

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ, НАУКИ,  
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання контрольної роботи з курсу  
"ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ"

Для студентів, що навчаються за напрямом  
6.050201 "Системна інженерія"  
(для заочної форми навчання)

Розглянуто  
на засіданні кафедри  
автоматики та телекомунікацій  
Протокол № 2 від 11.03.2011р.

Затверджено на засіданні  
навчально-видавничої ради  
ДонНТУ  
Протокол № 3 від 05.05.2011р.

Донецьк, ДонНТУ 2011 р.

УДК 62-52 (071)

Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з курсу "Основи автоматизації виробничих процесів", (для студентів, що навчаються за напрямом підготовки 6.050201 "Системна інженерія" (СУА) заочної форми)/  
Укл.: Р.В. Федюн, В.О. Попов - Донецьк: ДонНТУ, 2011.- 45 с.

Представлено варіанти контрольних завдань і короткі методичні вказівки для їхнього самостійного виконання.

Наведено опис пакета прикладних програм MATLAB і його застосування при виконанні контрольної роботи, а також короткі відомості з теорії, порядок виконання завдань і література.

Укладачі:

Р.В. Федюн, доц.

В.О. Попов, доц

Рецензент

В.М. Шумяцький, доц.

Відповідальний  
за випуск

В.І. Бессараб, зав. каф.

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ПО ВИВЧЕННЮ КУРСУ "ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ"**

Метою вивчення курсу "Основи автоматизації виробничих процесів" є розвиток у студентів розуміння про принципи й методи побудови систем автоматичного управління технологічними процесами на основі сучасних технічних засобів автоматизації.

Вивчення курсу "Основи автоматизації виробничих процесів" складається з:

- 1) самостійної роботи над навчальними посібниками;
- 2) самостійного виконання контрольних завдань;
- 3) слухання лекцій і виконання лабораторних робіт на настановних сесіях.

### **Тематичний план дисципліни.**

**1. Історія автоматичного управління.** Застосування зворотного зв'язка в системах керування. Історія розвитку комп'ютерного управління.

**2. Принципи побудови автоматичних систем.** Принцип розімкнутого управління. Принцип компенсації. Принцип зворотного зв'язка. Принцип комбінованого управління. Розімкнуті й замкнуті автоматичні системи.

**3. Загальна характеристика лінійних автоматичних систем.** Принципи класифікації автоматичних систем. Функціональні схеми систем і класифікація основних елементів автоматичних систем по призначенню.

**4. Опис і моделювання систем автоматичного управління.** Моделі, які застосовуються при управлінні. Моделювання динамічних систем. Методи математичного опису елементів і систем керування.

**5. Вступ до цифрового управління технологічними процесами.** Роль обчислювальної техніки при управлінні виробничими процесами. Визначення системи. Приклади типових застосувань цифрового управління.

**6. Особливості цифрового управління виробничими процесами.** Управління процесами в реальному часі. Управління з використанням

послідовного програмування. Управління на основі переривань. Приклади задач управління виробничими процесами.

**7. Вхід і вихід фізичних процесів.** Компоненти інтерфейсу між виробничим процесом і керуючим комп'ютером. Загальні відомості про датчики й виконавчі механізми. Смуга пропускання й шум. Передача вимірювальних сигналів.

**8. Характеристики датчиків.** Погрішність і точність. Динамічні характеристики датчиків. Статичні характеристики датчиків. Вплив нелінійності характеристики.

**9. Датчики.** Бінарні й цифрові датчики. Аналогові датчики.

**10. Узгодження й передача сигналів.** Узгодження сигналів у ланцюгах з операційними підсилювачами. Електричні провідники. Електричні перешкоди. Сигнальне заземлення.

**11. Виконавчі механізми.** Бінарні виконавчі механізми. Виконавчі механізми з електроприводом. Керуючі клапани.

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ПО ЗАСТОСУВАННЮ ПАКЕТА ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ MATLAB

MATLAB являє собою систему інженерних і наукових розрахунків, що застосовується в математичних розрахунках, при плануванні, проведенні й аналізі результатів обчислювального експерименту, моделюванні об'єктів і процесів у різних галузях науки й техніки. До складу системи MATLAB входять спеціалізовані пакети прикладних програм, орієнтовані на вирішення певних завдань.

Simulink - інтерактивний інструмент для моделювання, імітації й аналізу динамічних систем. Він дає можливість будувати графічні блок-діаграми, моделювати динамічні системи, досліджувати працездатність систем і вдосконалювати проекти. Simulink повністю інтегрований з MATLAB, забезпечуючи негайним доступом до широкого спектра інструментів аналізу й проектування.

Програма Simulink є додатком до пакета MATLAB. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, відповідно до якого, користувач на екрані з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою й здійснює розрахунки. Simulink є досить самостійним інструментом MATLAB і при роботі з ним зовсім не потрібно знати сам MATLAB і інші його додатки. З іншої сторони доступ до функцій MATLAB і іншим його інструментам залишається відкритим і їх можна використовувати в Simulink.

При моделюванні користувач може вибрати метод розв'язання диференціальних рівнянь, а також спосіб зміни модельного часу (з фіксованим або змінним кроком). У ході моделювання є можливість стежити за процесами, що відбуваються в системі. Для цього використовуються спеціальні пристрої спостереження, що входять до складу бібліотеки Simulink. Результати моделювання можуть бути представлені у вигляді графіків або таблиць. Для запуску програми Simulink необхідно попередньо запустити систему MATLAB.

Основне вікно пакета MATLAB показано на рис.1.

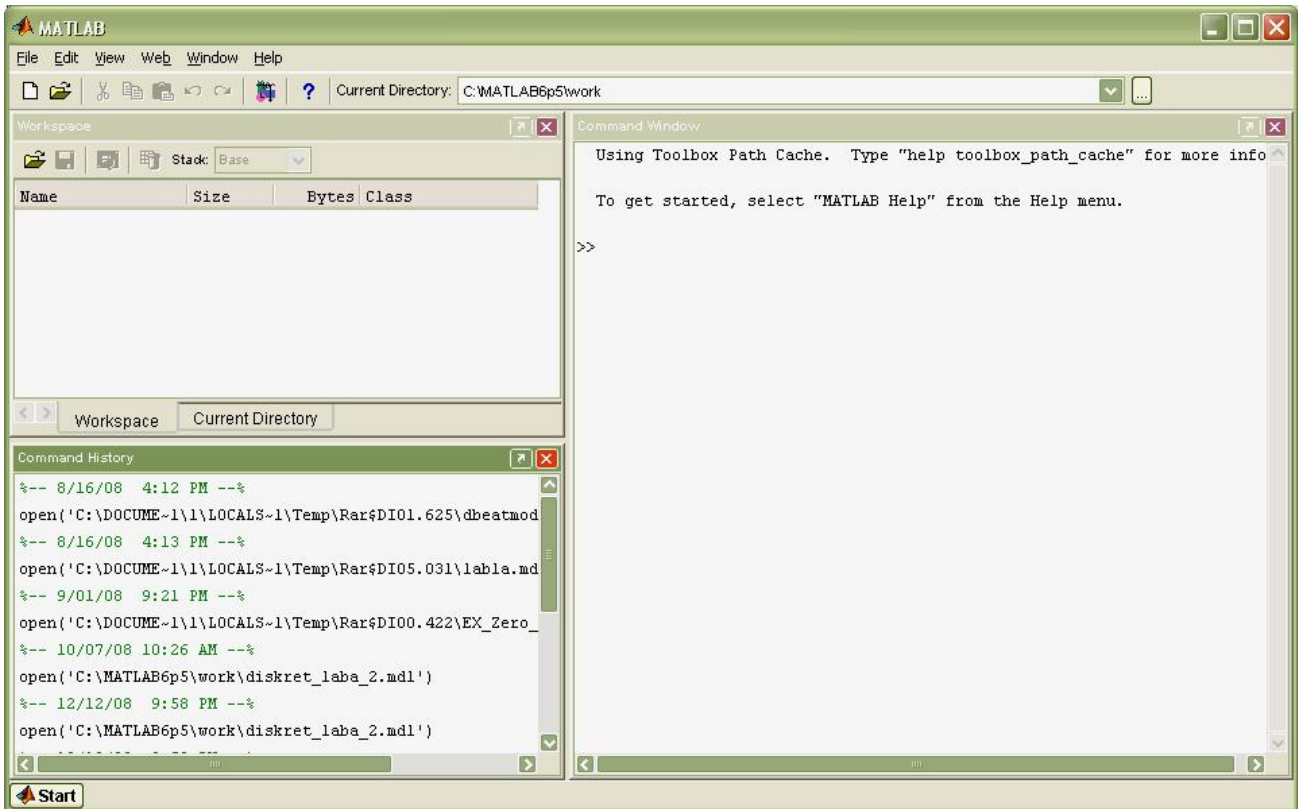



Рисунок 1. Основне вікно пакета MATLAB

Після відкриття основного вікна програми MATLAB потрібно запусити програму Simulink. Це можна зробити одним із трьох способів:

- натиснути кнопку  (Simulink) на панелі інструментів командного вікна MATLAB;
- у командному рядку головного вікна MATLAB надрукувати `simulink` і натиснути клавішу `Enter` на клавіатурі;
- виконати команду `Open...` у меню `File` і відкрити файл моделі (`mdl` - файл).

Використання першого й другого способів приводить до відкриття вікна оглядача розділів бібліотеки Simulink (рис. 2) і вікна нової моделі (рис. 3).

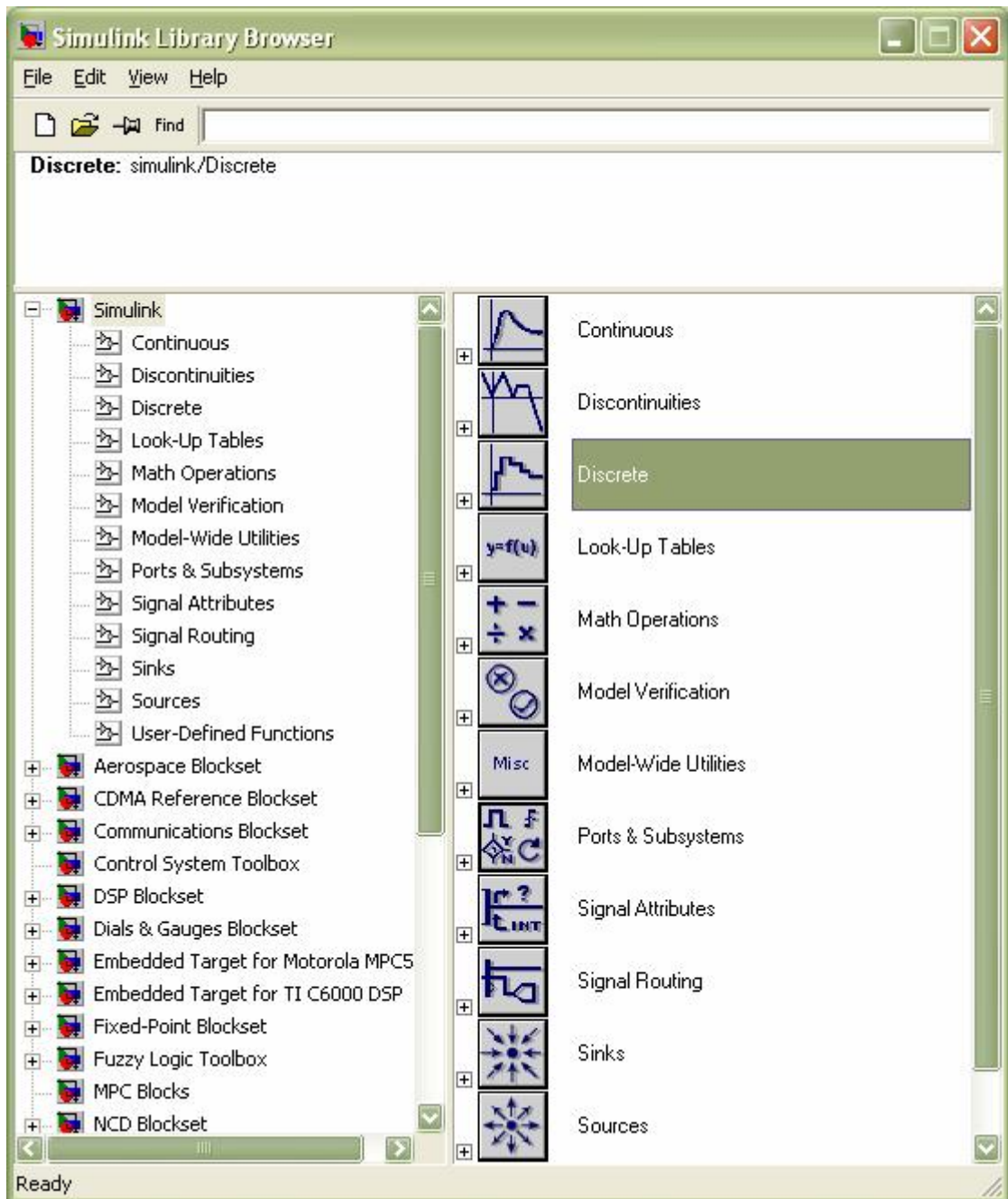


Рисунок 2. Вікно оглядача розділів бібліотеки Simulink

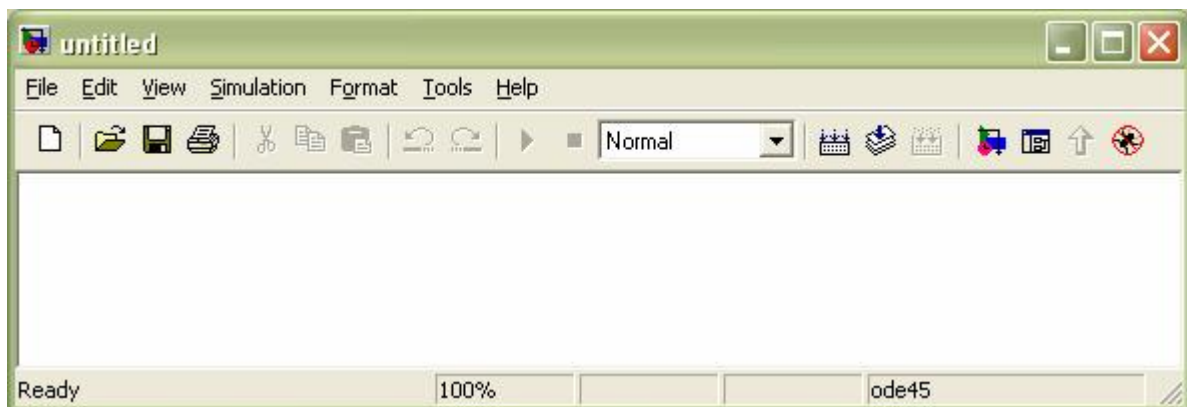


Рисунок 3. Вікно нової mdl-моделі пакета Simulink

Кожний розділ бібліотеки Simulink містить певний набір блоків, викликати які можна натисканням лівої клавiші "миші" на обраному розділі бібліотеки (рис.2). У правій частині вікна оглядача розділів бібліотеки Simulink приводиться весь набір блоків даного розділу бібліотеки Simulink, які використовуються для моделювання. Так, на рис.4 наведено вікно розділу Continuous бібліотеки Simulink.

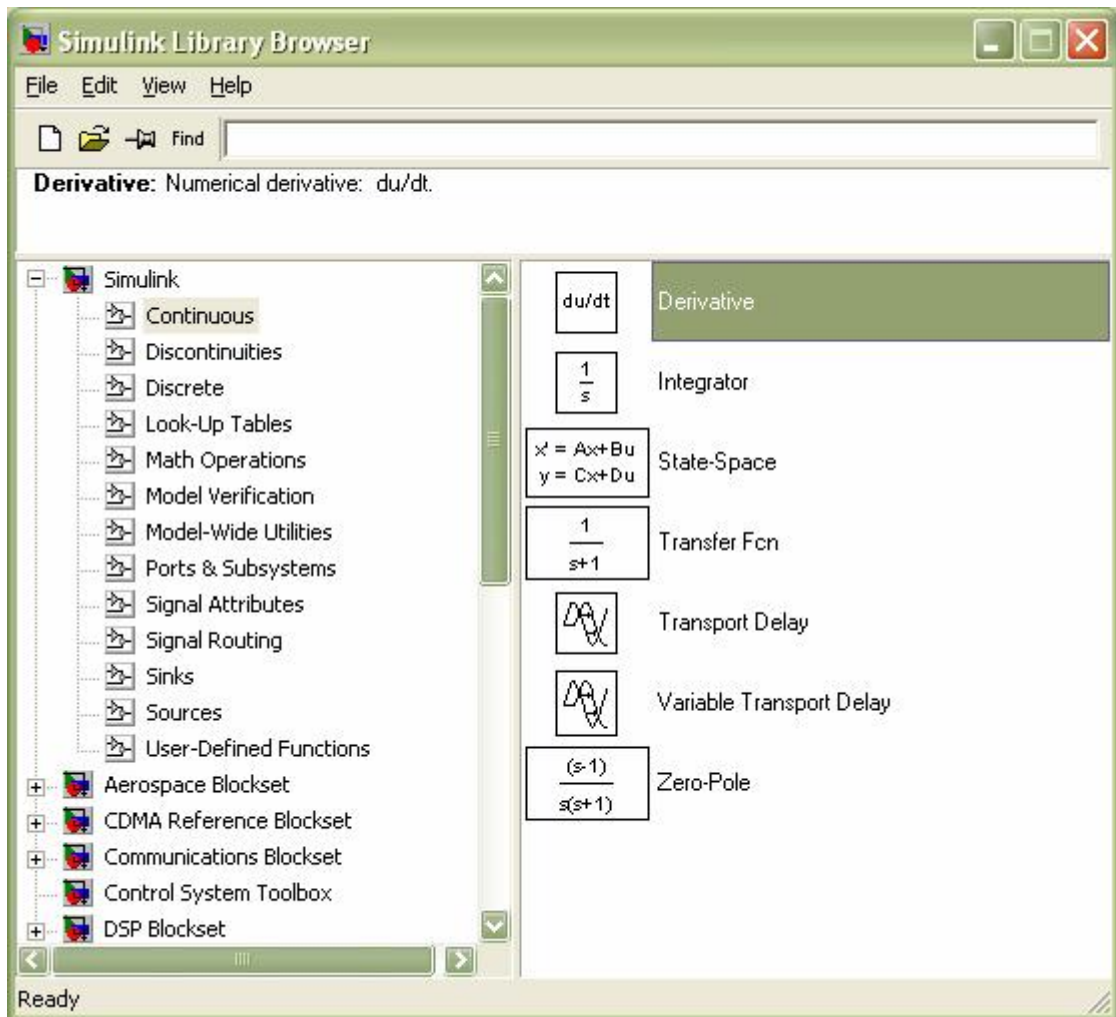


Рисунок 4. Набір блоків розділу Continuous бібліотеки Simulink

Створення структури моделі, завдання її параметрів, вибір режимів і характеристик моделювання здійснюється у вікні моделі (рис. 3). Створення структури моделі здійснюється "перетаскуванням" необхідних блоків з вікон бібліотеки (рис. 4) у вікно моделі (рис. 3): указавши курсором на необхідний блок і натиснувши на ліву клавiшу "миші" - "перетягнути" блок у створене



вікно моделі. Клавiшу "миші" при цьому потрібно тримати натиснутою.

Після установки на схемі всіх блоків з необхідних бібліотек потрібно виконати з'єднання елементів схеми. Для з'єднання блоків необхідно вказати курсором на "вихід" блоку, а потім, натиснувши й, не відпускаючи ліву клавiшу "миші", провести лінію до входу іншого блоку. Після чого відпустити клавiшу. Для створення точки розгалуження в сполучній лінії потрібно підвести курсор до передбачуваного вузла й, натиснувши праву клавiшу "миші", простягнути лінію. Для видалення лінії потрібно вибрати лінію (так само, як це виконується для блоку), а потім натиснути клавiшу Delete на клавіатурі.

Далі, якщо це потрібно, потрібно змінити параметри блоків, які встановлене програмою "за замовчуванням". Для цього необхідно двічі клацнути лівою клавiшею "миші", указавши курсором на зображення блоку. Відкриється вікно редагування параметрів даного блоку. При задаванні чисельних параметрів варто мати на увазі, що як десятковий роздільник повинна використовуватися точка, а не кома. Після внесення змін потрібно послідовно натиснути Apply, Close. На рис.5 як приклад показані блок, що моделює передаточну функцію й вікно редагування параметрів даного блоку. На рис. 6 як приклад показані блок інтегрування й вікно редагування параметрів даного блоку.

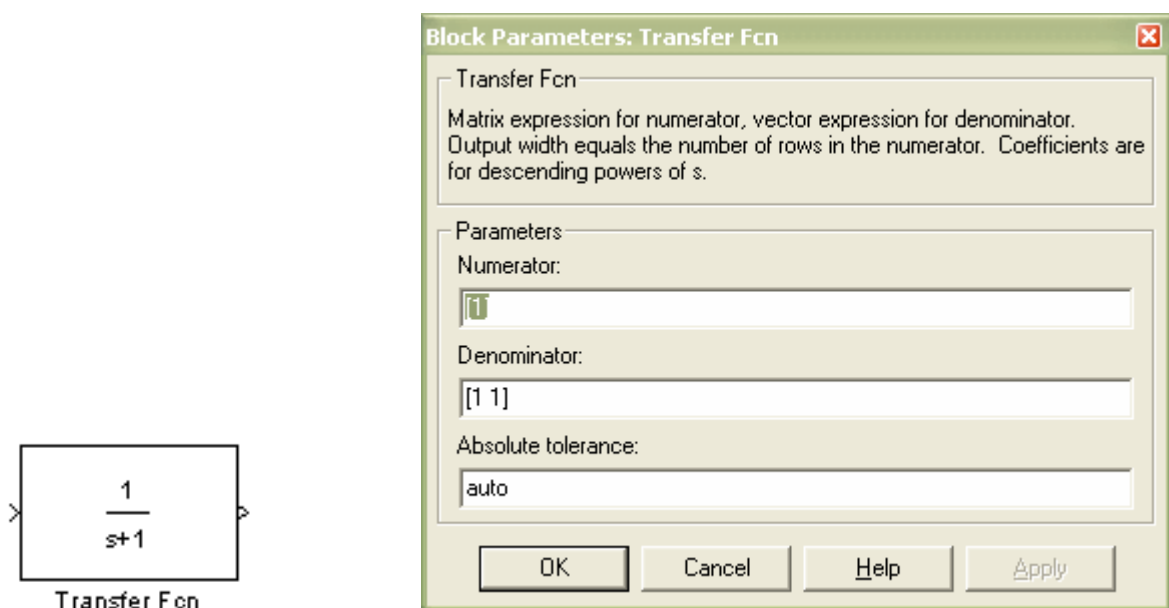


Рисунок 5. Лінійний блок і вікно редагування його параметрів.

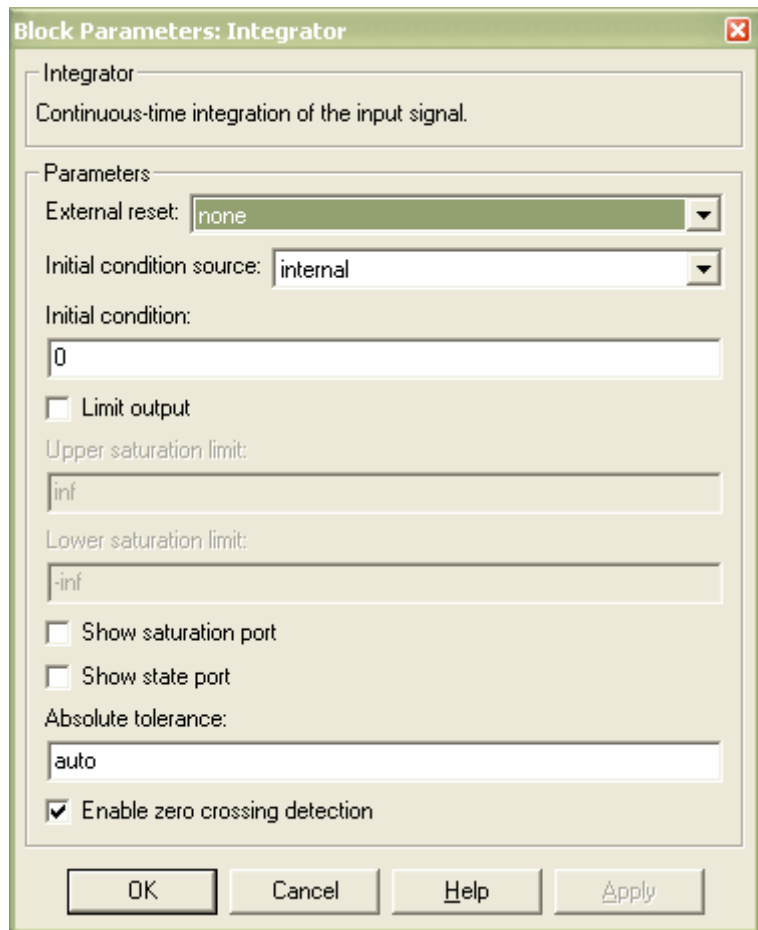
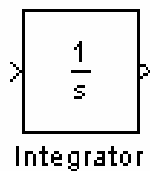


Рисунок 6. Інтегратор і вікно редагування його параметрів.


Команда *Simulation Parameters...* у меню *Simulation* виводить вікно редагування параметрів і характеристик моделювання (рис. 7). У цьому вікні задається час моделювання, крок моделювання, метод чисельного інтегрування, абсолютна й відносна точність.

При використанні пакета *Simulink* у контрольній роботі необхідно буде задавати в цьому вікні час моделювання, метод чисельного інтегрування (безперервні системи або дискретні).

Після установки всіх параметрів моделювання необхідно зберегти створену модель на диск. Це виконується в такий же спосіб, як і у всіх додатках *Windows*: команда *save* у меню *File* вікна моделі (рис. 3). За замовчуванням файл моделі з розширенням *.mdl* зберігається в папці *..\Matlab\work*.



Рисунок 7. Окно редактирования параметров моделирования

Модельовання виконується командою Start меню Simulation або кнопкою  на панелі інструментів вікна моделі. Для відображення результатів моделювання використовуються блоки розділу Sinks. Джерела сигналів знаходяться у бібліотеці Sources. Результати моделювання у вигляді графіків можна спостерігати, використовуючи блок Scope або блок To Workspace.

Блок To Workspace зручно використовувати при оформленні звітів. Вікно параметрів даного блоку наведене на рис.8. При настроюванні даного блоку вводиться ім'я змінної - поле Variable name (наприклад, st), і в поле Save format вибирається Array. Після настроювання й моделювання, в основному вікні MATLAB вводиться рядок:

```
plot(t,st), grid on, zoom on
```

У результаті з'явиться вікно, у якому буде представлена графічна залежність змінної st від змінної t. Вивід результатів моделювання також можна здійснити подвійним щигликом на зображенні блоку Scope.

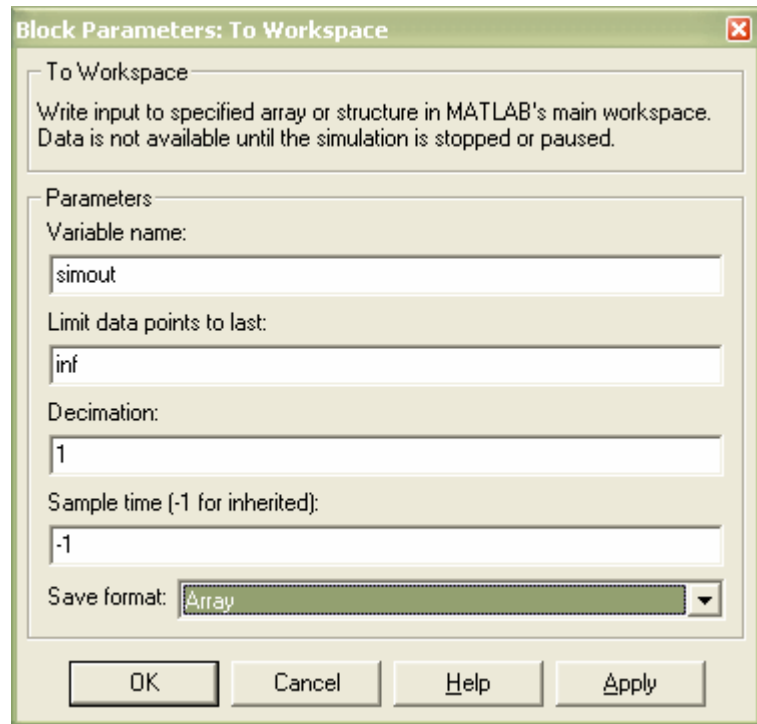
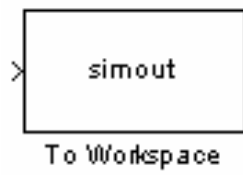


Рисунок 8. Блок To Workspace і вікно редагування його параметрів.

## ЗАВДАННЯ 1

### ЛІНЕАРИЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

У загальному випадку рівняння динаміки виявляється нелінійним, тому що реальні елементи САУ звичайно нелінійні. З метою спрощення управління нелінійні рівняння замінюють лінійними, які приблизно описують динамічні процеси в САУ. Одержувана при цьому точність рівнянь виявляється достатньою для технічних задач. Процес перетворення нелінійних рівнянь у лінійні називається *лінеаризацією рівнянь динаміки*. Розглянемо спочатку геометричне обґрунтування лінеаризації.

У нормально функціонуючій САУ значення регульованої й всіх проміжних величин незначно відрізняється від необхідних. У межах малих відхилень всі нелінійні залежності між величинами, що входять рівняння динаміки, можуть бути приблизно представлені відрізками прямих ліній.

Наприклад, нелінійна статична характеристика ланки на ділянці АВ (рис.1.1) може бути представлена відрізком дотичної в точці номінального режиму А"В". Початок координат переноситься в точку О', і в рівняннях записуються не абсолютні значення величин  $y$ ,  $u$ ,  $f$ , а їхнього відхилення від номінальних значень:  $\Delta y = y - y_n$ ,  $\Delta u = u - u_n$ ,  $\Delta f = f - f_n$ . Це дозволяє отримати *нульові початкові умови*, якщо вважати, що при  $t \leq 0$  система перебувала в номінальному режимі в стані спокою.

Математичне обґрунтування лінеаризації полягає в тому, що якщо відомо значення  $f(a)$  якоїсь функції  $f(x)$  у будь-якій точці  $x = a$ , а також значення похідних від цієї функції в даній точці  $f'(a)$ ,  $f''(a)$ , ...,  $f^{(n)}(a)$ , то в будь-який інший досить близькій точці  $x + \Delta x$  значення функції можна визначити, розклавши її в околиці точки  $a$  у ряд Тейлора:

$$f(x + \Delta x)|_a = f(a) + \frac{\Delta x}{1!} f'(a) + \frac{\Delta x^2}{2!} f''(a) + \frac{\Delta x^3}{3!} f'''(a) + \dots$$

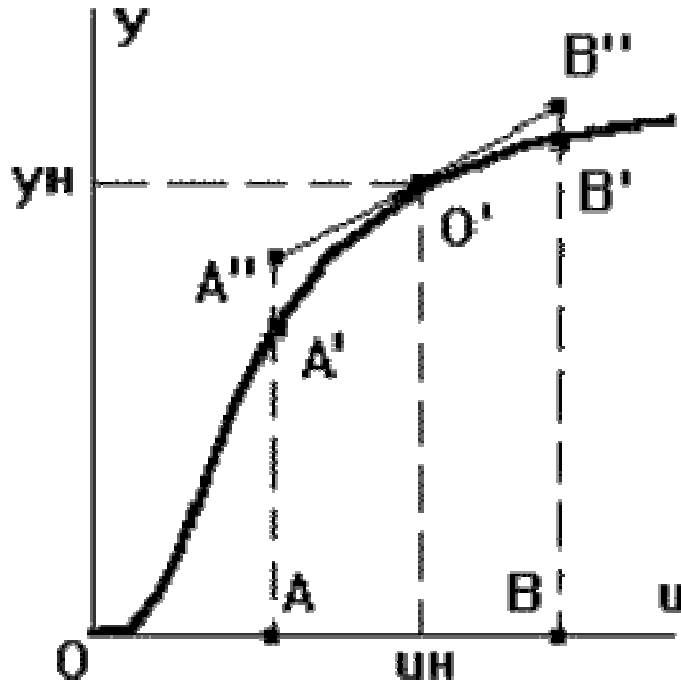


Рисунок 1.1. Геометричне обґрунтування лінеаризації

Аналогічно можна розкласти й функцію декількох змінних. Для простоти візьмемо спрощений, але найбільш характерний варіант рівняння динаміки САУ:  $F(y, y', y'', u, u') = f$ . Тут похідні за часом  $u', y', y''$  також є змінними. У точці, що близька до номінального режиму:  $f = f_n + \Delta f$  і  $F = F_n + \Delta F$ . Розкладемо функцію  $F$  у ряд Тейлора в околиці точки номінального режиму, відкидаючи члени ряду високих порядків малості:

$$F_n + \left( \frac{\partial F}{\partial y} \right)_n \Delta y + \left( \frac{\partial F}{\partial y'} \right)_n \Delta y' + \left( \frac{\partial F}{\partial y''} \right)_n \Delta y'' + \left( \frac{\partial F}{\partial u} \right)_n \Delta u + \left( \frac{\partial F}{\partial u'} \right)_n \Delta u' = f_n + \Delta f .$$

У номінальному режимі, коли всі відхилення і їхні похідні за часом дорівнюють нулю, отримуємо приватне розв'язання рівняння:  $F_n = f_n$ . З огляду на це й уводячи позначення, отримаємо:

$$a_0 \Delta y'' + a_1 \Delta y' + a_2 \Delta y = b_0 \Delta u' + b_1 \Delta u + c_0 \Delta f .$$

Відкидаючи всі знаки  $\Delta$ , отримаємо:

$$a_0 y'' + a_1 y' + a_2 y = b_0 u' + b_1 u + c_0 f .$$

При цьому завжди потрібно пам'ятати, що в даному рівнянні використовуються не абсолютні значення величин  $y$ ,  $u$ ,  $f$  і їхніх похідних за часом, а відхилення цих величин від номінальних значень. Тому отримане рівняння будемо називати *рівнянням у відхиленнях*.

Розглянемо безперервну систему, що має наступну модель

$$\frac{dy(t)}{dt} = -\sqrt{y(t)} + \frac{(u(t))^2}{3}. \quad (1.1)$$

Виконаємо лінеаризацію моделі, якщо значення вхідного впливу в робочій точці  $u_0=2$ .

Робоча точка відповідає сталому режиму ( $\frac{dy(t)}{dt} = 0$ ) і обчислюється з рівняння статики системи, що утворюється із рівняння динаміки прирівнюванням нулю всіх похідних:

$$0 = -\sqrt{y(t)} + \frac{(u(t))^2}{3} - \text{рівняння статики.}$$

Підставляємо в це рівняння  $u_0=2$ :

$$0 = -\sqrt{y_0} + \frac{(u_0)^2}{3} \Rightarrow y_0 = \frac{16}{9}.$$

Виконав перетворення нелінійного диференціального рівняння за допомогою розкладання в ряд Тейлора, одержимо наступну лінеаризовану модель:

$$\frac{d\Delta y(t)}{dt} = -\frac{1}{2\sqrt{y_0}}\Delta y(t) + \frac{2u_0}{3}\Delta x(t).$$

Використовуючи числові значення для робочої точки, ми отримуємо наступну лінеаризовану модель:

$$\frac{d\Delta y(t)}{dt} = -\frac{3}{8}\Delta y(t) + \frac{4}{3}\Delta u(t).$$

Відкидаючи всі знаки  $\Delta$ , отримаємо:

$$\frac{dy(t)}{dt} = -\frac{3}{8}y(t) + \frac{4}{3}u(t). \quad (1.2)$$

Щоб оцінити якість наближення необхідно виконати моделювання

процесів у вихідній нелінійній системі (1.1) і лінеаризованій (1.2). Схема моделі в термінах пакета simulink приведена на рис.1.2.

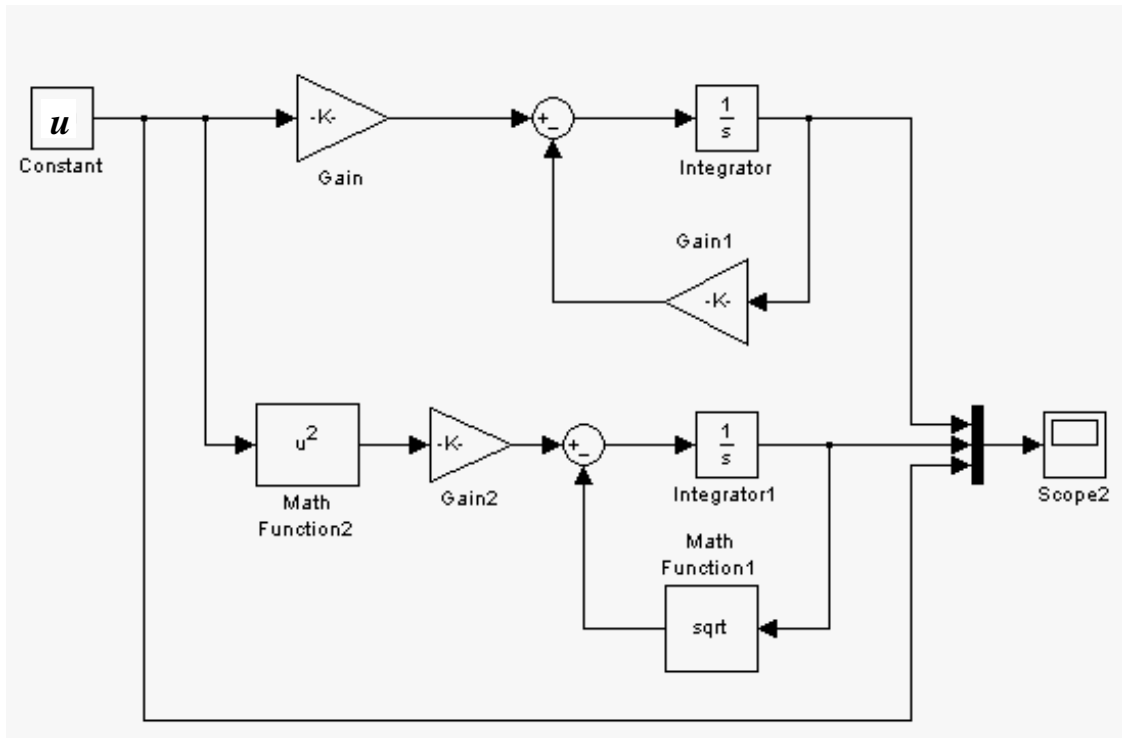


Рисунок 1.2. Модель нелінійної й лінеаризованої систем

Верхня частина моделі відповідає лінеаризованому рівнянню (1.2) і складається з лінійних блоків: Gain, Gain1, Integrator. Нижня частина моделі відповідає вихідному нелінійному рівнянню (1.1) і містить у собі лінійні (Gain2, Integrator1) і нелінійні блоки (Math Function1, Math Function2). Результати моделювання при різних значеннях вхідного впливу - константи  $u$  приведені на рис. 1.3 – рис. 1.5.

З приведених графіків (рис. 1.3 – рис. 12.5) видно, що максимальний збіг процесів у нелінійній і лінійній системах спостерігається для  $u = 2$ , що відповідає значенню вхідного впливу  $u_0=2$  у робочій точці (рис.1.3). При відхиленні вхідного впливу від розрахункового ( $u_0=2$ ) процеси у вихідній нелінійній і лінеаризованій системах дуже сильно відрізняються (рис. 1.4 – рис. 1.5).





Рисунок 1.3. Процеси в нелінійній і лінеаризованій системах при вхідному впливі  $u = 2$ .

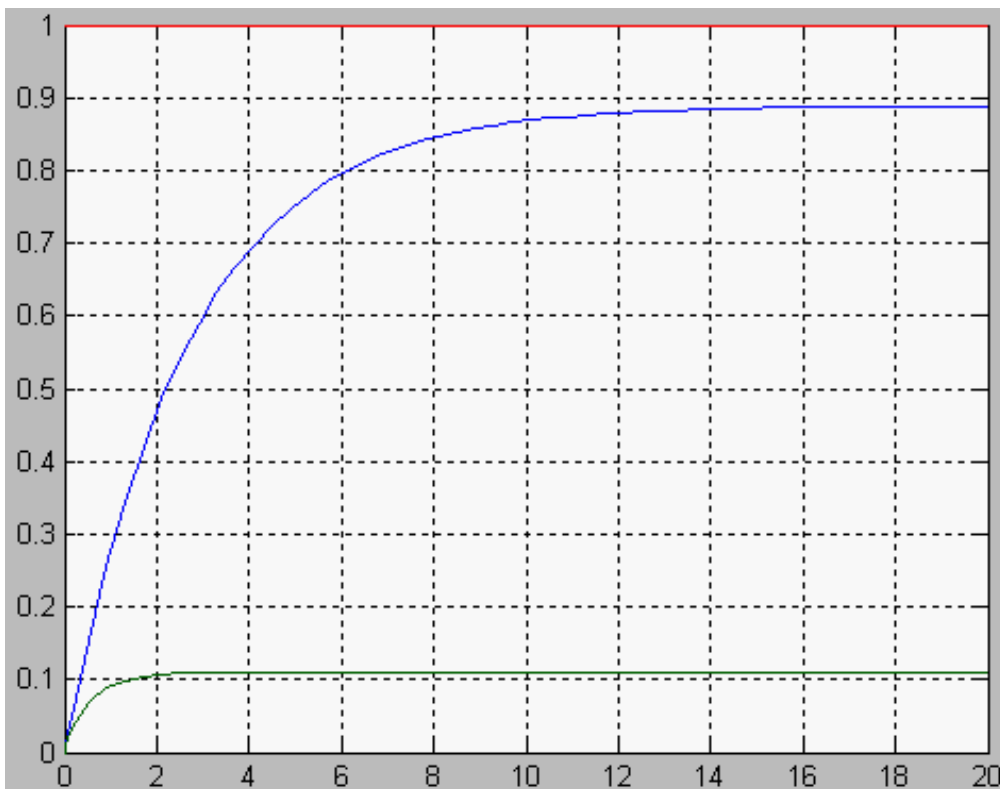


Рисунок 1.4. Процеси в нелінійній і лінеаризованій системах при вхідному впливі  $u = 1$ .

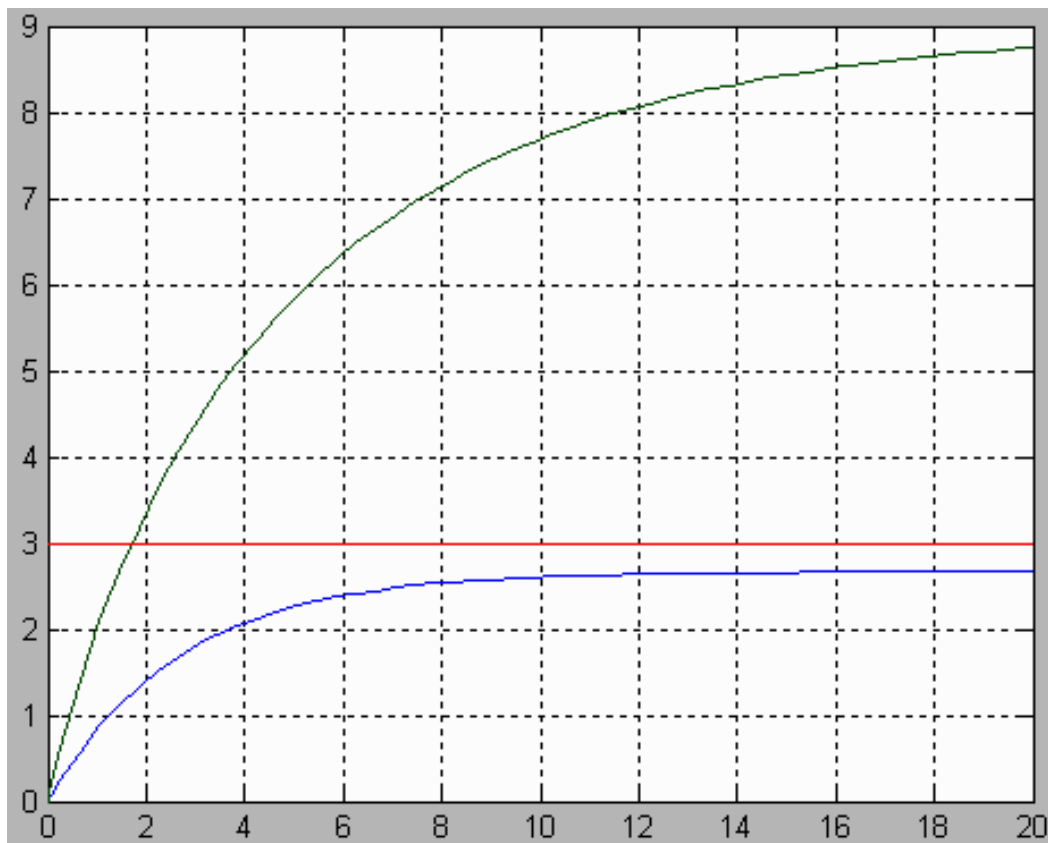


Рисунок 1.5. Процеси в нелінійній і лінеаризованій системах при вхідному впливі  $u = 3$ .

### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ 1

1. Виконати лінеаризацію вихідного нелінійного рівняння. Вид і параметри нелінійного рівняння приведені в табл.1.1.

2. Розробити моделі нелінійного й лінеаризованого рівнянь у термінах пакета simulink (подібно моделі рис.1.2).

3. Виконати моделювання процесів у нелінійній і лінеаризованій системах при заданому значенні вхідного впливу  $u_0$ . Графіки процесів нелінійної й лінеаризованої систем привести в одній системі координат (подібно рис.1.3) і представити у звіті.

4. Виконати моделювання процесів у нелінійній і лінеаризованій системах при відхиленні вхідного впливу від заданого значення  $u_0$  у більшу й меншу сторони. Графіки процесів нелінійної й лінеаризованої систем привести в одній системі координат (подібно рис.1.4 – рис.1.5) і представити у звіті.

Таблиця 1.1. Вихідні дані

№	Вихідне нелінійне рівняння	$u_0$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
1	$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 5(y(t))^3 = 3(u(t))^2 + \frac{du(t)}{dt}$	4
2	$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 3\frac{dy(t)}{dt} + \frac{3}{y(t)} = 4\sqrt{u(t)} + \frac{d^2 u(t)}{dt^2}$	2
3	$0,5\frac{dy(t)}{dt} + \frac{0,5}{y^2(t)} = 4\frac{\sqrt{u(t)}}{u(t)} + \frac{du(t)}{dt}$	9
4	$\frac{d^3 y(t)}{dt^3} + 1,5\frac{dy(t)}{dt} + \frac{0,1}{y^4(t)} = \frac{d^2 u(t)}{dt^2} + 3\frac{\sqrt{u(t)}}{u^3(t)} + \frac{du(t)}{dt}$	9
5	$\frac{d^3 y(t)}{dt^3} + \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + y^4(t) = \frac{d^2 u(t)}{dt^2} + 3\frac{1}{u^3(t)} + \frac{du(t)}{dt}$	5
6	$2\frac{dy(t)}{dt} + \frac{0,5}{y(t)} = 4\frac{\sqrt{u^3(t)}}{u(t)} + \frac{du(t)}{dt} + \frac{d^2 y(t)}{dt^2}$	4
7	$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 0,5\frac{dy(t)}{dt} + \frac{(y(t))^2}{2u(t)} = 4(u(t))^3 + \frac{du(t)}{dt}$	3
8	$2\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + \frac{dy(t)}{dt} + \frac{5}{e^{y(t)}} = \sqrt{u(t)} + 4\frac{du(t)}{dt}$	9
9	$1,5\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 3\frac{dy(t)}{dt} + \frac{1}{y^3(t)} = \frac{u(t)}{2\sqrt{u(t)}} + 4\frac{du(t)}{dt}$	4
10	$2\frac{d^3 y(t)}{dt^3} + 0,5\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + \frac{e^{y(t)}}{y^3(t)} = 3\frac{d^2 u(t)}{dt^2} + 4\frac{y(t)}{u^2(t)} + \frac{du(t)}{dt}$	5
11	$0,8\frac{dy(t)}{dt} + \frac{y^2(t)}{u(t)} = 3\frac{\sqrt{u^3(t)}}{y(t)} + 1,8\frac{du(t)}{dt} + \frac{d^2 y(t)}{dt^2}$	4
12	$0,9\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + \frac{dy(t)}{dt} + \frac{2}{3e^{u(t)}} = \frac{e^{y(t)}}{\sqrt{u(t)}} + 2\frac{du(t)}{dt}$	9
13	$2\frac{dy(t)}{dt} + \frac{3u(t)}{y^2(t)} = 4\frac{e^{y(t)}}{\ln u(t)} + \frac{du(t)}{dt} + 5\frac{d^2 y(t)}{dt^2}$	3

## Закінчення таблиці 1.1

1	2	3
14	$2,5 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 1,5 \frac{dy(t)}{dt} + \frac{\ln u(t)}{\sqrt{u(t)}} = \frac{u(t)}{(y(t))^2} + 3 \frac{du(t)}{dt}$	9
15	$2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 3,5 \frac{dy(t)}{dt} + \frac{(y(t))^3}{\sqrt{2u(t)}} = 5 \ln(u(t))^3 + \frac{du(t)}{dt} + 3 \frac{d^2 u(t)}{dt^2}$	4
16	$1,6 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + \frac{dy(t)}{dt} + 3y(t)e^{u(t)} = \ln \sqrt{u(t)} + 2 \frac{du(t)}{dt} + 0,5 \frac{d^2 u(t)}{dt^2}$	9
17	$2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 1,5 \frac{dy(t)}{dt} + \frac{3\sqrt{u(t)}}{y(t)} = y(t)u(t) + \frac{d^2 u(t)}{dt^2}$	4
18	$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + u(t)(y(t))^2 = 2\sqrt{u(t)} + \frac{du(t)}{dt}$	5
19	$4 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + \frac{dy(t)}{dt} + u(t) \ln y(t) = 3e^{u(t)} + \frac{du(t)}{dt}$	3
20	$0,5 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 4 \frac{dy(t)}{dt} + \frac{\ln u(t)}{3y(t)} = e^{u(t)}(y(t))^2 + 2 \frac{du(t)}{dt}$	5

## ЗАВДАННЯ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ САУ

Вивчення основних принципів автоматичного управління здійснюється на основі моделі двигуна постійного струму незалежного збудження, охопленого системою автоматичного регулювання різноманітної структури.

Схема електричного двигуна постійного струму приведена на рис.2.1.

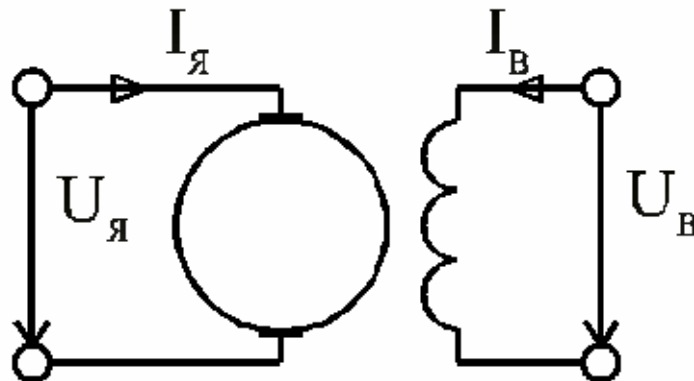


Рисунок 2.1 – Двигун постійного струму незалежного збудження

У такому двигуні управління швидкістю обертання вала може провадитися з боку живлення ланцюга якоря або обмотки збудження. Керованою координатою для двигуна звичайно служить кут повороту вала  $j$  або швидкість його обертання  $w = \frac{dj}{dt}$ .

Під зовнішнім впливом розуміють сили, що діють на вал двигуна, які обумовлені тертям і механічним опором (навантаженням) механізму, що приводить у рух.

Якщо керуючим впливом є напруга живлення якоря  $u_{\text{я}}$ , то по величині струму якоря можна судити про навантаження на валу. Струм якоря  $I_{\text{я}}$  можна вважати контрольованою величиною. Під неконтрольованими впливами на двигун розуміють зміни параметрів двигуна, обумовлені нагріванням, зношуванням, зсувом щіток і т.д.

Процеси у двигуні можуть бути описані системою диференціальних рівнянь:

$$u_{\text{Я}} = R_{\text{Я}} i_{\text{Я}} + c_{\text{Д}} w \Phi;$$

$$M_{\text{вр}} = c_{\text{Д}} i_{\text{Я}} \Phi = J \frac{dw}{dt} + M_{\text{тр}} + M_{\text{н}};$$

$J$  - момент інерції механізму, приведений до осі двигуна;

$M_{\text{тр}}$  і  $M_{\text{н}}$  - моменти тертя й навантаження на валу двигуна, залежать від швидкості обертання:  $M_{\text{тр}} = M_{\text{тр}}(w)$ ,  $M_{\text{н}} = M_{\text{н}}(w)$

$u_{\text{Я}}$  - напруга якоря;

$i_{\text{Я}}$  - струм якоря;

$\Phi$  - магнітний потік збудження, який залежить від струму збудження  $\Phi = \Phi(i_{\text{В}})$

При управлінні з боку якоря характеристика управління  $w = w(u_{\text{Я}})$  носить монотонний характер і з ростом напруги живлення якоря швидкість обертання вала зростає.

### **Основні принципи регулювання**

При зображенні систем управління застосовують два принципи - функціональний і структурний принцип і відповідно схеми підрозділяються на функціональні й структурні схеми. Математичні моделі Simulink також являють собою структурні схеми, тому опис моделі й САР однотипні, що істотно полегшує розуміння процесів функціонування САР.

### **Розімкнуті системи автоматичного регулювання**

Системи управління розділяються на розімкнуті й замкнуті системи. Управління по розімкнутому циклу здійснюється без контролю результату (рис.2.2).

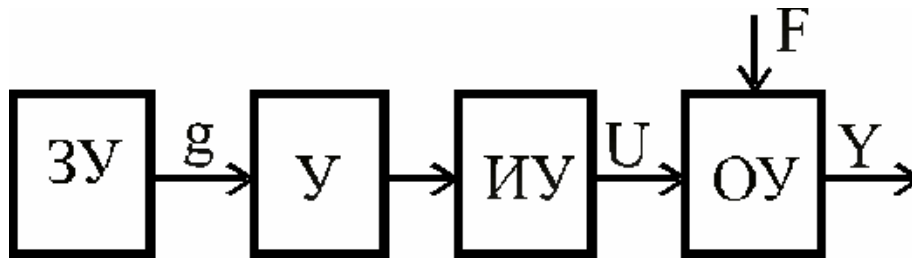


Рисунок 2.2 – Функціональна схема розімкнутої САР

ЗУ - пристрій, що задає; У - підсилювач; ИУ - виконавчий пристрій;

$g$  - вплив, що задає  $U$ ; - керуючий вплив;

$Y$  - вихідна величина;  $F$  - вплив, що збурює.

Таке управління називається жорстким. Розімкнуті системи застосовуються для стабілізації й програмного управління.

Задаючий пристрій, виробляє задаючий вплив  $g$ , у відповідності, з яким встановлюється керуючий вплив  $U$ . Керуючим називається вплив, який виробляється виконавчим пристроєм (виконавчим елементом). Цей вплив надходить на об'єкт управління й визначає значення вихідної величини. На об'єкт управління крім керуючого завжди діє інший вплив, який називають збурюючим впливом. Збурюючих впливів може бути декілька. Збурюючий вплив порушує зв'язок між керуючим впливом і вихідною величиною об'єкта. При постійному задаючому впливі  $g$ , зміна збурюючого впливу  $F$  викликає зміну вихідної  $Y$  величини (рис.2.3,а). Більшість пристроїв систем управління є інерційними.

Сталий режим роботи настає лише після закінчення деякого часу. У сталому режимі роботи властивості системи можна охарактеризувати за допомогою навантажувальної характеристики. Навантажувальна характеристика являє собою залежність вихідної величини системи від збурюючого впливу  $Y = f(F)$  (рис.2.3,б).

У розімкнутій системі навантажувальна характеристика - це характеристика об'єкта. Вона не залежить від інших елементів (підсилювача, виконавчого пристрою). Будь-які зміни збурюючого впливу, викликають зміни

вихідної величини. Розімкнуту систему можна оцінити по величині відхилення вихідного сигналу  $\Delta Y$  під впливом збурюючого впливу  $F$ .

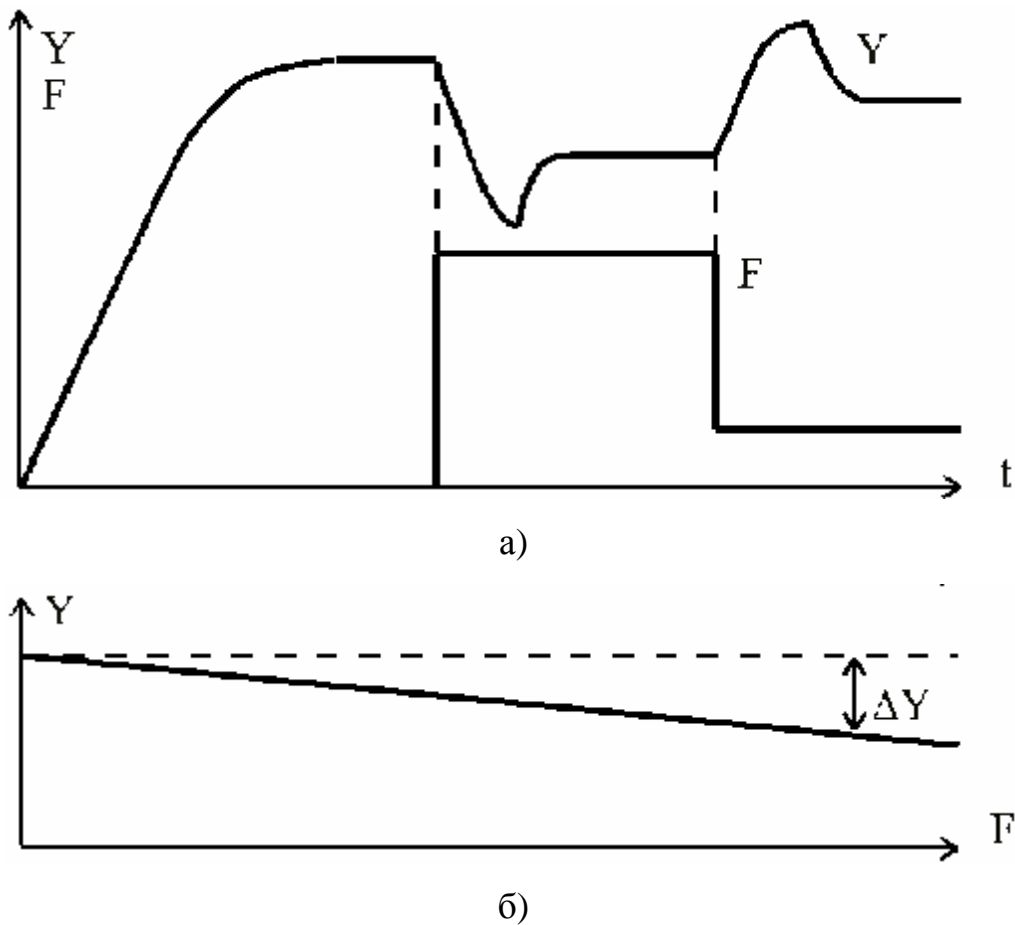


Рисунок 2.3 – Зміна вихідних величин при зміні збурюючого впливу (а) і навантажувальна характеристика розімкненої САР (б)

### **Системи автоматичного управління по збурюванню (системи компенсації)**

Розімкнуті системи з управлінням по збурюванню характерні тим, що керуючий сигнал формується залежно від величини основного збурюючого впливу. Ці системи призначені для зменшення впливу збурення на вихідну величину об'єкта управління шляхом вимірювання самого цього впливу й компенсації його за рахунок штучного впливу на процес (рис.2.4).



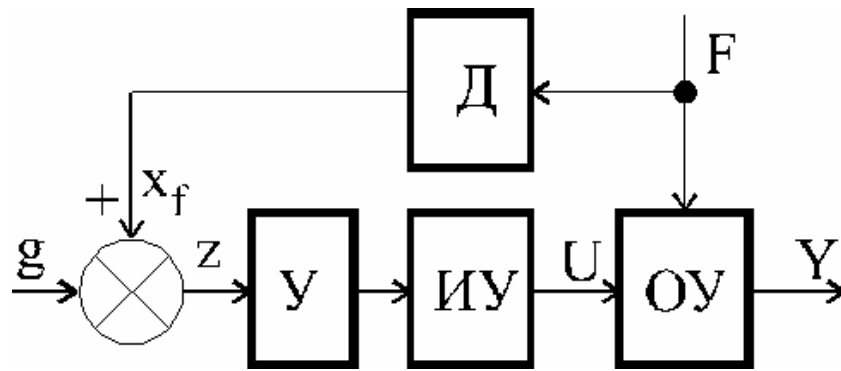


Рисунок 2.4 – Функціональна схема САР по збурюванню

Д - датчик збурюючого впливу;

$x_f$  - сигнал, що пропорційний збурюючому впливу;

$z$  - сигнал на вході підсилювача.

У розглянутій системі  $z = g + x_f$ . Можна вважати, що сигнал  $x_f$  пов'язаний із збурюючим впливом співвідношенням  $x_f = k_f F$ ,  $k_f$  де - коефіцієнт передачі датчика.

З розгляду кривих рис.2.5 видно, що система управління по збуренню має сімейство навантажувальних характеристик рис.2.6.

У розглянутій системі навантажувальні характеристики залежать не тільки від властивостей об'єкта, але й від властивостей пристроїв керуючої частини системи. Підбираючи коефіцієнт підсилення підсилювача або коефіцієнт передачі датчика можна отримати необхідну навантажувальну характеристику системи.

Достоїнства систем управління по збуренню:

1. У системах управління по збуренню можна домогтися повної компенсації впливу збурення, на вихідну величину в сталому режимі роботи.

2. Ці системи повинні швидко реагувати на мінливий збурюючий вплив, тому що зміна сигналу на виході підсилювача відбувається одночасно зі зміною збурюючого впливу.

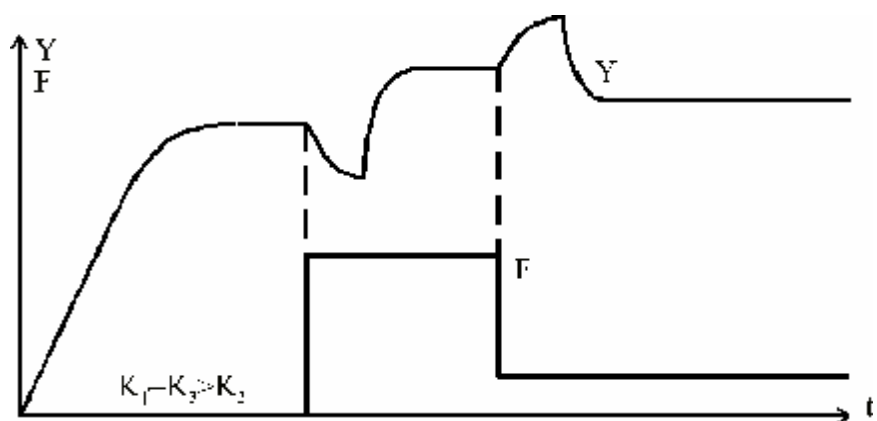
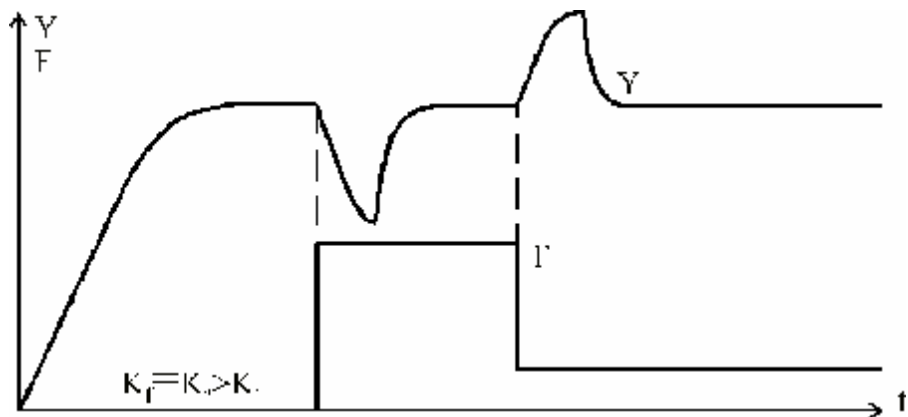
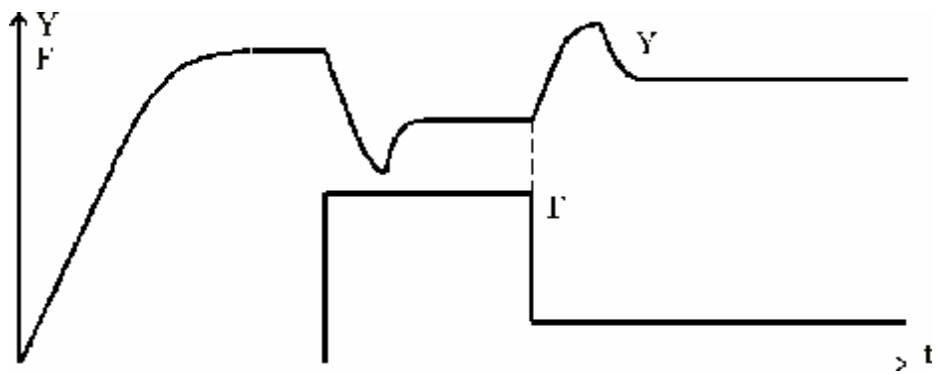


Рисунок 2.5 – Зміна вихідного сигналу при зміні збурюючого впливу для різних значень коефіцієнта  $k$

Недоліки систем управління по збурюванню:

1. У системах управління на об'єкт діє кілька збурюючих впливів. Ті збурювання, які не можливо виміряти, будуть викликати зміну вихідної величини.

2. Труднощі виміру збурюючих впливів. У ряді випадків збурюючі впливи важко виміряти, наприклад, момент опору на валу двигуна.

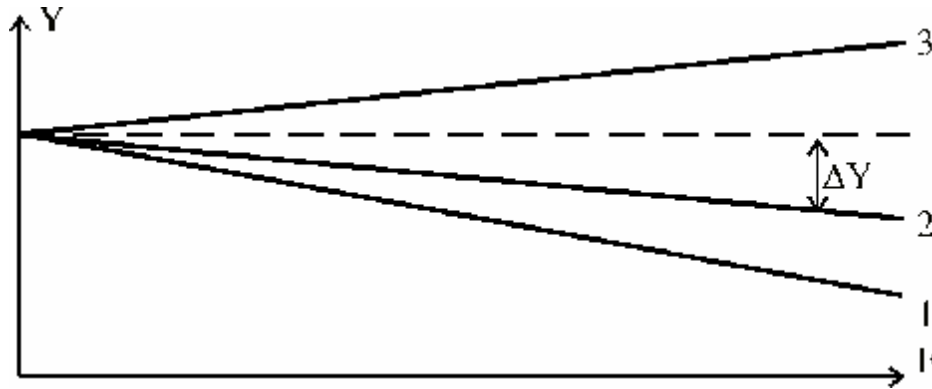


Рисунок 2.6 – Сімейство навантажувальних характеристик САР по збурюванню

**Замкнуті системи автоматичного регулювання (принцип зворотного зв'язка)**

У замкнутих САР керуючий вплив  $U$  формується в безпосередній залежності від керованої величини  $Y$  (рис.2.7).

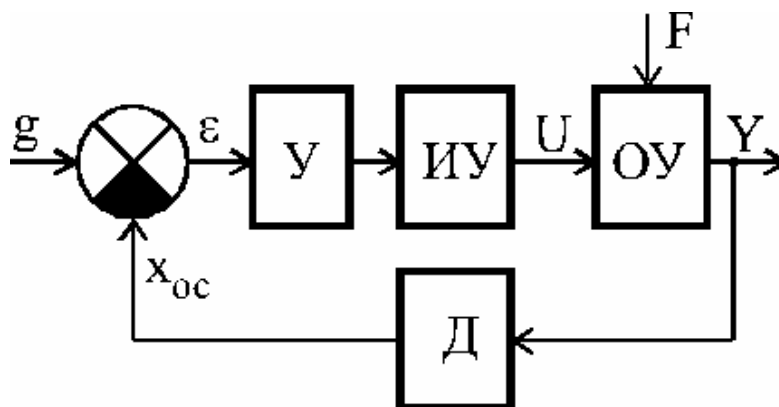


Рисунок 2.7 – Функціональна схема замкнутої САР

У замкнутій системі сигнал з виходу датчика  $Д$ , що вимірює вихідну величину, надходить на вхід системи. Такий зв'язок входу системи з його виходом називається зворотним зв'язком.

Сигнал на вході підсилювача дорівнює  $e = g - x_{oc}$ .

У цій схемі  $e$  - відхилення сигналу зворотного зв'язка  $x_{oc}$  від задаючого впливу. Якщо із задаючого впливу  $g$  віднімати вихідну величину  $Y$ , то  $e$  буде представляти відхилення регульованої величини від заданого значення.

Розглянемо, як можуть змінюватися координати системи:  $e$  - відхилення,  $U$  - керуючий вплив,  $Y$  - вихідна величина при включенні системи в роботу й при зміні збурюючого впливу  $F$ , (рис.2.8).

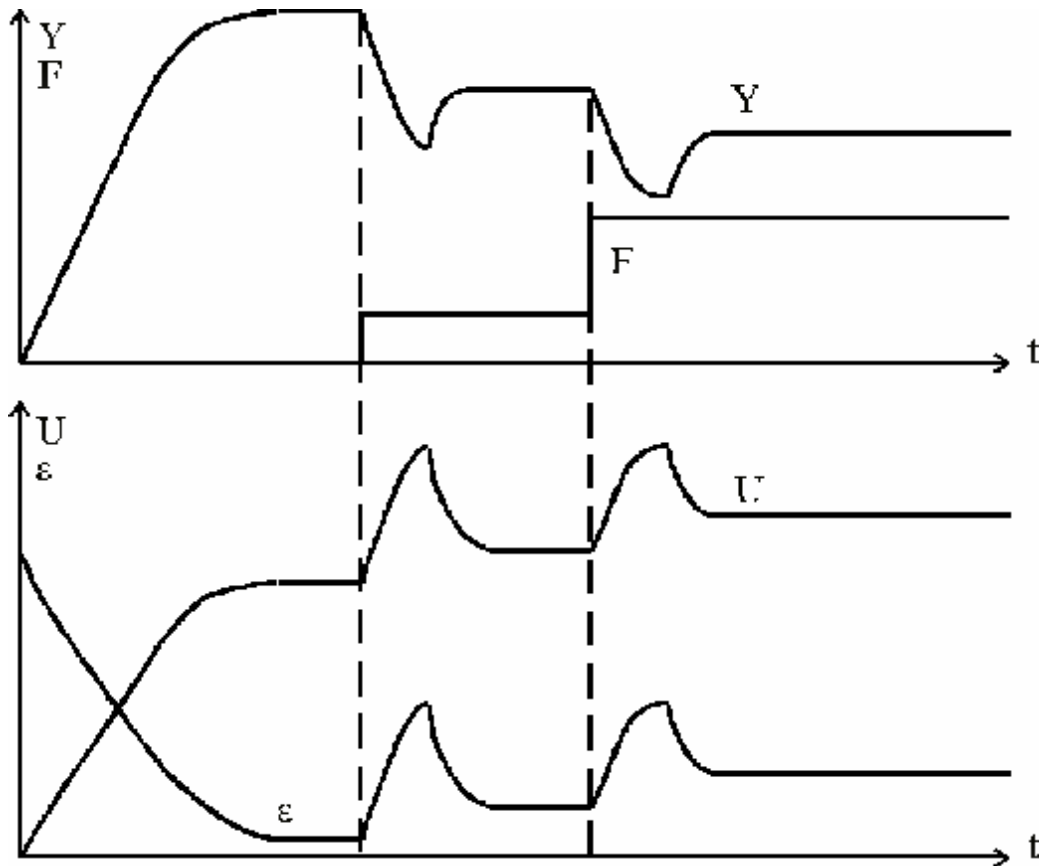


Рисунок 2.8 – Зміна координат замкнутої статичної САР

Будемо думати, що залежності отримані при коефіцієнті підсилення підсилювача  $k_1$ . Роботу системи можна описати в такий спосіб. При включенні системи, коли  $x_{oc} = 0$ , величина відхилення  $e$  має максимальне значення. Керуючий вплив  $U$  починає збільшуватися, внаслідок чого збільшується вихідна величина  $Y$ . У міру збільшення  $Y$  відхилення  $e$  зменшується й настає сталий режим роботи.

Збільшення  $F$  викликає зменшення вихідної величини  $Y$  й збільшення відхилення  $e$ , що приводить до збільшення керуючого впливу  $U$  й, отже, до збільшення вихідної величини.

Однак  $Y$  не може досягти колишнього значення, тому що збільшення керуючого впливу можливо лише при збільшенні  $e$ . Збільшимо коефіцієнт підсилення підсилувача. Нехай  $k_2 > k_1$ . Розглянемо зміну координат у цьому випадку (рис.2.9).

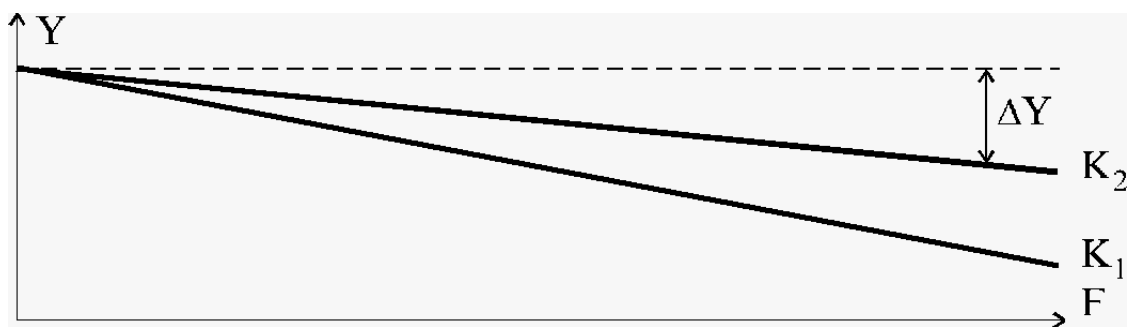


Рисунок 2.9 – Навантажувальні характеристики замкнутої статичної САР

У замкнутій системі керуючий вплив  $U$  формується у функції відхилення  $e$ . Замкнуті системи називаються системами автоматичного регулювання по відхиленню.

У замкнутій системі регулювання, вибираючи необхідне значення коефіцієнта підсилення можна отримати необхідну навантажувальну характеристику. У розглянутій системі зі збільшенням збурюючого впливу зменшується вихідна величина. Кожному новому значенню збурюючого впливу відповідає нове значення вихідної величини. Таке регулювання називається **статичним**. Система автоматичного регулювання, що має подібну навантажувальну характеристику, називається статичною системою.

### Астатичне регулювання

Ми розглянули систему, у якій вихідна величина при зміні збурюючого впливу також змінюється. Існують автоматичні системи регулювання, у яких у сталому режимі роботи вихідна величина не залежить від збурюючого впливу. У цих системах відсутній пропорційний зв'язок у сталому режимі роботи між керуючим впливом і величиною відхилення. Включимо в систему пристрій, у якого вихідна величина пов'язана із вхідною наступною залежністю:

$$Y_{вых} = \int Y_{вх} dt .$$

Збільшення  $F$  викликає зменшення вихідної величини  $Y$  й збільшення відхилення  $e$ , що приводить до збільшення керуючого впливу  $U$  й, отже, до збільшення вихідної величини (рис.2.10).

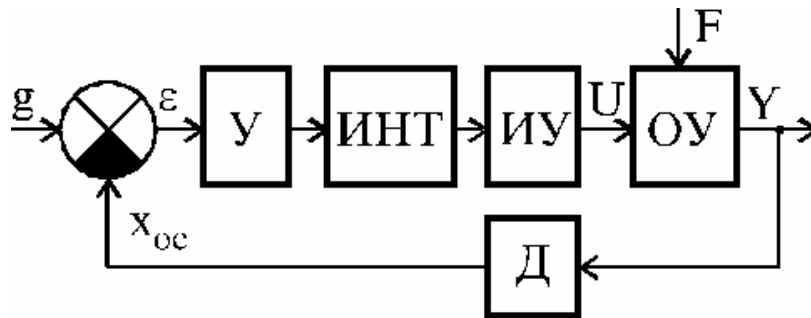


Рисунок 2.10 – Функціональна схема астатичної САР  
«ИНТ»- інтегруючий пристрій

Представимо, як можуть змінюватися координати системи:  $e$  - відхилення,  $g$  - керуючий вплив,  $Y$  - вихідна величина при включенні системи в роботу й при зміні збурюючого впливу (рис.2.11).

У розглянутій системі сталий режим роботи можливий лише в тому випадку, коли величина відхилення дорівнює нулю. Тільки в цьому випадку вихідна координата інтегруючого пристрою не буде змінюватися. Навантажувальна характеристика системи буде мати вигляд прямої, паралельної осі збурюючого впливу.

Системи, у яких стале значення вихідної величини не залежить від збурюючого впливу, називаються астатичним. Регулювання називається астатичним. Регулятор і об'єкт називаються астатичними, якщо вони мають здатність інтегрувати вхідний сигнал.

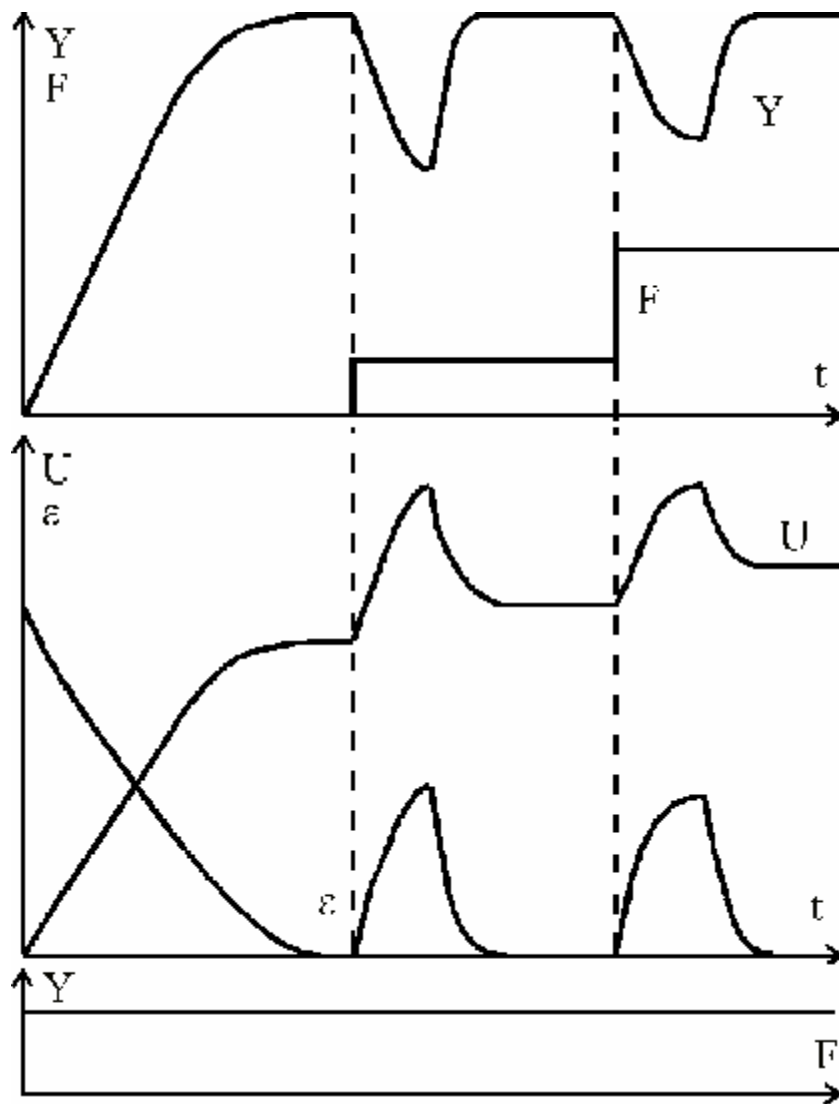


Рисунок 2.11 – Зміна координат замкнутої астатичної системи

**Комбіновані системи автоматичного керування**

Комбіновані системи автоматичного регулювання представляють сукупність двох систем: САР по відхиленню й САР по збурюванню (рис.2.12).

У такій системі сигнал на вході підсилювача дорівнює

$$z = g - x_{oc} + x_f$$

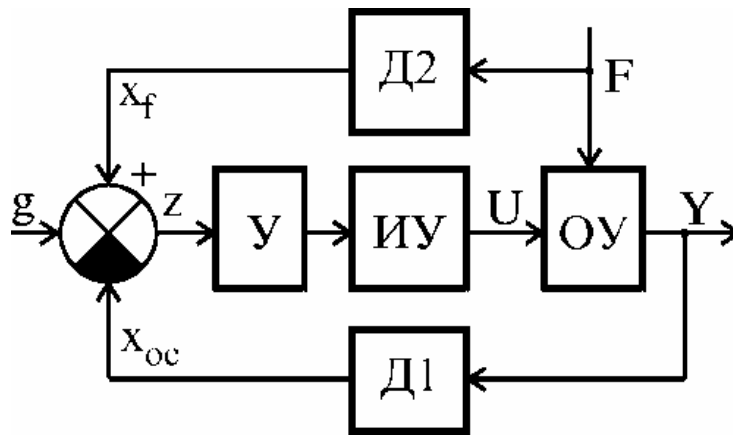


Рисунок 2.12 – Функціональна схема комбінованої САР

### ОПИС МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Структура моделі приведена на рисунку 2.13.

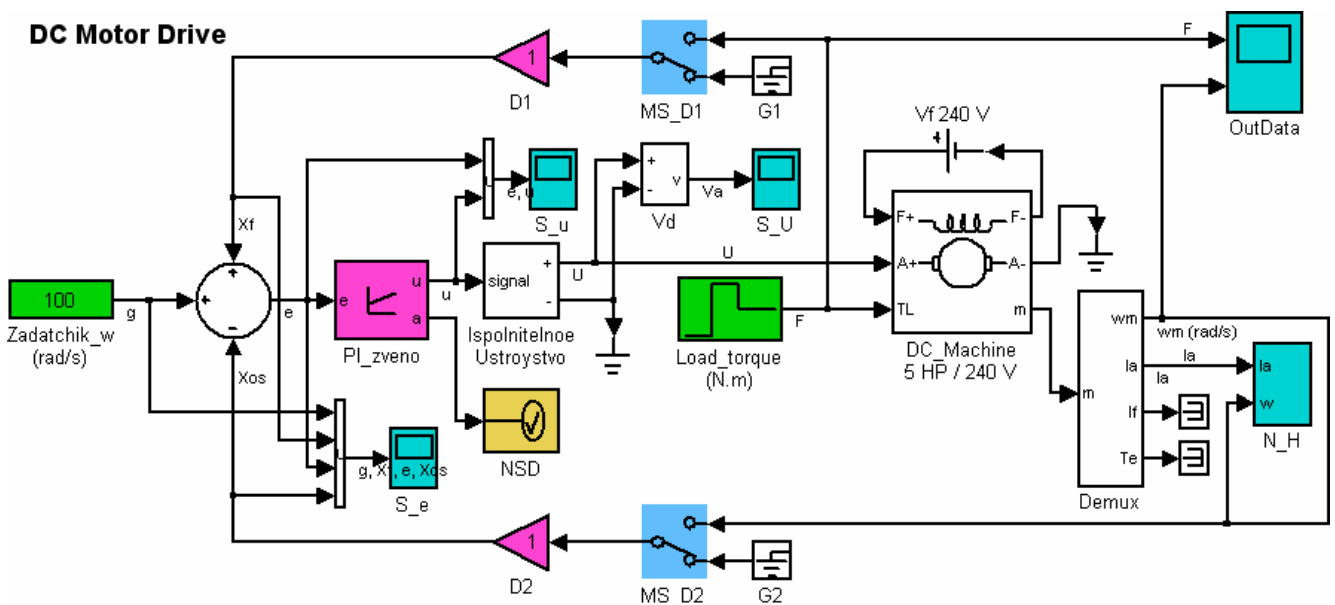


Рисунок 2.13 – Структурна схема моделі

Модель представляє сукупність блоків, що моделюють роботу двигуна постійного струму й системи автоматичного регулювання (САР).

Блоки моделі мають колірне забарвлення, що дозволяє зрозуміти їхнє призначення. Зеленими кольорами виділені блоки, що задають вхідні параметри САР. Бірюзовими кольорами виділені блоки, що відображають поведінку системи під час моделювання, тобто виробляють побудову графіків різних сигналів. Червоними кольорами виділені блоки, відповідальні за



поведінку САР, параметри цих блоків буде необхідно змінювати під час дослідження системи. Синіми кольорами виділені блоки, що дозволяють швидко змінювати тип досліджуваної САР, тобто змінювати зв'язки в САР. Жовтими кольорами виділений блок, що здійснює контроль за лінійністю САР.

Zadatchik\_w задає величину обертів вала двигуна. Цю величину необхідно задавати у відповідність із варіантом завдання.

Блок Load\_torque задає величину збурювання для САР, тобто момент навантаження на валу двигуна. Навантаження задається за допомогою зміненого блоку повторюваної послідовності. При дослідженні поведінки САР краще використовувати форму, яка приведена на рисунку 2.14. А при одержанні статичної навантажувальної характеристики системи краще використовувати форму, яка приведена на рисунку 2.15.

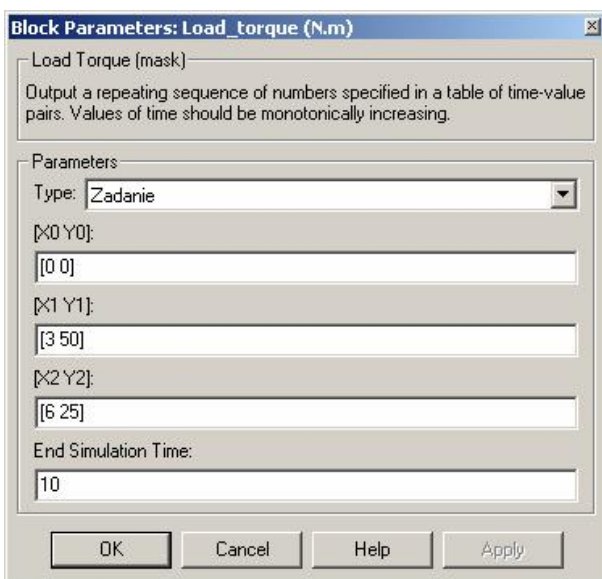


Рисунок 2.14 - Вікно настроювання параметрів блоку Load\_torque

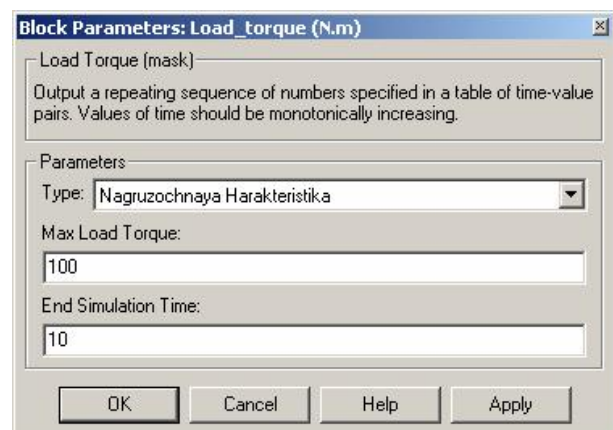


Рисунок 2.15 – Вікно настроювання параметрів блоку Load\_torque

Також існує можливість задати звичайну повторювану послідовність, але з тою різницею, що час зупинки моделювання додатково задається в цьому блоці. Необхідно стежити, щоб час зупинки моделювання, зазначений в цьому блоці був менше, ніж у настроюваннях параметрів моделювання всієї моделі.

На рисунку 2.16 показаний графік збурювання для системи, на якому відзначені точки, що задані у варіантах завдання, і які необхідно вказати в параметрах маски блоку.

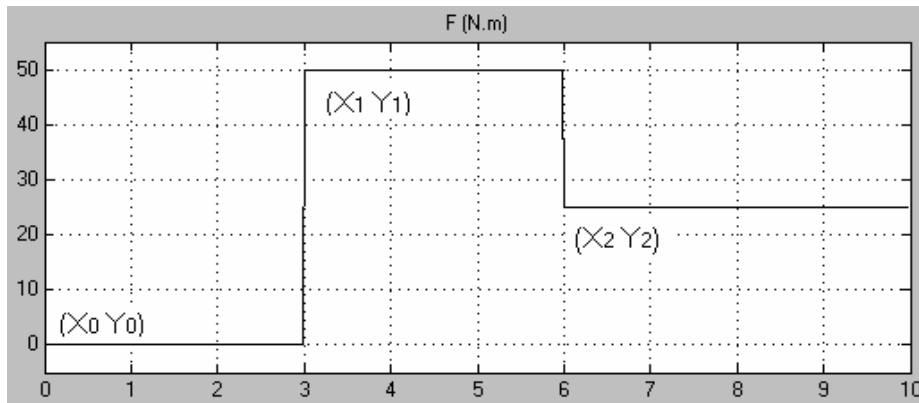


Рисунок 2.16 - Графік збурювання для блоку Load\_torque

Слід зазначити, що всі приведені в роботі графіки отримані з використанням змінених функцій блоків Scope і XY Graph. Докладніше про внесення подібних змін в MATLAB розказано в пункті про оформлення результатів роботи.

Тепер розглянемо блоки, які відповідають за відображення результатів моделювання. В основному це блоки Scope. Блок S\_e показує чотири види сигналів –  $g$ ,  $Xf$ ,  $e$ ,  $Xos$ .

На рисунку 2.17 показані можливі форми цих графіків. Колірне позначення сигналів наступне:

- $g$  – чорний;
- $Xf$  – червоний;
- $e$  – жовтий;
- $Xos$  – зелений.

Блок S\_u показує два види сигналів –  $e$ ,  $u$ . На рисунку 2.18 показані можливі форми цих графіків. Колірне позначення сигналів наступне:

- $e$  – чорний;
- $u$  – червоний;

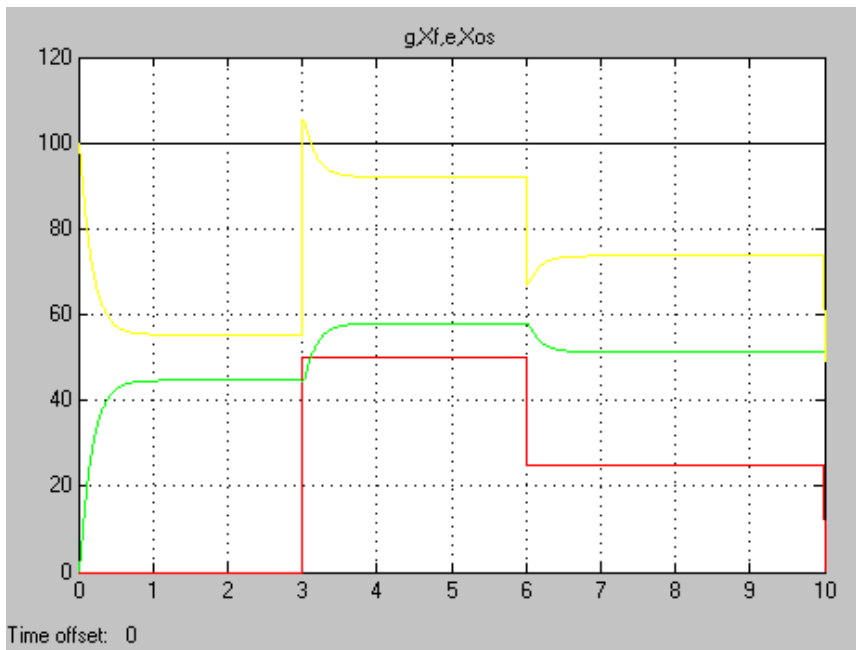


Рисунок 2.17 - Графіки блоку  $S_e$

Варто звернути увагу, що графік  $u$  не повинен доходити до значення 240, інакше включиться обмеження цього сигналу саме на величині 240 і система перестане бути лінійною.

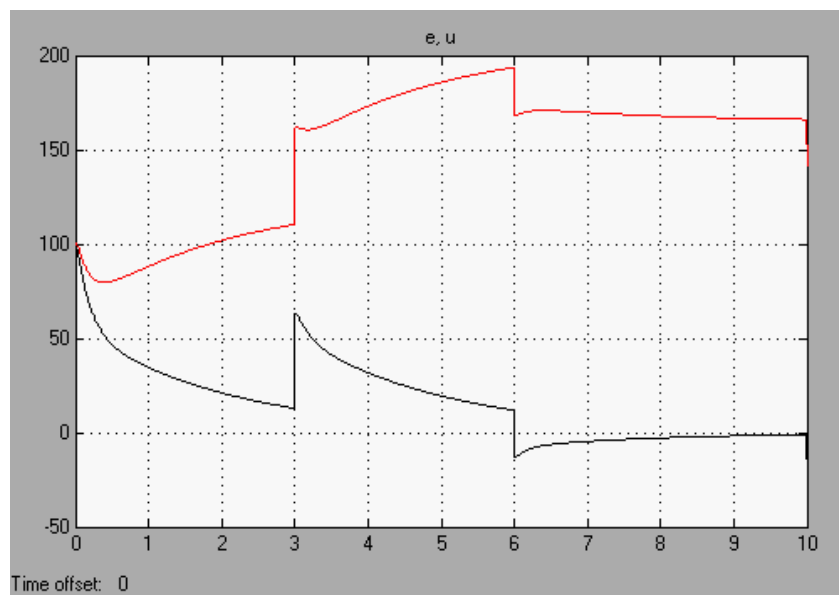


Рисунок 2.18 - Графіки блоку  $S_u$

Блок  $S_U$  показує один сигнал  $V_a$  - напруга на якорі двигуна (рис.2.19). Цей сигнал ідентичний сигналу  $u$  на графіках блоку  $S_u$ .

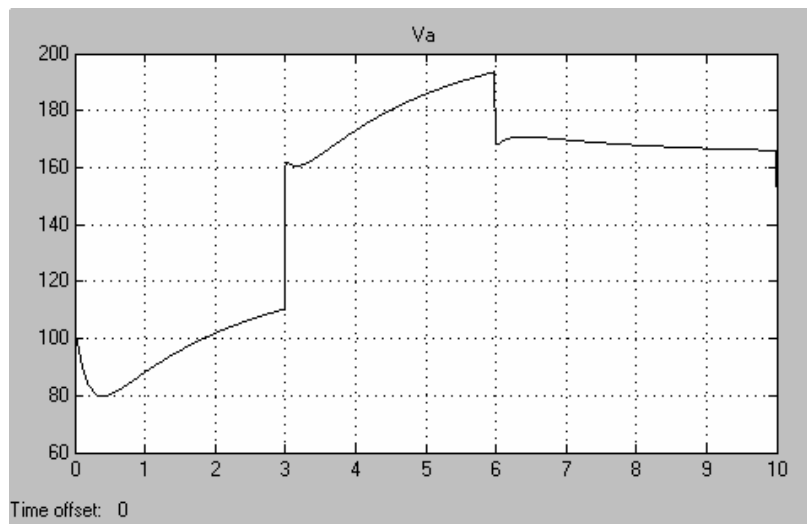


Рисунок 2.19 - Графіки блоку S\_U

Блок OutData показує два сигнали –  $F$  і  $W_m$  – збурюючий вплив, і величину обертів вала двигуна відповідно (рис.2.20). Аналізом саме цих графіків варто займатися при оцінці поведінки САР.

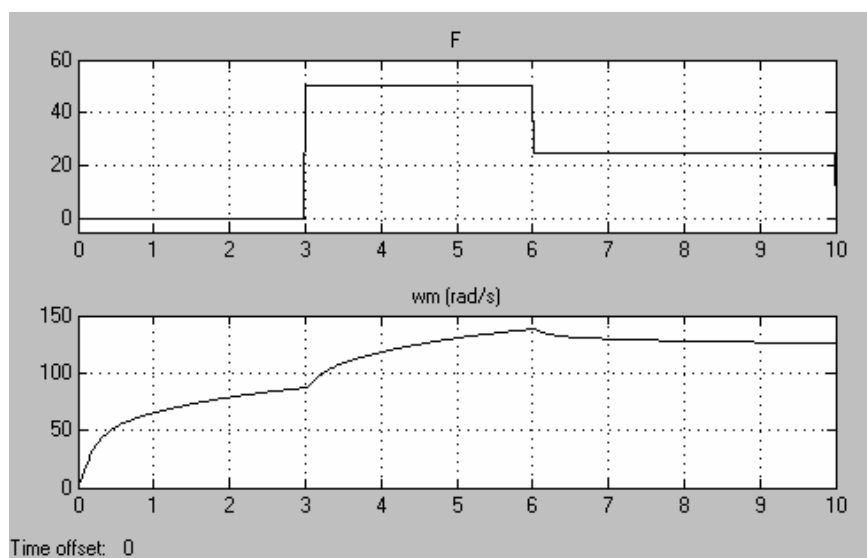


Рисунок 2.20 - Графіки блоку OutData

Блок N\_H трохи відрізняється від інших блоків, що відображають сигнали. Цей блок призначений для побудови навантажувальної характеристики й має ряд додаткових налаштувань. Є наступні режими роботи блоку:

Disable - характеристика не будується;

Enable Any Ways - характеристика будується під час моделювання без обмежень,

Enable On Gradient - характеристика будується під час моделювання, для тих відрізків сигналів, які задовольняють умовам малої швидкості зміни сигналу, тобто коли ці сигнали близькі до постійного.

Plot After Simulation In Any Ways - графік будується після моделювання в окремому вікні без обмежень на сигнали;

Plot After Simulation On Gradient - графік будується після моделювання в окремому вікні з обмеженнями сигналу по швидкості зміни.

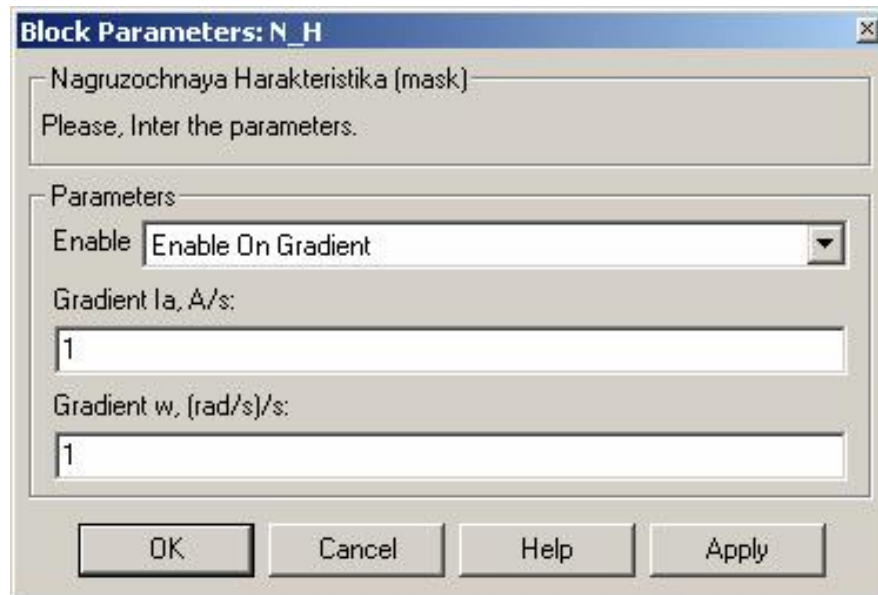


Рисунок 2.21 - Маска блоку N\_H

На рисунках 2.22 і 2.23 показані графіки без урахування швидкості зміни й з НИМ.

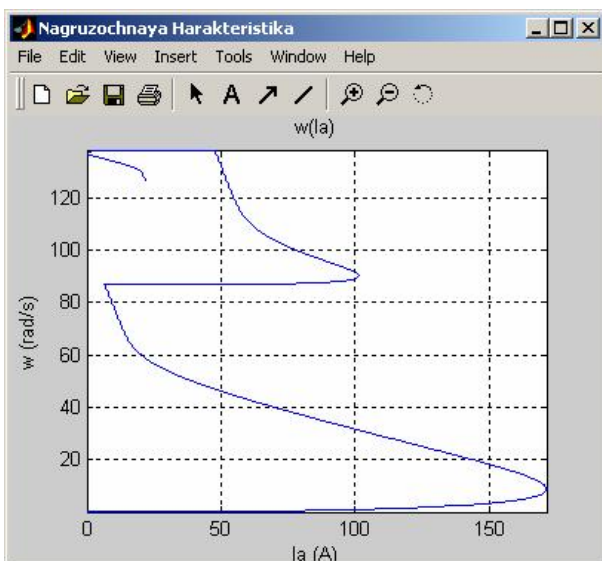


Рисунок 2.22 - Графіки блоку N\_H

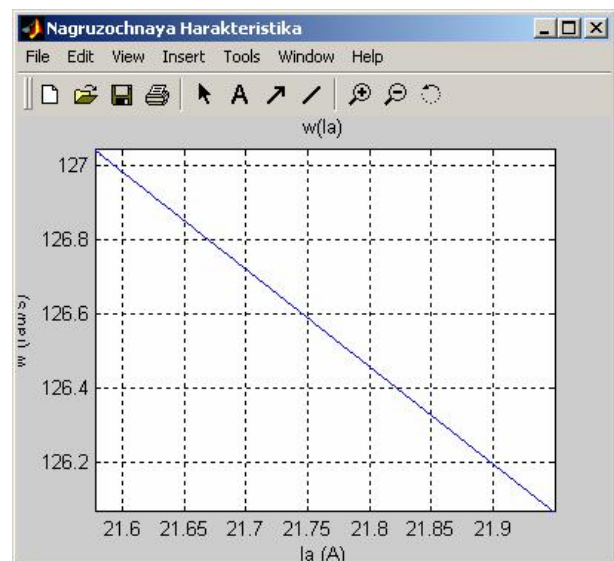


Рисунок 2.23 - Графіки блоку N\_H

Подібні настроювання блоків дозволяють отримувати як динамічні, так і близькі до статичних навантажувальні характеристики. Побудова графіків навантажувальних характеристик під час симуляції значно сповільнює розрахунок моделі, тому додатково додана можливість побудови графіків після розрахунку моделі.

Розглянемо блоки, відповідальні за настроювання параметрів САР. Це блоки D1 – датчик збурюючого впливу, D2 - датчик обертів вала двигуна, PI\_zveno - пропорційно-інтегральна ланка. Блоки датчиків являють собою підсилювачі й дозволяють настроїти коефіцієнти перетворення сигналів датчиків. Змінюючи величину посилення можна домогтися різноманітного поведження системи.

PI\_zveno (пропорційно-інтегральна ланка) задає коефіцієнти підсилення підсилювача  $k_p$  й інтегратора  $k_i$ . Ланка реалізує наступну передаточну функцію  $W(p) = k_p + \frac{k_i}{p}$  (рис.2.24).

Задаючи значення параметра рівним нулю, можна створити тільки пропорційний або тільки інтегральний блок. Величина обмеження напруги необхідна для захисту двигуна й не може бути змінена.

Треба з обережністю виставляти всі коефіцієнти, оскільки неправильне їхнє виставляння може привести до того, що система стане нелінійною, а це неприпустимо.


Для швидкого й зручного настроювання системи в моделі передбачено два ключі, які управляються вручну. MS\_D1 дозволяє включати або відключати зв'язок по датчику D1. MS\_D2 дозволяє включати або відключати зворотний зв'язок по датчику D2. Відключення зв'язку по датчику рівносильне тому, що в датчику встановлюється коефіцієнт підсилення який дорівнює нулю.

Блок NSD робить контроль за лінійністю САР. Якщо система стає нелінійною, то моделювання припиняється й видається повідомлення про відповідну помилку. Звичайно це відбувається при неправильному виставлянні коефіцієнтів підсилення.



Рисунок 2.24 - Маска блоку PI\_zveno

З іншими блоками можна познайомитися самостійно. Їхнє функціонування не відрізняється від їхнього звичайного режиму роботи. Настроювання й зміна цих блоків небажані.

Для реалізації різного виду САР необхідно змінювати зв'язки в моделі за допомогою ключів MS\_D1 і MS\_D2. Розімкнутим вважається стан, коли рисунок на блоці вказує на з'єднання із блоком землі  (Ground). Для реалізації розімкнутої САР необхідно розімкнути обидва блоки. Для реалізації САР по збурюванню необхідно замкнути тільки ключ MS\_D1. Для реалізації замкнутої САР і САР з астатичним регулюванням необхідно замкнути тільки ключ MS\_D2. Для реалізації комбінованої САР необхідно замкнути обидва ключі.

При зміні різних коефіцієнтів підсилення варто дотримуватися декількох наступних правил.

Коефіцієнти повинні бути ненегативними числами. При виставлянні негативних чисел змінюється або тип зворотного зв'язка, тобто замість негативної вона стає позитивною, або напрямлення обертання двигуна, що неприпустимо. При виставлянні коефіцієнтів рівними нулі змінюється тип САР. У датчиках D1 і D2 коефіцієнт що дорівнює нулю краще не виставляти зовсім. Коефіцієнт інтегрування в блоці PI\_zveno повинен бути завжди рівним нулю за

винятком дослідів з астатичною САР. Коефіцієнт підсилення в блоці PI\_zveno може дорівнювати нулю тільки в досвідах з астатичною САР, але при цьому можна помітити, що якість регулювання сильно погіршується.

Припустимими межами для зміни коефіцієнтів є такі значення коефіцієнтів, при яких система залишається лінійною, тобто не відбувається обмеження вихідного сигналу в блоці PI\_zveno. Ці значення можна прорахувати як теоретично, так і контролювати під час моделювання. Наприклад, для розімкнутої САР при величині обмеження напруги 240 В и величині задатчика 100 рад/с максимально можливим коефіцієнтом підсилення в блоці PI\_zveno буде 2,4. Якщо цей коефіцієнт буде перевищений, то модель видасть помилку під час моделювання й припинить його. Варто також пам'ятати, що при виставлянні коефіцієнтів близьких до нуля в моделі можуть виникати складності з її розв'язанням.

При зміні коефіцієнтів необхідно заповнювати весь припустимий діапазон від мінімального до максимального. Число досвідів повинне бути не менше 5-ти, найбільш зручне число 6, саме стільки графіків можна розмістити на листі А4 зі зменшенням.

При зміні декількох коефіцієнтів необхідно проводити кілька серій досвідів, коли в ході серії змінюється тільки один коефіцієнт, а іншої виставлений у стан, при якому він впливає на САР (звичайно це 1).

Аналіз отриманих результатів складається в з'ясуванні впливу коефіцієнтів на поведінку системи на якісному рівні. За отриманим даними необхідно виставити коефіцієнти так, щоб якість регулювання була по можливості найкращою, тобто система повинна бути стійкою, система повинна відпрацьовувати завдання з найкращою точністю, перехідні процеси й процеси перерегулювання повинні бути мінімальними. Наприклад, для розімкнутої САР і даних з рисунку 2.16 близьким до найкращого значення коефіцієнта є значення 1,35.



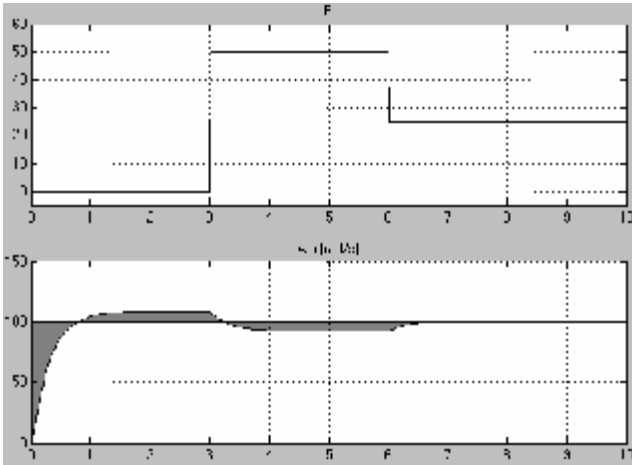


Рисунок 2.25 - Графіки OutData

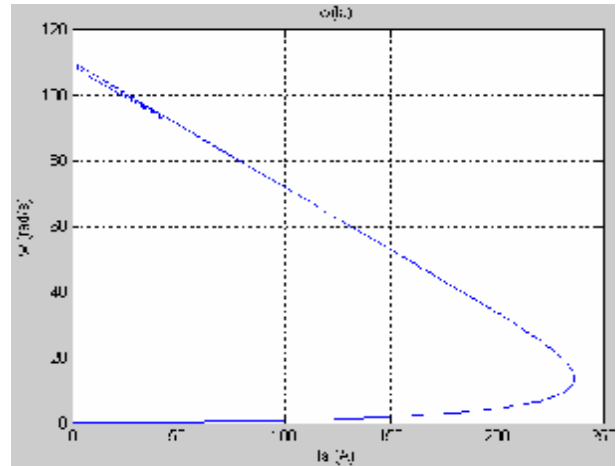


Рисунок. 2.26 - Навантажувальна характеристика

На рисунку 2.25 показані вихідні дані для цього випадку. Площа зафарбованої фігури мінімальна, що відповідає найкращій якості САР.

На рисунку 2.26 показана навантажувальна характеристика системи (динамічна). Вона побудована при налаштуваннях блоку N\_H – Plot After Simulation In Any Ways. Для побудови статичної характеристики необхідно змінити налаштування блоку N\_H на Plot After Simulation On Gradient і змінюючи параметри блоку Load\_torque домогтися побудови характеристики як можна в більшому діапазоні. Для цього спочатку необхідно виставити максимально можливий момент, що може витримати двигун, а потім виставити час моделювання таким чином, щоб градієнти струму й швидкості були менше припустимих значень. Варто звернути увагу, що одержувані графіки (рис. 2.26) показують не момент на валу двигуна, а струм якоря, ці величини прямо пропорційні, але не рівні.

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ 2

1. Відповідно до заданого варіанта по таблиці 2.1 вибрати зміну навантаження системи  $F$  і задати це в блоці Load\_torque.

2. Реалізуйте розімкнуту САР. Змінюючи коефіцієнт підсилення підсилювача в PI\_zveno у припустимих межах, отримайте графіки вихідної величини. Проаналізуйте отримані результати. На підставі аналізу виставте коефіцієнт так, щоб якість регулювання була по можливості найкращою.

Збережіть отримані графіки для звіту.

3. Реалізуйте САР по збурюванню. Змінюючи коефіцієнт підсилення датчика й підсилювача в PI\_zveno у припустимих межах, отримайте графіки вихідної величини. Проаналізуйте отримані результати. На підставі аналізу виставите коефіцієнти так, щоб якість регулювання була по можливості найкращою. Збережіть отримані графіки для звіту.

4. Реалізуйте замкнуту САР. Змінюючи коефіцієнт підсилення датчика й підсилювача в PI\_zveno у припустимих межах, отримайте графіки вихідної величини. Проаналізуйте отримані результати. На підставі аналізу виставите коефіцієнти так, щоб якість регулювання була по можливості найкращою. Збережіть отримані графіки для звіту.

5. Реалізуйте САР з астатичним регулюванням. Змінюючи коефіцієнт підсилення датчика, підсилювача й інтегратора в PI\_zveno у припустимих межах, одержите графіки вихідної величини. Проаналізуйте отримані результати. На підставі аналізу виставите коефіцієнти так, щоб якість регулювання була по можливості найкращою. Збережіть отримані графіки для звіту.

6. Реалізуйте комбіновану САР. Змінюючи будь-які коефіцієнти підсилення в припустимих межах отримайте графіки вихідної величини. Проаналізуйте отримані результати. На підставі аналізу виставите коефіцієнти так, щоб якість регулювання була по можливості найкращою. Збережіть отримані графіки для звіту.

Таблиця 2.1. Варіанти навантаження системи (Блок Load\_torque)

Варіант	Дані						
	w	X0	Y0	X1	Y1	X2	Y2
1	100	0	0	1	10	2,5	7,5
2	90	0	0	1,5	15	3,5	8
3	100	0	0	2	20	4,5	10
4	90	0	0	2,5	25	5,5	15
5	80	0	0	3	30	6	17
6	100	0	0	3,5	35	6,5	20
7	90	0	0	4	40	7	25
8	100	0	0	4,5	45	7,5	30
9	80	0	0	5	50	8	35
10	100	0	0	2,5	55	4,5	25
11	90	0	0	3	60	5,5	35
12	100	0	0	3,5	65	6	40
13	80	0	0	4	70	6,5	45
14	100	0	0	4,5	75	7	55
15	90	0	0	5	80	7,5	65
16	100	0	0	2,5	35	5	18
17	90	0	0	3	40	6	28
18	100	0	0	3,5	50	7	35
19	80	0	0	2	35	6	15
20	100	0	0	4	60	8	30

## ЛІТЕРАТУРА

- 1 Ксеневич И.П., Тарасик В.П. Теория и проектирование автоматических систем: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1996. – 480 с.
- 2 Гудвин Г.К., Гребе С.Ф., Сальгадо М.Э. Проектирование систем управления.- М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004.- 911 с.
- 3 Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью.- М.: Лаборатория Базовых знаний.- 2001 - 616 с.
- 4 Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления.- М.: Лаборатория Базовых знаний.- 2002 - 832 с.
- 5 Густав Олсон, Джангуидо Пиани Цифровые системы автоматизации и управления. Санкт-Петербург, 2001
- 6 Ефимов В.Т., Молчанов В.И., Ефимов А.В. Методы расчетов в автоматизации химико-технологических и теплоэнергетических процессов: Учебное пособие. Харьков, 1998.
- 7 Груба В.И., Никулин Э.К., Оголобченко А.С. Технические средства автоматизации в горной промышленности: Учебное пособие. Киев, 1998.

Навчальне видання  
Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з курсу  
"Основи автоматизації виробничих процесів"

Для студентів, що навчаються за напрямом  
6.050201 "Системна інженерія"  
(для заочної форми навчання)

Укладач: Федюн Роман Валерійович, к.т.н, доц.  
Попов Владислав Олександрович, к.т.н, доц.

Рецензент Шумяцкий Валерій Матвійович, к.т.н, доц.

Відповідальний за випуск Бессараб Володимир Іванович, к.т.н., доц., зав. каф.