

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



**РОБОЧА ПРОГРАМА,**  
методичні вказівки та індивідуальні завдання  
до вивчення дисципліни «Технічні та програмні засоби електротехнічних  
систем»  
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 «Технічні та програмні засоби електротехнічних  
систем»  
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 «Технічні та програмні засоби електротехнічних систем» для студентів спеціальності 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (магістерський рівень)/ Укл.: В. В. Стьопкін,– Дніпро, НМетАУ, 2019.– 46с.

Наведені робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Технічні та програмні засоби електротехнічних систем», література, пояснення до виконання контрольної роботи.

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

Іл.36. Бібліогр.: 32 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**  
**«Технічні та програмні засоби електротехнічних систем»**

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

	Усього	По семестрах	
		І	ІІ
<b>Усього годин за навчальним планом</b>	180	180	
у тому числі: <b>аудиторні заняття</b>	24	24	
з них: лекції	12	12	
лабораторні заняття			
практичні заняття	12	12	
семінари			
<b>самостійна робота</b>	156	156	
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>		Іспит	

## 1.2. Характеристика дисципліни

Навчальна дисципліна «Технічні та програмні засоби електротехнічних систем» входить до циклу дисциплін професійної практичної підготовки.

Мета вивчення дисципліни – засвоєння знань та придбання навичок, необхідних для обґрунтованого проведення модернізації електротехнічного обладнання, програмування та налагодження технічних засобів автоматизації, складання математичних моделей, їх ідентифікації та аналізу результатів експериментів.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен знати:

- існуючі типи низьковольтних та високовольтних електричних перетворювачів;
- структуру програмованих логічних контролерів;
- математичне представлення моделей лінійних детермінованих динамічних об'єктів з зосередженими параметрами і безперервними та дискретними процесами в них;
- математичне представлення моделей нелінійних детермінованих динамічних об'єктів з зосередженими параметрами і безперервними та дискретними процесами в них;
- особливості моделювання стохастичних динамічних об'єктів;
- особливості моделювання об'єктів з нечітко визначеними параметрами;
- методи ідентифікації математичних моделей;
- основи теорії організації експерименту;
- методи аналізу результатів досліджень із використанням математичних моделей.

вміти:

- здійснювати обґрунтований вибір електрообладнання з метою проведення модернізації застарілого обладнання;
- складати блок-схеми програм для логічних програмованих контролерів;
- засобами ЕОМ складати математичні моделі лінійних та нелінійних детермінованих динамічних об'єктів з зосередженими параметрами і безперервними та дискретними процесами в них;
- засобами ЕОМ складати математичні моделі об'єктів з нечітко визначеними параметрами;

- здійснювати процес ідентифікації синтезованих математичних моделей;
- здійснювати постановку експерименту та аналізувати його результати за допомогою математичних моделей;

- проводити патентний пошук за формальними ознаками.

Критерії успішності – отримання позитивної оцінки при написанні контрольної роботи та складанні іспиту.

Засоби діагностики – комплекти екзаменаційних завдань.

Зв'язок з іншими дисциплінами – дисципліна є завершальною при підготовці магістрів за напрямом 14 – Електрична інженерія та спеціальністю – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вона пов'язана з такими дисциплінами: «Теорія автоматичного керування», «Автоматизований електропривод», «Системи керування електротехнічними комплексами», «Моделювання електромеханічних систем» та «Спеціальні питання систем керування електроприводами».

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

**Тема 1. Технічні засоби електроприводів.** Керовані перетворювачі автоматизованих електроприводів. Виконавчі механізми та пристрої плавного пуску. Технічні засоби керування. Модернізація, розрахунки режимів роботи та вибір автоматизованих електроприводів.

**Тема 2. Програмні засоби автоматизації.** Програмне забезпечення електроприводів. Програмні засоби систем автоматизації. Інструментальне середовище розробки ПЛК LOGOSoftComfort (LSC) ф. Siemens. Інструментальне середовище розробки ПЛК EasySoft ф. MoellerElectric.

**Тема 3. Математичні моделі в об'єктах дослідження.** Математичні моделі лінійних динамічних об'єктів. Математичні моделі нелінійних динамічних об'єктів. Особливості моделювання динамічних об'єктів з розподіленими параметрами. Особливості моделювання об'єктів з нечітко визначеними параметрами.

**Тема 4. Ідентифікація математичних моделей .** Ідентифікація синтезованих математичних моделей. Ідентифікація математичних моделей нелінійних динамічних об'єктів. Фур'є інтегральний метод ідентифікації (ФІМІ) електромеханічних процесів (ЕМП).

**Тема 5. Експериментальне дослідження об'єктів.** Експеримент та обробка результатів. Дослідження пристроїв та систем. Організація експерименту. Аналіз процесів з використанням їх математичних моделей.

**Тема 6. Аналіз та реалізація наукових досліджень.** Алгоритми статистичного аналізу динамічних систем керування. Оформлення результатів наукового дослідження.

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

### **2.1. Тема 1. Технічні засоби електроприводів**

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

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

**Керовані перетворювачі автоматизованих електроприводів.** Керовані перетворювачі для низьковольтних систем керування електроприводами змінного струму та їх компоненти. Високовольтні електроприводи. Низьковольтні комплектні пристрої.

**Виконавчі механізми та пристрої плавного пуску.** Сервопривода. Електродвигуни та мотор-редуктори. Пристрої плавного пуску та гальмування асинхронних двигунів.

**Технічні засоби керування.** Комутаційна та захисна апаратура, дроселі та фільтри. Кабелі та провода. Керуючі та мережеві засоби електроприводів. Датчики у системах електроприводів.

**Модернізація, розрахунки режимів роботи та вибір автоматизованих електроприводів.** Режими роботи автоматизованих електроприводів. Вибір електроприводів безперервної дії без рекуперації та з рекуперацією енергії гальмування до мережі. Вибір електроприводів з врахуванням впливу умов експлуатації та оточуючого середовища.

При підготовці до заходів поточного контролю рекомендовано використовувати таку літературу [1].

## **2.2. Тема 2. Програмні засоби автоматизації**

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

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

**Програмне забезпечення електроприводів.** Бібліотека програм стандартних функцій керування. Програмне забезпечення параметрування, моніторингу та налагодження електроприводів.

**Програмні засоби систем автоматизації.** Програмні засоби промислових комп'ютерів, контролерів, терміналів та інтелектуальних модулів. Програмовані логічні контролери (ПЛК). Основні характеристики ПЛК. Стандарт МЕК 61131-3.

**Інструментальне середовище розробки ПЛК LOGOSoftComfort (LSC) ф. Siemens.** Апаратний комплекс LOGO. Вирішення прикладних задач автоматизації на основі ПЛК.

**Інструментальне середовище розробки ПЛК EasySoft ф. MoellerElectric.** Програмування логічних мікроконтролерів серії Easy засобами EasySoft.

При підготовці до заходів поточного контролю рекомендовано використовувати таку літературу [11-12].

## **2.3. Тема 3. Математичні моделі в об'єктах дослідження**

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

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

**Математичні моделі лінійних динамічних об'єктів.** Класифікація об'єктів дослідження. Особливості моделювання статичних об'єктів дослідження. Математичні моделі лінійних детермінованих динамічних об'єктів з зосередженими параметрами і безперервними та дискретними процесами в них. Математичні моделі лінійних стохастичних динамічних об'єктів з зосередженими параметрами і безперервними та дискретними процесами в них.



**Математичні моделі нелінійних динамічних об'єктів.** Математичні моделі нелінійних детермінованих динамічних об'єктів з зосередженими параметрами і безперервними та дискретними процесами в них. Особливості моделювання нелінійних стохастичних динамічних об'єктів з зосередженими параметрами і безперервними та дискретними процесами в них.

**Особливості моделювання динамічних об'єктів з розподіленими параметрами.** Загальна характеристика систем з розподіленими параметрами. Рівняння математичної фізики як моделі елементів систем з розподіленими параметрами. Аналіз математичних моделей систем з розподіленими параметрами. Математичні моделі систем з чистим запізненням.

**Особливості моделювання об'єктів з нечітко визначеними параметрами.** Функції належності змінних. Структурна схема моделі. Графіки функцій належності. Методика вибору експертів. Метод синтезу функції належності.

При підготовці до заходів поточного контролю рекомендовано використовувати таку літературу [3-4].

## **2.4. Тема 4. Ідентифікація математичних моделей**

### **2.4.1. Зміст та методичні вказівки до теми 4**

До теми 4 входять наступні розділи, що виведені на самостійне вивчення.

#### **Ідентифікація синтезованих математичних моделей.**

Ідентифікація математичних моделей статичних характеристик об'єктів дослідження. Ідентифікація математичних моделей детермінованих динамічних об'єктів з зосередженими параметрами і безперервними та дискретними процесами в них. Ідентифікація математичних моделей стохастичних динамічних об'єктів з зосередженими параметрами і безперервними та дискретними процесами в них.

**Ідентифікація математичних моделей нелінійних динамічних об'єктів.** Ідентифікація нелінійної статичної характеристики об'єкта. Ідентифікація лінійної інерційної частини нелінійної динамічної системи. Оцінка адекватності математичних моделей процесам в об'єктах дослідження.

**Фур'є інтегральний метод ідентифікації (ФІМІ) електромеханічних процесів (ЕМП).** Вихідні передумови ФІМІ. Задача ідентифікації системи.

Задача ідентифікації вхідного сигналу. Синтез алгоритмів параметричної ідентифікації сигналів на вході лінійної вимірювальної системи. Побудова алгоритму параметричної ідентифікації лінійної динамічної системи за допомогою ФІМІ.

При підготовці до заходів поточного контролю рекомендовано використовувати таку літературу [3-4].

## **2.5. Тема 5. Експериментальне дослідження об'єктів**

### **2.5.1. Зміст та методичні вказівки до теми 5**

До теми 5 входять наступні розділи, що виведені на самостійне вивчення.

**Експеримент та обробка результатів. Дослідження пристроїв та систем.** Експеримент як спосіб створення бази даних. Вимоги до засобів вимірювання параметрів об'єктів і процесів під час їх експериментального дослідження. Обробка результатів експериментальних досліджень. Основи теорії багатфакторного експерименту. Елементи математичної статистики. Статистичне оцінювання параметрів розподілення. Інтервальне оцінювання. Перевірка статистичних гіпотез. Основи регресивного аналізу.

**Організація експерименту.** Багатфакторних експеримент. Підготовчий етап. Формування мети експерименту і вибір відгуків. Вибір та кодування факторів. Повний факторний експеримент. Дробовий факторний експеримент.

**Аналіз процесів з використанням їх математичних моделей.** Обчислювальні можливості пакетів Mathcad і Matlab. Аналіз режимів в лінійних детермінованих об'єктах дослідження з безперервними та дискретними процесами. Імітаційне моделювання.

При підготовці до заходів поточного контролю рекомендовано використовувати таку літературу [5, 9].

## **2.6. Тема 6. Аналіз та реалізація наукових досліджень**

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

До теми 6 входять наступні розділи, що виведені на самостійне вивчення.

**Алгоритми статистичного аналізу динамічних систем керування.** Моделі динамічних систем керування та випадкових вхідних сигналів.

Алгоритм статистичного аналізу динамічних систем з дискретним часом.  
Алгоритми статистичного аналізу динамічних систем з безперервним часом.

**Оформлення результатів наукового дослідження.** Узагальнення результатів, отриманих в науковому дослідженні. Оформлення наукових результатів за виконаною темою у вигляді наукового звіту за встановленими державними стандартами. Оформлення отриманих наукових результатів у вигляді, придатному для публікації в наукових журналах та презентацій на наукових семінарах і наукових конференціях. Основні наукометричні бази, індекс цитування авторів наукових статей в них та імпакт-фактор журналів, що публікують наукові статті. Особливості представлення результатів, отриманих під час виконання науково-дослідної теми, при написанні кваліфікаційних дипломних робіт і дисертацій. Планування заходів по реалізації результатів наукового дослідження та вимоги до актів впровадження і заявок на їх продовження у розвиток. Винахідництво. Відмінності та спільні риси у наукового відкриття, винаходу, раціоналізаторської пропозиції та патентування корисних моделей. Особливості оформлення заявки на винахід.

При підготовці до заходів поточного контролю рекомендовано використовувати таку літературу [4-5, 9, 10].

### **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 №1

Тема: Складання електричної принципової схеми та розрахунок електропривода конвеєру з використанням електронного програмованого реле EASY

**Сутність індивідуального завдання.** Зерновий перевантажувач складається з трьох конвеєрних стрічок (рис.1). Необхідно забезпечити три режими його роботи: «Послідовний пуск», «Послідовна зупинка», «Швидка зупинка».

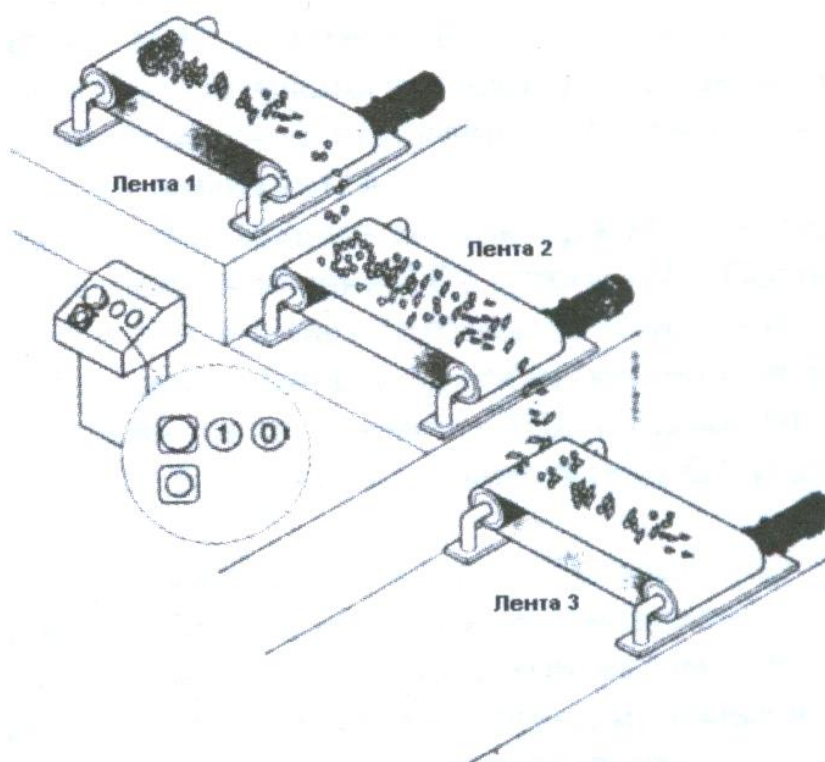


Рис.1. Схема механізму зернового перевантажувача

При послідовному пуску стрічки починають свій рух по чергово з інтервалом 5с (цей час запрограмований один раз і не може бути зміненим). Стрічка 3 починає рух першою. При послідовній зупинці стрічки зупиняються у зворотному порядку, починаючи з першої. Це забезпечує послідовний запуск стрічки без навантаження для передбачення режиму важкого пуску двигунів. Перед зупинкою першої та наступуючих стрічок забезпечується витримка часу

5с (необхідно передбачити можливість зміни цієї витримки). При швидкій зупинці усі стрічки зупиняються без затримки.

Необхідно передбачити перевірку стану автоматичних вимикачів, встановлених у колах обмоток статорів двигунів конвеєрних стрічок. Кола керування реле EASY зображені на рис.2.

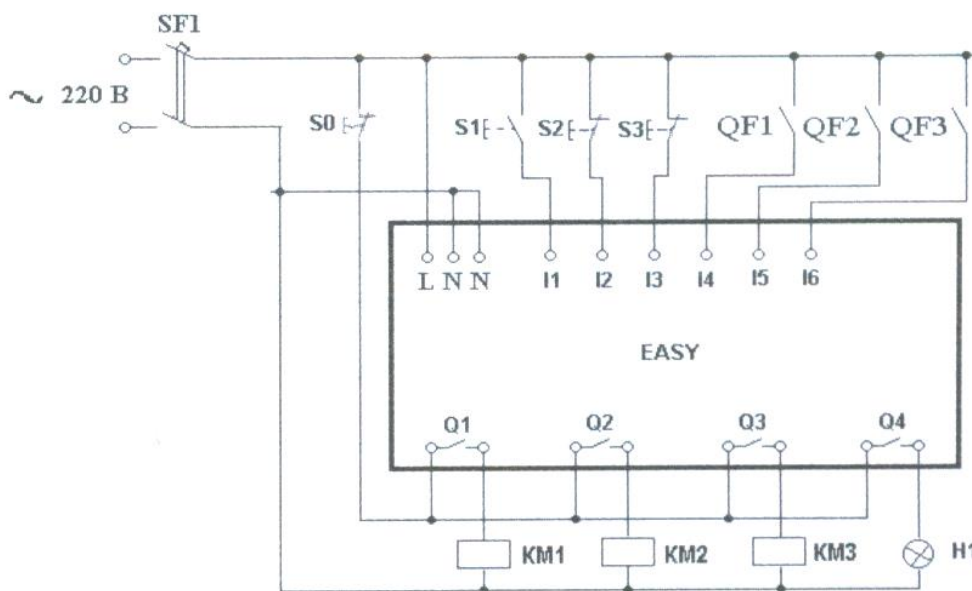


Рис.2. Кола керування реле EASY

**Складання схеми з'єднань (рис.3).** Запуск конвеєрних стрічок можливий тільки при ввімкнених автоматичних вимикачах QF1-QF3, що підтверджується замкненим станом контактів I04-I06 (строчка 1). При цьому буде ввімкнено маркер M01 і замкнені його контакти у строчках 2, 5, 7. При натисканні на кнопку послідовного пуску S1 замикається контакт I01 (строчка 2), при цьому встановлюються у одиничний стан вихідне реле Q03 і маркер M03, контакт Q3 замикається.

Це забезпечує спрацювання контактора KM3 і пуск двигуна третьої стрічки, а також запуск реле часу T01 (строчка 4). Після витримки часу цього реле замикається його контакт (строчка 5) і встановлюється в одиничний стан котушка вихідного реле Q2, забезпечуючи запуск двигуна другої стрічки. Запускається також реле часу T02 (строчка 6), замкнення контакту якого через витримку часу вмикає вихід Q1 і двигун першої стрічки.

При натисканні кнопки послідовної зупинки S2 замикаються контакти  $\overline{I02}$ , скидаючи маркер M03 (строчка 29) і встановлюючи у одиничний стан маркер M02 (строчка 8). Останній своїм контактом (строчка 9) запускає реле часу T03, яке, відлічивши витримку часу, замикає свій контакт (строчка 10) і відмикає вихід Q1 і двигун першої стрічки. Далі аналогічним чином працюють реле T04, T05, відмикаючи послідовно виходи Q2, Q3 і двигуни другої і третьої стрічок (строчки 13-14, 18-19).

Натискання кнопки швидкої зупинки S3 деактивує котушки маркерів M02 і M03 (строчки 26, 28, 29, 31) і забезпечує миттєве розмикання контактів виходів (строчки 10, 12, 14, 17, 19, 21), при цьому двигуни усіх стрічок відмикаються без витримки часу.

Спрацювання одного з автоматичних вимикачів призводить до замикання одного з контактів  $\overline{I4} - \overline{I6}$  (строчки 22-24) і запуску «мерехтливого» реле T06, яке керує виходом Q4 (строчка 25) і сигнальною лампою.

**Рекомендований порядок виконання індивідуального завдання.** У програмі EASY-SOFT у режимі «Схема з'єднань зібрати схему представлену на рис.3. Налаштувати реле T01-T05 на режим «Затримка вмикання» з витримкою 5с, а для реле T06 встановити режим «Мерехтливий» з періодом 1с.

Перейти у режим «Імітація». На панелі інструментів у вкладці «Принцип роботи I/R» встановити контакти I1-I6 у відповідності зі схемою, наведеною на рис.2. Активувавши кнопку «Показання» вибрати у відкритому меню вивід на індикацію виходів реле (Q). Відкрити вкладку «Входи I» і ввімкнути виконання режиму «Імітація». Активувавши зображення контактів I1-I6 у вкладці «Входи I», спостерігати у панелі властивостей вмикання і вимикання виходів Q1-Q4 і проаналізувати їх відповідність очікуваному режиму роботи конвеєрних стрічок.

Витримки часу та кількість стрічок конвеєру обираються у відповідності з заданим варіантом індивідуального завдання (таблиця 1).

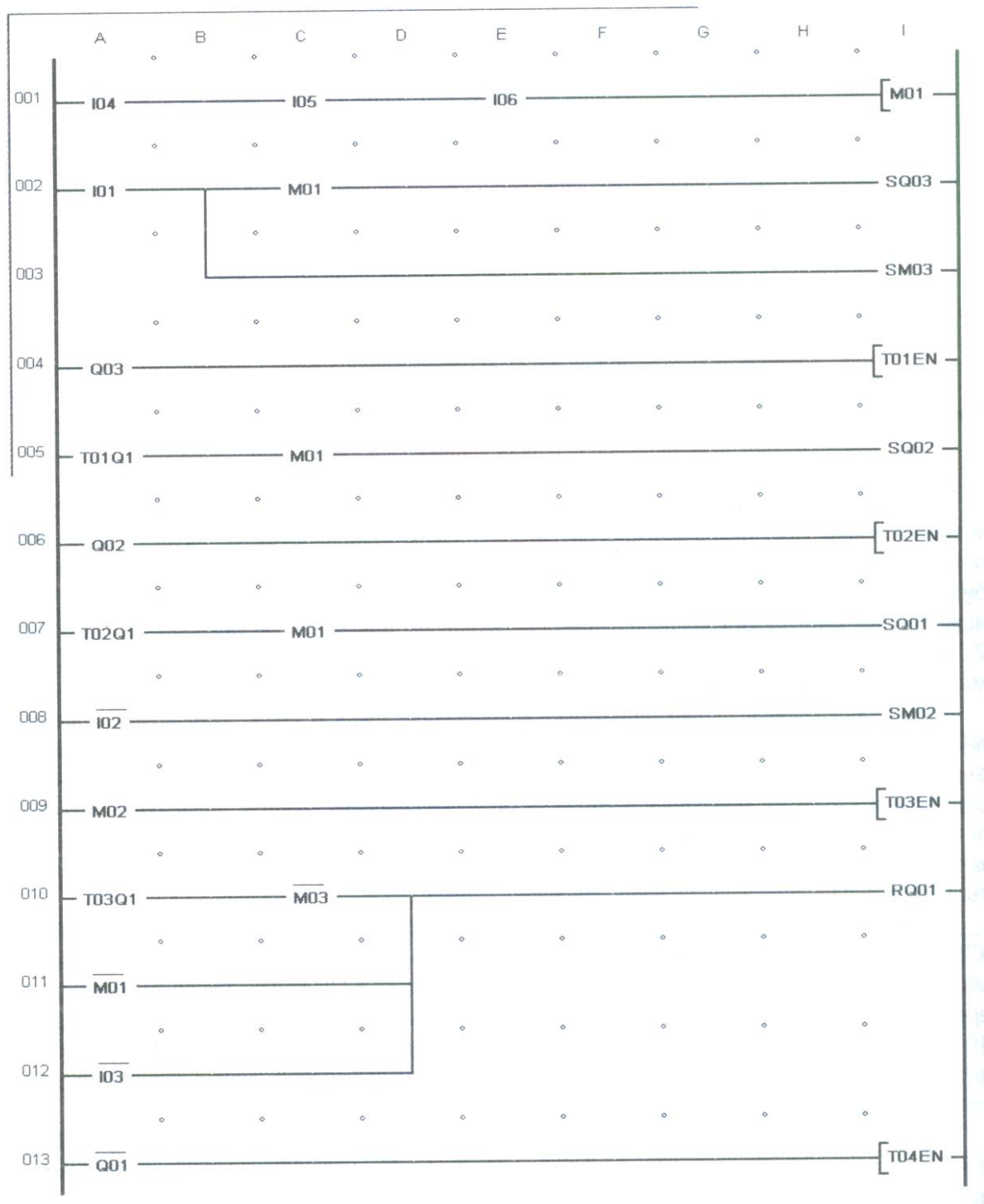


Рис.3. Схема з'єднань

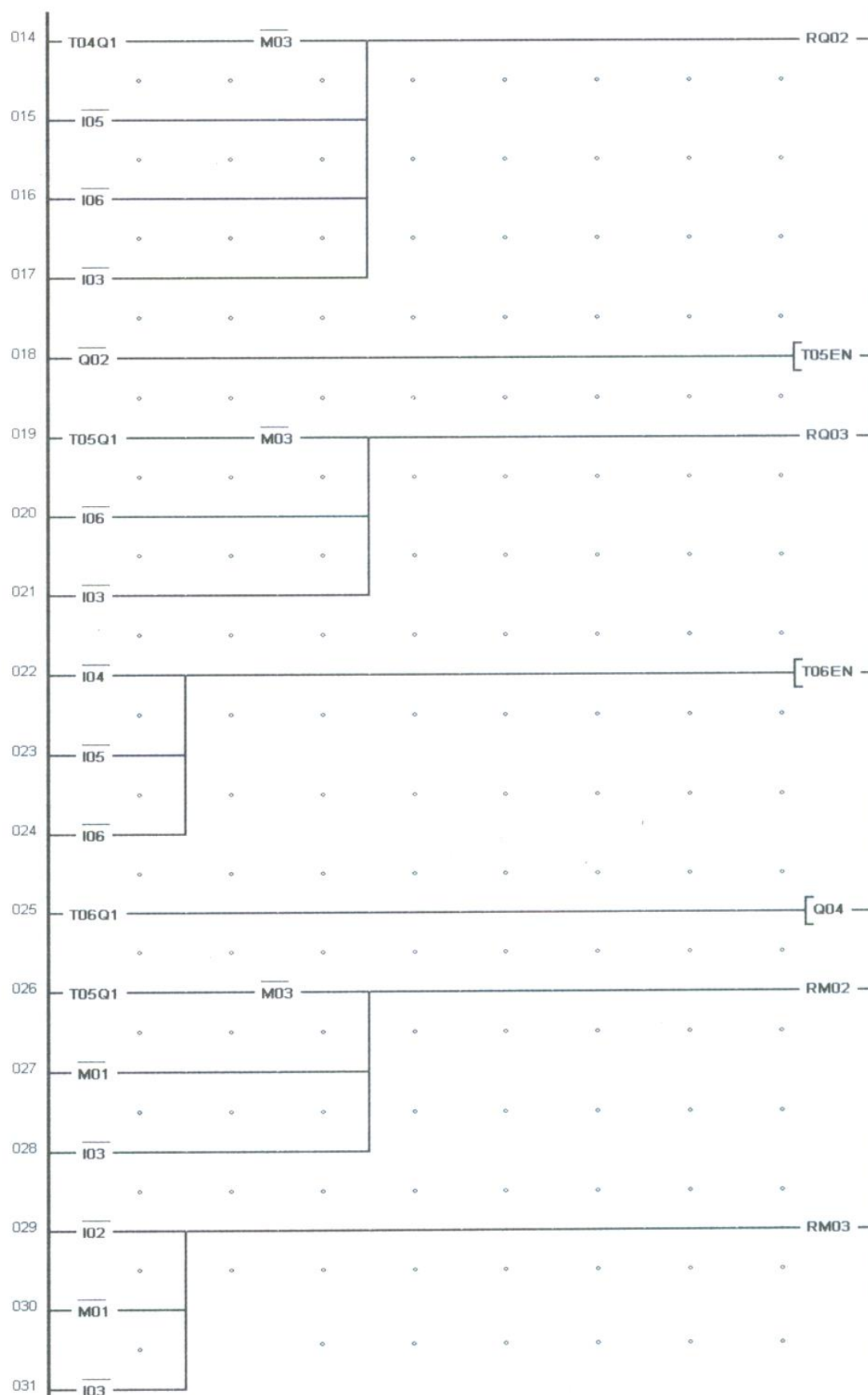


Рис.3. Схема з'єднань (продовження)



## Вихідні дані

№ вар.	Кількість стрічок конвеєру	Час спрацювання реле часу, с					
		T01	T02	T03	T04	T05	T06
1	3	5	5	5	5	5	1
2	2	5	-	5	5	-	1
3	3	5	5	10	10	10	2
4	2	3	-	3	3	-	1
5	3	3	3	3	3	3	1
6	2	7	-	7	7	-	2
7	3	7	7	7	7	7	2
8	2	3	-	3	3	-	1
9	3	5	5	7	7	7	2
10	2	5	-	3	3	-	1
11	3	5	5	3	3	3	1
12	2	7	-	5	5	-	2
13	2	10	-	10	10	-	3
14	3	7	7	5	5	5	2
15	3	10	10	10	10	10	3
16	3	5	5	3	3	3	1
17	2	7	-	5	5	-	2
18	3	10	10	10	10	10	3
19	2	10	-	7	7	-	2
20	2	7	-	3	3	-	1
21	3	10	10	7	7	7	2
22	3	7	7	3	3	3	1
23	2	7	-	5	5	-	2
24	2	10	-	5	5	-	1

25	3	10	10	3	3	3	1
26	2	10	10	7	7	7	2
27	2	5	-	3	3	-	1
28	3	5	5	5	5	5	2
29	2	10	-	10	10	-	1
30	2	7	-	10	10	-	2
31	2	5	-	7	7	-	1
32	3	3	3	5	5	5	1
33	3	7	7	5	5	5	2
34	3	10	10	7	7	7	1
35	2	7	-	7	7	-	2

**3.3. Індивідуальне завдання №2.** Дослідження перехідних процесів у однозонному електроприводі постійного струму із адаптивним спостерігаючим пристроєм ідентифікації опору кола якоря

**Частина 1. Дослідження перехідних процесів у однозонному електроприводі постійного струму із адаптивним спостерігаючим пристроєм ідентифікації моменту інерції**

#### **Загальна інформація**

В першій частині індивідуального завдання розглядається моделювання однозонного електропривода із адаптивною САК на базі двигуна постійного струму типу П101 та порівнюються отримані результати з аналогічною системою без адаптації до зміни моменту інерції.

#### **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;  $r_{\text{я}}=0,0749$  Ом;  $N=372$ ;  $2a=2$ ;  $2p=4$ ;  $J_{\text{дв}}=2,575$  кгм<sup>2</sup>.

1.2 Перевантажувальна здатність двигуна –  $\lambda = 2$ .

1.3 Регулятор струму – ПІ.

1.4 Регулятор швидкості – П.

1.5 ЕРС – некомпенсована.

1.6 Навантаження відсутнє.

Режим роботи – розгін до номінальної швидкості та зупинка (початок гальмування при  $t=1$  с).

\*Примітка. Вважаємо, що П-регулятор швидкості в САК без адаптації налагоджений за умови, що момент інерції електропривода дорівнює моменту інерції двигуна ( $J_1$ ). Насправді, момент інерції електропривода приймемо  $J_2 = 5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

## 2. Розрахункові формули параметрів ЕМС

Номінальна кутова частота обертання двигуна:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}. \quad (1)$$

Конструктивний коефіцієнт КФ:

$$КФ = \frac{U_n - I_n \cdot R_a}{\omega_n}. \quad (2)$$

Індуктивність кола якоря:

$$L_{я} = k \cdot \frac{30 \cdot U_{ян}}{\pi \cdot p_n \cdot I_{ян} \cdot n_n}, \quad (3)$$

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

Електромагнітна стала часу:

$$T_a = \frac{L_a}{R_a}. \quad (4)$$

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:

$$T_{\text{тп}} = 0,005 \text{ с}, K_{\text{тп}} = U_{\text{н}} / 10. \quad (5)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом:

$$K_c = \frac{10}{I_{\text{н}} \cdot \lambda}. \quad (6)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю двигуна:

$$K_{\text{ш}} = \frac{10}{\omega_{\text{н}}}. \quad (7)$$

Коефіцієнт підсилення пропорційної частини регулятора струму:

$$K_{\text{pc}}^{(\text{п})} = \frac{R_a \cdot T_a}{2 \cdot T_{\text{тп}} \cdot K_{\text{тп}} \cdot K_c}. \quad (8)$$

Коефіцієнт підсилення інтегральної частини регулятора струму:

$$K_{\text{pc}}^{(\text{i})} = \frac{R_a}{2 \cdot T_{\text{тп}} \cdot K_{\text{тп}} \cdot K_c}. \quad (9)$$

Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості:

$$K_{\text{рш}} = \frac{K_c \cdot J_l}{4 \cdot T_{\text{тп}} \cdot K_{\text{ш}} \cdot K_{\Phi}}. \quad (10)$$

Обмеженням регулятора швидкості приймаємо на рівні 10В.

Значення невідомих параметрів налагодження спостерігаючого пристрою:

$\lambda = 1000$  та  $\beta = 1$ .

Завдання на швидкість:

$$U_{\text{зш}} = \begin{cases} 10; \\ 0, \text{ якщо } t > t_1, \end{cases} \quad (11)$$

де  $t_1$  – час початку гальмування (через 1 с після початку руху).

На рис.1 наведений приклад розрахунку параметрів розглянутої електромеханічної системи у вигляді m-файлу в пакеті Matlab. Програма моделювання електромеханічної системи виконана в пакеті бібліотек Simulink (рис.2)

```

File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
% Розрахунок однозонного електропривода з адаптивною САК ідентифікації моменту інерції
% 1.Вихідні данні двигуна
% ТИП П101
nn=600; % номінальна частота обертань (об/хв)
Un=220; % номінальна напруга живлення
In=172; % номінальний струм
Ra=0.0749; % активний опір якорного кола
Jl=2.575; % момент інерції
p=2; % кількість пар полюсів
Lambda=2; % перевантажувальна здатність
% 2.Розрахунок додаткових параметрів двигуна
wn=pi*nn/30; % номінальна кутова швидкість (рад/с)
KF=(Un-In*Ra)/wn;
Kk=0.5; % коефіцієнт для компенсованих машин
La=30*Kk*Un/(pi*p*In*nn); % індуктивність якорного кола
Ta=La/Ra; % електромагнітна стала часу
% 3.Розрахунок САК
Ub=10; % базова одиниця (В)
Uzs=10; % завдання на швидкість
tl=1; % час початку гальмування
J2=5; % реальний момент інерції електропривода
% 3.1 Тиристорний перетворювач
Ttp=0.005; % "мала" (некомпенсована) стала часу ТП
Ktp=Un/Ub; % коефіцієнт передачі ТП
% 3.2 Розрахунок коефіцієнтів зворотних зв'язків САК
Kc=Ub/(In*Lambda); % Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом
Ks1=Ub/wn; % Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю двигуна
% 3.3 Розрахунок коефіцієнтів регуляторів САК
Kpcp=Ra*Ta/(2*Ttp*Ktp*Kc); % коефіцієнт підсилення пропорційної частини регулятора струму
Kpci=Ra/(2*Ttp*Ktp*Kc); % коефіцієнт підсилення інтегральної частини регулятора струму
Kps_1=Kc/(4*Ks1*Ttp); % коефіцієнт підсилення регулятора швидкості для адаптивної САК
Kps_2=Kc*Jl/(4*Ks1*KF*Ttp); % коефіцієнт підсилення регулятора швидкості при J1

```

Рис.1 – Розрахунки у вигляді m-файлу в пакеті Matlab

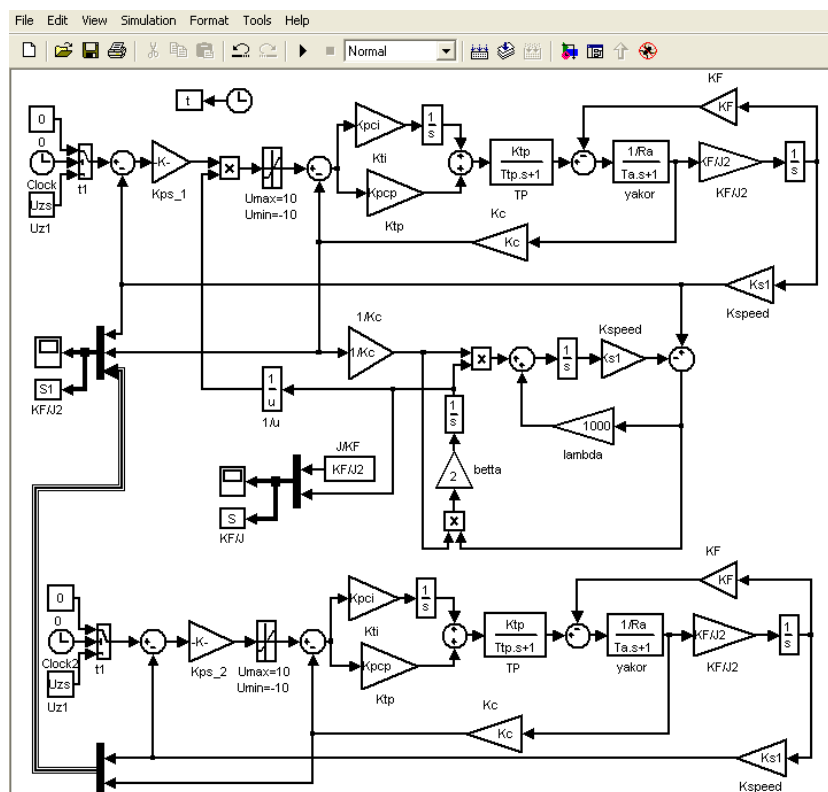


Рис.2 – Модель однозонного електропривода з адаптивною та звичайною швидкістю в пакеті Simulink

Графіки перехідних процесів в однозонному електроприводі постійного струму у заданих режимах роботи при наявності адаптації та без представлені на рис.3. Крива зміни оцінки параметру  $K\Phi/J$  представлена на рис.4. Порівнюючи рис.4 із рис.3 можна відмітити, що швидкодія спостерігаю чого пристрою вища швидкодії електромеханічної системи.

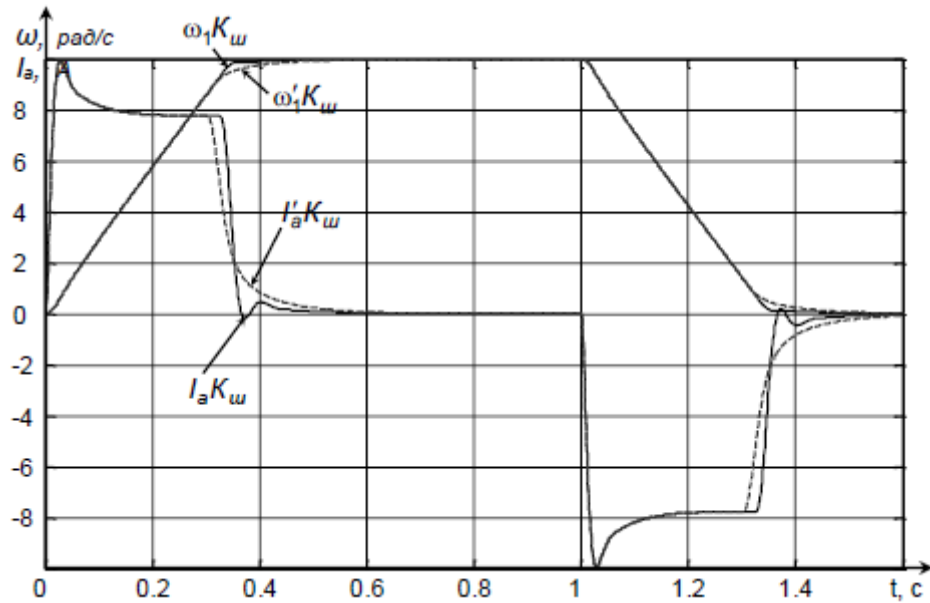


Рис.3 – Графіки перехідних процесів в однозонному електроприводі з адаптивною та звичайною (позначки «`») САК

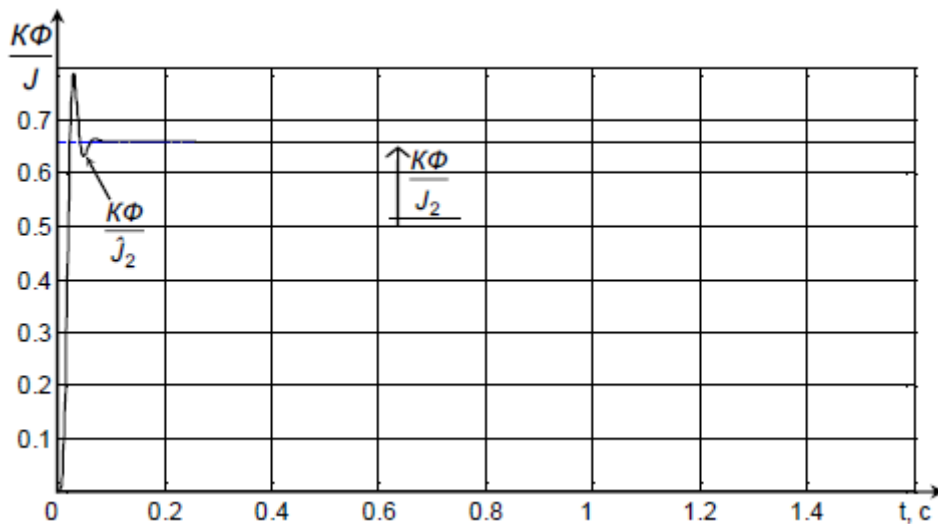


Рис.4. Графіки перехідних процесів оцінки параметру  $K\Phi/J_2$

## **Частина 2. Дослідження перехідних процесів у однозонному електроприводі постійного струму із адаптивним спостерігаючим пристроєм ідентифікації опору кола якоря**

### **Загальна інформація**

В другій частині індивідуального завдання розглядається моделювання однозонного електропривода із адаптивною до зміни опору кола якоря САК на базі двигуна постійного струму типу П101.

#### **1. Визначення вихідних даних:**

Вихідні дані, режим роботи та розрахунок основних параметрів електромеханічної системи за винятком регуляторів і коефіцієнтів налагодження ( $\lambda$  та  $\beta$ ) такий самий як і в прикладі з адаптивною до зміни моменту інерції САК (частина 1 індивідуального завдання №3).

#### **2. Розрахункові формули параметрів ЕМС**

Коефіцієнт підсилення пропорційної частини регулятора струму:

$$K_{pc}^{(II)} = \frac{T_a}{2 \cdot T_{\pi\pi} \cdot K_{\pi\pi} \cdot K_c}. \quad (1)$$

Коефіцієнт підсилення інтегральної частини регулятора струму:

$$K_{pc}^{(i)} = \frac{1}{2 \cdot T_{\pi\pi} \cdot K_{\pi\pi} \cdot K_c}. \quad (2)$$

Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості:

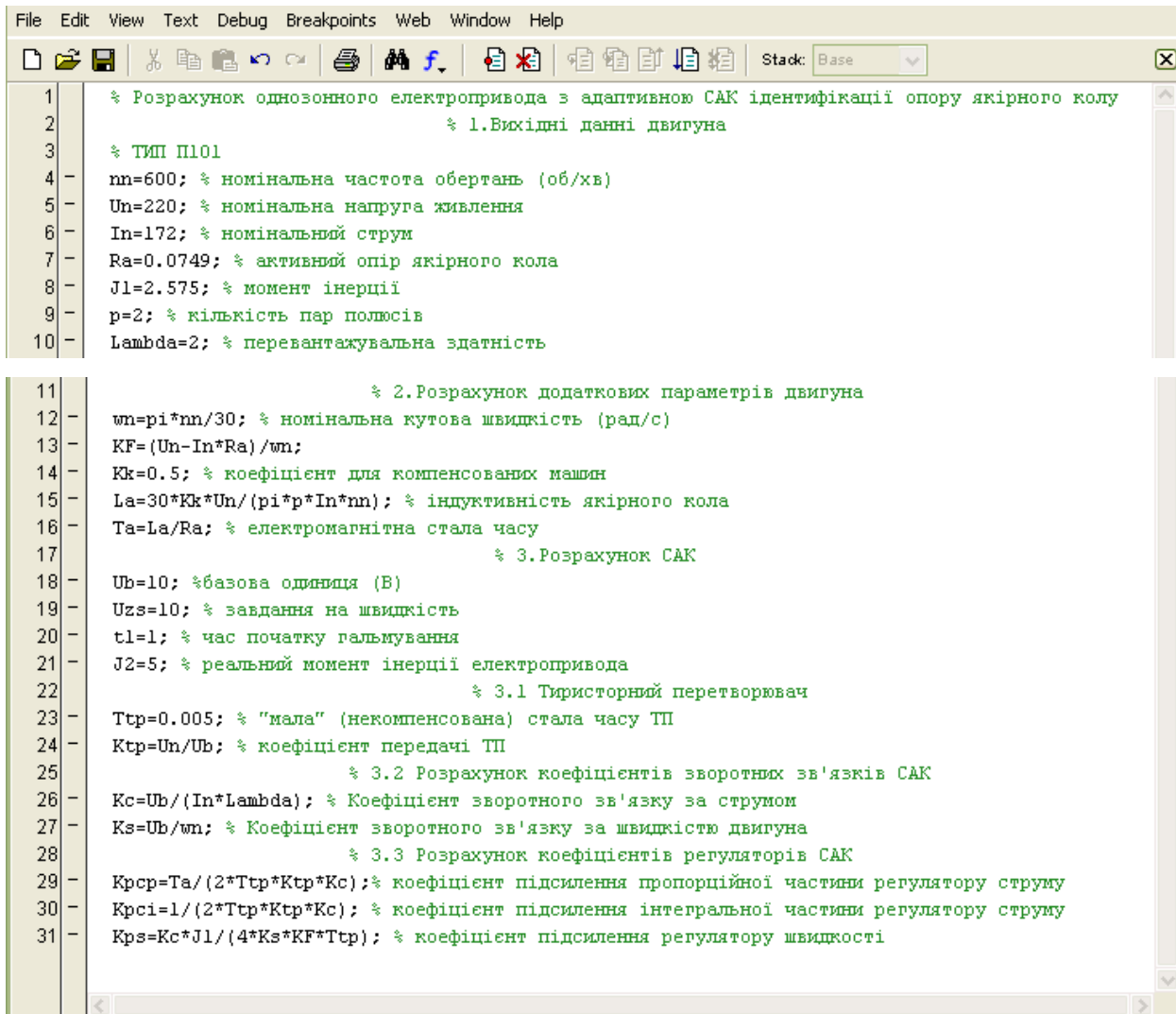
$$K_{pш} = \frac{K_c \cdot J_1}{4 \cdot T_{\pi\pi} \cdot K_{ш} \cdot K\Phi}. \quad (3)$$

Значення невідомих параметрів налагодження спостерігаючого пристрою:  
 $\lambda = 1000$  та  $\beta = 50$ .

Час обчислення перехідного процесу –  $t_{\max} = 1,5$  с. Крок обчислень диференціальних рівнянь –  $t_d = 0,0001$  с, метод обчислення – Рунге-Кутта 4-го порядку. У зв'язку з тим, що спочатку буде розглянутий режим пуску двигуна, початкові умови приймаємо нульові.

На рис.2 наведений приклад розрахунку параметрів розглянутої електромеханічної системи у вигляді m-файлу в пакеті Matlab. При складанні

моделі електромеханічної системи необхідно передбачити обмеження оцінки опору кола якоря. Така необхідність викликана наявністю операції ділення. В початковий момент обчислення можливе появлення надто неточної оцінки опору (оцінений опір надто великий). Рекомендовано обмежувати оцінку опору в межах від 0 до  $10 \cdot R_a$ .



```

File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
% Розрахунок однозонного електропривода з адаптивною САК ідентифікації опору якорного кола
% 1. Вихідні данні двигуна
% ТИП П101
nn=600; % номінальна частота обертань (об/хв)
Un=220; % номінальна напруга живлення
In=172; % номінальний струм
Ra=0.0749; % активний опір якорного кола
Jl=2.575; % момент інерції
p=2; % кількість пар полюсів
Lambda=2; % перевантажувальна здатність

% 2. Розрахунок додаткових параметрів двигуна
wn=pi*nn/30; % номінальна кутова швидкість (рад/с)
KF=(Un-In*Ra)/wn;
Kk=0.5; % коефіцієнт для компенсованих машин
La=30*Kk*Un/(pi*p*In*nn); % індуктивність якорного кола
Ta=La/Ra; % електромагнітна стала часу
% 3. Розрахунок САК
Ub=10; % базова одиниця (В)
Uzs=10; % завдання на швидкість
tl=1; % час початку гальмування
J2=5; % реальний момент інерції електропривода
% 3.1 Тиристорний перетворювач
Ttp=0.005; % "мала" (некомпенсована) стала часу ТП
Ktp=Un/Ub; % коефіцієнт передачі ТП
% 3.2 Розрахунок коефіцієнтів зворотних зв'язків САК
Kc=Ub/(In*Lambda); % Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом
Ks=Ub/wn; % Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю двигуна
% 3.3 Розрахунок коефіцієнтів регуляторів САК
Krcp=Ta/(2*Ttp*Ktp*Kc); % коефіцієнт підсилення пропорційної частини регулятора струму
Krci=1/(2*Ttp*Ktp*Kc); % коефіцієнт підсилення інтегральної частини регулятора струму
Krs=Kc*Jl/(4*Ks*KF*Ttp); % коефіцієнт підсилення регулятора швидкості

```

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

Програма моделювання електромеханічної системи виконана в пакеті бібліотек Simulink представлена на рис.3.



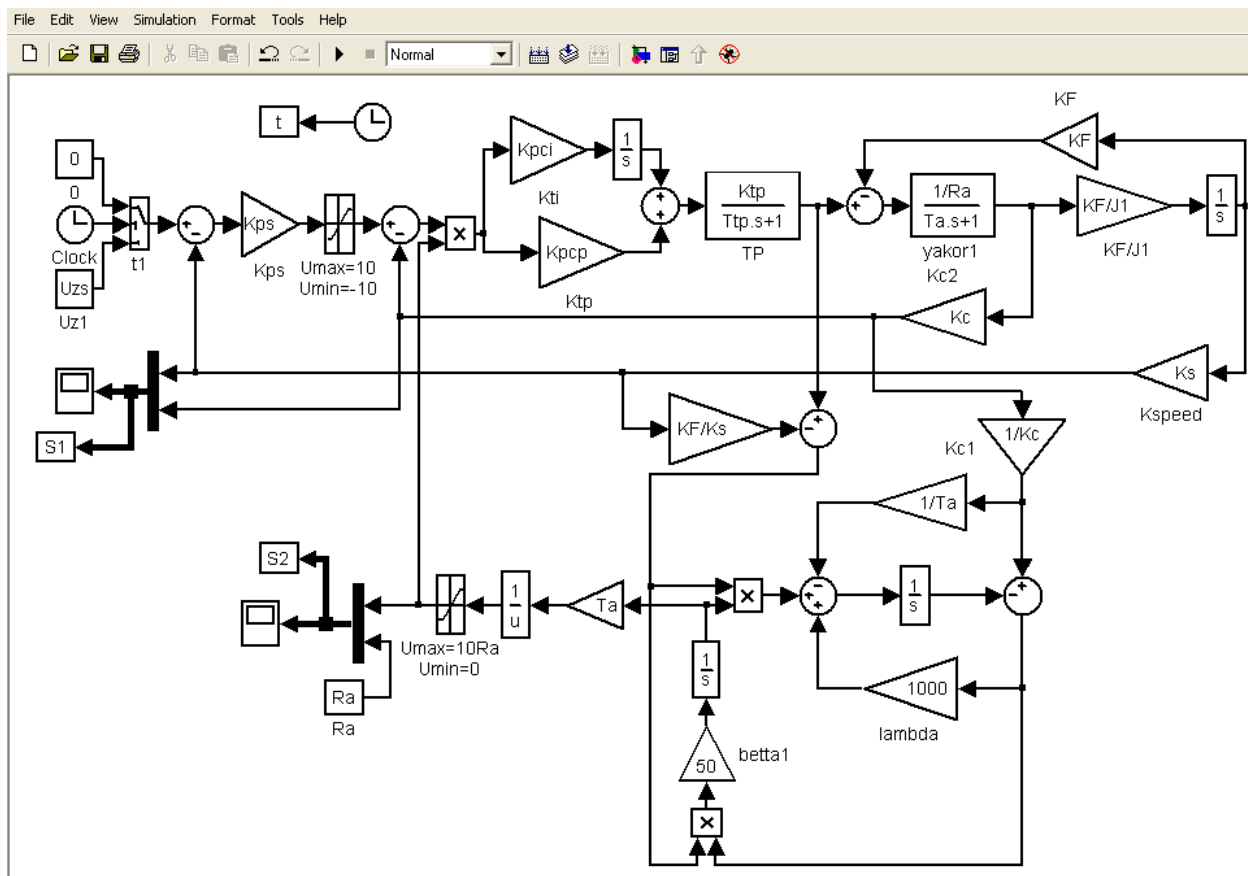


Рис.3 – Модель однозонного електропривода з адаптивною до зміни опору кола якоря САК швидкістю в пакеті Simulink

Графіки перехідних процесів в однозонному електроприводі постійного струму у заданих режимах роботи при наявності адаптації до зміни опору кола якоря представлені на рис.4. Крива зміни оцінки параметру  $K\Phi / J$  представлена на рис.5. Порівнюючи рис.5 із рис.5 можна відмітити, що швидкодія спостерігаючого пристрою вища швидкодії контуру струму системи.

Використовуючи принципи побудови адаптивної САК до зміни моменту інерції та опору кола якоря можна побудувати систему керування, що забезпечить одночасну адаптацію до зміни як моменту інерції, так і опору. На рис.6 представлена структурна схема адаптивної до зміни моменту інерції та опору кола якоря САК в математичному пакеті Matlab за допомогою бібліотек Simulink.

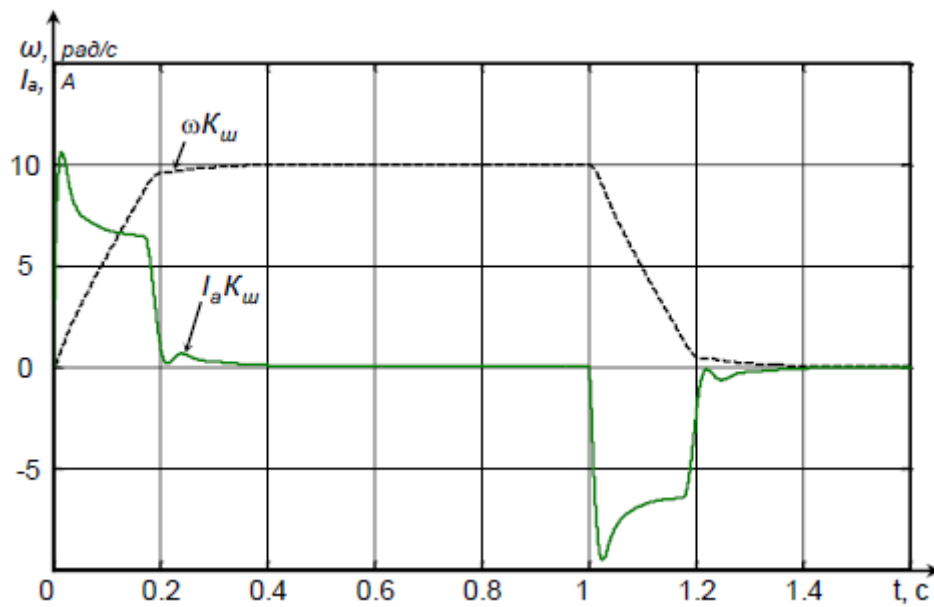


Рис.4 – Графіки перехідних процесів в однозонному електроприводі з адаптивною до зміни опору кола якоря САК

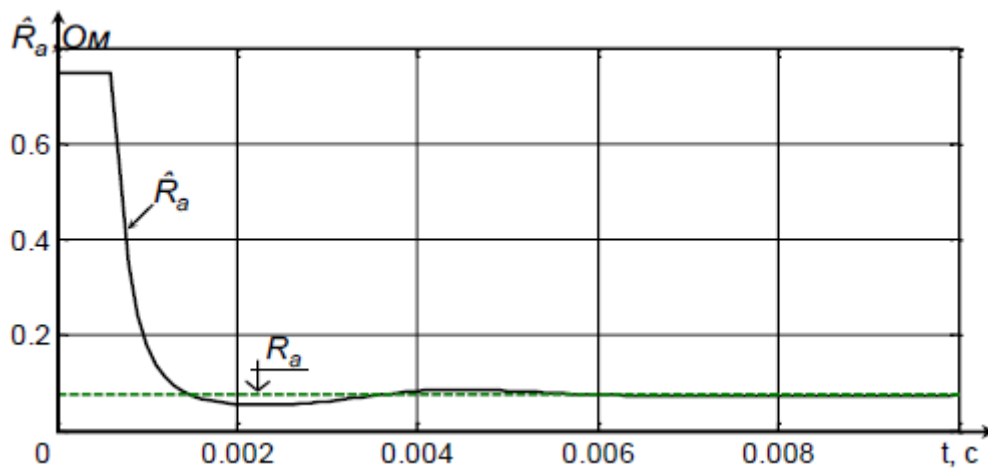


Рис.5. Оцінка опору кола якоря

Коефіцієнти підсилення регулятора струму визначаються у відповідності до розрахунків параметрів адаптивної до зміни опору кола якоря САК. П-регулятор швидкості визначається аналогічно з регулятором швидкості в адаптивній до зміни моменту інерції САК.

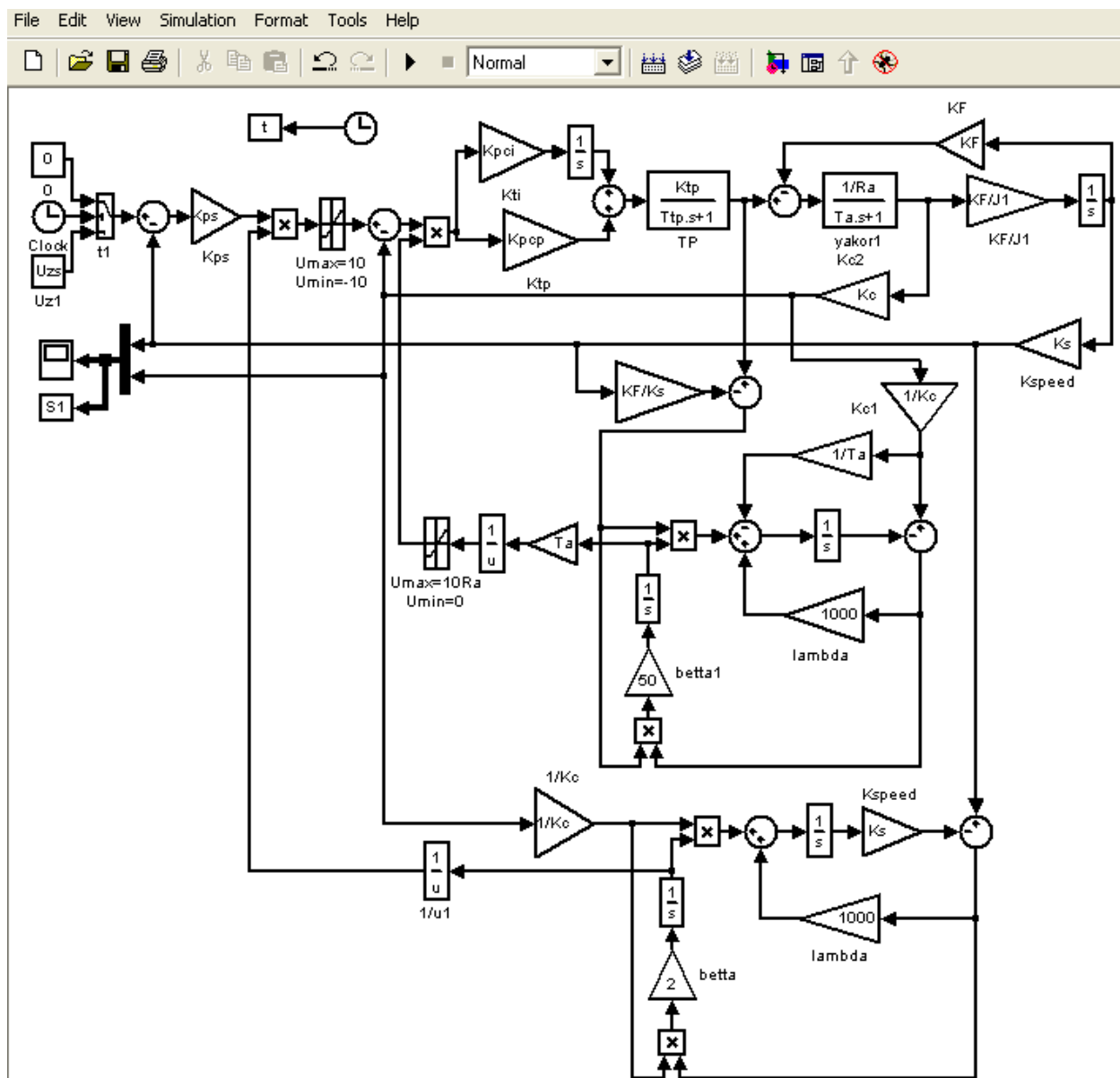


Рис.6. Модель однофазного електропривода з адаптивною до зміни моменту інерції та опору кола якоря САК швидкістю в пакеті Simulink

### 3. Завдання на моделювання

3.1 За допомогою бібліотек Simulink математичного пакету Matlab та m-файлу розрахунку параметрів системи виконати моделювання однофазного електропривода постійного струму із адаптивною до зміни моменту інерції САК швидкістю (параметри двигуна див. таблиця 1). Дослідження виконати при різних значеннях моменту інерції (таблиця 2). За результатами досліджень заповнити таблицю 2.

3.2 За допомогою бібліотек Simulink математичного пакету Matlab та m-файлу розрахунку параметрів системи виконати моделювання однозонного електропривода постійного струму із адаптивною до зміни опору кола якоря двигуна САК швидкістю (параметри двигуна див. таблиця 1). Дослідження виконати при різних значеннях опору кола якоря двигуна (таблиця 2). За результатами досліджень заповнити таблицю 2.

3.3 За допомогою бібліотек Simulink математичного пакету Matlab та m-файлу розрахунку параметрів системи виконати моделювання однозонного електропривода постійного струму із адаптивною до зміни моменту інерції та опору кола якоря двигуна САК швидкістю (параметри двигуна див. таблиця 1). Дослідження виконати при різних значеннях моменту інерції та опору кола якоря двигуна (таблиця 3). За результатами досліджень заповнити таблицю 3.

3.4 За допомогою бібліотек Simulink математичного пакету Matlab та m-файлу розрахунку параметрів системи виконати моделювання однозонного електропривода постійного струму з пружністю в механічній передачі при наявності адаптивної до зміни опору кола якоря двигуна САК швидкістю з урахуванням корекції системи за різницею швидкостей двигуна та виконавчого механізму і компенсації моменту навантаження за допомогою спостерігача повного порядку (параметри двигуна див. таблиця 1). Дослідження виконати у відповідності до таблиці 4. За результатами досліджень заповнити таблицю 4.

3.5 Проаналізувати отримані результати та зробити висновок щодо взаємозалежності основних параметрів електромеханічної системи, що характеризують та впливають на динаміку спостерігачів (коефіцієнти налагодження  $\lambda$  та  $\beta$ , модуль дійсного кореню характеристичного рівняння, співвідношення моментів інерції, бажане співвідношення моментів інерції, частота незатухаючих коливань).

Варіант завдання у таблиці 1 обирається за номером у журналі викладача.

Таблиця 1– Вихідні дані до індивідуального завдання №2

№*	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
16	П111	100	1000	220	511	0,0153	5,1
17	П111	160	1500	220	809	0,00638	5,1
18	П112	70	600	220	361	0,0262	5,85
19	П112	85	750	220	436	0,0192	5,85
20	П112	125	1000	220	632	0,0102	5,85
21	П71	11	1000	220	63	0,3	0,35
22	П71	19	1500	220	103	0,1235	0,35
23	П72	10	750	220	58	0,357	0,4
24	П72	14	1000	220	78	0,237	0,4
25	П72	25	1500	220	132	0,0828	0,4

\*Примітка

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

Таблиця 2 – Результати досліджень за моментом інерції

№	$J_{\text{ел.пр}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$t_p, \text{с}$	$I_{\text{дв max}}, \text{А}$	$J_{\text{ел.пр max}}, \%$
1	$J_{\text{дв}}$			
2	$2,0 \cdot J_{\text{дв}}$			
3	$4,0 \cdot J_{\text{дв}}$			
4	$8,0 \cdot J_{\text{дв}}$			

## \*Примітки

1.  $J_{\text{ел.пр}}$  – реальний (заданий) момент інерції електропривода.
2.  $t_p$  – час розгону до номінальної швидкості (час першого досягнення заданої швидкості).
3.  $I_{\text{дв max}}$  – максимальний струм двигуна.
4.  $J_{\text{ел.пр. max}}$  – максимальне значення оцінки моменту інерції електропривода (визначити у відсотках відносно заданого значення).
5. Прийняти регулятор швидкості пропорційним, регулятор струму – пропорційно-інтегральним.

Таблиця 3 – Результати досліджень перехідних процесів

Режим роботи	$\omega_0, \text{с}^{-1}$	$\Omega_0, \text{с}^{-1}$	$\gamma_0$	Форма	$\omega_{1\text{max}}, \text{с}^{-1}$	$\omega_{2\text{max}}, \text{с}^{-1}$	$M_{\text{п max}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	$t_p, \text{с}$
Пуск електропривода до номінальної швидкості без навантаження	$\frac{1}{4 \cdot T_{\text{TH}}}$	20	5,8					
			3,0					
		40	5,8					
			3,0					
	$\frac{3}{4 \cdot T_{\text{TH}}}$	20	5,8					
			3,0					
		40	5,8					
			3,0					
Пуск електропривода до номінальної швидкості під номінальним реактивним	$\frac{1}{4 \cdot T_{\text{TH}}}$	20	5,8					
			3,0					
		40	5,8					
			3,0					
	$\frac{3}{4 \cdot T_{\text{TH}}}$	20	5,8					
			3,0					
		40	5,8					
			3,0					

#### **4. Перелік практичних занять**

4.1 Розробка схем керування доступом до гаражу або стоянки, контролем місця для стоянки автомобілів засобами LOGOSoftComfort.

4.2 Розробка схеми керування освітленням та сигналізацією житлового будинку засобами LOGOSoftComfort та EasySoft.

4.3 Опис динамічного режиму роботи системи керування електроприводом.

4.4 Ідентифікація моделі у часовому просторі та на комплексній площині.

4.5 Складання плану та обробка результатів експерименту з використанням моделі фільтру на операційному підсилювачі

#### **Література**

1. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб.пособие для студ. высш. учеб. заведений / [М.П. Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козярук и др.]; под ред. В.А. Новикова, Л.М. Чернигова. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368с.
2. Мокін Б.І., Мокін В.Б., Мокін О.Б. Математичні методи ідентифікації електромеханічних процесів. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 300с.
3. Мокін Б.І. Математичні методи ідентифікації електромеханічних систем: навчальний посібник / Б.І. Мокін, В.Б. Мокін, О.Б. Мокін. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 260с.
4. Мокін Б.І. Методологія та організація наукових досліджень: навчальний посібник / Б.І. Мокін, О.Б. Мокін. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 180с.
5. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): навч. посібник. – Львів: Світ, 2001. – 232с.
6. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656с.
7. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. – К.: Либідь, 2005. – 680с.
8. Болнокин В.Е., Чинаев П.И. Анализ и синтез автоматического управления на ЭВМ. Алгоритмы и программы. – М.: Радио и связь, 1986. – 248с.
9. Планирование промышленных экспериментов. Горский В.Г., Адлер Ю.П. «Металлургия», 1974. – 264с.
10. Адаптация и обучение в автоматических системах. Л.З. Цыпкин. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», М., 1968. – 400с.
11. Максимычев О.И. Программирование логических контроллеров (PLC): учеб.пособие / О.И. Максимычев, А.В. Либенко, В.А. Виноградов. – М.: МАДИ, 2016. – 188с.
12. Андрущенко О.А., Водичев В.А. Электронные программируемые реле EASY и MFD-Titan. Украина, Одесса, 2006. – 223с.