

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА АВТОМАТИКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ: «МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИДАЛЕНИХ
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
151 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ОСВІТНЬОГО СТУПНЯ «МАГІСТР»

Покровськ
2019

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Методи оптимізації видалених комп'ютеризованих систем управління» для студентів денної та заочної форм навчання зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітнього ступеня «магістр» / уклад. В.В. Поцєпаєв, Д.О. Жуковська. – Покровськ : ДонНТУ, 2019. – 54 с.

Методичні вказівки складені відповідно до робочих програм, розроблених для навчальних планів підготовки інженера в галузі системної інженерії та автоматизації. Розглядаються сучасні математичні методи розв'язання задач за допомогою моделювання та оптимізація різних систем та чисельних методів і алгоритмів їх реалізації на ЕОМ, формування умінь виконувати постановку, алгоритмізацію та розв'язок основних типів задач оптимізації; формування умінь використовувати сучасні пакети прикладних програм (MATLAB, Ripe) при виконанні практичних завдань; уміння застосовувати набуті знання у професійній діяльності. Методичні вказівки націлені на виконання навчально-дослідних робіт студентів під час практикуму.

Укладачі: _____ Поцєпаєв В.В., к.т.н., доц., доц. каф. автоматики та
(підпис) телекомунікацій
_____ Жуковська Д.О., ст. викл. каф. автоматики та телекомунікацій
(підпис)

Рецензент: _____ Лактіонов І.С. к.т.н., доц. каф. електронної техніки
(підпис)

Відповідальний за випуск: _____ Поцєпаєв В.В., к.т.н., доц., завідувач
кафедри автоматики та телекомунікацій

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,
протокол № 7 від 26.02.2019 р.

Розглянуто на засіданні кафедри автоматики та телекомунікацій,
протокол № 5 від 29.01.2019р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. Практична робота № 1 Математичне моделювання складних систем	5
2. Практична робота № 2 Моделювання динамічних систем	13
3. Практична робота № 3 Моделювання паралельних процесів. Мережі Петрі	20
4. Практична робота № 4 WAVELET – перетворення	24
5. Практична робота № 5 Моделювання систем з використанням типових математичних схем та автоматизованих програм	41
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	46
ДОДАТОК А ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ №3	47

ВСТУП

Метою вивчення дисципліни «Методи оптимізації видалених комп'ютеризованих систем управління» вивчення сучасних математичних методів розв'язання задач за допомогою моделювання та оптимізація різних систем та чисельних методів і алгоритмів їх реалізації на ЕОМ.

Завдання: отримання знань щодо принципів побудови методів розв'язання основних типів задач оптимізації; формування умінь виконувати постановку, алгоритмізацію та розв'язок основних типів задач оптимізації; формування умінь використовувати сучасні пакети прикладних програм (MATLAB, Pipe) при виконанні практичних завдань; виховання уміння застосовувати набуті знання у професійній діяльності.

В результаті вивчення даного курсу студент повинен

знати: сучасний стан наукової дисципліни, формування задач оптимізації та методи їх розв'язування, методи дослідження динамічних систем з використанням цифрових моделей, загальні принципи роботи вейвлетів, моделі автоматизованих систем, способи побудови систем за заданими критеріями оптимізації, визначення наборів характеристик і параметрів проєктованих систем, їх аналіз, оптимізація та налаштування;

вміти: застосовувати набуті знання для вирішення практичних завдань; виконувати постановку, алгоритмізацію та розв'язок основних типів задач моделювання, оптимізації та використовувати сучасні пакети прикладних програм при виконанні практичних завдань.

У процесі вивчення навчальної дисципліни «Методи оптимізації видалених комп'ютеризованих систем управління» студенти виконують практичні роботи. Звіт до практичних робіт студенти оформляють на окремих аркушах форматом А4 відповідно до змісту і він повинен містити такі розділи:

- титульна сторінка;
- тема та мета роботи;
- постановка завдання;
- опис усіх етапів виконання роботи;
- висновки за результатами роботи.

Кожна практична робота, що виконана і захищена за графіком, встановленим робочою програмою курсу, оцінюється за критерієм оцінювання знань за 100-бальною шкалою.

1. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Мета роботи: побудувати модель об'єкту управління в середовищі Simulink; отримати навички побудови і використання моделей в пакеті Simulink для дослідження систем.

Устаткування, комплектуючі та програмне забезпечення персональний комп'ютер, MATLAB, Simulink.

Завдання:

1. Запустити середовище моделювання Simulink і створити нову модель. Для цього в меню Файл, пакету MATLAB вибрати пункт Нова модель (File -> New -> Model).
2. Ознайомитися з можливостями середовища моделювання та доступними блоками. Бібліотека блоків викликається натисканням кнопки Library Browser на панелі управління. Блоки в бібліотеці згруповані в набори (Blocksets). У даній практичній роботі в основному використовуються блоки, що знаходяться в наборі Simulink: математичні функції (Math Operations), джерела (Sources) і аналізатори (Sinks).
3. Розглянути приклад рішення диференціального рівняння в Simulink.
4. Ознайомитися з описом пропонованої динамічної системи і диференціальним рівнянням, що характеризує її стан.
5. Відповідно до завдання (див. табл. 1.1) створити модель для об'єкту управління та оцінити параметри якості регулювання отриманої системи управління.
6. Відповідно до завдання (див. табл. 1.1) провести моделювання з альтернативним регулятором та оцінити параметри якості регулювання отриманої системи управління з альтернативним регулятором.
7. Зробити висновки.

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань на практичну роботу

№ п/п	A	a	b	Альтернативный регулятор
1	3	4	7	D
2	2	5	5	P
3	1	2	4	P
4	3	3	5	I
5	2	11	4	D
6	4	6	7	I
7	2	5	8	I
8	3	5	7	P
9	2	6	9	D
10	2	7	7	I

Теоретичні відомості. Як об'єкт управління розглянемо систему наповнення бака рідиною. Математична модель даного об'єкта може бути описана диференціальним рівнянням:

$$\frac{d}{dt}Vol = A \frac{dH}{dt} = bV - a\sqrt{H}, \quad (1.1)$$

де H – висота стовпа рідини в баку; Vol – об'єм бака; V – напруга, що подається на насос, сигнал управління інтенсивністю вхідного потоку; A – константа, яка визначає зв'язок обсягу води з висотою стовпа рідини; b – константа, яка визначає швидкість втікання рідини в бак; a – константа, яка визначає швидкість витікання рідини з бака.

Схема моделі системи управління реалізована за допомогою засобів Simulink і представлена на рис 1.1.

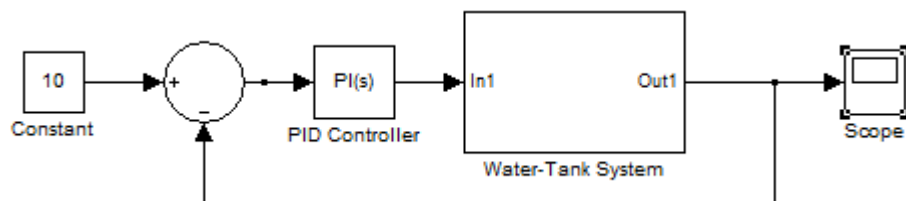


Рисунок 1.1 – Схема моделі системи управління

Структура моделі об'єкта управління, що описує рівняння (1.1) реалізована за допомогою засобів Simulink і представлена на рис 1.2.

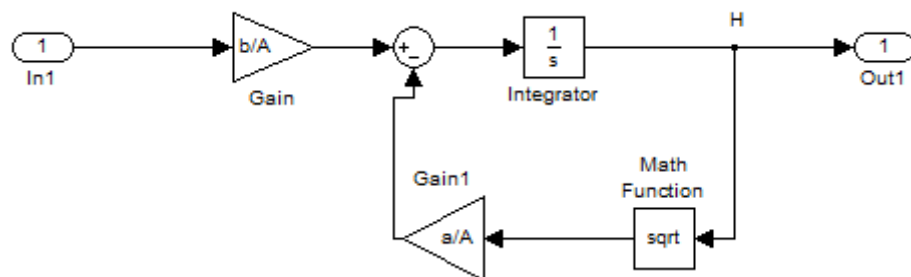


Рисунок 1.2 – Структура моделі об'єкта управління

В практичній роботі необхідно оцінити параметри якості регулювання отриманої системи управління.

Для оцінки якості регулювання в замкнутій системі з ПД-регулятором зазвичай використовують ступеневий вхідний вплив і ряд критеріїв для опису форми перехідного процесу. За допомогою моделювання отримаємо графік, який описує критерії якості регулювання в часовій області (рис. 1.3) і за допомогою отриманого графіка проведемо оінку наступних параметрів якості:

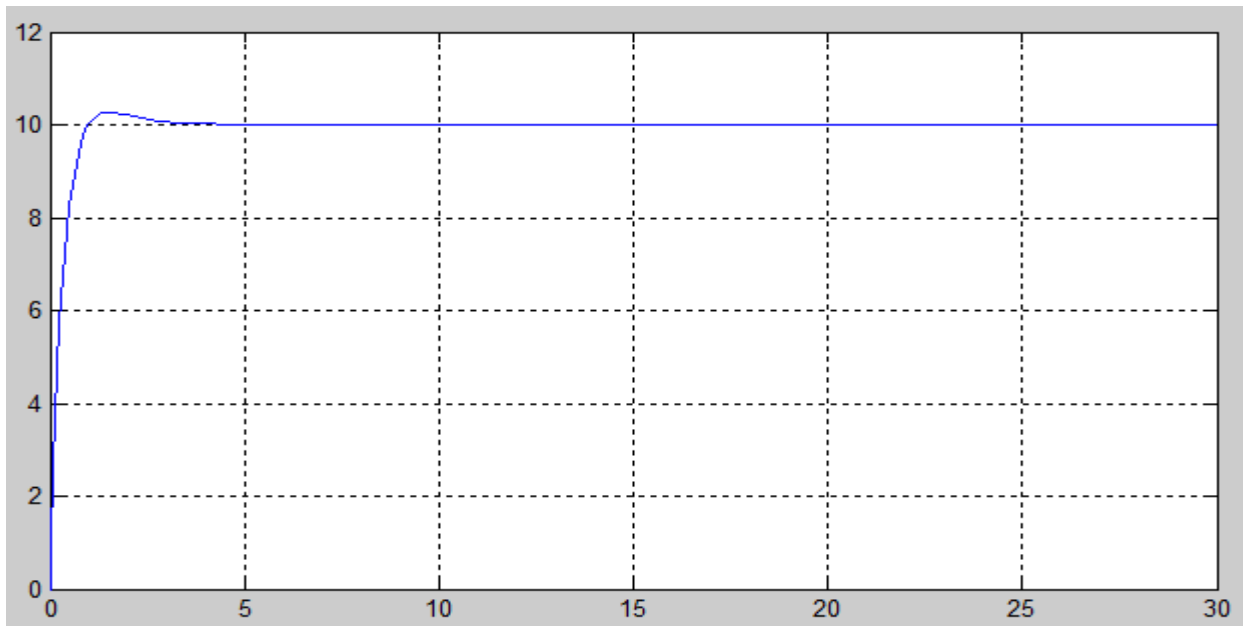


Рисунок 1.3 – Графік регулювання в часовій області

- максимум помилки регулювання $e_{max} = 0,000744$ і момент часу $T_{max} = 1,6$ с;
- інтегрована абсолютна помилка $e_{IAE} = 3,112$;
- інтеграл від квадрата помилки $e_{IAE} = 14,61$;
- декремент затухання d – відношення першого максимуму до другого, так як система із заданими за завданням параметрами є дуже стійкою, перший максимум видно чітко і $a = 10,28$, а другий максимум дуже малий і $b = 10,01$, звідси $d = 1$;
- **статична помилка** – постійна помилка в рівноважному (сталому, статичному) режимі системи, $e_0 = 0,01$;
- **час встановлення із заданою похибкою** e_s (час, після закінчення якого похибка регулювання не перевищує заданого значення), задамося $e_s = 1\%$ від заданого $10 \rightarrow e_s = 0,1$, час встановлення при такому значенні $T_e = 3,5$ с;
- **перерегулювання** – перевищення першого викиду над сталим значенням змінної, $e_{max} = 2,72\%$;
- **час наростання** – інтервал часу, протягом якого вихідна змінна наростає від 10% (1) до 90% (9) від свого сталого значення, $T_r = 0,63$ с;
- **період згасання коливань** $T_p = 50$ с.

Перебудуємо вручну ПІД-регулятор з метою проведення дослідження щодо поліпшення якості перехідних процесів.

Після багаторазової ручного підстроювання ПІД-регулятора і моделювання була досягнута повністю стійка система. $P = 8$, $I = 6$, $D = 1$ (рис.1.4).

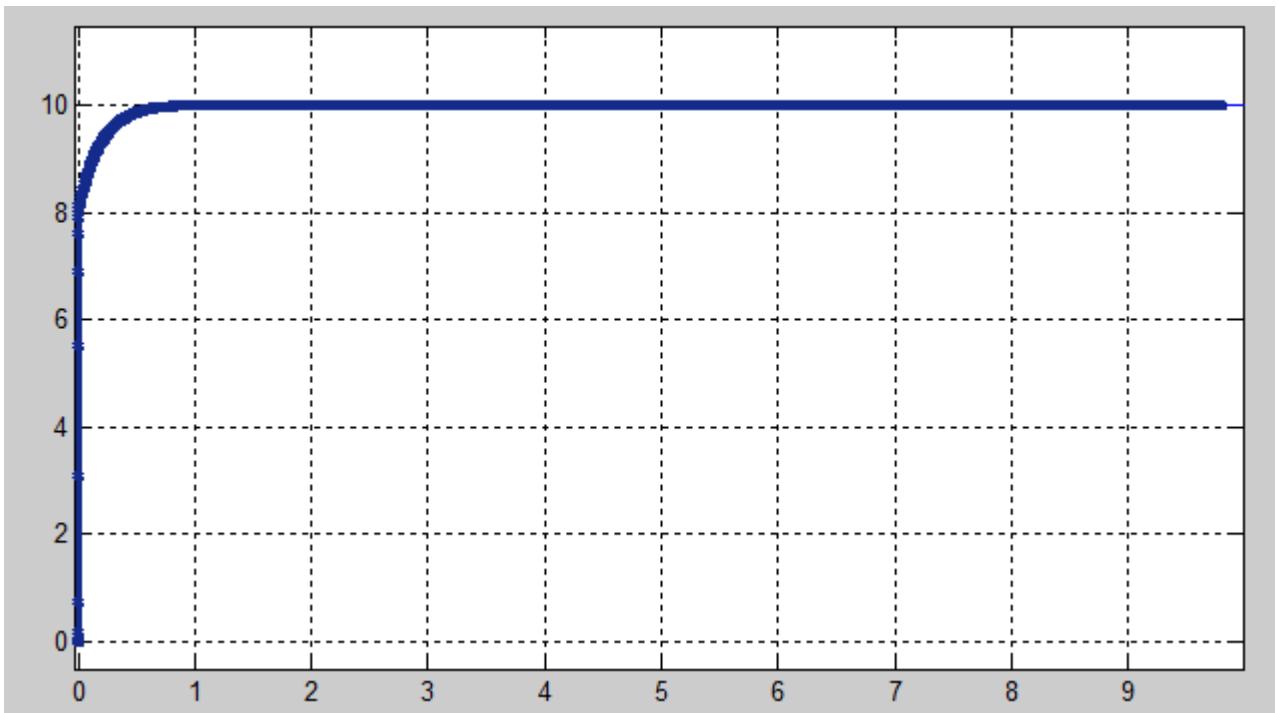


Рисунок 1.4 – Графік регулювання в часовій області після регулювання

Проведемо оцінку параметрів системи після регулювання:

- **максимум помилки регулювання** $e_{max} = 0,003597$ і момент часу $T_{max} = 0,8$ с;

- **інтегрована абсолютна помилка** $e_{IAE} = 0,3985$;

- **інтеграл від квадрата помилки** $e_{IAE} = 0,5199$;

- **статична помилка** – постійна помилка в рівноважному (сталому, статичному) режимі системи $e_0 = 0,001$;

- **час встановлення із заданою похибкою** e_s (час, після закінчення якого похибка регулювання не перевищує заданого значення), задамося $e_s = 1\%$ від заданого значення $10 \rightarrow e_s = 0,1$, час встановлення при такому значенні $T_e = 1$ с;

- **час наростання** – інтервал часу, протягом якого вихідна змінна наростає від 10% (1) до 90% (9) від свого сталого значення $T_r = 0,1$ с;

- **період згасання коливань** $T_p = 50$ с.

Проведемо моделювання з використанням альтернативного регулятора (наприклад, D-регулятор). Задамося значенням $D=400$ і отримаємо графік регулювання в часовій області з використанням альтернативного регулятора (рис.1.5).

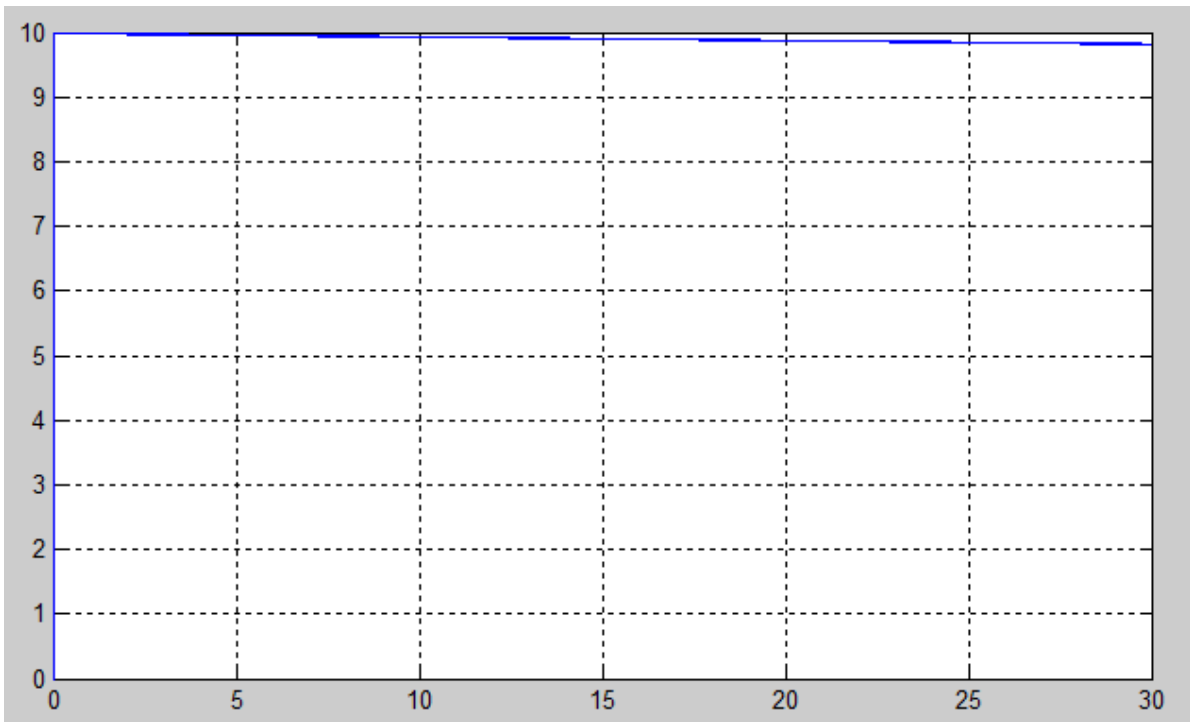


Рисунок 1.5 – Графік регулювання в часовій області з використанням альтернативного D-регулятора ($D=400$)

Задамося значенням $D=20$ і отримаємо графік регулювання в часовій області з використанням альтернативного регулятора (рис.1.6).

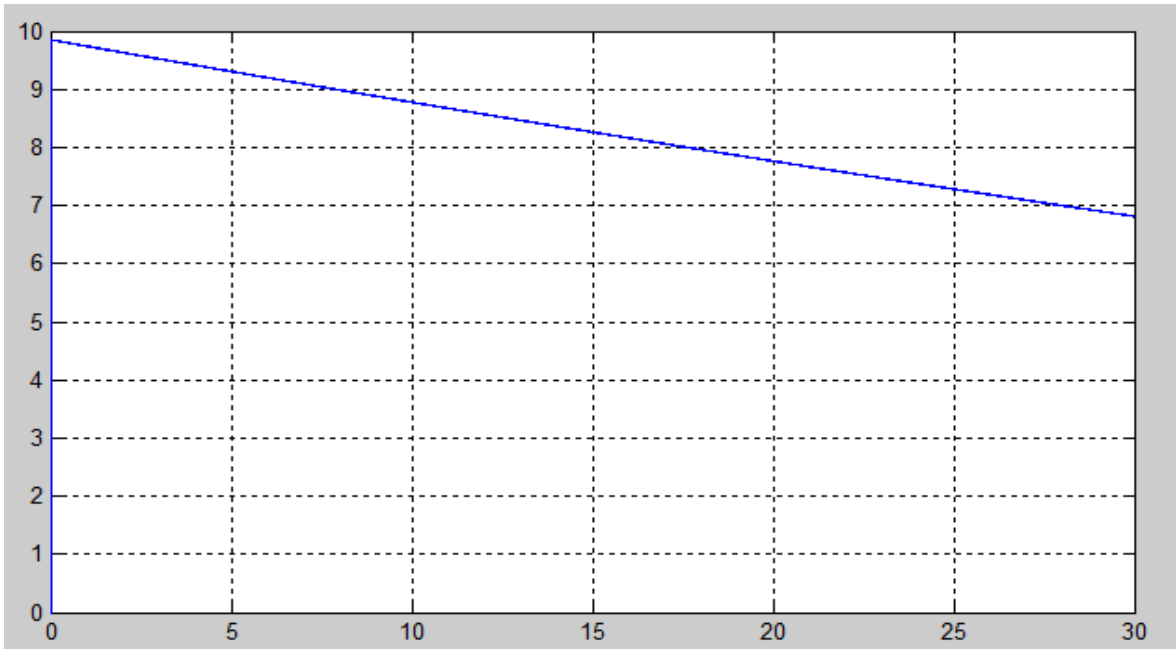


Рисунок 1.6 – Графік регулювання в часовій області з використанням альтернативного D-регулятора ($D=20$)

Задамося значенням $D=0,1$ і отримаємо графік регулювання в часовій області з використанням альтернативного регулятора (рис.1.7).

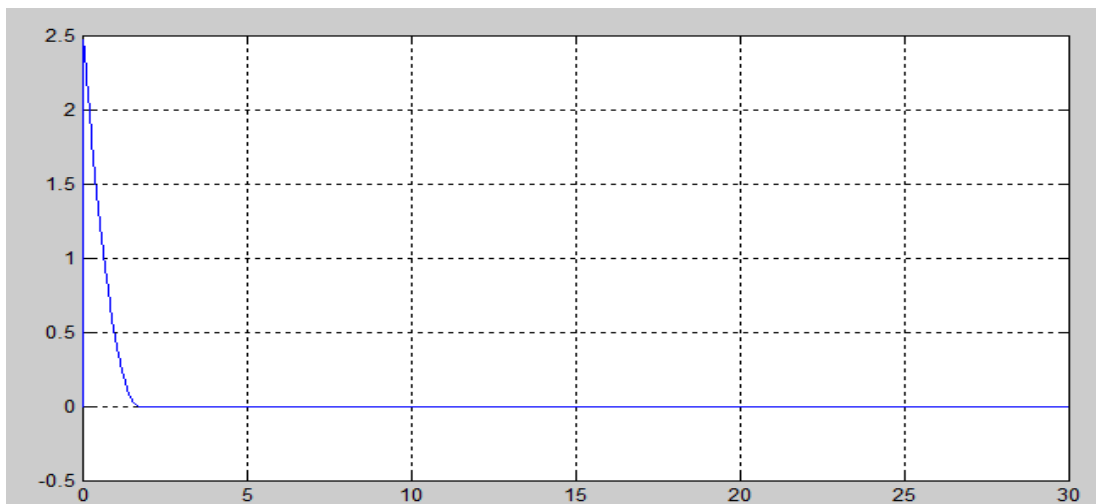


Рисунок 1.7 – Графік регулювання в часовій області з використанням альтернативного D-регулятора ($D=0,01$)

Задамося значенням $D=5$ і отримаємо графік регулювання в часовій області з використанням альтернативного регулятора (рис.1.8).

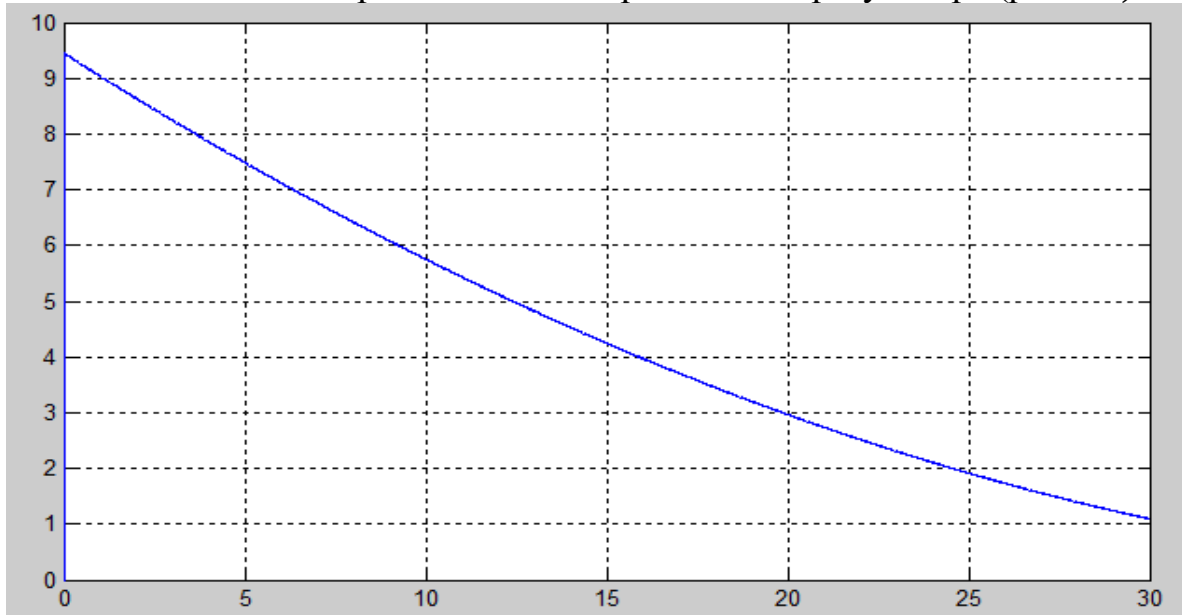


Рисунок 1.8 – Графік регулювання в часовій області з використанням альтернативного D-регулятора ($D=5$)

Задамося значенням $D=0,006$ і отримаємо графік регулювання в часовій області з використанням альтернативного регулятора (рис.1.9).

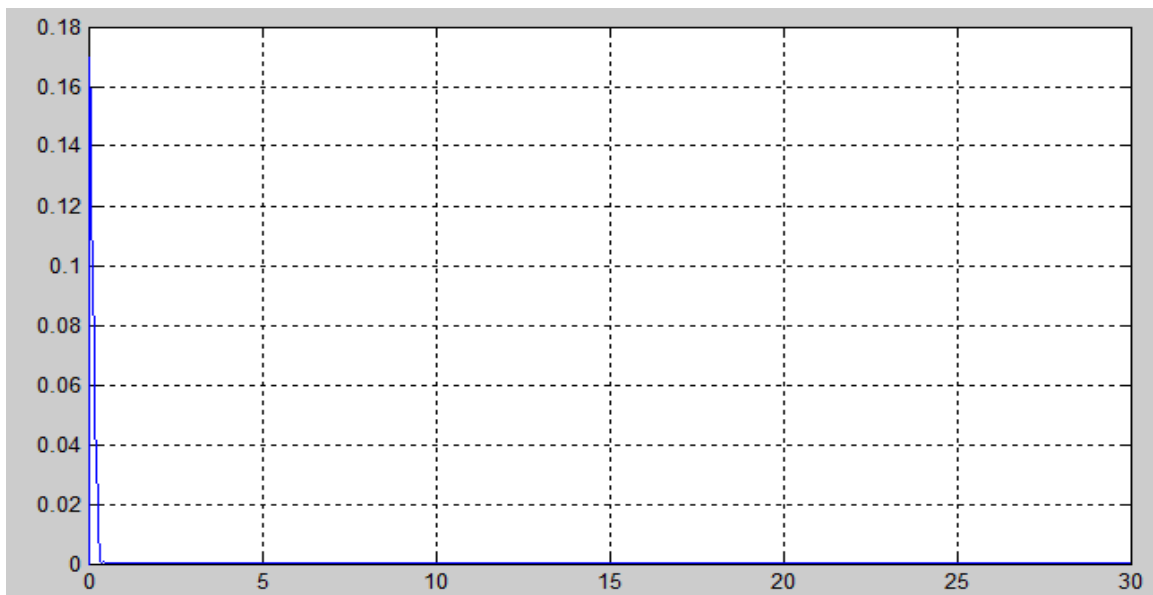


Рисунок 1.9 – Графік регулювання в часовій області з використанням альтернативного D-регулятора ($D=0,006$)

Значення максимумів помилки регулювання, інтегральні абсолютні помилки і інтеграли від квадратів помилки зведемо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Значення максимумів помилки регулювання, інтегральні абсолютні помилки і інтеграли від квадратів помилки для альтернативного D-регулятора

Д	e_{max}	e_{IAE} інтегр	e_{IAE} інтег от квадрата
400	0,176	2,747	0,3187
20	3,182	51,22	110,5
0,1	10	298,5	2973
0,006	10	300	2999
5	8,904	162,2	1054

Після проведення моделювання з використанням альтернативного D-регулятора, можна зробити висновок, що чим більше значення D , тим менше значення помилки. Альтернативний D-регулятор є досить нестійким регулятором для оцінки якості регулювання і дослідження динамічних характеристик систем управління.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Модель об'єкт управління в пакеті моделювання Simulink.
3. Проведення експериментів та аналіз результатів моделювання.
4. Висновки за результатами досліджень практичної роботи.

Контрольні питання

1. Параметри і застосування складних систем.

2. Загальна схема математичної складної моделі.
3. Безперервно-детерміновані моделі (D-схеми).
4. Дискретно-детерміновані моделі (F-схеми).
5. Дискретно-стохастичні моделі (P-схеми).
6. Дискретно-безперевні моделі.
7. Безперервно-стохастичні моделі (Q-схеми).
8. Основні операції математичного моделювання.
9. Лінеаризація та ідентифікація.
10. Моделі в просторі станів.

ЛІТЕРАТУРА: [1], [4], [5].

2. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2 МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Мета роботи: отримання навичок дослідження динамічних систем з використанням цифрових моделей

Устаткування, комплектуючі та програмне забезпечення персональний комп'ютер, MATLAB, Simulink.

Завдання:

1. Запустити середовище моделювання Simulink і створити нову модель. Для цього в меню Файл, пакету MATLAB вибрати пункт Нова модель (File -> New -> Model).

2. Ознайомитися з можливостями середовища моделювання та доступними блоками. Бібліотека блоків викликається натисканням кнопки Library Browser на панелі управління. Блоки в бібліотеці згруповані в набори (Blocksets). У даній практичній роботі в основному використовуються блоки, що знаходяться в наборі Simulink: математичні функції (Math Operations), джерела (Sources) і аналізатори (Sinks).

3. Розглянути приклад рішення диференціального рівняння в Simulink.

4. Ознайомитися з описом пропонованої динамічної системи і системою диференціальних рівнянь, що характеризують її стан.

5. Відповідно до завдання (див. табл. 2.1) створити модель для вирішення даної системи диференціальних рівнянь.

Таблиця 2.1 – Варіанти завдань на практичну роботу

№ п/п	$M_{\max}$, корис	N, корист.	α , 1/хв	β , 1/хв	γ , 1/хв	μ , 1/хв
1	10	5	0,06	0,05	0,005	0,1
2	15	4	0,05	0,05	0,005	0,05
3	20	3	0,001	0,005	0,001	0,05
4	25	3	0,001	0,05	0,009	0,03
5	30	4	0,1	0,03	0,001	0,04
6	35	5	0,01	0,025	0,002	0,06
7	40	6	0,005	0,009	0,003	0,2
8	45	8	0,025	0,01	0,004	0,15
9	50	10	0,02	0,08	0,005	0,12
10	45	8	0,03	0,06	0,006	0,08
11	40	8	0,09	0,04	0,007	0,05
12	35	6	0,15	0,2	0,008	0,05
13	30	4	0,05	0,15	0,009	0,16
14	25	8	0,05	0,04	0,008	0,02
15	20	6	0,1	0,001	0,007	0,01
16	15	2	0,06	0,04	0,006	0,07

Продовження таблиці 2.1

№ п/п	Mmax, корис	N, корист.	α , 1/хв	β , 1/хв	γ , 1/хв	μ , 1/хв
17	10	3	0,04	0,05	0,005	0,19
18	15	4	0,005	0,075	0,004	0,12
19	20	5	0,03	0,08	0,003	0,18
20	25	4	0,08	0,03	0,002	0,06
21	30	6	0,07	0,01	0,001	0,14
22	35	8	0,09	0,02	0,002	0,03
23	40	5	0,12	0,08	0,003	0,06
24	45	3	0,02	0,04	0,004	0,1
25	50	5	0,03	0,01	0,005	0,2

Час моделювання обрати самостійно.

6. Провести моделювання і отримати залежності досліджуваних параметрів від часу. Зробити висновки про характер отриманих залежностей.

7. Змінюючи вихідні дані (кількість користувачів, швидкість виходу користувачів з мережі, швидкість зміни кількості користувачів і т.д.) простежити зміну вихідних характеристик моделі. Зробити висновки про спостережувані зміни. Дослідження провести для 2-3 параметрів.

Теоретичні відомості. Однією з важливих наукових проблем є рішення задачі передбачення поведінки досліджуваного об'єкта в часі і просторі на основі певних знань про його початковий стан. Це завдання зводиться до знаходження деякого закону, який дозволяє за наявною інформацією про об'єкт в початковий момент часу t_0 в точці простору x_0 визначити його майбутнє в будь-який момент часу $t > t_0$. Залежно від ступеня складності самого об'єкту цей закон може бути детермінованим або імовірносним, може описувати еволюцію об'єкту тільки в часі, тільки в просторі, або просторово-часову еволюцію.

Під динамічною системою розуміють будь-який об'єкт або процес, для якого однозначно визначено поняття стану як сукупності деяких величин в даний момент часу і заданий закон, який описує зміну (еволюцію) початкового стану з плином часу. Цей закон дозволяє за початковим станом прогнозувати майбутній стан динамічної системи.

Таким чином, динамічна система - це математична абстракція, призначена для опису і вивчення систем, що еволюціонують з часом. Прикладами динамічних систем можуть служити механічні, фізичні, хімічні та біологічні об'єкти, обчислювальні процеси і процеси перетворення інформації, що здійснюються відповідно до конкретних алгоритмами та інші явища і процеси.

Описи динамічних систем для завдання закону еволюції також різноманітні: за допомогою диференціальних рівнянь, дискретних відображень, теорії графів, теорії Марківських ланцюгів і т.д. Вибір

конкретного способу опису задає вид математичної моделі відповідної динамічної системи.

Дослідження реальних систем зводиться до вивчення математичних моделей, вдосконалення і розвиток яких визначаються аналізом експериментальних і теоретичних результатів при їх зіставленні.

Як інструмент в даній практичній роботі використовується Simulink – середовище імітаційного моделювання, що є додатком до пакету MATLAB. Моделі в Simulink будуються за допомогою стандартних блоків, і в загальному випадку включають джерела сигналів, їх перетворювачі, а також засоби візуального представлення та аналізу даних. Важливою перевагою моделей Simulink є їх зв'язок з математичним ядром MATLAB і, отже, можливість тонких налаштувань параметрів блоків.

За рахунок своєї наочності і відносної простоти створення моделей, даний засіб знайшов застосування при вирішенні широкого кола завдань, в першу чергу пов'язаних з моделюванням систем і засобів обробки сигналів. У практичній роботі розглядається спосіб опису динамічної системи диференціальними рівняннями і їх рішення за допомогою Simulink. Основний принцип, який використовується при вирішенні систем диференціальних рівнянь, полягає в послідовному інтегруванні.

Як приклад розглянемо наступне диференціальне рівняння, щодо старшої похідної:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{dy}{dt} - y - t \cdot e^t + \cos(3 \cdot t) \quad (2.1)$$

На рис. 2.1 приведена модель, реалізована в пакеті Simulink для вирішення даного диференціального рівняння. У моделі використані блоки математичних функцій і інтеграторів. Основу моделі складає суматор, на вхід якого подаються сигнали, відповідні шуканої функції, її першої похідної, а також додатковою складовою (права частина рівняння). З виходу суматора знімається сигнал, що відповідає другій похідній (ліва частина рівняння). Змінна t , яка лінійно змінюється з плином часу задається за допомогою блоку Clock (Годинник). Початкові умови $y(0)$ і $y'(0)$ задаються в блоках інтеграторів.

На рис. 2.2 наведено результат рішення даного диференціального рівняння – графік функції $y(t)$, що знімається з блоку Scope.

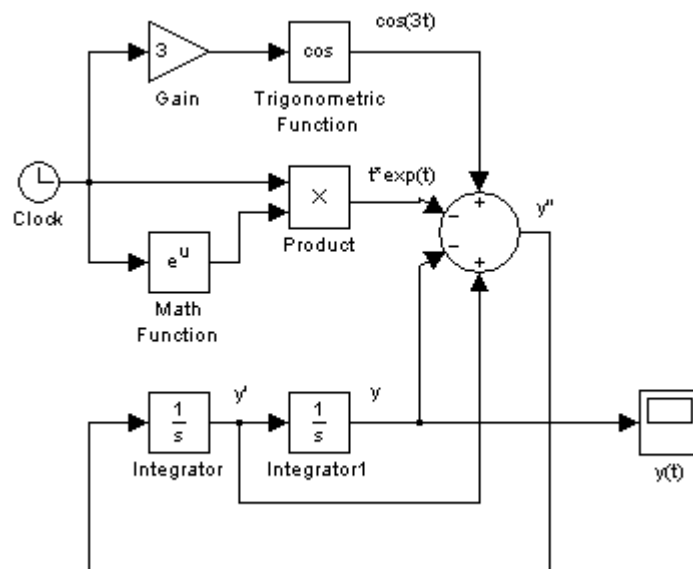


Рисунок 2.1 – Модель в пакеті Simulink для вирішення диференціального рівняння

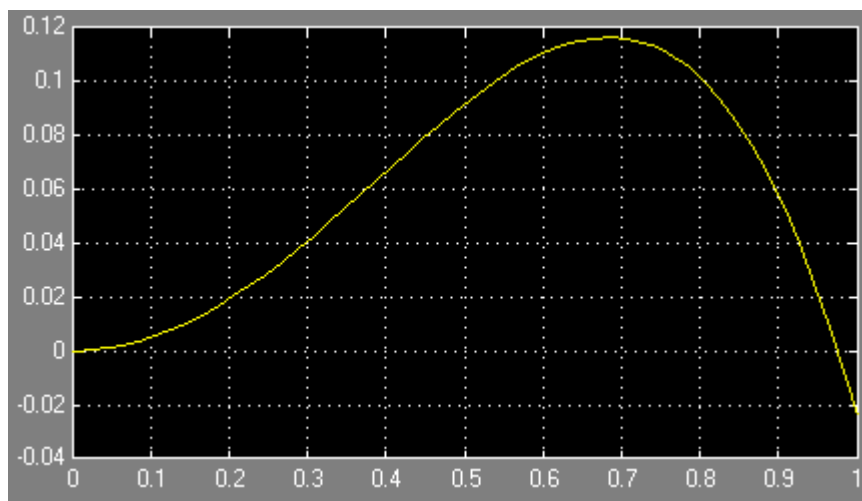


Рисунок 2.2 – Результат рішення диференціального рівняння

Таким чином, даний підхід дозволяє отримати чисельний розв'язок складних диференціальних рівнянь, аналітичне рішення яких важке або неможливе.

Розглянемо файлову мережу, що має топологію точка-точка і складається з M вузлів (див. рис. 2.3). Кожен з користувачів мережі бажає отримати копію поширюваного файлу. Крім того, в мережі діють N зловмисників, які під виглядом корисної інформації поширюють пошкоджені (заражені вірусами або черв'яками) версії файлів. Зовні (ім'я, тип, розмір файлу) вони не відрізняються від корисних, і визначити це можна тільки скачавши файл.

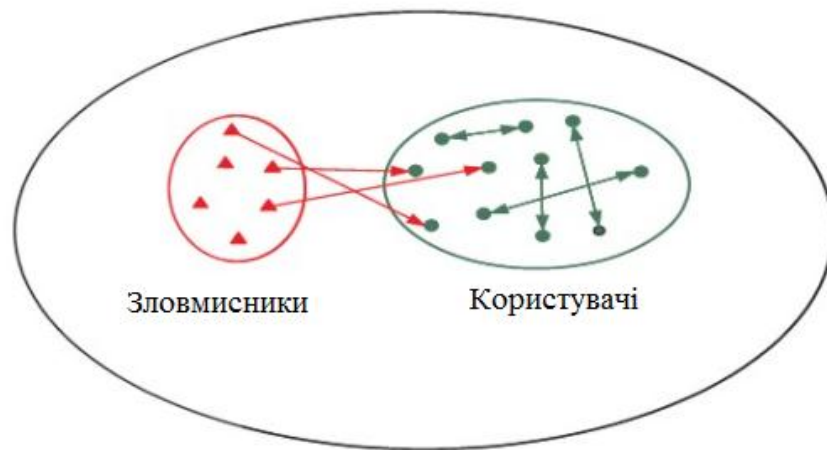


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд файлової мережі.

Передача інформації починається після того, як один з користувачів робить доступною для інших свою версію файлу. Одночасно (або заздалегідь), зловмисник викладає зіпсовану версію. Таким чином, нові користувачі можуть вибрати зі списку запропонованих файлів зіпсований – з ймовірністю p , або корисний – з ймовірністю $(1 - p)$ файл (див. рис. 2.4).

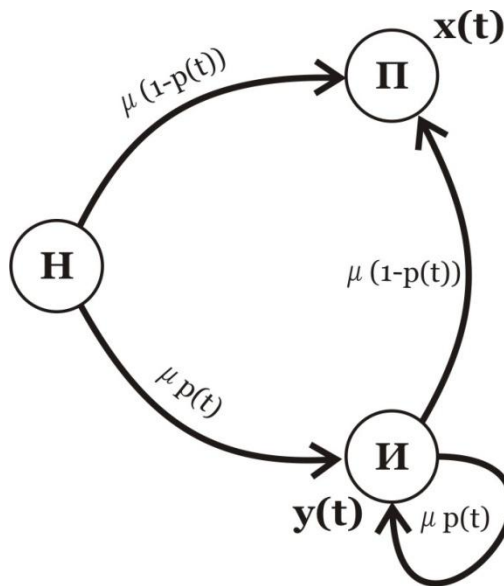


Рисунок 2.4 – Граф станів системи

Завантаживши новий файл, користувачі перевіряють його не відразу, а через деякий час $1/\mu$. У разі, якщо файл пошкоджений, він видаляється і пошук починається заново. До тих пір, він залишається доступним для скачування іншими користувачами. Припустимо, що час передачі дуже малий в порівнянні з інтервалами між перевірками. Таке припущення можливо в сучасних мережах з широкосмуговим доступом при передачі невеликих файлів (наприклад, музики в форматі MP3), або при передачі великих обсягів інформації з розбивкою на частини.

Таким чином, кожен з M користувачів мережі в будь-який момент часу, може бути віднесений до однієї з наступних категорій:

- користувачі, які мають корисну версію файлу (K), позначимо їх кількість $x(t)$;
- користувачі, які мають зіпсовану версію файлу (З), кількістю $y(t)$;
- нові користувачі, що не мають ніякої версії (Н), кількістю $(M - x(t) - y(t))$.

Будемо розглядати функції $x(t)$ і $y(t)$, як безперервні. Імовірність скачування користувачем зіпсованої версії файлу в будь-який момент часу визначається виразом:

$$p(t) = \frac{y(t) + N}{y(t) + x(t) + N} \quad (2.2)$$

Кількість копій корисного файлу $x(t)$ збільшується, коли користувач, який не має файлу, завантажує корисну версію, що відбувається зі швидкістю:

$$[M - x(t) - y(t)] \cdot \mu(1 - p(t)), \quad (2.3)$$

або коли корисну версію завантажує користувач, що завантажив до цього зіпсований файл, що відбувається зі швидкістю:

$$y(t) \cdot \mu(1 - p(t)) \quad (2.4)$$

Аналогічно, кількість зіпсованих копій збільшується, коли нові користувачі скачують зіпсований файл зі швидкістю:

$$[M - x(t) - y(t)] \cdot \mu \cdot p(t) \quad (2.5)$$

Однак, вона зменшується при скачуванні корисного файлу, користувачем, що скачав до цього зіпсовану версію:

$$y(t) \cdot \mu(1 - p(t)) \quad (2.6)$$

З огляду на це, поведінка динамічної системи, яку представляє собою мережу, може бути описана за допомогою системи нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\frac{d}{dt} x(t) = [M - x(t) - y(t)] \cdot \mu(1 - p(t)) + y(t) \cdot \mu(1 - p(t)) \quad (2.7)$$

$$\frac{d}{dt} y(t) = [M - x(t) - y(t)] \cdot \mu \cdot p(t) - y(t) \cdot \mu(1 - p(t))$$

Після перетворень отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} x(t) &= [M - x(t)] \cdot \mu \cdot (1 - p(t)); \\ \frac{d}{dt} y(t) &= [M - x(t)] \cdot \mu \cdot p(t) - \mu \cdot y(t). \end{aligned} \quad (2.8)$$

Припустимо, що загальна кількість користувачів в мережі змінюється за деяким законом $M(t)$. Нехай, також, користувачі, які мають корисну версію файлу, припиняють роздачу (залишають мережу) зі швидкістю α , а користувачі, що завантажили зіпсовану версію файлу – зі швидкістю β . З огляду на це, система рівнянь прийме вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} x(t) &= [M(t) - x(t)] \cdot \mu \cdot (1 - p(t)) - \alpha \cdot x(t); \\ \frac{d}{dt} y(t) &= [M(t) - x(t)] \cdot \mu \cdot p(t) - \mu \cdot y(t) - \beta \cdot y(t). \end{aligned} \quad (2.9)$$

Нехай кількість користувачів змінюється за законом:

$$M(t) = M_{\max} \cdot (1 - e^{-t}) + \gamma \cdot t. \quad (2.10)$$

Вирішивши отриману систему рівнянь можна визначити стан мережі в будь-який момент часу t .

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Модель динамічної системи в пакеті моделювання Simulink.
3. Проведення експериментів та аналіз результатів моделювання.
4. Висновки за результатами досліджень практичної роботи.

Контрольні питання

1. Моделювання динамічних систем.
2. Визначення та приклади динамічної систем.
3. Дослідження динамічних систем з використанням цифрових моделей.

ЛІТЕРАТУРА: [1], [2], [3], [4], [12].

3. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ. МЕРЕЖІ ПЕТРІ

Мета роботи: отримати навички дослідження асинхронних паралельних процесів, використовуючи аналітичні та цифрові моделі.

Устаткування, комплектуючі та програмне забезпечення персональний комп'ютер, PIPE, Java SE (Oracle Technology Network).

Завдання:

1. Освоїти математичний апарат мереж Петрі.
2. Побудувати діаграму досяжності мережі відповідно до варіанту (див. Додаток А) аналітично і оцінити параметри мережі.
3. Розробити і дослідити цифрову модель мережі Петрі в пакеті PIPE. Побудувати діаграму досяжності і проаналізувати мережу.
4. Порівняти результати аналітичного та комп'ютерного моделювання. Виправити помилки.
5. Розробити та дослідити модель мережі Петрі, яка описує роботу автоматизованої системи.
6. Зробити висновки.

Теоретичні відомості.

Приклад 1. Побудова діаграми досяжності мережі аналітично. Модель мережі представлена на рис. 3.1.

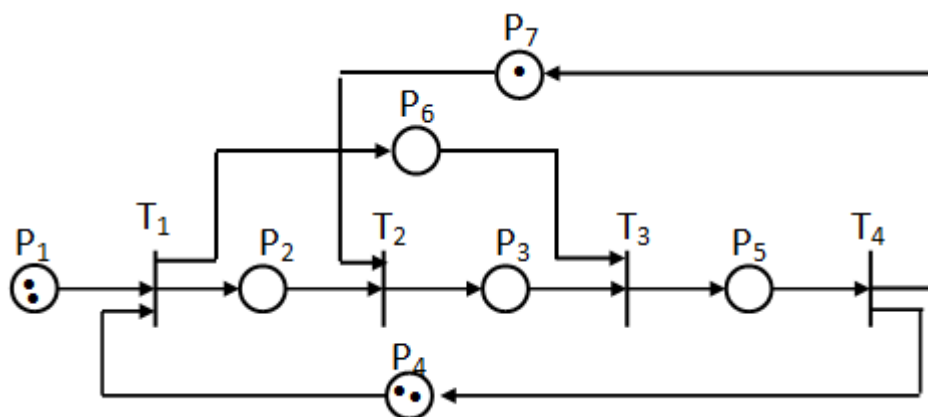


Рисунок 3.1 – Модель мережі Петрі

Діаграма досяжності для даної мережі Петрі, побудована аналітично, має вигляд (рис. 3.2).

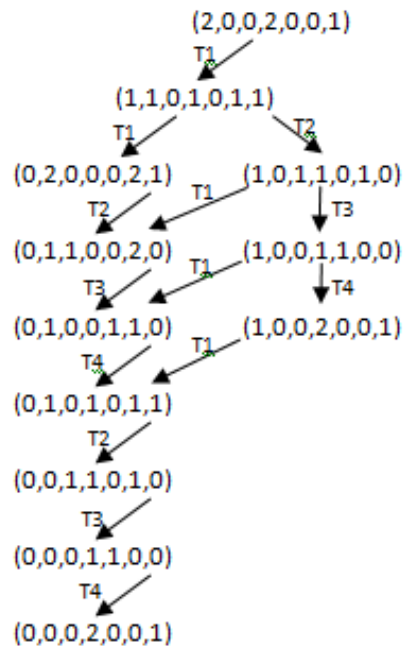


Рисунок 3.2 – Діаграма досяжності мережі

Приклад 2. Модель мережі Петрі, яка описує роботу мікроконтролера.

Принцип роботи моделі:

При натисканні на кнопку S1 «Пуск» включається світлодіод VD2 (продовжує світитися до натискання кнопки S2 «Стоп»), включаються двигуни M1 і M2, на дисплеї з'являється повідомлення «Система в роботі», витримується пауза 6с, двигуни M1 і M2 відключаються і на дисплеї (в першому рядку) з'являється повідомлення «контроль напруга.», після чого здійснюється контроль напруги, що знімається з потенціометра R5.

Якщо напруга на вході ADC2 мікроконтролера перевищує уставку (2,8 В), то включаються: двигун M1, світлодіод VD1, і на дисплеї (у другому рядку) з'являється повідомлення «Уст. прев. ».

Якщо напруга менше уставки, то M1 і VD1 відключаються і на дисплеї (у другому рядку) з'являється повідомлення «Уст. норм. ».

При натисканні на кнопку S2 «Стоп» на дисплеї висвічується повідомлення «Вип. стоп. », включається двигун M2, працює 3с, відключається, також відключаються всі світлодіоди і двигуни, а на дисплеї висвічується повідомлення «Студент ... » (вставити прізвище і групу).

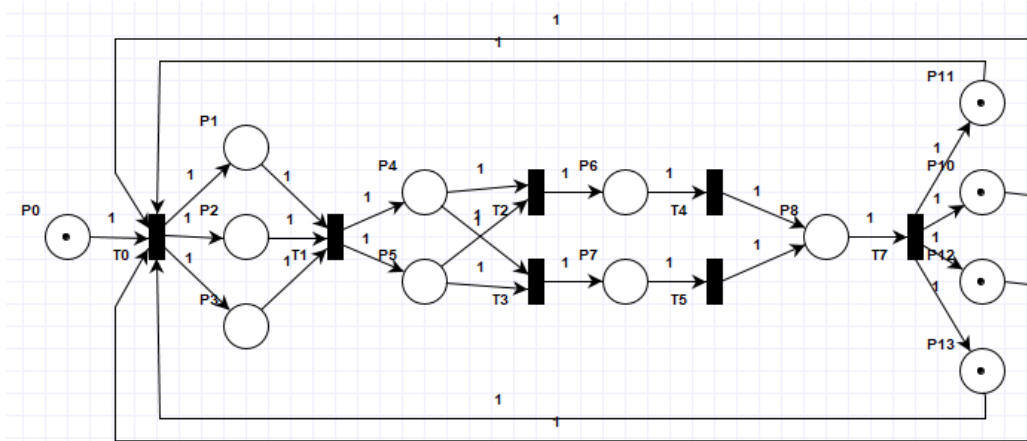


Рисунок 3.3 – Модель мережі Петрі, яка описує роботу мікроконтролера

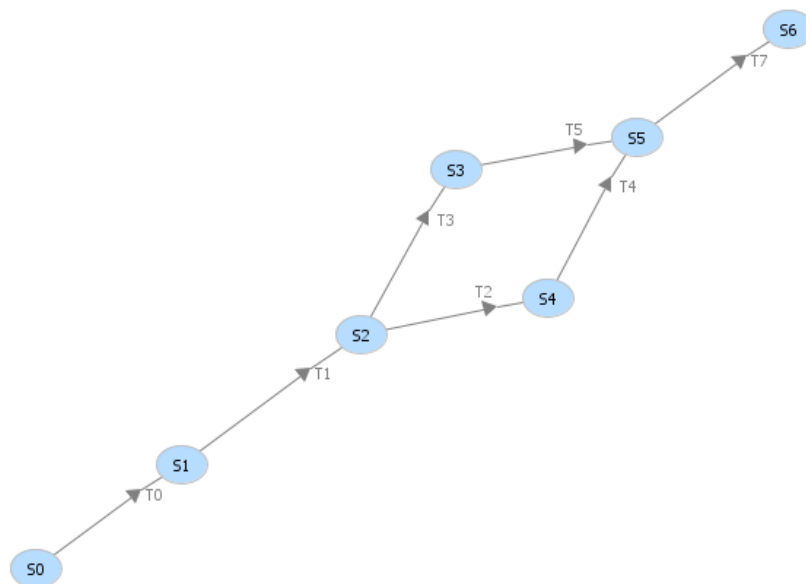


Рисунок 3.4 – Діаграма досяжності мережі

Мережа є: обмеженою, безпечною, не безвихідною.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Розробка рішення поставленого завдання. Аналітична побудова дерева досяжності.
3. Код та результат виконання цифрової моделі в програмі PIPE.
4. Скріншоти перевірки працездатності програми.
5. Висновки за результатами досліджень практичної роботи.

Контрольні питання

1. Структура мережі Петрі.
2. Аналітичний опис мережі Петрі.
3. Правила спрацьовування переходів.

4. Моделювання за допомогою мереж Петрі.
5. Пошук оптимального дерева досяжності.

ЛІТЕРАТУРА: [1], [2], [3], [4], [5].

4. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4 WAVELET – ПЕРЕТВОРЕННЯ

Мета роботи: ознайомитися з особливостями вейвлет- методу для обробки сигналів.

Устаткування, комплектуючі та програмне забезпечення персональний комп'ютер, MATLAB, Wavelet Toolbox.

Завдання:

1. Завантажити тестовий сигнал, відповідно до заданого варіанту, в пакет Wavelet Toolbox.

Таблиця 4.1 – Таблиця варіантів

№ варіанту	Найменування файлу	Опис файлу
1	vonkoch	Фрактальна крива Коха
2	wcantor	Функція кантора
3	sinfract	Фрактал з синусоїдальною обвідною
4	leleccum	Демонстраційний сигнал з шумом
5	noisdopp	Доплерівська крива з шумом
6	noisbloc	Зашумлені прямокутні імпульси
7	wnoislop	Демонстраційний сигнал з шумом
8	wntrsin	Суперпозиція зашумленої трикутної функції і синусоїди
9	freqbrk	Частотно-часовий розподіл двох гармонік
10	qdchirp	Осцилюючий сигнал
11	sumlichr	Комбінація лінійно - розгорнутих синусоїд
12	sumsin	Сума двох синусів
13	nelec	Нерівномірно зашумлений електричний сигнал
14	nbump3	Сильнозашумлений демонстраційний сигнал

2. Для запропонованого сигналу у вікні Wavelet 1D знайти вейвлет-функції, щоб забезпечити найкращі статистичні характеристики параметрів стиснення або видалення шуму.

3. Ті ж дослідження редагувати у вікні Wavelet Packet 1D.

4. Оформити звіт, що містить основні моменти дослідження і підтверджують висновки графіки.

Теоретичні відомості. Вейвлет – це математична функція, що дозволяє аналізувати різні частотні компоненти даних. Графік функції виглядає як хвилеподібні коливання з амплітудою, що зменшується до нуля далеко від початку координат (приклади вейвлет функцій наведено на рис. 4.1).

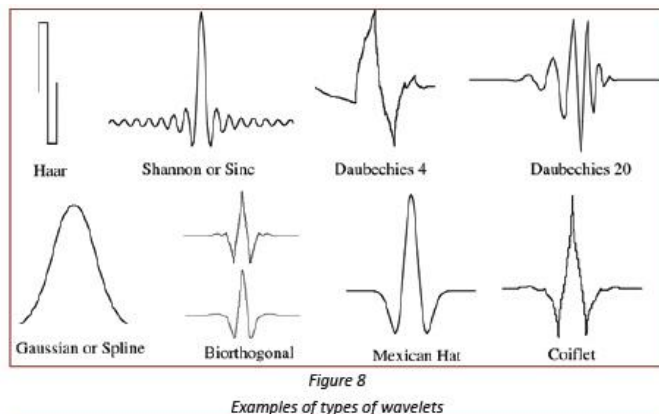


Рисунок 4.1 – Типи Вейвлет-функцій

- а) вейвлет Хаара; б, в) вейвлети Добеши; г) вейвлети Гаусса;
д) вейвлет; е) вейвлет МНат («Мексиканський капелюх»);
ж) вейвлети Р. Койфмана – койфлети.

Однак це окремий випадок – у загальному випадку аналіз сигналів проводиться в площині вейвлет-коефіцієнтів (масштаб – час – рівень) (*Scale-Time-Amplitude*). Вейвлет-коефіцієнти визначаються, інтегральним перетворенням сигналу. Отримані вейвлет-спектрограми принципово відрізняються від звичайних спектрів Фур'є тим, що дають чітку прив'язку спектра до часу.

Безперервне вейвлет-перетворення – перетворення, схоже на перетворення Фур'є (або більше на віконне перетворення Фур'є) із зовсім іншою оціночною функцією. Основна відмінність в наступному: перетворення Фур'є розкладає сигнал на складові у вигляді синусів і косинусів, тобто функцій, локалізованих в Фур'є-просторі; вейвлет-перетворення використовує функції, локалізовані як в реальному, так і в Фур'є-просторі. Загалом, вейвлет-перетворення може бути виражено наступним рівнянням:

$$F(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi_{(a,b)}^*(x) dx \quad (4.1)$$

Де * символ комплексної пов'язаності і функція ψ – деяка функція. Функція може бути обрана довільно, але вона повинна задовольняти певним правилам.

Як видно, вейвлет-перетворення на справді є нескінченною множиною різних перетворень в залежності від оціночної функції, використаної для його розрахунку. Це є основною причиною, чому

термін «вейвлет-перетворення» використовується в дуже різних ситуаціях і застосуваннях. Також існує багато типів класифікації варіантів вейвлет-перетворення. Можна використовувати ортогональні вейвлети для розробки дискретного вейвлет-перетворення і не ортогональні вейвлети для безперервного. Для одновимірних даних отримуємо зображення на площині час-частота. Можна легко простежити зміну частот сигналу протягом тривалості сигналу і порівнювати цей спектр зі спектрами інших сигналів. Оскільки тут використовується неортогональний набір вейвлетів, дані високо корельовані і мають велику надмірність. Це допомагає отримати результат для людського сприйняття.

ДВП (DWT) – повертає вектор даних тієї ж довжини, що і вхідний. Зазвичай, навіть в цьому векторі багато даних майже дорівнюють нулю. Це відповідає факту, що він розкладається на набір вейвлетів (функцій), які ортогональні до їх паралельного переносу і масштабування. Отже, ми розкладаємо подібний сигнал на те ж саме чи менше число коефіцієнтів вейвлет-спектра, що і кількість точок даних сигналу. Подібний вейвлет-спектр підходить для обробки і стиснення сигналів, оскільки ми не отримуємо надлишкової інформації.

До ДВП відносяться вейвлети представлені дискретними сигналами (вибірками):

а) Вейвлет-перетворення Хаара – вважається першим вейвлет-перетворенням, просте ДВП ілюструє загальні корисні властивості вейвлетів. По-перше, перетворення можна виконати за n -операцій. По-друге, воно не тільки розкладає сигнал на деяку подобу частотних смуг (шляхом аналізу його в різних масштабах), але і представляє часову область, тобто моменти виникнення тих чи інших частот в сигналі. Разом ці властивості характеризують швидке вейвлет-перетворення – можливу альтернативу звичайному швидкому перетворенню Фур'є.

б) Вейвлет-перетворення Інгріда Добеши – даний набір функцій вважається найпоширенішим. Він заснований на використанні рекурентних співвідношень для обчислення більш точних вибірок неявно заданої функції материнського вейвлета з подвоєнням дозволу при переході до наступного рівня (масштабу). У своїй основній роботі Добеши виводить сімейство вейвлетів, перший з яких є вейвлетом Хаара. З тих пір цікавість до цієї області швидко зросла, що призвело до створення численних нащадків вихідного сімейства вейвлетів Добеши.

Розглянемо найпростіший приклад.

ДВП сигналу x отримують із застосуванням набору фільтрів. Спочатку сигнал пропускається через низькочастотний (*low-pass*) фільтр з імпульсним відгуком g , і виходить згортка:

$$y[n] = (x * g)[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] * g[n - k] \quad (4.2)$$

Одночасно сигнал розкладається за допомогою високочастотного (*high - pass*) фільтра h . В результаті отримуємо деталізуючі коефіцієнти (після ВЧ-фільтра) і коефіцієнти апроксимації (після НЧ-фільтра). Ці два фільтри пов'язані між собою і називаються квадратурними дзеркальними фільтрами (QMF).



Рисунок 4.2 – Схема розкладання ДВП

Так як половина частотного діапазону сигналу була відфільтрована, то, відповідно до теореми Котельникова, відліки сигналів можна прорідити в 2 рази:

$$y_{low}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] * g[2n - k] \quad (4.3)$$

$$y_{high}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] * h[2n - k] \quad (4.4)$$

Таке розкладання вдвічі зменшило дозвіл за часом в силу проріджування сигналу. Однак кожен з отриманих сигналів являє половину частотної смуги вихідного сигналу, так що частотне розширення подвоїлось.

За допомогою оператора проріджування:

$$(y \downarrow k)[n] = y[kn] \quad (4.5)$$

Вищезазначені суми виразів (4.2) і (4.3) можна записати коротше:

$$y_{low}[n] = (x * g) \downarrow 2 \quad (4.6)$$

$$y_{high}[n] = (x * h) \downarrow 2 \quad (4.7)$$

Обчислення повної згортки $x * g$ з подальшим проріджуванням – це зайва трата обчислювальних ресурсів. Тому була розроблена схема ліфтингу, яка є оптимізацією, заснована на чергуванні цих двох обчислень.

Алгоритм Малла. Існує кілька видів реалізації алгоритму дискретного вейвлет-перетворення. Найстаріший і найбільш відомий – алгоритм Малла (пірамідальний). У цьому алгоритмі два фільтри – згладжувальний і незгладжувальний, що складаються з коефіцієнтів вейвлета і ці фільтри рекуррентно застосовуються для отримання даних

для всіх доступних масштабів. Якщо використовується повний набір даних $D = 2^N$ і довжина сигналу дорівнює L , спочатку розраховується

дані $D/2$ для масштабу $\frac{L^{N-1}}{2}$, потім дані $\frac{D}{2}$ для масштабу $\frac{L^{N-2}}{2}$, ... поки в кінці не вийде два елементи даних в масштабі $L/2$. Результатом роботи цього алгоритму буде масив тієї ж довжини, що і вхідний, де дані зазвичай упорядковано від найбільш великих масштабів до найбільш дрібних. Схема розкладання сигналу по алгоритму Малла приведена на рис.4.3.

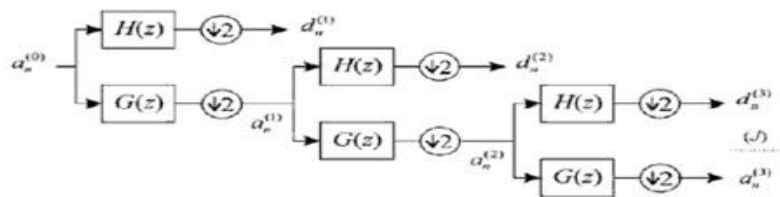


Рисунок 4.3 – Послідовність отримання вейвлет-коефіцієнтів третьої октави; $H(z)$ і $G(z)$, відповідно, високочастотні та низькочастотні аналізуючі фільтри у z – уявленні

Єдина відмінність фільтрації в алгоритмі Малла від класичного

КІХ-фільтра, що задається рівнянням
$$y(k) = \sum_{i=0}^m b_i x(k-i)$$
, полягає в тому, що значення фільтруючого ряду вибираються через один індекс $2n-k$ в $a_{2n-k}^{(i-1)}$. Це і є децимація – виключення з обробки кожного другого елемента.

Застосування. Вейвлет-перетворення широко використовується для аналізу сигналів. Крім цього, воно знаходить велике застосування в області стиснення даних. У дискретному вейвлет-перетворенні найбільш значима інформація в сигналі міститься при високих амплітудах, а менш корисна – при низьких. Стиснення даних може бути отримано за рахунок відкидання низьких амплітуд. Вейвлет-перетворення дозволяє отримати високе співвідношення стиснення в поєднанні з якістю відновленого сигналу. Вейвлет-перетворення було вибрано для стандартів стиснення зображень JPEG2000 і ICER. Однак, при малому стисненню, вейвлет-перетворення поступається за якістю в порівнянні з віконним Фур'є-перетворенням, яке лежить в основі стандарту JPEG.

Вибір конкретного виду і типу вейвлету залежить від аналізованих сигналів і завдань аналізу. Для отримання оптимальних алгоритмів перетворення розроблені певні критерії, але їх ще не можна вважати остаточними, тому що вони є внутрішніми по відношенню до самих алгоритмів перетворення і, як правило, не враховують зовнішні критерії,

пов'язані з сигналами і цілями їх перетворень. Звідси випливає, що при практичному використанні вейвлетів необхідно приділяти достатню увагу перевірці їх працездатності та ефективності для поставлених цілей в порівнянні з відомими методами обробки і аналізу.

Переваги:

- Вейвлет-перетворення володіє всіма перевагами перетворень Фур'є.

- Вейвлетні базиси можуть бути локалізованими як по частоті, так і за часом. При виділенні в сигналах локалізованих різномасштабних процесів можна розглядати тільки ті масштабні рівні розкладання, які представляють інтерес.

- Базисні вейвлети можуть реалізуватися функціями різної гладкості.

Недоліки:

- Можна виділити один недолік, це відносна складність перетворення.

Огляд. Чи не найважливішою при аналізі і синтезі сигналів є ідея представлення сигналу у вигляді зваженої суми деяких функцій. Якщо ці функції володіють спеціальними властивостями, вони називаються базисами. Найбільш поширені в цифровій обробці сигналів, базис одиничних імпульсів в часовій області і базис, що складається з експонент частотної області. Wavelet-перетворення дозволяє розкласти сигнал по компактним, локалізованим за часом базисним функціям (табл. 4.2), що дозволяє, на відміну від перетворення Фур'є, описувати нестационарні сигнали. При цьому важливо, що таке розкладання досить економне в обчислювальному відношенні.

Таблиця 4.2 – Wavelet-перетворення та його характеристики

Мнемонічне позначення	Назва wavelet	Характеристика відповідного фільтра
Meyr	Wavelet Мейєра	Фільтр з нескінченної гладкістю
Morl	Wavelet Марлет	Фільтр з нескінченним носієм
Mexh	Wavelet «Мексиканський капелюх»	Ортогональний фільтр з кінцевою маскою
Haar	Wavelet Хаара	
DbN	Wavelet Добеши	
SymN	«Сімлети»	
CoifN	«Койфлети»	
BiorNr, Nd	Біортогональний wavelet	Біортогональні фільтри з кінцевою маскою

Тулбокс Wavelet складається з набору підпрограм, які дозволяють:

- ознайомитися і дослідити характеристики індивідуальних wavelet і wavelet-пакетів;
- обчислювати безперервне wavelet-перетворення одновимірних сигналів;
- проводити аналіз і синтез дискретних одновимірних і двовимірних сигналів на основі дискретного wavelet-перетворення;
- розкласти одно- і двовимірні сигнали;
- досліджувати статистичні характеристики сигналів;
- проводити стиснення і очищення від шуму одновимірних і двовимірних сигналів.

Wavemenu запускається з командного рядка MATLAB, командою "**wavemenu**". При виклику цієї функції з'являється головне меню **GUI Wavemenu** (рис. 4.4). Wavemenu складається з семи незалежних розділів:

- **Wavelet 1 D** дає можливість аналізу і синтезу одновимірного сигналу з використанням дискретного wavelet - перетворення, стиснення сигналу і очищення його від шуму;
- **Wavelet 2 D** аналогічно для двовимірних сигналів (наприклад, зображень);
- **Wavelet Display** дає можливість подивитися графіки материнського wavelet і масштабованої функції, відповідні їм коефіцієнти KIX-фільтрів, а також отримати коротку довідку для кожного з використовуваних wavelet -сімейств;
- **Wavelet Packet 1 D** дає можливість аналізу і синтезу одновимірного сигналу з використанням розкладання на wavelet - пакети, стиснення сигналу і очищення його від шуму;
- **Wavelet Packet 2 D** аналогічно для двовимірних сигналів;
- **Wavelet Packet Display** дає можливість подивитися графіки материнського wavelet і масштабованої функції wavelet -пакету, а також отримати коротку довідку по кожному з використовуваних wavelet - сімейств;
- **Continuous Wavelet 1 D** дає можливість аналізу одновимірного сигналу з використанням безперервного wavelet - перетворення.

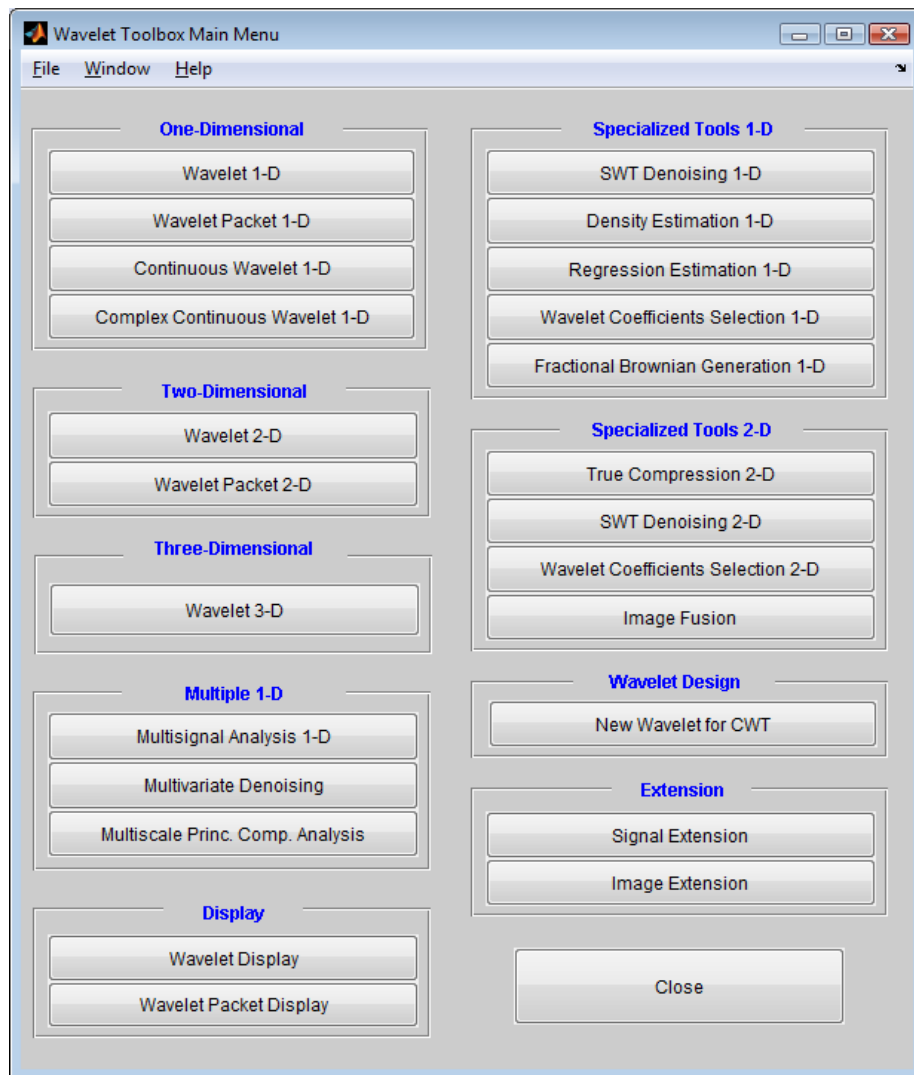


Рисунок 4.4 – GUI Wavemenu

В рамках даної практичної роботи ми розглянемо тільки Wavelet Display, Wavelet 1 D. Також варто відзначити, що графічний інтерфейс дозволяє імпортувати інформацію на диск і експортувати інформацію з жорсткого диска. Є можливість збереження синтезованих сигналів, обчислених wavelet-коефіцієнтів і декомпозицій на диску для подальшого використання в інших додатках або безпосередньо в системі MATLAB.

Які дані при завантаженні можуть використовуватися:

- тестові сигнали, що містяться в каталозі MATLAB toolbox / wavelet / wavedemo;
- сигнали, згенеровані будь-якою програмою, але обов'язково в форматі MAT-файлу;
- сигнали, введені ззовні у вигляді файлу або за допомогою звукової карти і також представлені в форматі MAT-файлу.

Для завантаження даних в графічний інтерфейс використовуються пункти меню "File-> Load Signal", "File-> Load Coefficients" або "File-> Load Decompositions", відповідно.

Wavelet Display. Розділ Wavelet Display призначений для знайомства і отримання інформації про вейвлети, що використовуються в MATLAB. Для запуску Wavelet Display потрібно викликати головне меню командою `wavemenu` і натиснути кнопку Wavelet Display. Відкривається вікно, яке містить звичайне Windows-меню вгорі, а також спеціальні кнопки меню праворуч і внизу.

Праве меню.

Вгорі праворуч (Wavelet) є можливість вибрати ім'я або тип вейвлета і його порядок. Далі можна встановити рівень дозволу *Refinement* – це число N , таке, що значення вейвлетів обчислюються з кроком $\frac{1}{2} N$. За замовчуванням $N = 8$. Потім натиснути кнопку Display, тоді в графічному вікні з'являться графіки вейвлет-функцій $\varphi(x)$. Нижче зображуються значення фільтрів розкладання і реконструкції. Потрібно звернути увагу на те, що фільтри $\{h_n\}_{n \in \mathbb{Z}}$ і $\{g_n\}_{n \in \mathbb{Z}}$ вейвлетів $\varphi(x)$ і $\psi(x)$ – це коефіцієнт масштабуючих рівнянь $\varphi(x) = \sqrt{2} \sum_n h_n \varphi(2x - n)$ і $\psi(x) = \sqrt{2} \sum_n g_n \varphi(2x - n)$, де $g_n = (-1)^n \bar{h}_{N-n}$. Фільтр $\{h_n\}_{n \in \mathbb{Z}}$ називається низькочастотним, а фільтр $\{g_n\}_{n \in \mathbb{Z}}$ – високочастотним. При цьому для відновлення використовуються фільтри $\{h_n\}$ і $\{g_n\}$ вейвлетів $\varphi(x)$ і $\psi(x)$. Все це добре видно при зображенні фільтрів в графічному вікні.

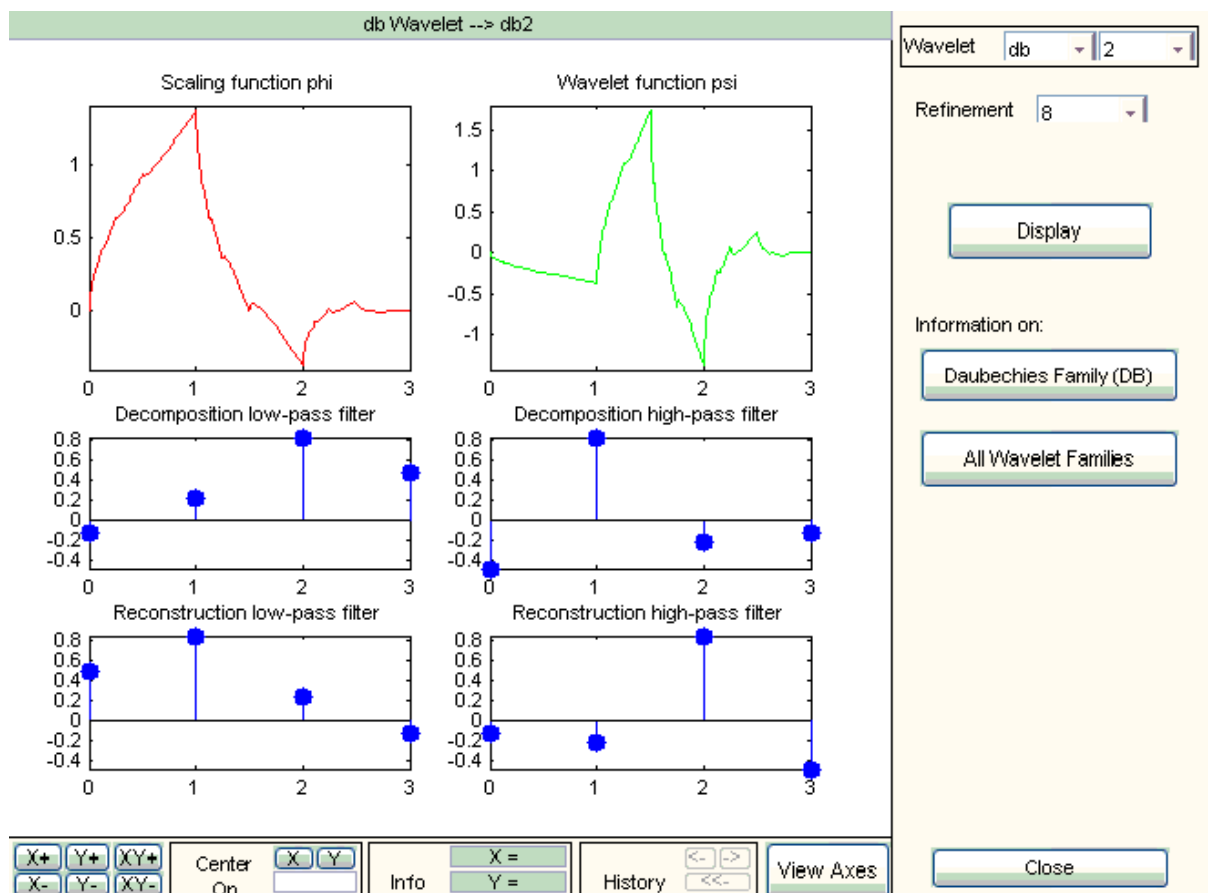


Рисунок 4.5 – Основне вікно розділу Wavelet Display

У наведеному вище прикладі маємо в лівому нижньому вікні фільтр $\{h_n\} \varphi(x)$ – функції Добеши db 2. Внизу справа – фільтр $g_n = (-1)^n h_{3-n}$ вейвлета Добеши $\psi(x)$.

Фільтри розкладання є транспонованими до вказаних $\{h_n\}$ і $\{g_n\}$.

Справа є ще дві кнопки, при натисканні на які відкривається додаткове вікно з інформацією про обраний вейвлет або про всі вейвлети MATLAB (*AllWavelet Families*).

Нижнє меню призначене для більш детального розгляду графіків. По-перше, кнопка *Wiev Axes* запускає додаткове вікно, кнопки якого дозволяють відкрити відповідний графік «в усі вікна». Повернутися до вихідного вікна (рис.4.5) можна, «віджавши» кнопку на панелі *Wiev Axes* або, вимкнувши її повністю.

Лівою кнопкою миші можна вибрати фрагмент графіка і кнопками X+, X-, Y+, Y-, XY+, XY- збільшити або зменшити його масштаб по координатним осях. Кнопка *History* дозволяє повернутися назад в процесі змін масштабів. При натисканні правою кнопкою миші на точку графіка в полі *Info* вказуються координати обраної точки. Кнопка *Center On* дозволяє центрувати графік, якщо задати координати центру. Відзначимо, що кнопки нижнього меню працюють як в режимі основного вікна, так і в режимі *Wiev Axes*.

Одновимірний дискретний вейвлет-аналіз (Wavelet 1 D). Розділ *Wavelet 1 D* головного меню призначений для вейвлет-розкладання і аналізу дискретного сигналу. Для запуску *Wavelet 1 D* потрібно викликати головне меню командою *wavemenu* і натиснути кнопку *Wavelet 1 D*. Запускається графічне середовище, зручне для роботи з великим комплексом команд з аналізу сигналів. Вікно графічного інтерфейсу містить звичайне меню вгорі, спеціальні кнопки меню праворуч і внизу, а також основне поле для візуалізації результатів аналізу.

Верхнє меню містить можливості, звичайні для Windows-додатків. Використовуючи меню *File*, можна завантажити дані, які передбачаються до аналізу. Значна зручність полягає в тому, що можна використовувати демонстраційні сигнали. Їх можна знайти в меню *File / Demo Analysis*. Хоча в цих прикладах вже проведено вейвлет-аналіз, обраний демонстраційний сигнал можна проаналізувати заново. Після обробки можна зберегти коефіцієнти, синтезований сигнал і розкладання.

Кнопки нижнього меню працюють точно так же, як і в розглянутому вище *Wavelet Display*. Вони призначені для більш детального розгляду графіків.

Праве меню активізується після того, як буде завантажений сигнал. Меню призначене для завдання вейвлету, за допомогою якого буде аналізуватися сигнал, рівня розкладання, завдання видів

відображення на екрані вейвлет-коефіцієнтів і вказівки цілей аналізу: отримання статистичних характеристик, гістограм, стиснення сигналу або видалення шуму.

Розглянемо роботу даного комплексу на прикладі вейвлет-розкладання. Завантажимо сигнал. З'явиться графік сигналу, і справа в верхньому полі буде вказана довжина вибірки. Далі вибираємо вейвлет (Wavelet), його порядок і рівень (Level) вейвлет-розкладання (за замовчуванням 5). Після цього потрібно натиснути на кнопку Analyse, для того щоб зробити вейвлет-розкладання. Результати розкладання будуть зображені на основному полі графічного вікна.

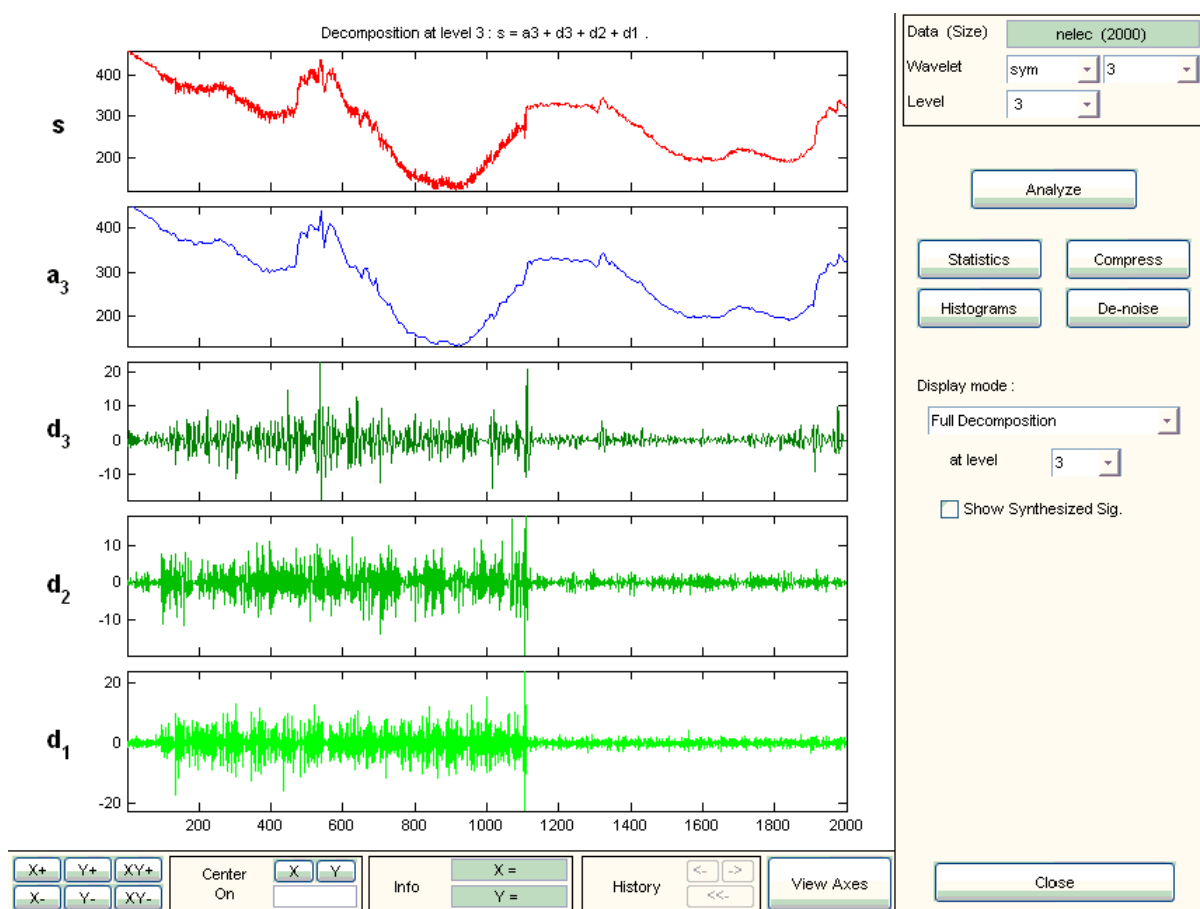


Рисунок 4.6 – Дискретне вейвлет-розкладання до 3-го рівня

На рис. 4.6 наведено результати розкладання з використанням вейвлету *sym3* до третього рівня. Наведено графік вихідного сигналу *s* і графіки компонент сигналу, відновлених апроксимуючими коефіцієнтами *a3* і деталізуючими коефіцієнтами *d1*, *d2*, *d3*.

Вибір різних видів розкладання (Display mode). В даному меню (праворуч у центрі) є можливість вибору наступних видів вейвлет-розкладання:

- «Full Decomposition Mode» – режим за замовчуванням, показує графіки апроксимації самого верхнього рівня розкладання і деталізує компоненти сигналу (рис. 4.7);

– «Separate Mode» показує деталі і всі апроксимації в окремих стовпцях;

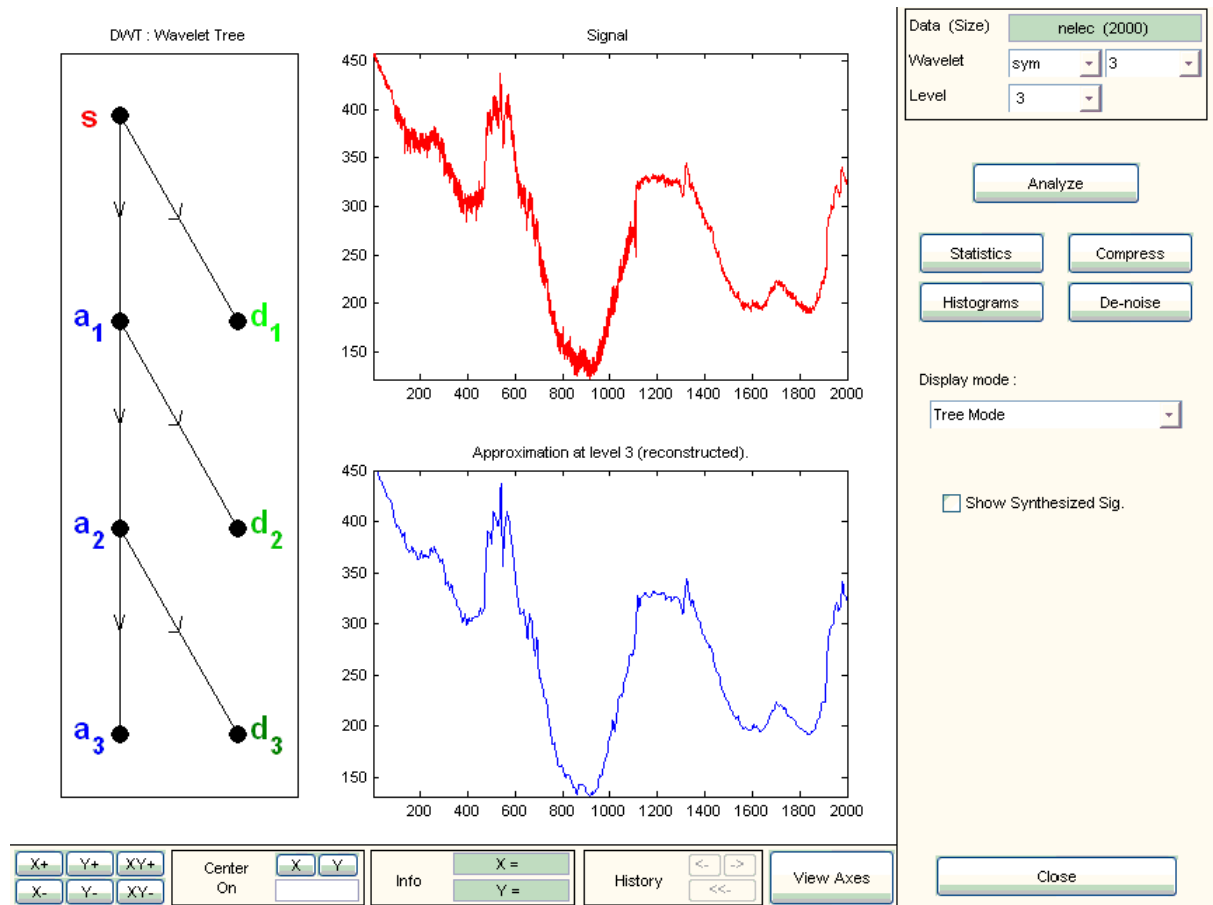


Рисунок 4.7 – Дерево дискретного вейвлет-розкладання

– «Superimpose Mode» показує сигнал і апроксимації в одному вікні різними кольорами, детальні графіки в одному вікні різними кольорами і спектрограму деталізуючих коефіцієнтів. Є можливість завдання додаткових опцій в меню *More Display Option*;

– «Tree Mode» показує дерево вейвлет-розкладання сигналу, графік вихідного сигналу і графік сигналу, відновленого по одному обраному набору коефіцієнтів. Вибрати компоненту сигналу можна мишкою, клацнувши по позначенню вузла на дереві (рис. 4.7);

– «Show and Scroll Mode» відображає три вікна. Перше показує початковий сигнал. Друге вікно – вибрані деталі. Третє – є спектрограма деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів;

– «Show and Scroll Mode (Stem Cfs)» аналогічний «Show and Scroll Mode», за винятком того, що в третьому вікні вейвлет-коефіцієнти зображені у вигляді стебел, а не у вигляді забарвлених блоків спектрограми.

Статистичні характеристики коефіцієнтів розкладання. У комплексі програм Wavelet 1 D передбачена можливість обчислення статистичних характеристик компонент розкладання. Для цього

необхідно натиснути кнопку Statistic справа. З'явиться нове вікно Wavelet 1 D Statistics, що відображає статистичні дані про вихідний сигнал.

При статистичній обробці вейвлет-коефіцієнтів вважається, що набір коефіцієнтів розкладання представляє кінцеву вибірку значень випадкової величини. Вид гістограми відображає щільність розподілу, а вид кумулятивної гістограми відображає вид функції розподілу.

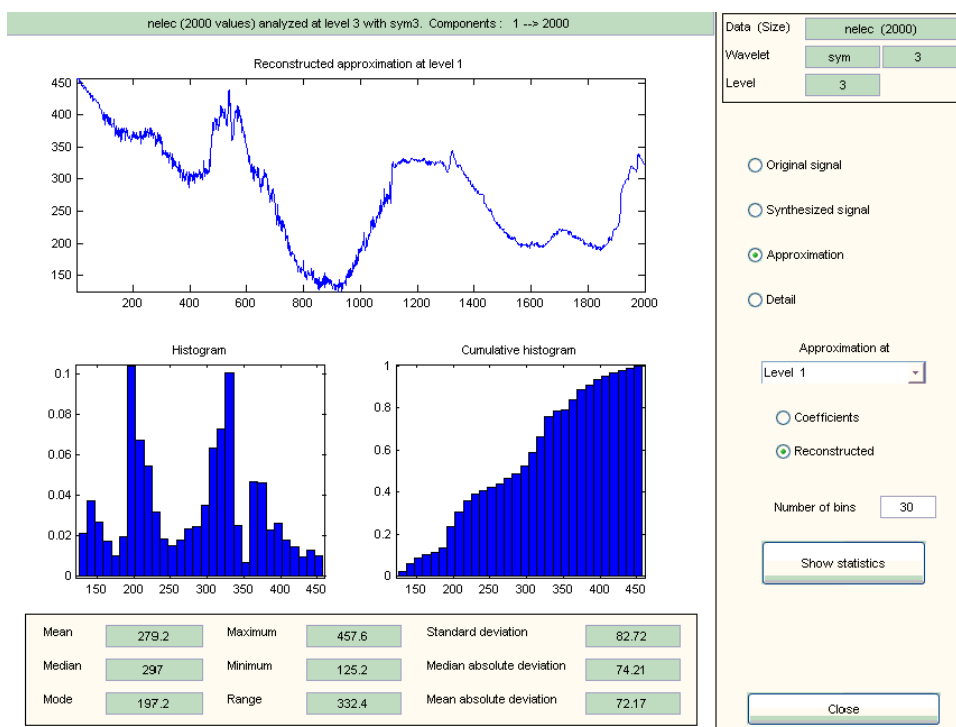


Рисунок 4.8 – Статистичні характеристики компонент сигналу

Число проміжків розбиття можна задати самостійно в полі Number of Bins.

Гістограми (Histogram). Ця кнопка дозволяє побудувати гістограми всіх компонент в сукупності, що буває зручно для їх порівняльної оцінки (рис.4.9).

Стиснення сигналу. Для цього необхідно натиснути кнопку Compression, справа. З'явиться нове вікно Wavelet 1 D Compression, праве меню якого містить ряд можливостей для завдання параметрів стиснення.

Ми бачимо (рис. 4.10), що при виборі вейвлета sym3 і розкладання до 3-го рівня сигнал стискається більш, ніж в 5 разів із збереженням 99,9% енергії. На цьому значенні порога, видалено 80,6% вейвлет-коефіцієнтів

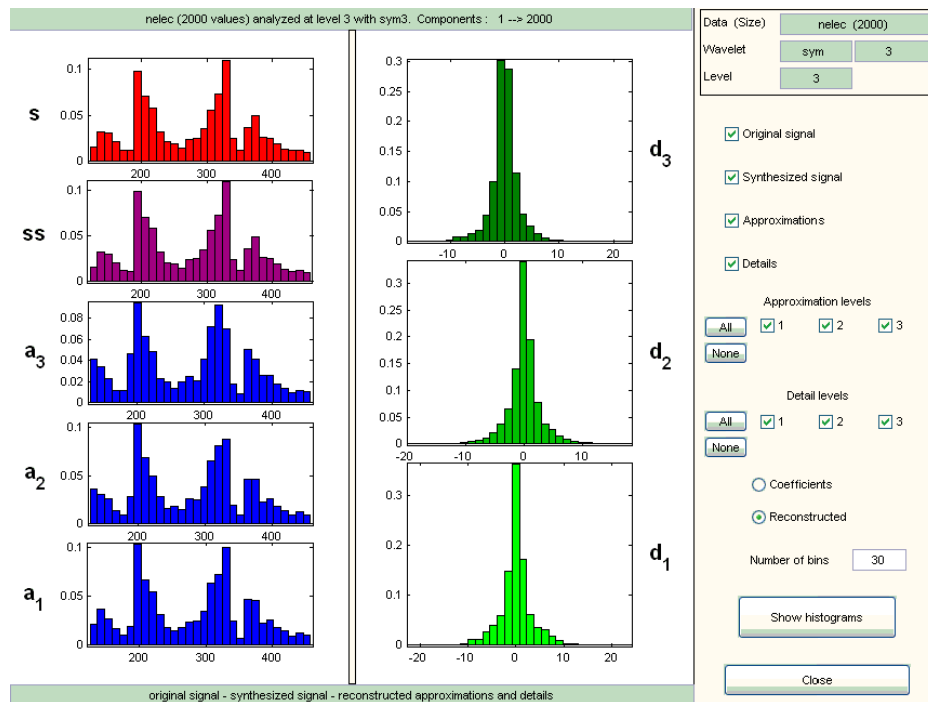


Рисунок 4.9 – Гістограми

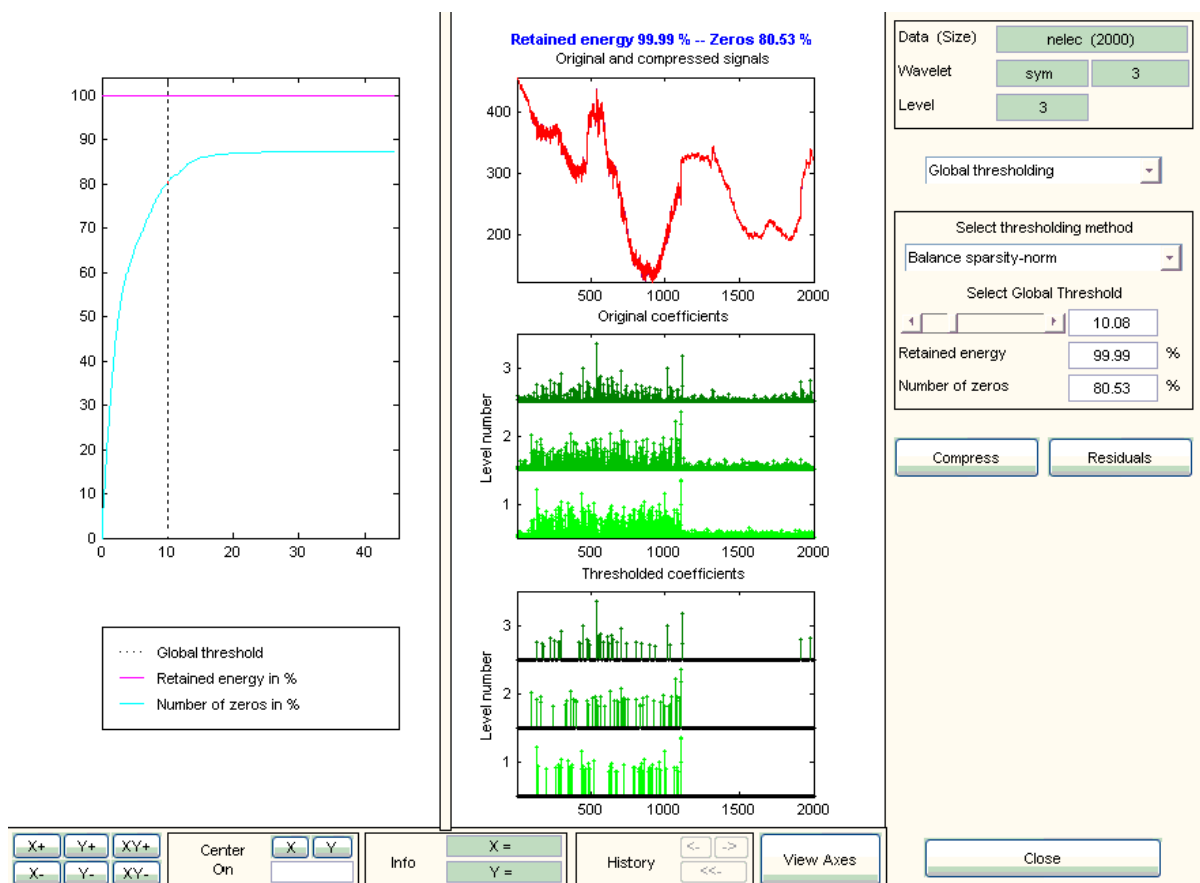


Рисунок 4.10 – Глобальна порогова обробка

Кнопка Residuals дає можливість оцінити характеристики різниці між вихідним та стиснутим сигналами: графік різниці, гістограма, автокореляційна функція, частотний спектр швидкого перетворення

Фур'є і числові статистичні характеристики, такі як середнє, мода, медіана, середньоквадратичне відхилення.

Більш гнучким методом є порогова обробка в залежності від рівнів (By Level Thresholding). При виборі цього методу з'являється вікно, що утримує графіки вихідного сигналу і деталізуючих коефіцієнтів d_1 , d_2 , d_3 .

Є кілька автоматичних методів вибору порога в меню Select Thresholding. У той же час це значення можна вибрати вручну окремо для кожного рівня, використовуючи слайдери, розташовані праворуч (Select, Sparsity), або вручну лівою кнопкою миші використовуючи горизонтальні жовті штриховані лінії в лівих вікнах із зображенням вейвлет-коефіцієнтів. Кожне з цих вікон може бути збільшено натисканням кнопки View Axes. Кнопка Interval Depend Threshold Setting, що знаходиться нижче процентних даних, відкриває додаткове вікно для установки різних порогів на різних частинах одного сигналу.

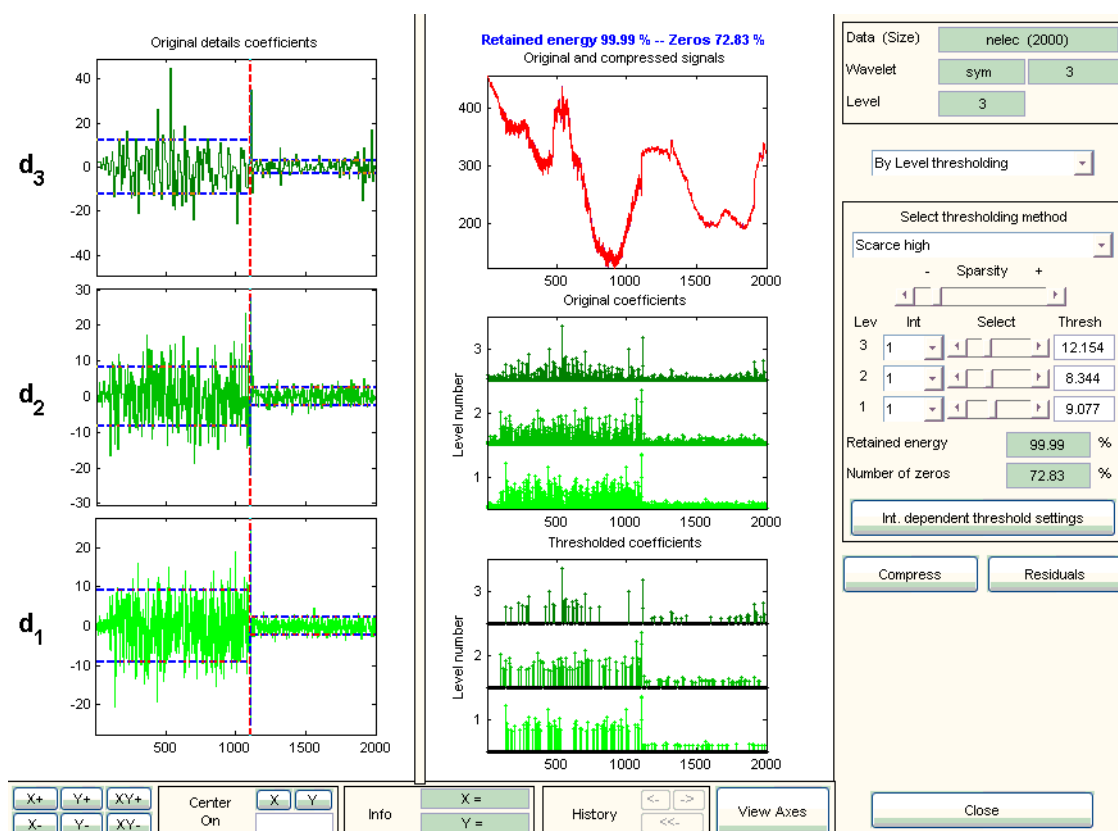


Рисунок 4.11 – Порогова обробка від рівня до рівня

Встановивши для вибраного тону розкладання до рівня 3 і вибравши вручну порогові значення як на рис. 4.11, ми бачимо, що стиснення видаляє більшу частину шуму, зберігає майже 100% енергії сигналу і кількість, що залишилися вейвлет-коефіцієнтів складає близько 15% від обсягу вихідного сигналу. Стисла діаграма зберегла всі властивості, які використовуються для аналізу сигналу. Відсоток

стиснення показує переваги того чи іншого вейвлет-методу в обробці і зберіганні інформації.

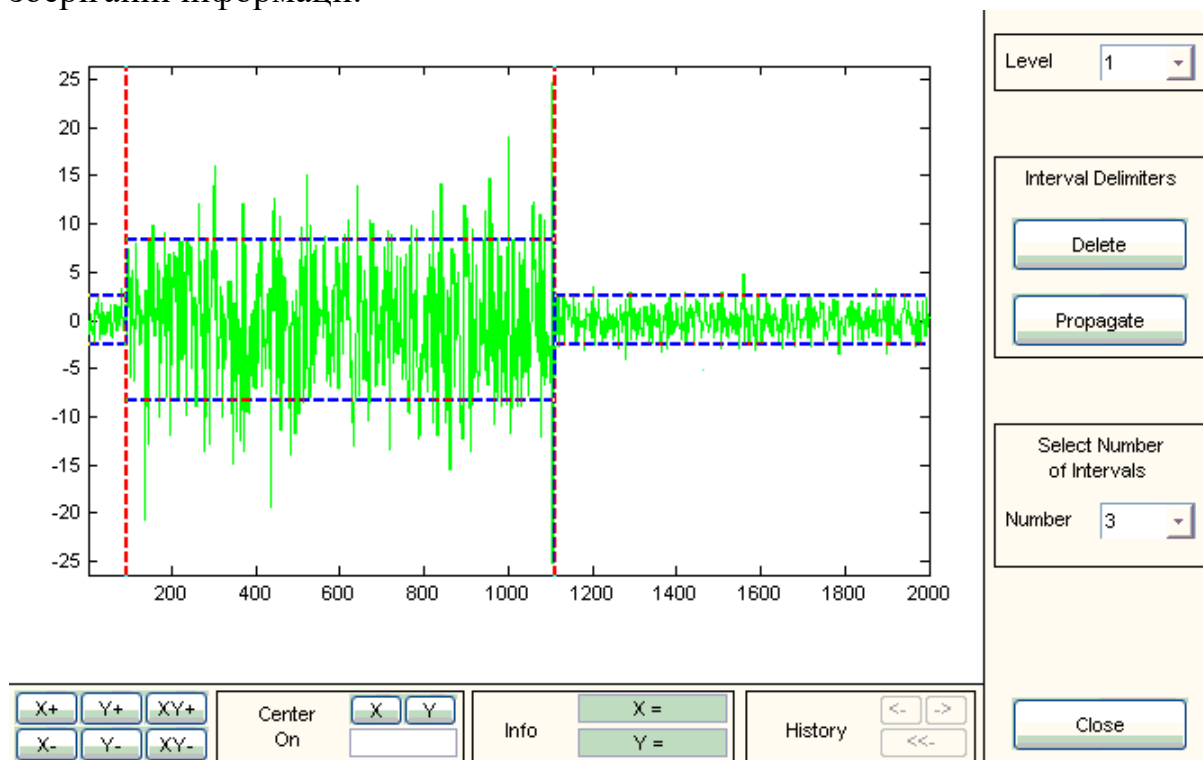


Рисунок 4.12 – Установка інтервальних порогів

Кнопка Residuals дає можливість оцінити характеристики різниці між вихідним та стиснутим сигналами.

Видалення шуму. Для цього необхідно натиснути кнопку De-noise справа на основному вікні Wavelet 1D. З'явиться нове вікно Wavelet 1D De-noise, праве меню якого містить ряд можливостей для завдання параметрів видалення шуму. По-перше, потрібно вибрати стратегію порогової обробки в меню праворуч Select Thresholding Method. Потім необхідно зазначити тип порогової обробки: м'який чи жорсткий. Далі потрібно вибрати тип шуму. В цьому випадку порогові значення будуть визначені автоматично. Натискаємо кнопку De-noise і отримуємо сигнал, очищений від шуму. Він зображується в одному вікні разом з вихідним. Видалення шуму можна провести вручну окремо для кожного рівня, використовуючи слайдери, що знаходяться справа, або вручну лівою кнопкою миші, використовуючи горизонтальні сині штрих-лінії в лівих вікнах із зображенням вейвлет-коефіцієнтів.

Відзначимо дуже корисну особливість. Можна лівою кнопкою миші видокремити фрагмент сигналу у правому верхньому вікні. Потім, якщо його збільшити кнопкою XY+ нижнього меню, то ми отримаємо вейвлет-розкладання цього фрагмента і можна провести видалення шуму цього фрагмента.

Кнопка Int.dependent threshold settings (установка інтервальних порогів) виводить додаткове вікно, в якому зображуються компоненти сигналу. Кнопка Level дозволяє вибрати рівень коефіцієнтів. На

основному полі є дві горизонтальні лінії (пороги), які можна змінювати правою кнопкою миші. В меню Select Number of Intervals можна вибрати кількість інтервалів, на кожному з яких буде вибиратися своє значення порога. Положення кордонів інтервалів (штрих-лінія червоного кольору) можна встановити, утримуючи їх правою кнопкою миші. Повна візуалізація процедур стиснення і видалення шуму дозволяє якісно обробити сигнал. Результати можуть бути збережені з використанням можливостей звичайного Windows-меню.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Розробка рішення поставленого завдання.
3. Покрокова обробка заданого сигналу за допомогою вейвлет-перетворень.
4. Скріншоти з детальним описом отриманих результатів.
5. Висновки за результатами досліджень практичної роботи.

Контрольні питання

1. Безперервне Wavelet -перетворення.
2. DWT.
3. Алгоритм Малла: застосування, переваги, недоліки.

ЛІТЕРАТУРА: [4], [5].

5. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТИПОВИХ МАТЕМАТИЧНИХ СХЕМ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРОГРАМ

Мета роботи: отримання практичних навичок проектування систем за допомогою автоматизованих програм, знаходження оптимальних параметрів системи автоматичного управління за допомогою MatLab.

Устаткування, комплектуючі та програмне забезпечення персональний комп'ютер, MATLAB.

Завдання:

1. Обрати самостійно будь-яку систему автоматичного управління.
2. Описати роботу обраної системи.
3. Розробити модель обраної системи за допомогою пакету MATLAB та Simulink.
4. Дати аналіз результатами моделювання.
5. Описати отримані графіки та параметри
6. Дати рекомендації по модернізації обраної.
7. Зробити висновки по роботі.

Теоретичні відомості.

Системи автоматичного управління, як відомо, можуть бути побудовані різними способами (методами розрахунку регуляторів). Найпоширеніша схема управління має вигляд (рис.5.1):



Рисунок 5.1 – Схема управління

Управління (регулювання) в даній системі здійснюється по відхиленню ($e = r - y$). Такі регулятори називаються регуляторами 1 роду, тобто регуляторами, в роботі яких використовується інформація про однієї змінної (y).

Регуляторами 2 роду, або регуляторами стану – називаються регулятори, в яких при розрахунку керуючого впливу використовується все або деякі змінні стану.

До регуляторам стану відноситься модальний регулятор.

Модальне керування відноситься до корневих методів синтезу лінійних САУ, тобто виходячи із заданих (бажаних, необхідних)

показників якості управління будується бажаний характеристичний поліном, тобто визначається місце розташування коренів характеристичного рівняння. (Коріння на латині називаються моди, звідси назва регулятора – модальний регулятор).

Нехай дано об'єкт управління, представлений у вигляді схеми змінних стану (рис.5.2):

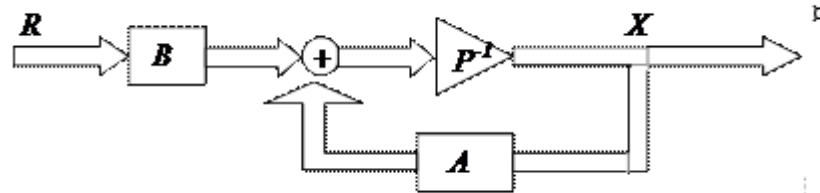


Рисунок 5.2 – Об'єкт управління, представлений у вигляді схеми змінних стану

Динаміка процесу описується рівнянням:

$$\frac{dx}{dt} = A \cdot X + B \cdot R, \quad (5.1)$$

де R - вектор вхідних змінних;

X – вектор стану;

A – матриця коефіцієнтів;

B – матриця входу.

Суть модального регулятора полягає в розрахунку коефіцієнтів зворотного зв'язку, що забезпечують задані показники якості.

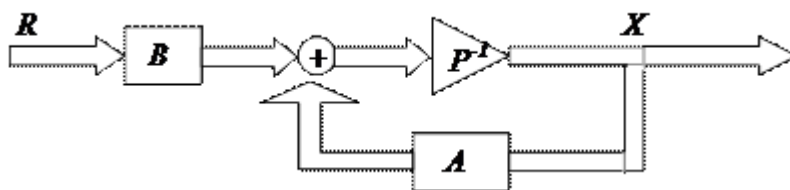


Рисунок 5.3 – Розрахунок коефіцієнтів зворотного зв'язку

Знаходження оптимальних параметрів відбувається завдяки функції **fmincon()**.

fmincon знаходить мінімум для скалярної функції декількох змінних з обмеженнями починаючи з початкового наближення. У загальному випадку, це завдання відноситься до нелінійної оптимізації з обмеженнями або до нелінійного програмування.

$x = \text{fmincon}(\text{fun}, x0, A, b, Aeq, beq, lb, ub)$ визначає набір нижніх і верхніх обмежень на змінній x так, що рішення завжди знаходиться в

діапазоні $lb \leq x \leq ub$. Встановлюється $Aeq = []$ and $beq = []$ в разі відсутності рівності.

Для прикладу взята модель електродвигуна видобувного комбайну та розроблена за допомогою Simulink (рис.5.4).

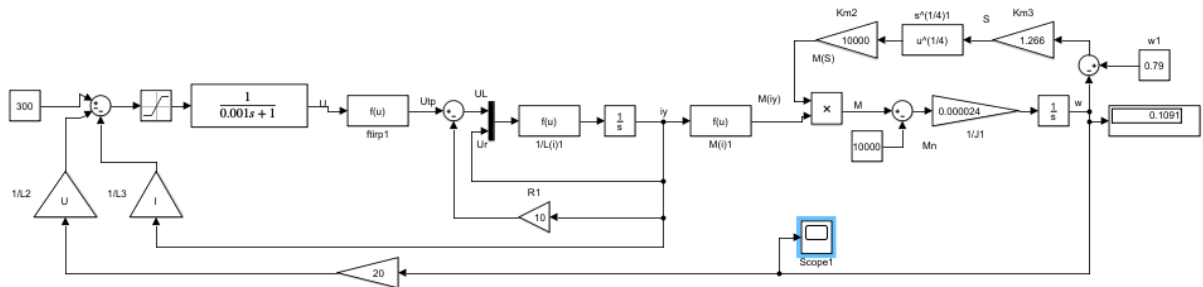


Рисунок 5.4 – Модель комбайну у Simulink

Код, який визиває функцію запуску моделі та виконання параметризації модального регулятора.

Код програми:

```
% Виклик функції, що викликає sim()
clc
clear all;
global U I N
N=0;
x0=[80 60];
lb=[0 0];
ub=[100 100];
[x,f]=fmincon('f_sim',x0,[],[],[],[],lb,ub) %
Последовательное квадратичное программирование
s=0.3347
% [x,f]=fminsearch('f_sim',x0) %симплекс-метод
Нелдера-Мида
% [x,f]=fminunc('f_sim',x0) % Метод Ньютона
s=0.0189
% [x,f]=lsqnonlin('f_sim',x0) % методом
наименьших квадратов s=0.0196
sim('Mod_s_mod_reg');
plot(Scy(:,2))
grid on
I
U
N
sigma=(max(abs(Scy(:,2)))-Scy(length(Scy(:,2))-1),2)-
1,2)./Scy(length(Scy(:,2))-1,2)
ymax=max(abs(Scy(:,2)))
y=Scy(length(Scy(:,2))-1,2)
nt=length(Scy(:,2))-1
```

Код функції:

```
function [f] =f_sim(x)
% Виклик sim() з функції
global U I N
%open('sim_call_opt');
%set_param('sim_call_opt/Transfer
Fcn','Td','0.02');
% sim('sim_call_opt', 'Td','0.02');
N=N+1
U=x(1);
I=x(2);
sim('Mod_s_mod_reg');
%if max(abs(Scy(:,2)-Scy(length(Scy(:,2))-
1),2)))<0.3*abs(Scy(length(Scy(:,2))-1),2))
    f=sum(abs(Scy(:,2)-Scy(length(Scy(:,2))-
1),2)));
    %      f=max(abs(Scy(:,2)-Scy(length(Scy(:,2))-
1),2)));
%else
    %f=1e7;
%end
f
U
I
%f=sum(abs(Sce(:,2)));
%plot(Sce(:,2))
end
```

Отож при виконанні параметризації ми отримуємо такі данні:

Параметри модального регулятора:

I = 58.5864;

U = 99.9254;

sigma = 4.1322e-07 – перерегулювання;

ymax = 0.1091 – максимальне значення;

y = 0.1091 – стале значення;

nt = 181 – кількість ітерацій.

На рис.5.5 представлено графік швидкості розробленого модального регулятора.

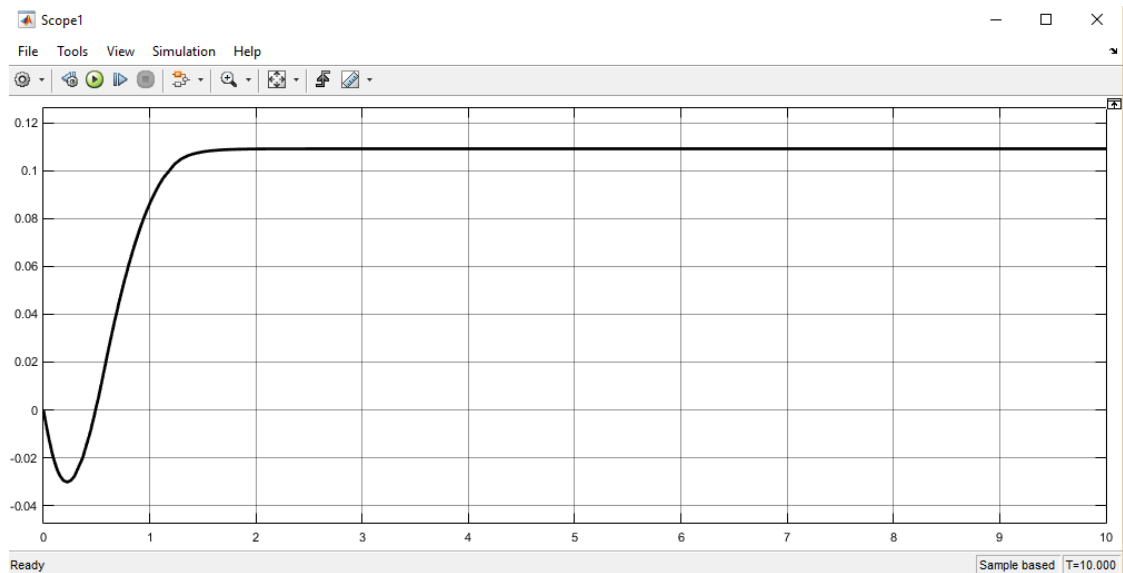


Рисунок 5.5 – Графік швидкості

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Розробка рішення поставленого завдання.
3. Скріншоти налаштування розробленої моделі.
4. Скріншоти перевірки працездатності програми.
5. Висновки за результатами досліджень практичної роботи.

Контрольні питання

1. Блокові ієрархічні моделі процесів функціонування систем.
2. Особливості реалізації процесів з використанням Q-схем.
3. Застосування автоматизованих систем імітаційного моделювання.
4. Найбільш популярні системи моделювання імітаційного моделювання.

ЛІТЕРАТУРА: [1], [5], [8].

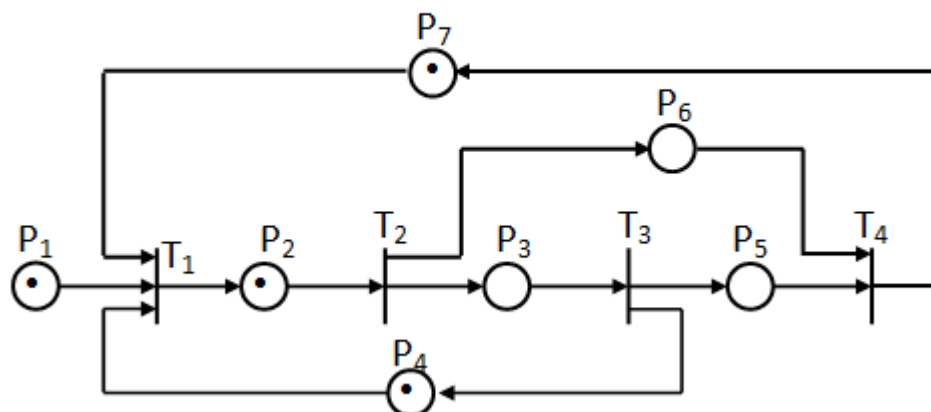
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ :

1. Бейко, І.В. Задачі, методи та алгоритми оптимізації : навч. посіб. / І.В. Бейко, П.М. Зінько, О.Г. Наконечний. – 2-ге вид., перероб. – К. : ВПЦ “Київський університет”, 2012. – 800 с.
2. Самсонов, В.В. Алгоритми розв'язання задач оптимізації : навч. посіб. / В.В. Самсонов. – К. : НУХТ, 2014. – 300 с.
3. Забуранна, Л.В. Оптимізаційні методи та моделі : підручник / Л.В. Забуранна, Н.В. Попрозман, Н.А. Клименко та ін. – К. : НУХТ, 2014. – 372 с.
4. Карагодова, О.О. Дослідження операцій : навч. посіб. / О.О. Карагодова, В.Р. Кігель, В.Д. Рожок. – К. : ЦУЛ, 2007. – 256 с.
5. Математичні методи оптимізації та інтелектуальні комп'ютерні технології моделювання складних процесів і систем з урахуванням просторових форм об'єктів / В.В. Грицик, А.І. Шевченко, П.І. Стецюк. – Донецьк : Наука і освіта, 2011. – 480 с.
6. Черноруцкий, И.Г. Ч-49 Методы оптимизации. Компьютерные технологии / И.Г.Черноруцкий. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 384 с.: ил.
7. Гордеев, А.В. Операционные системы / А.В. Гордеев. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2009. – 345 с.
8. Лесин, В.В. Основы методов оптимизации : учеб. пособ. / В. В. Лесин, Ю.П. Лисовец. – СПб. : Лань, 2011. – 352 с.
9. Соболев, Б.В. Методы оптимизации : практикум / Б.В. Соболев, Б.Ч. Месхи, Г.И. Каныгин. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2009. – 380 с.
10. Габасов, Р. Методы оптимизации : учеб. пособ. / Р. Габасов, Ф.М. Кириллова. – Минск : Четыре четверти, 2011. – 472 с.
11. CulOnline [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.culonline.com.ua/index.php>.
12. Методы оптимизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.theweman.info/topics/t3.html>.
13. Лекції, таблиці, формули, приклади розв'язків з математичного аналізу та диференціальних рівнянь [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.math24.ru/index.html>.
14. OpNet is now part of riverbed steelcentral [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/opnet.html?redirect=opnet>.
15. Методы оптимизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.intuit.ru/search>.

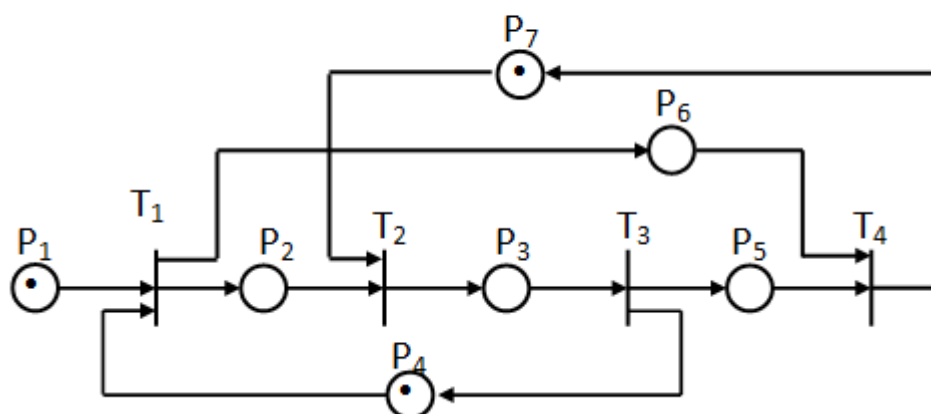
ДОДАТОК А

ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ №3

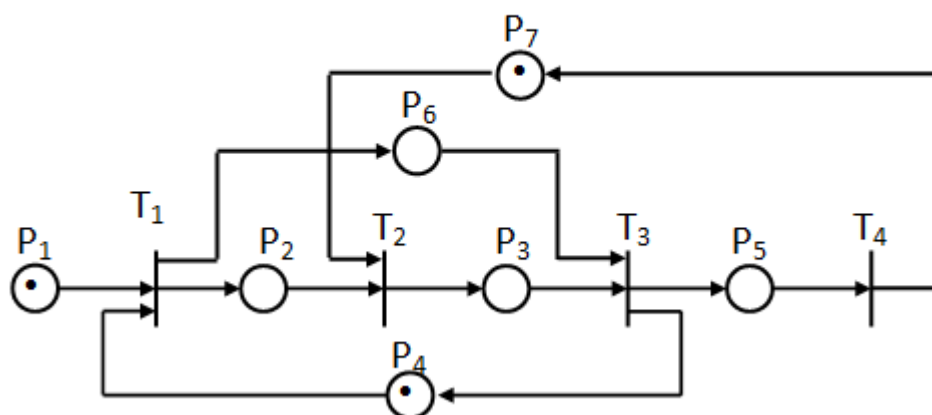
Варіант 1



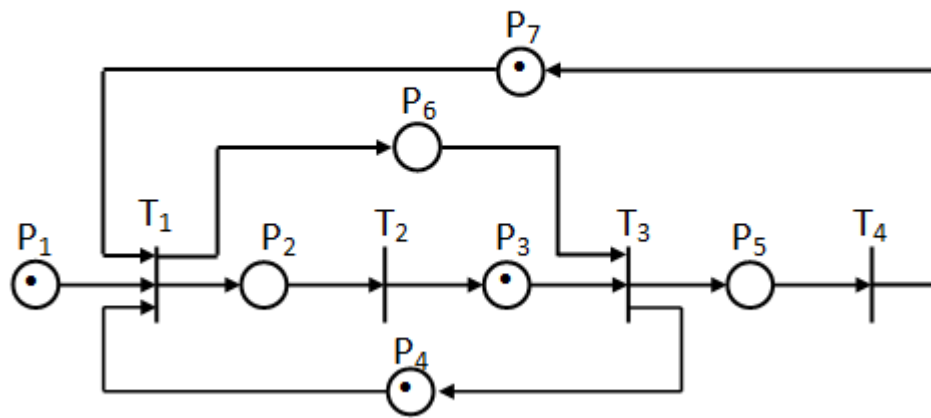
Варіант 2



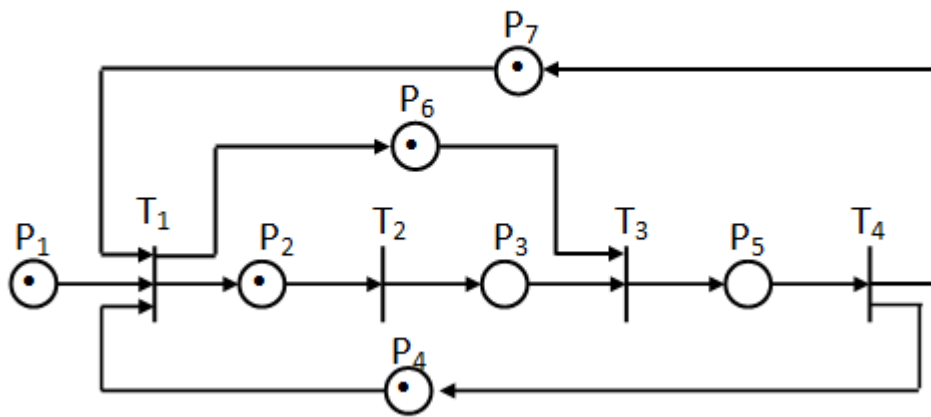
Варіант 3



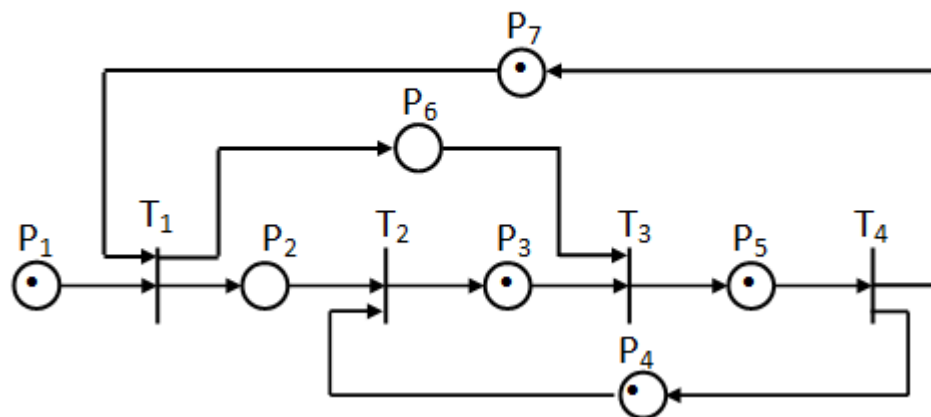
Варіант 4



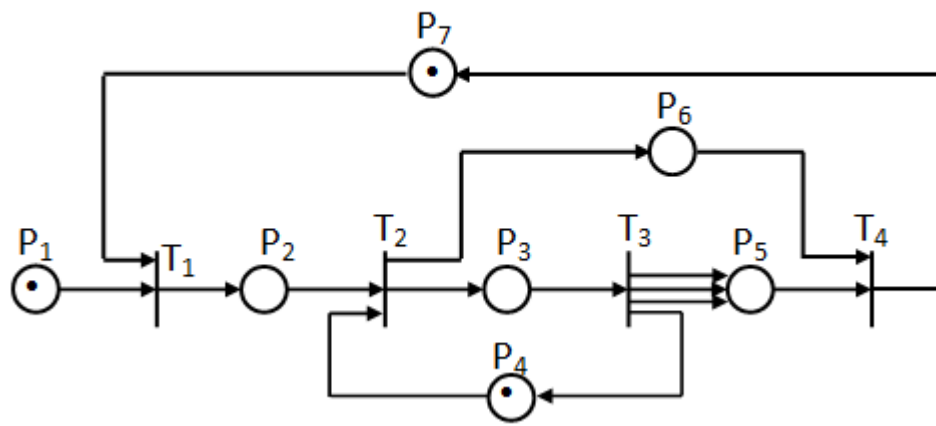
Варіант 5



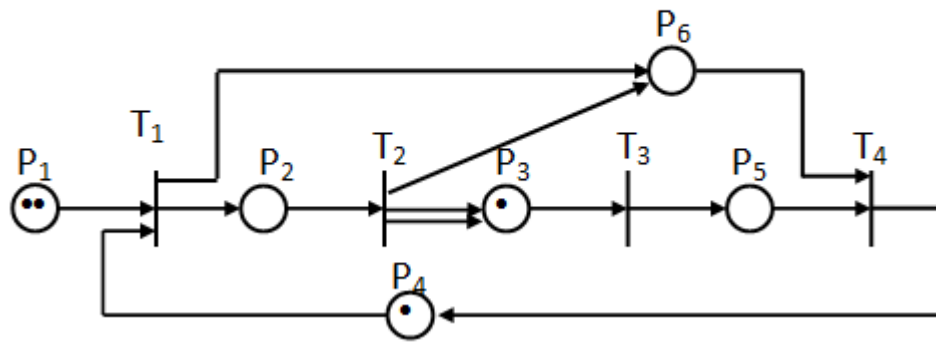
Варіант 6



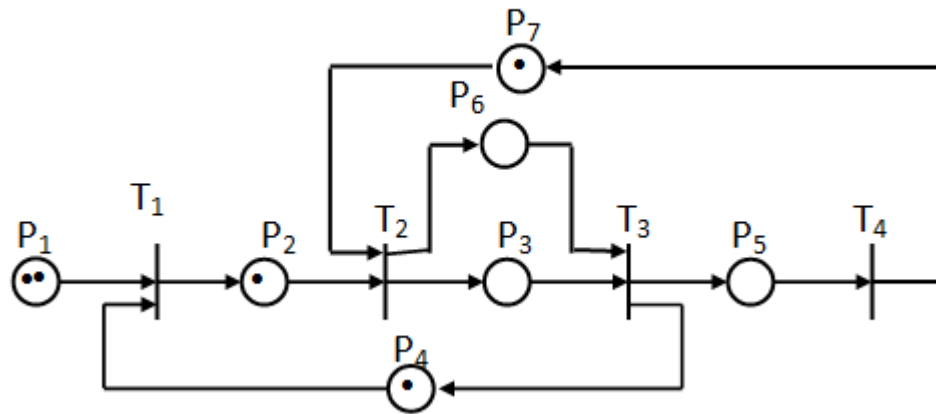
Варіант 7



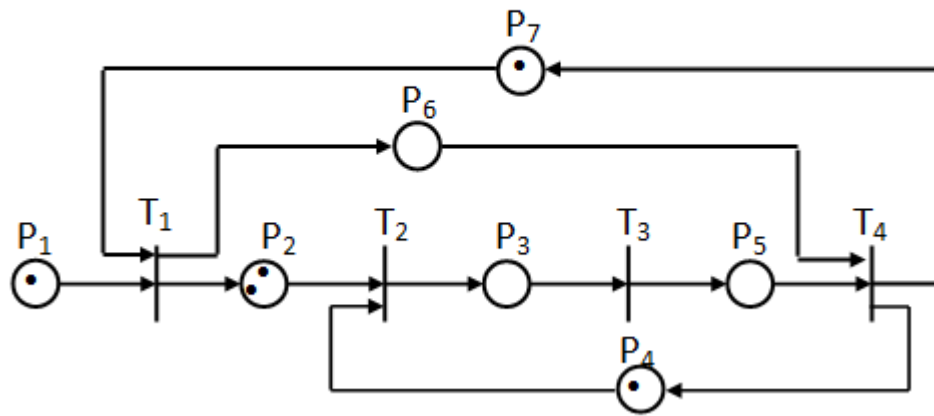
Варіант 8



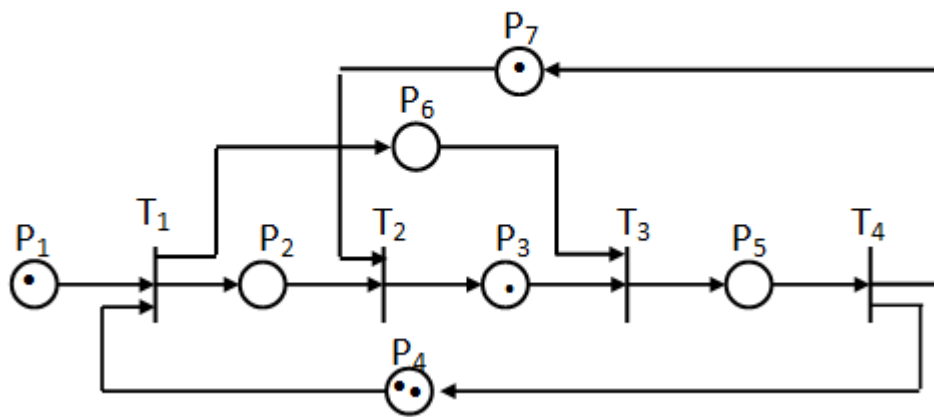
Варіант 9



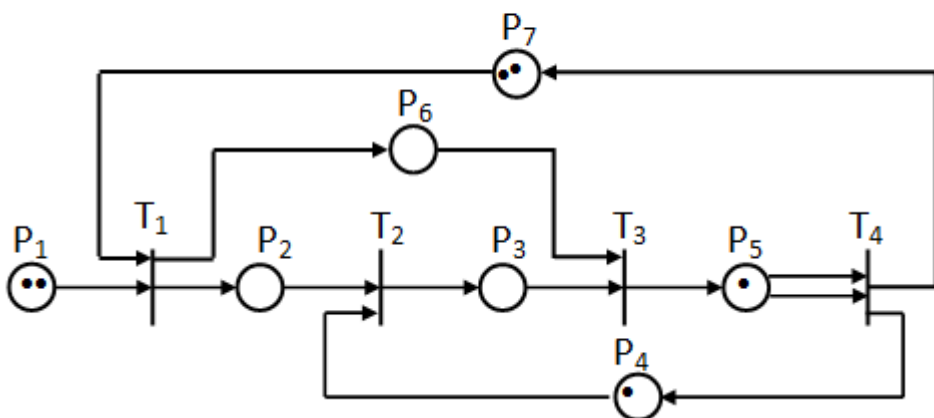
Варіант 10



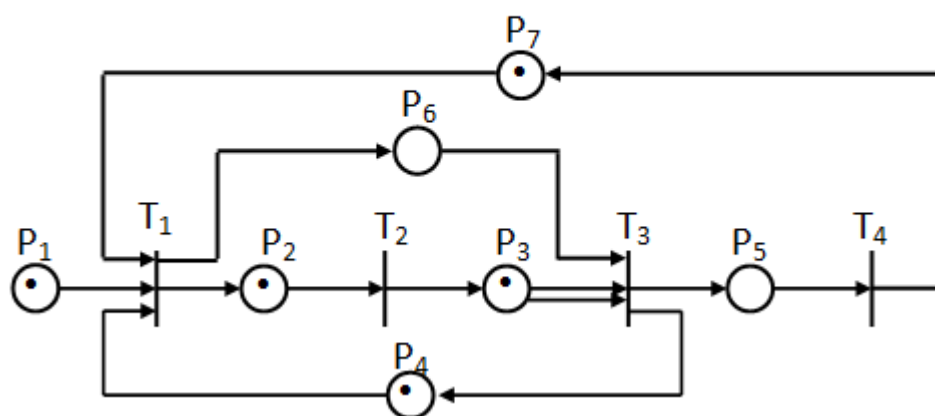
Варіант 11



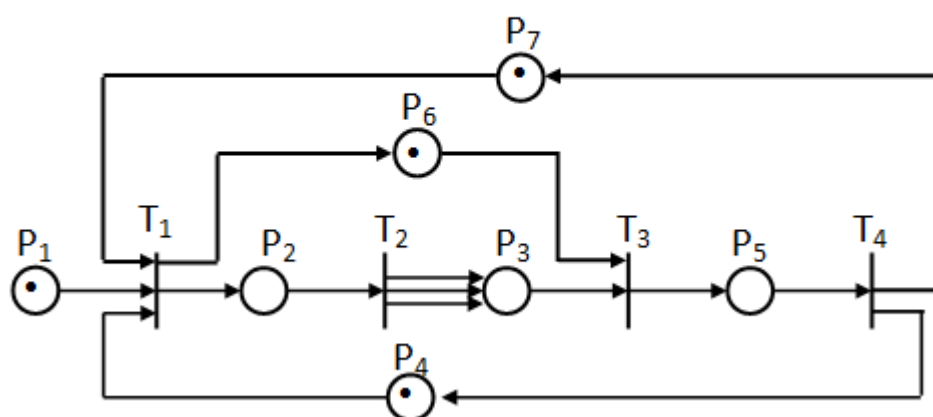
Варіант 12



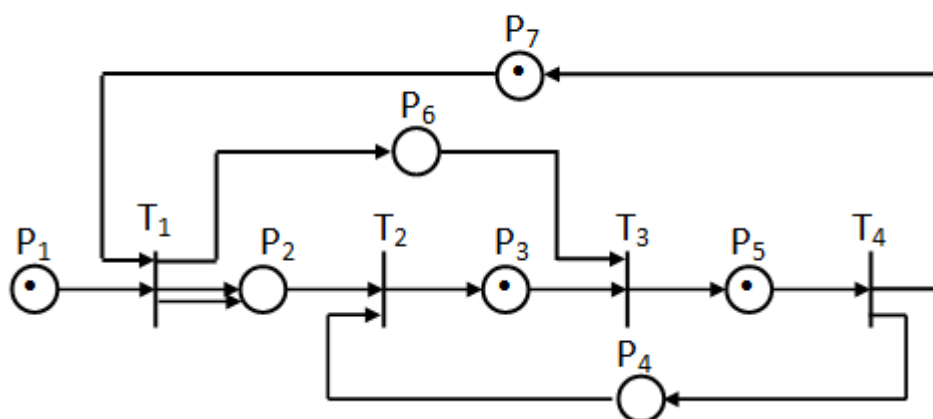
Варіант 13



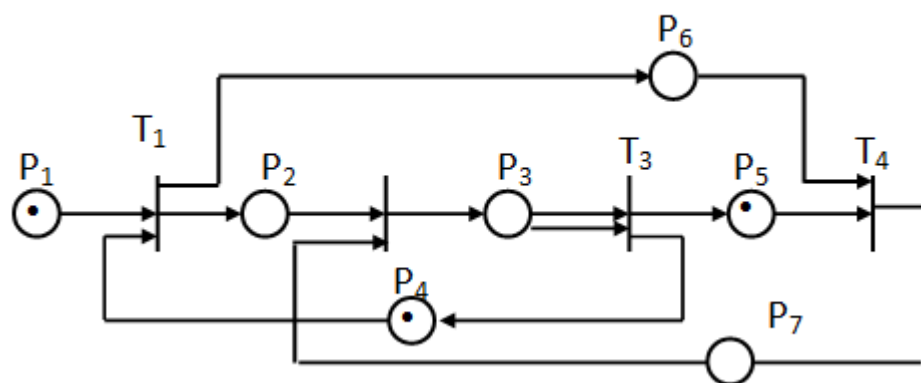
Варіант 14



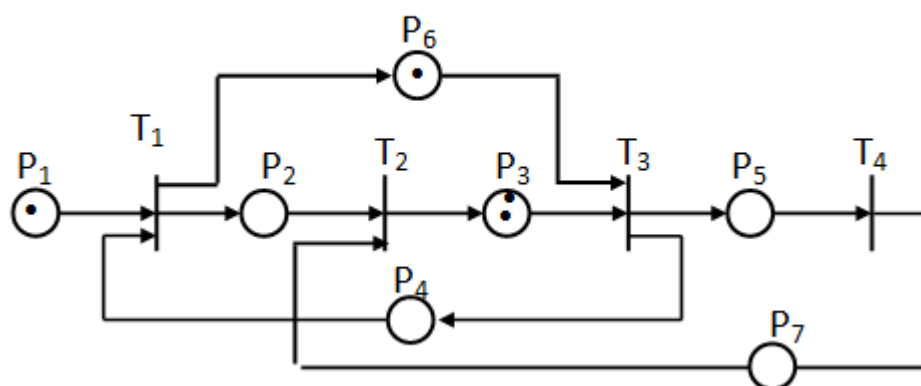
Варіант 15



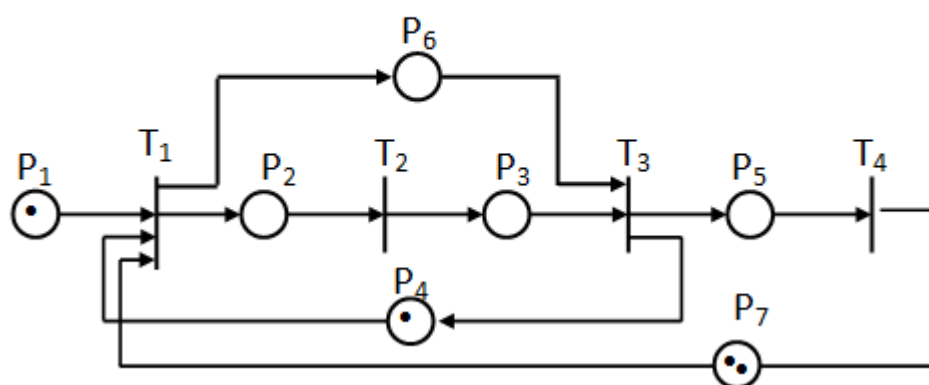
Варіант 16



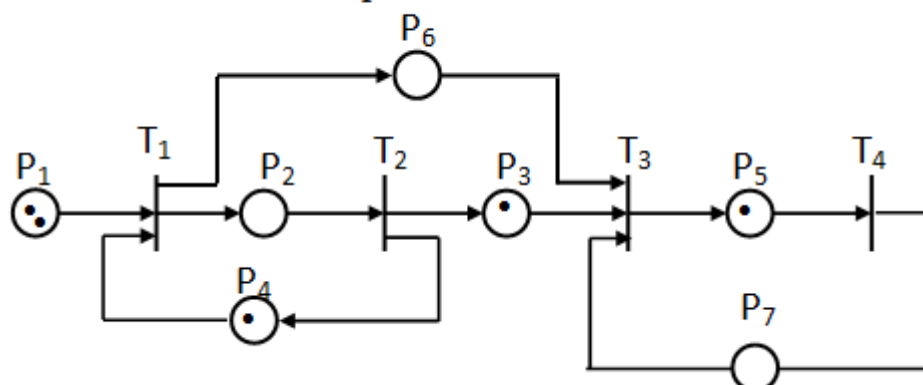
Варіант 17



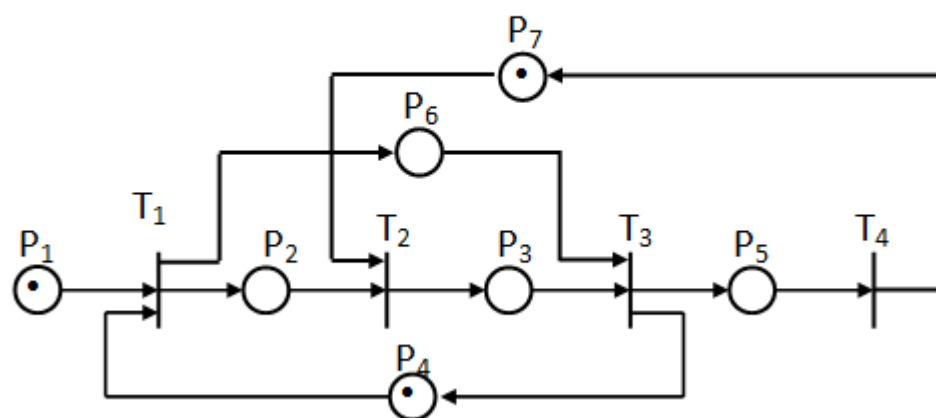
Варіант 18



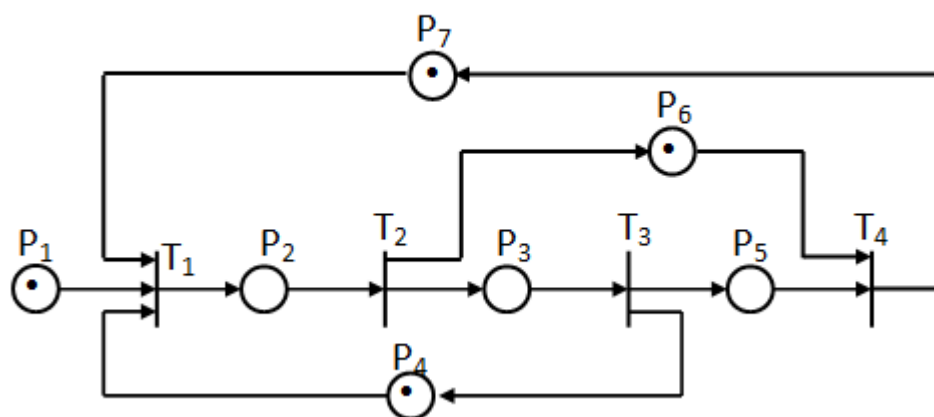
Варіант 19



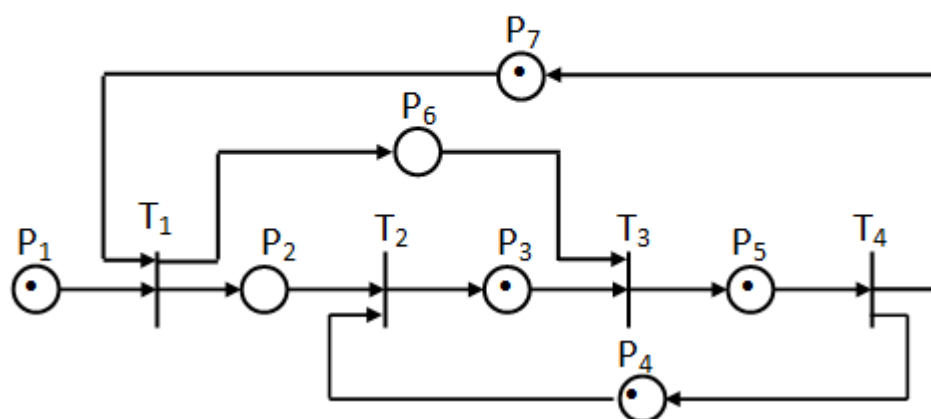
Варіант 20



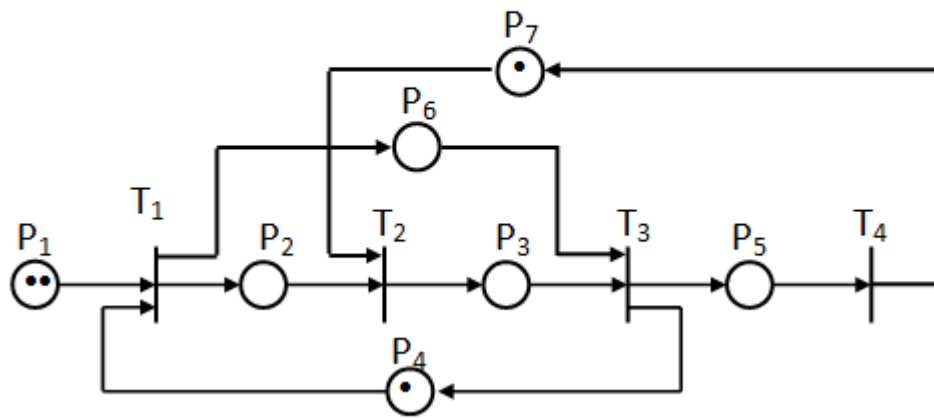
Варіант 21



Варіант 22



В а р і а н т 23



В а р і а н т 24

