								
		б								
	1,05	а								
		б								
Пуск електропривода до номінальної швидкості під номінальним реактивним навантаженням	15	а								
		б								
	10	а								
		б								
	7	а								
		б								
	5,8	а								
		б								
	3	а								
		б								
	2	а								
		б								
	1,5	а								
		б								
	1,05	а								
		б								

\*Примітка

Регулятор визначається відповідно завданню на моделювання (п.1).

Таблиця 4 – Результати досліджень за моментом

Режим роботи	$\gamma$	а	$M_{\text{дв.мах}}, \text{Н} \cdot \text{м}$							
		б	$t_p^*, \text{с}$							
		Per*	I*	II*	III*	IV*	V*	VI*	VII*	VIII*
Пуск електропривода до номінальної швидкості без навантаження	15	а								
		б								
	10	а								
		б								
	7	а								
		б								
	5,8	а								
		б								
	3	а								
		б								
	2	а								
		б								
	1,5	а								
		б								
	1,05	а								
		б								
Пуск електропривода до номінальної швидкості під номінальним реактивним навантаженням	15	а								
		б								
	10	а								
		б								
	7	а								
		б								
	5,8	а								
		б								
	3	а								
		б								
	2	а								
		б								
	1,5	а								
		б								
	1,05	а								
		б								

\*Примітки:

1. Регулятор визначається відповідно завданню на моделювання (п.1).
2.  $t_p$  – час розгону до номінальної швидкості (час першого досягнення заданої швидкості).

#### **4. Перелік лабораторних робіт**

4.1 Дослідження перехідних процесів у однозонному електроприводі постійного струму із пружністю

4.2 Дослідження перехідних процесів у однозонному електроприводі постійного струму зі спостерігачем

4.3 Дослідження перехідних процесів у однозонному електроприводі постійного струму із адаптивним спостерігаючим пристроєм ідентифікації моменту інерції

#### **Література**

1. Задорожний Н.А. Анализ и синтез электромеханических систем управления приводом с упругими механическими связями: уч. пособие/ Н.А. Задорожний, И.Н. Задорожня. – Краматорск: ДГМА, 2010. – 192с.

2. Задорожний Н.А. Оптимизация процессов преобразования энергии электромеханического воздействия в электроприводах с упругими связями / Н.А. Задорожний, И.Н. Задорожня // Тематич. вып. «Проблемы автоматизированного эл. привода. «Теория и практика» научно-технического журнала «Электроинформ». – Львов: Экоинформ, 2009. – С. 80-81.

3. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання: Навч. посібник / С.М. Довгань – Дніпропетровськ: НГА України, 2001. – 137с.

4. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Тиристорные системы электропривода с упругими связями. – Л.: Энергия, 1979. – 160с.

5. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392с.

6. Теорія електропривода: Підручник / М.Г. Попович, М.Г. Борисик, В.А. Гаврилюк та ін. – К.: Вищ. Шк., 1993. – 494с.

7. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. – М.: Машиностроение, 1976. – 184с.

8. Півняк Г.Г., Волков О.В. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією: Монографія. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2006. – 470с.

9. Колб, Ант. А. Теорія електроприводу [Текст]: навч. посібник / Ант. А. Колб, А.А. Колб. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Д.: Національний гірничий університет, 2011. – 565с.

10. А.Г. Степанов. Динамика машин – Екатеринбург: УрОРАН, 1999. – 304с.

11. Задорожний Н.А. Элементы теории электромеханического взаимодействия в двухмассовых системах электропривода с упругими механическими связями: Учебное пособие по дисциплине: «Теория электропривода» для студентов специальности «Электромеханические системы автоматизации и электропривод» дневной формы обучения. Часть 1. – Краматорск: ДГМА, 2006. – 58с.

12. Акимов А.В. О параметрическом и структурном астатизме электропривода с двухмассовой механической частью и нелинейной нагрузкой / А.В. Акимов, Д.Г. Литвиненко // Электротехнические и компьютерные системы. – Харьков, 2012. – С. 7-12.

13. Зворыкин В.Б. Коррекция САР скорости при наличии упругой связи двигателя с механизмом и малых коэффициентах соотношения инерционных масс / В.Б. Зворыкин, Г.Ю. Станциц // Адаптивные системы автоматического управления. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Вып. 1 (22), 2013. – С.73-78.

14. Зворыкин В.Б., Станциц Г.Ю. Управление скоростью двигателя при наличии упругой связи с механизмом // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 6(83). – Днепропетровск, 2012. – С.1-6.

15. Зворыкин В.Б. Коррекция САР скорости при наличии упругой связи двигателя с механизмом и больших коэффициентах соотношения инерционных масс / В.Б. Зворыкин, Г.Ю. Станциц // Адаптивные системы автоматического управления. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Вып. 22 (42), 2013. – С.18-24.