

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»
Кафедра радіотехніки та телекомунікацій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Моделювання радіотехнічних систем»
для студентів спеціальності
172 «Електронні комунікації та радіотехніка»
ОПП «Радіотехніка»
всіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Моделювання радіотехнічних систем» для студентів спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» ОПП «Радіотехніка» всіх форм навчання / Укл.: С.В. Морщавка, С.С. Самойлик. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023. – 42 с.

Укладач: С.В. Морщавка, доцент, к.т.н.
С.С. Самойлик, доцент, к.ф.-м.н.

Рецензент: Д.М. Піза, професор, д.т.н.

Відповідальний
за випуск: Г.М. Сидоренко, зав. лаб.

Затверджено:
на засіданні кафедри
радіотехніки та телекомунікацій
Протокол № 2 від 10.10.2022 р.

Рекомендовано до видання НМК
факультету радіоелектроніки та
телекомунікацій
Протокол № 1 від 10.10.2022 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1	6
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2	7
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3	9
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4	13
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6	17
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7	19
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8	22
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9	24
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 10	26
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 11	30
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 12	33
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 13	36
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 14	39
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ	41

ВСТУП

Метою виконання практичних робіт є закріплення на практиці теоретичного матеріалу з дисципліни «Модельовання радіотехнічних систем» для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» ОПП «Радіотехніка» всіх форм навчання

Для дослідження РТС та їх вузлів використовується переважно пакет Matlab – Simulink. Перевагою комп'ютерного моделювання є велике різноманіття моделей РТС та їх елементів у пакетах моделювання та інші.

Методичні вказівки містять опис 14 бораторних робіт за темами:

- тема 1 – загальні відомості про моделювання РТС;
- тема 2 – комп'ютерні пакети моделювання Simulink та Stateflow: загальні відомості;
- тема 3 – комп'ютерні пакети моделювання Simulink та Stateflow: типові моделі;
- тема 4 – уніфікована мова моделювання UML;
- тема 5– моделі нечіткості;
- тема 6 – нейромережеві моделі;
- тема 7 – генетичні алгоритми;
- тема 8 – моделі обробки сигналів;
- тема 9 – вейвлет аналіз сигналів;
- тема 10 – моделі знань. Логічне програмування;
- тема 11 – безперервні моделі динамічних систем;
- тема 12 – дискретні моделі динамічних систем;
- тема 13– гібридні моделі динамічних систем;
- тема 14 – інтегровані та когнітивні системи.

Студент зобов'язаний вивчити теоретичний матеріал, виконати лабораторні завдання та зробити звіт з лабораторної роботи, який буде мати основні розділи: а) назва лабораторної

роботи; б) її мета; схеми експериментів, моделей, таблиці, графіки, розрахунки, висновки.

Звіт має бути оформлений у відповідності до СТП 1596 і захищений.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

Загальні відомості про моделювання РТС

Мета: отримати загальні відомості про моделювання РТС.

Короткі теоретичні дані

Рекомендовані джерела інформації містять основні види та класи моделей РТС, приклади моделювання РТС передачі інформації (радіозв'язок, радіомовлення, телебачення), добування інформації (виявлення і вимірювання – РЛС, РНС, радіоастрономія і т.п.), радіотелеуправління (БПЛА) і РТС руйнування інформації (радіопротидія).

Хід роботи

1. Ознайомитись з рекомендованою літературою, Інтернет ресурсами та конспектом лекцій.
2. Перевірити наявність пакетів моделювання на вашому комп'ютері.
3. Знайти приклади моделювання РТС у науково-технічній літературі.

Контрольні запитання

1. Сфери застосування, переваги моделювання РТС.
2. Види, класифікація моделей РТС.
3. Програмні засоби що використовуються при моделюванні РТС.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

Комп'ютерні пакети моделювання Simulink та Stateflow: загальні відомості

Мета: вивчити інтерфейс пакети моделювання Simulink та Stateflow: загальні відомості та типові блоки обчислень.

Короткі теоретичні дані

Математична система MATLAB – найефективніша серед систем для чисельних обчислень. Система фактично стала світовим стандартом в області сучасного математичного і науково технічного програмного забезпечення.

Simulink – головний пакет розширення системи MATLAB, який реалізує імітаційне блочне візуально-орієнтоване моделювання систем і пристроїв як самого загального, так і конкретного призначення. Серед найбільш важливих пакетів розширення Simulink інструментального ящика Blockset: Simulink Response Optimization для моделювання та оптимізації відгуку нелінійних систем, SimPowerSystems для моделювання та проектування енергетичних систем та пристроїв, SimMechanics для моделювання та проектування механізмів і механічних систем, Signal Processing для моделювання систем обробки сигналів, Telecommunication для моделювання систем телекомунікацій, RF Toolbox і Blockset – для моделювання радіотехнічних систем ін.

Stateflow – є розширенням системи Simulink для моделювання подіємо-керованих систем.

Хід роботи

1. Дослідити модель системи першого порядку яка задана диференціальним рівнянням:

$$x'(t) + 2x(t) = \sin(t),$$

$$x(0) = 0.$$

2. Дослідити модель інтегратора зі скиданням.
3. Дослідити модель системи другого порядку з використанням блока Transfer Fcn.
4. Дослідити модель системи управління снігоочищувачами

Контрольні запитання

1. Призначення та можливості пакетів моделювання MATLAB, Simulink та Stateflow.
2. Основні бібліотеки Simulink.
3. Інтерфейс користувача пакетів MATLAB, Simulink та Stateflow.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

Комп'ютерні пакети моделювання Simulink та Stateflow: типові моделі

Мета: вивчити приклади моделювання елементів РТС з використанням пакетів Simulink та Stateflow.

Короткі теоретичні дані

У пакеті MATLAB є два інтегрованих графічних середовища, що дозволяють здійснювати моделювання цифрової фільтрації. Це нове (починаючи з версії 6.0) середовище FDATool (Filter Design & Analysis Tool), яке в основному призначене для розрахунку та аналізу цифрових фільтри з урахуванням впливу ефектів квантування, та більш старий модуль SPTool (Signal Processing Tool), який надає в розпорядження користувача графічне середовище для перегляду графіків сигналів та їх спектрів, розрахунку й аналізу дискретних фільтрів, а також фільтрації сигналів.

Для запуску програми розрахунку фільтрів необхідно набрати її ім'я в командному рядку MATLAB:

» fdatool

Після цього з'явиться вікно програми, показане на рис. 3.1.

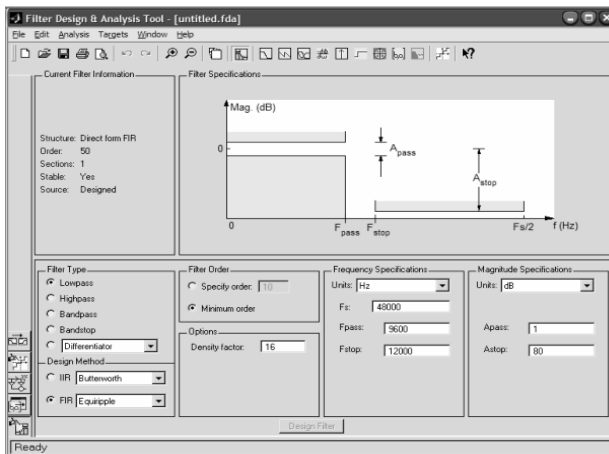


Рисунок 3.1 – Інтерфейс програми fdatool

Розрахунок фільтра

Розрахунок фільтра починається із завдання необхідних параметрів на вкладці Design Filter (див. рис. 3.1). Тип синтезованої АЧХ вибирається за допомогою перемикача Filter Type. Можливі наступні варіанти: Lowpass (ФНЧ), Highpass (ФВЧ), Bandpass (смуговий фільтр), Bandstop (режекторний фільтр). Вибір п'ятого положення перемикача дозволяє використовувати список, що розкривається, у якому перераховані більш складні варіанти: Differentiator (диференціюючий фільтр), Hilbert Transformer (перетворювач Гільберта), Multiband (багатосмуговий фільтр), Arbitrary Magnitude (довільна АЧХ) і Arbitrary Group Delay (довільна групова затримка).

Вибравши категорію синтезованої АЧХ, варто вибрати тип синтезованого фільтра, установивши перемикач, розташований у розділі Design Method, у положення IIR (рекурсивний) або FIR (не рекурсивний). Кожному положенню перемикача відповідає список можливих методів синтезу. Склад цього списку змінюється в залежності від обраного типу АЧХ. Наприклад,

при синтезі фільтра з довільною залежністю групової затримки від частоти (Arbitrary Group Delay) перемикач автоматично установиться в положення IIR, а в списку буде доступний всього один метод – метод мінімізації р-норми помилки (Constrained Least Pth Norm). У випадку синтезу АЧХ чотирьох найпростіших типів набір можливих методів синтезу значно ширше:

а) не рекурсивні фільтри (FIR). Тут доступні наступні методи:

1) Equiripple – синтез фільтрів з рівномірними пульсаціями АЧХ методом Ремеза;

2) Least-Squares – мінімізація середньоквадратичного відхилення АЧХ від заданої;

3) Window – синтез з використанням вагових функцій (вікон);

б) рекурсивні фільтри (HR). Тут доступні чотири варіанти синтезу по різних аналогових прототипах методом білінійного z-перетворення:

1) Butterworth – синтез фільтра Батерворта;

2) Chebyshev Type I/II – синтез фільтра Чебишева 1 та 2 роду;

3) Elliptic – синтез еліптичного фільтра.

Далі необхідно вибрати порядок фільтра в розділі Filter Order. У багатьох випадках крім явної вказівки порядку в поле введення Specify order можливий автоматичний вибір порядку шляхом установки перемикача в положення Minimum order.

Нарешті, необхідно задати числові параметри цієї АЧХ у розділах Frequency Specifications і Magnitude Specifications (при виборі типу АЧХ із додаткового списку, що розкривається, ці два розділи поєднуються під загальною назвою Frequency and Magnitude Specifications). Вміст цих областей вікна змінюється в залежності від обраного типу АЧХ. При заповненні полів введення можна посилатися на перемінні, існуючі в даний момент у робочій області пам'яті MATLAB.

Числові параметри, які необхідно задати, ілюструються графіком, виведеним у розділі Filter Specifications. Вигляд цього графіка також змінюється в залежності від обраного типу АЧХ.

Вибравши метод синтезу і задавши характеристики фільтра, необхідно натиснути на розташований у нижній частині вікна кнопці Design Filter. Програма fdatoool викликає потрібну функцію синтезу, передавши їй вказані користувачем специфікації фільтра.

Хід роботи

1. Дослідження фільтрів різного типу (НЧ, ВЧ, смугових, що пропускають або загороджують).
2. Дослідження модульованих сигналів.
3. Дослідження реалізацій підсилювачів із використанням пакету RF Blockset

Контрольні запитання

1. Які спеціалізовані пакети проектування фільтров є у системі Matlab-Simulink.
2. Принципи моделювання сигналів у системі Matlab-Simulink.
3. Функціональні можливості пакету радіотехнічного моделювання RF Blockset.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

Уніфікована мова моделювання UML

Мета: навчитись моделювати радіотехнічні системи та їх компоненти мовою UML.

Короткі теоретичні дані

Універсальна мова моделювання (Unified Modelling Language або UML) – це мова позначень або побудови діаграм, призначена для визначення, візуалізації і документування моделей зорієнтованих на об'єкти систем програмного забезпечення [11, 18, 19].

Мова UML підтримує такі типи діаграм: Діаграма випадків використання, Діаграми класів, Діаграми послідовності, Діаграми співпраці, Діаграми стану, Діаграми діяльності, Діаграми компонентів, Діаграми впровадження, Діаграми взаємозв'язку сутностей.

Хід роботи

Формування діаграми станів в нотації UML для системи цифрового фазового автопідстроювання (ЦФАП).

Структурна схема та часові діаграми ЦФАП приведені на рис. 4.1.

На вхід ЦФАП діє суміш:

$$\xi(t) = S(t) + U(t)$$

де $S(t)$ – корисний сигнал (нехай для простоти $S(t)$ – прямокутної форми) з амплітудою A_s і періодом T_s ;

$U(t)$ – нормальний білий шум з $M\langle U(t) \rangle = 0$ і спектральної щільністю N_u ;

Φ – вузько смуговий фільтр з смугою пропускання ΔF ;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач з частотою дискретизації $f_n = 2\Delta F$;

ФД – фазовий детектор, який визначає вибірки, що відповідають моментам зміни знаку $S(t)$. Помилка синхронізації при цьому дорівнює інтервалу τ між переходом $S(t)$ і моментом взяття вибірки. Наявність $U(t)$ визначає існування додаткової помилки синхронізації, величина якої залежить від співвідношення сигнал / шум ($S(t) / U(t)$).

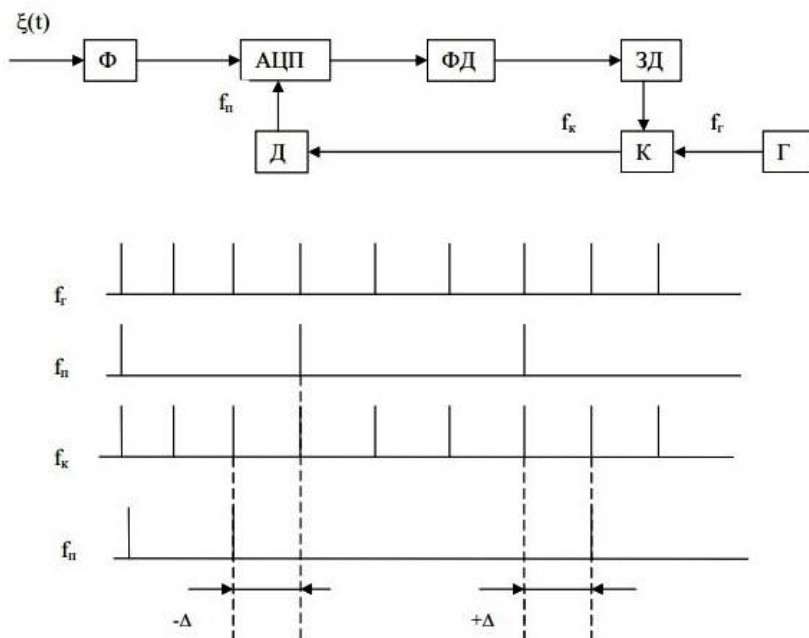


Рисунок 4.1 – Структурна схема та часові діаграми ЦФАП

Щоб зменшити вплив шуму на точність синхронізації, корекція положення вибірок фазових переходів сигналу проводиться по m вибірках за час $T = mT_s$.

ЗД – знаковий детектор, сигнал на виході якого з'являється один раз за час T і дорівнює знаку суми m вибірок переходів.

K – коректор, додає або виключає імпульси в послідовності f_r в залежності від величини знака і знака сигналу ЗД.

D – дільник частоти з коефіцієнтом ділення $R = f_r / 2\Delta F$.

G – генератор з частотою f_r .

Додавання або виключення в послідовності f_r змінює в потрібну сторону фазу послідовності імпульсів, використовуваних для АЦП, тобто змінює положення вибірок з $\xi(t)$ в потрібну сторону на величину Δ – період f_r .

Список внутрішніх дій у станах ЦФАП приведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Список внутрішніх дій у станах ЦФАП

Ім'я стану	Список внутрішніх дій
Фільтрація	do/ виділення смуги ΔF у спектрі вхідного сигналу
Генерація	do/ формування опорної частоти f_r
Ділення частоти	do/ формування частоти $f_n = f_r/R$; $R = f_r/2\Delta F$
Детектування фази	do/ виділення вибірок, відповідно до фазових переходів вхідного сигналу
Знакове детектування	entry/ очистити пам'ять do / фіксувати величину і знак вибірок в моменти фазових переходів протягом m циклів exit / підсумувати накопичені дані
Коррекція фази частоти АЦП	Сигнал на виході знакового детектора позитивний – додати імпульс в f_r . Сигнал на виході знакового детектора негативний – видалити імпульс з f_r
Перетворення аналог-цифра	do/ брати відліки сигналу на вході з частотою f_n

Контрольні запитання

1. Призначення мови UML.
2. Діаграми мови UML.
3. Асоціації класів UML.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

Моделі нечіткості

Мета роботи: вивчити принципи нечітких контролерів.

Теоретичні відомості

Нечіткий контролер використовують у випадках, коли неможливо створити модель об'єкту дослідження у формі диференціальних рівнянь. Тоді використовують досвід експертів, який є нечітким. Він втілюється в функції приналежності змінних моделей.

Практична частина

1. Дослідити використання нечіткого контролеру як альтернативу PID- контролеру за допомогою демонстраційного прикладу ‘Water Tank with View Ruler’ у пакеті Fuzzy Logic Toolbox системи Matlab.

2. Дослідити використання нечіткого контролеру як експертної системи прогнозування технічного стану радіотехнічного пристрою.

Методичні вказівки

Для створення нечіткого контролеру використовувати редактори структури, функцій приналежності та правил у пакеті Fuzzy Logic Toolbox системи Matlab.

Контрольні запитання

1. Що таке нечітка множина.
2. Що таке лінгвістична змінна.
3. Етапи створення нечіткого контролеру.
4. Переваги нечіткого контролеру.
5. Приклади використання нечіткої логіки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

Нейромережеві моделі

Мета роботи: вивчити принципи побудови моделі явища або процесу за допомогою навчання нейронної мережі.

Теоретичні відомості

Штучні нейронні мережі використовуються для побудови моделі явища або процесу у випадках коли не має досліду експертів. Навчання нейронної мережі виконується шляхом введення результатів догляду роботи об'єкту дослідження у форматі «вхід – вихід».

Практична частина:

а) дослідити процес утворення нечіткої моделі математичної функції шляхом навчання нейронної мережі. Для цього :

1) зробити за допомогою текстового редактору файл із розширенням .txt який містить 10-20 пар строк значень аргумент-функція та завантажити його у програму **anfisedit** системи Matlab;

2) здобути модель зберегти як файл із розширенням .fis, відкрити та виконати у пакеті **Fuzzy Logict Toolbox** системи Matlab;

3) розрахувати похибку обчислення значення математичної функції за допомогою створеної нечіткої моделі. При необхідності змінити параметри утворення моделі у середовищі **anfisedit** та розрахувати похибку;

б) дослідити процес утворення нечіткої моделі випадкового процесу у якому функція процесу залежить від її значень у попередні моменти часу.

Методичні вказівки

Для побудови нечіткої моделі використовувати функцію **anfisedit** а для дослідження пакет **Fuzzy Logict Toolbox** системи Matlab.

Контрольні запитання

1. Що таке штучний нейрон.
2. У чому переваги побудови нечіткої моделі шляхом навчання нейронної мережі.
3. Приклади використання моделей здобутих шляхом навчання нейронної мережі.
4. Як змінити параметри отриманої моделі у середовищі програми **anfisedit**.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

Генетичні алгоритми

Мета роботи: навчитися вирішувати задачі оптимізації багатопараметричних функцій з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію.

Теоретичні відомості

Генетичний алгоритм (ГА) – це алгоритм, який дозволяє знайти задовільне рішення аналітично нерозв'язних або складно розв'язних проблем через послідовний перебір і комбінування вихідних параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію.

Генетичні алгоритми оперують з сукупністю особин (популяцією), які є собою строки и кодують одно з рішень задачі.

Задача оптимізації розглядається ГА як задача знаходження максимуму деякої функції пристосованості. За допомогою функції пристосованості з усіх особин популяції обирають найбільш пристосовані (більш підходящі рішення), які отримують можливість схрещуватися та давати потомство. Найгірші особі (погані рішення) видаляються з популяції и не дають потомства. Таким чином, пристосованість нового покоління у середньому вище попереднього.

Шаг ГА складається з трьох стадій: відбору, схрещування та мутації. В класичному ГА ймовірність кожної особи попасти в проміжну популяцію пропорційно її пристосованості (пропорціональний відбір).

При схрещуванні, особи проміжної популяції розбиваються на пари які схрещуватимуся, тобто. за допомогою кроссоверу формуються особи с новими функціями пристосованості. Оператор мутації необхідний для "вибивання" популяції з локального екстремуму. Під час мутації кожний біт

кожної особи популяції є деякою ймовірністю (як правило меншої ніж 0,01) інвертується.

Критерієм зупинки еволюції є задана кількість поколінь, під час яких кроссовер практично не змінює популяції.

Існують різні моделі ГА, що відрізняються способами реалізації етапів алгоритму [11].

Засоби для реалізації ГА є у системі Matlab.

Практична частина

1. У пакеті Matlab увійти у засіб Genetic Algorithm and Direct Search, ознайомиться с розділами допомоги Introducing Genetic Algorithm and Direct Search, Get Started with Genetic Algorithm.

2. Знайти мінімальне значення функції

$$f(x_1, x_2) = x_1^2 - 2x_1x_2 + 6x_1 + x_2^2 - 6x_2. \quad (7.1)$$

З цією метою за зразком прикладу створити m-файл з цією фітнес функцією та функцією генетичного алгоритму **ga**. Запустити цей файл у командній строчці та записати знайдене мінімальне значення функції та змінних x_1 та x_2 .

3. Знайти мінімальне значення функції (7.1) засобом **optitool**. З цією метою набрати в командній строчці **type ps_example**, проглянути m-файл, потім створити за зразком m-файл функції. Далі відкрити вікно **optitool**, задати в ньому ім'я створеного файлу (**Objective function**), початкові значення вхідних змінних (**Startpoint**), запустити оптимізацію (**Start**). Після завершення заданого числа ітерацій записати знайдене мінімальне значення функції та змінних x_1 та x_2 .

Контрольні запитання

1. Що таке генетичний алгоритм.
2. Де застосовуються генетичні алгоритми.
3. Що таке функція пристосованості.
4. Стадії шага генетичного алгоритму.

5. Що таке кроссовер у генетичному алгоритмі.
6. Які засоби для реалізації генетичних алгоритмів є в системі Matlab.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8

Моделі обробки сигналів

Мета роботи: навчитись моделювати обробку аналогових сигналів.

Теоретичні відомості

Технологія моделювання АЦП перетворення зібраних і їх обробки описана в [13, глава 5]. Ключовими етапами обробки сигналів є їх цифрування (дискретизація, квантування) і цифрова фільтрація.

Інтервал дискретизації аналогового сигналу має бути достатнім для послідувального встановлення його форми. Частота вибірки f_s – величина зворотна інтервалу дискретизації. Якщо $f_s < 2f$, де f – частота сигналу що досліджується, то форму цього сигналу неможливо встановити. Гранична частота дискретизації $f_n = 2f$ зветься частотою Найквіста або Котельникова. Якщо аналоговий сигнал містить будь які частоти f , що перебільшують $f_n/2$, то ці високочастотні компоненти з'являються в послідовності даних вибірки як псевдочастоти $f_0 = f_s - f$.

Практична частина

1. Дослідити дискретизацію синусоїдального сигналу з частотою f , вибірками з частотою f_s від $1f$ до $2f$. Побудувати графік $f_0/f_s = \varphi(f/f_s)$.
2. Дослідити дискретизацію синусоїдального сигналу з частотою $f = 0,01f_c$ на фоні завад з частотою f_c (наприклад, $f_c = 50$ Гц), використовуючи вибірки з частотою $f_s = 1,2f_c$.

Побудувати графіки залежності від часу сигналу разом з завадами мережі, встановленого сигналу разом з f_0 . Визначити f_0 в встановленому сигналі.

3. Дослідити цифровий причинний фільтр низької частоти ковзного середнього сигналу. В якості сигналів, що вимірюються, обрати суміш шуму та синусоїдального сигналу або послідовності прямокутних імпульсів. Дослідити якість фільтрації при різній кількості вибірок що усереднюються. Привести осцилограми досліджень.

4. Дослідити цифровий експоненціальний фільтр низької частоти першого порядку. В якості сигналів, що вимірюються, обрати суміш шуму та послідовності прямокутних імпульсів. Дослідити якість фільтрації при різному значенні вагового коефіцієнту α .

Методичні вказівки

Дослідження процесів дискретизації та фільтрації сигналів проводити у середовищі Simulink.

Контрольні запитання

1. Етапи введення зібраних даних в керуючий комп'ютер і їх обробки.
2. Вимоги до інтервалу дискретизації.
3. Що таке частота Найквіста.
4. Які фільтри зветься Moving Average – MA, AutoRegressive – AR, ARMA, causal, non-causal, exponential smoothing.
5. Операції обробки вимірюваної інформації.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9

Вейвлет аналіз сигналів

Мета роботи: вивчити принципи дослідження та порівняти можливості перетворювань Фур'є та вейвлет-перетворювання.

Теоретичні відомості

Як правило, сигнали що досліджуються представлені як функції часу (у часовій області). У багатьох випадках корисним є знання спектра частот, які містяться у вихідному сигналі – представлення сигналу в частотній області. Для переходу від часового представлення до частотного використовується перетворювання Фур'є. Його недоліки виявляються при аналізі нестационарних сигналів, таких сигналів в яких окремі гармоніки присутні не весь час його спостереження. При аналізі таких сигналів ефективно використовувати вейвлет-перетворювання [10].

Практична частина

1. Дослідити обмеження перетворювання Фур'є. Для чого в середовищі Simulink зібрати генератори сигналів:

$$x_1(t) = \cos(2\pi 10t) + \cos(2\pi 25t) + \cos(2\pi 50t) + \cos(2\pi 100t), \quad (9.1)$$

$$x_2(t) = \begin{cases} \cos(2\pi 10t), & 0 \leq t \leq 300 \text{ мс} \\ \cos(2\pi 25t), & 300 \leq t \leq 600 \text{ мс} \\ \cos(2\pi 50t), & 600 < t \leq 900 \text{ мс} \\ \cos(2\pi 100t), & 900 < t \leq 1200 \text{ мс} \end{cases} \quad (9.2)$$

2. Виконати моделювання на часовому інтервалі [0,1200 мс] і отримати спектри сигналів x_1 та x_2 з використанням

перетворювання Фур'є та блока FFT (Simulink/DSPBlockset/Estimation/PowerSpectrum Estimation).

Графіки $x_1(t)$ та $x_2(t)$, а також спектри сигналів відобразити у звіті.

3. Дослідити можливості вейвлет-перетворювання. Для чого використати сигнали x_1 та x_2 , які задані рівняннями (9.1) и (9.2) та засіб Wavelet з пакету Toolboxes Matlab.

Контрольні запитання

1. Переваги представлення сигналів у часовій та частотній області.

2. Комп'ютерні засоби для Фур'є та вейвлет-перетворювання.

3. Переваги вейвлет-перетворювання порівняно з перетворюванням Фур'є.

4. Поняття скейлет функції и материнського вейвлету.

5. Методика аналізу сигналів с використанням вейвлета Хаара.

6. Методика кратномасштабного аналізу сигналів з використанням вейвлетов с кратністю $n = 3$.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 10

Моделі знань. Логічне програмування

Мета роботи: навчитися синтезувати знання з фактів за допомогою логічного програмування мовою ПРОЛОГ.

Теоретичні відомості

Логічне програмування – це використання дедуктивних процедур (процедур логічного виводу) як механізму обчислень [15]. Для автоматизації обчислень використовуються програми на языках логічного програмування, наприклад ПРОЛОГ [15]. У таких програмах формулюються відомості про задачу у вигляді логічних аксіом та припущення, достатні для її рішення. Сама задача формулюється як цільове ствердження, що підлягає доказу.

Програма мовою ПРОЛОГ складається з речень. Кожне речення закінчується крапкою. Речення бувають трьох типів: факти, правила та питання. Факти містять правила, які є завжди безумовно, вірними. Правила містять ствердження, істинність яких залежить від деяких вимог. За допомогою питань користувач запитує систему, які ствердження є істинними.

Можливості логічного програмування виконувати логічний вивід із створенням нового знання на основі статичного опису ситуації (стану деякої прикладної області реального світу) широко застосовується у різноманітних "експертних системах" – системах підтримки прийняття рішень.

Практична частина

1. Застосування логічного виводу для аналізу логічних схем.

Нехай задана логічна схема напівсуматору (рис. 10.1).

Ця схема описується мовою ПРОЛОГ як ствердження

half – add (A, B, S, C) ← xor (A, B, S), nand (A,B,T1), not (T1,C).

Елементарні функції **xor**, **nand**, **not** описуються за допомогою фактів, що повторюють відповідні таблиці істинності:

xor (x, x, 0)
xor (0, 1, 1)
xor (1, 0, 1)
nand (0, 0, 1)
nand (0, 1, 1)
nand (1, 0, 1)
nand (1, 1, 0)
not (0, 1)
not (1, 0).

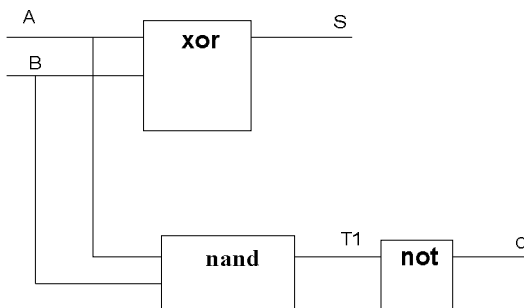


Рисунок 10.1 – Схема напівсуматора

Сформулювати мовою ПРОЛОГ питання:

- Які виходи S и C цієї схеми при входах 0,0?
- При яких входах, вихід S буде нульовим, а вихід C – одиничним?
- При яких входах схеми виходи S и C будуть збігатися?

Виконати ПРОЛОГ – програми з поставленими питаннями на комп'ютері. Тексти програм і відповіді привести в звіті.

2. Перевірити за допомогою логічного програмування чи є правильними наступні міркування:

"Якщо Джонс не зустрічав цією ніччю Сміта, то або Джонс був вбивцем, або Джонс брехун. Якщо Сміт не був вбивцем, то Джонс не зустрічав Сміта цією ніччю, і вбивство мало місце після полуночі. Якщо ж вбивство мало місце після полуночі, то або Сміт був вбивцем, або Джонс є брехун. Отже, Сміт був вбивцем."

Тексти ПРОЛОГ – програми привести в звіті.

3. Перевірити за допомогою логічного програмування істинність стверджень:

а) сепульки не хронічні тільки в случає відсутності у них властивості латентності;

б) латентність сепулєк не є не обхідною вимогою їх хронічності або біфуркальності;

в) сепульки біфуркальні тільки в випадку їх хронічності або латентності;

г) хронічність сепулєк є достатньою вимогою їх латентності або біфуркальності;

д) для того, щоб сепульки були біфуркальні, достатньо тільки щоби вони були хронічні;

е) для нехронічності сепулєк необхідним є відсутність у них як біфуркальності, так і латентності.

Відомо, що "хронічні сепульки завжди латентні або біфуркальні".

Тексти ПРОЛОГ – програми привести в звіті.

Контрольні запитання

1. Що таке логічне програмування.

2. Структура програми мовою ПРОЛОГ.

3. Дайте визначення речень різних типів, які використовуються в ПРОЛОГ - програмах.

4. Трьох школярів А, В и С було викликано до директору. В бесіді з директором А стверджував, що В брехун, В

стверджував, що бреше С, а С стверджував, що обидва А і В, брешуть. Що може заключити директор?

5. Методика аналізу логічних схем с допомогою ПРОЛОГ - програм.

6. Синтез експертних систем с допомогою ПРОЛОГ – програм.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 11

Безперервні моделі динамічних систем

Мета роботи: навчитися проектувати та використовувати комп'ютерну модель безперервної системи що досліджується.

Теоретичні відомості

Модель системи досліджень включає підсистеми об'єкта дослідження, регулювання, зовнішнього середовища та обробки даних.

Вихідними даними для побудови підсистеми об'єкта досліджень є результати теоретичних досліджень в формі диференціальних рівнянь або передаточні функції елементів об'єкта та зв'язків між ними, що описують поведінку об'єкта; опит експертів, результати спостереження за реакціями на вихідні зовнішні дії аналогічного об'єкта.

Підсистема регулювання містить релейний, ПИД або нечіткий регулятори. Модель зовнішнього середовища представляє собою формувачі залежних від часу зовнішніх дій на об'єкт дослідження. Підсистема обробки даних забезпечує розрахунок вторинних параметрів, візуалізацію та збереження результатів дослідження. В деяких випадках складовою частиною моделі об'єкта досліджень є моделі його дефектів и технічних станів.

Система досліджень може бути реалізована в програмному середовищі системи управління об'єктом як компонент програмного забезпечення програмованого логічного контролера, SCADA-системи або в універсальному пакеті моделювання, наприклад Simulink.

Практична частина

1. Виконати аналіз вихідних даних для побудови системи досліджень теплових процесів в паперовій ізоляції обмоток у

силовому маслonaповненому трансформаторі. Трансформатор має одну ступень охолодження та працює в режимах ONAN (насоси та вентилятори не використовуються), OFAF(насоси та вентилятори працюють). Регулювання температури масла виконується релейним регулятором по значенням температури верхніх слоїв масла.

Для створення термодинамічної моделі трансформатора (ТДМТ) використати рівняння балансу енергій. Дефект системи охолодження, що приводить до зниження в процесі експлуатації трансформатора ефективності охолодження моделювати введнням залежності теплового опору ділянки «трансформатор – зовнішнє середовище» від часу. Наявність дефектів приводить до відмов. Будемо розлічат катастрофічні и параметричні відмови системи охолодження. Для настройки ТДМТ використовувати технічні характеристики трансформатора що заданий і результати його теплових випробувань.

Модель «зовнішнє середовище» різна на різних етапах дослідження. Зовнішні дії можуть бути незмінними синусоїдальними, імпульсними, випадковими, реальними даними, що отримані системою моніторингу параметрів трансформатора и др.

Підсистема обробки даних формується в відповідності до мети дослідження та може виконувати розрахунки температури найбільш нагрітої точки ізоляції, сумарного часу ввімкненого стану системи охолодження, відносної шкороності зносу ізоляції, витрат ресурсу ізоляції, затрат на функціонування системи охолодження за час дослідження та інші.

В якості середовища моделювання обрати засіб Simulink.

2. Виконати налагодження ТДМТ. Для чого зібрати цю модель у засобі Simulink, змоделювати зовнішні дії, при яких проводились теплові випробування, отримати в результаті моделювання залежність температури верхніх слоїв масла от часу та, шляхом підбору теплових параметрів моделі, добитися її максимально можливої відповідності результатам теплових

випробувань у режимах ONAN, OFAF. Після виконання налагодження оцінити погрішність моделювання.

3. Виконати дослідження теплових процесів у трансформаторі у відсутності дефектів системи охолодження. З цією метою поєднати контур регулювання ТДМТ та релейний регулятор. Тепловий опір ділянки «трансформатор – зовнішнє середовище» задати константою, час моделювання роботи трансформатора – сутки. Параметри суточного коливання температури обрати по ДСТУ 14209-97 для найбільш жаркого дня року. Моделювання теплових процесів проводити при різних формах залежності струму навантаження від часу. В результаті досліджень встановити максимальну температуру верхніх слоїв масла, найбільш нагрітої точки ізоляції обмоток, сумарний час я роботи системи охолодження в режимі OFAF, максимальну відносну швидкість термічного зносу ізоляції, витрату ресурсу ізоляції обмоток.

4. Дослідити теплові процеси в трансформаторі при наявності параметричних або катастрофічних дефектів в системі охолодження. Для чого, в модель системи, яка описана в пункті 2, вести дефект системи охолодження що виявляється в рості (лінійно або стрибком) починаючи з деякого моменту часу, значення теплового опору ділянки «трансформатор – зовнішнє середовище». Порівняти результати досліджень за пунктами 2 и 3.

Контрольні запитання

1. Область застосування, переваги та недоліки метода дослідження шляхом комп'ютерного моделювання.
2. Основні елементи системи дослідження методом комп'ютерного моделювання.
3. Основні елементи системи дослідження теплових процесів у силовому маслонеповненому трансформаторі.
4. Методика налагодження ТДМТ.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 12

Дискретні моделі динамічних систем

Мета: вивчити методи створення, дистанційного контролю та дистанційного спостереження дискретних моделей динамічних систем.

Теоретичні відомості

Гібридна лабораторія **GOLDi** (Grid of [Online](#) Lab Devices Ilmenau) розроблена департаментом інтегрованих комунікаційних систем (Department of Integrated Communication Systems) в університеті технологій Ільменау (Ilmenau University of Technology, Німеччина)). Вона надає набір інструментів, що підтримують всі етапи проектування для складних завдань управління (наприклад, в області техніки керування, робототехніки, телемеханіки). Мета системи **GOLDi**, щоб показати сучасні способи і проблеми дистанційного контролю та дистанційного спостереження реальних процесів, з комплексним та інтерактивним використанням сучасних Інтернет і Інтранет технологій, таких як HTML5, JavaScript, і т.д. Вона пропонує різні функції, такі як візуалізація та анімація, яка дозволяє спостерігати і перевірити всі властивості конструкції. Зв'язок з формальними методами проектування, моделювання і прототипування використовується для створення основи для розвитку надійної конструкції системи.

Для використання лабораторії **GOLDi** необхідно мати підключений до мережі Internet персональний комп'ютер із встановленими на ньому програмами браузера і Java – машини. Для входу в лабораторію слід використати посилання <http://goldi-labs.net>. Після реєстрації можливо обрати зручну мову спілкування. Далі на домашній сторінці проглянути презентацію лабораторії, а на сторінці "Фізична система" ознайомитись з описом моделей та переліком їх давачів та

виконавчих механізмів. На сторінці "Стартовий експеримент" обрати блок керування "Кінцевий автомат" та одну з запропонованих фізичних систем. Якщо експеримент не досяжний, то обрати віртуальний режим роботи та почати експеримент.

У вікні експерименту в блоці керування можливо завантажити свій файл або демонстраційний приклад, проглянути опис входів та виходів моделі. У блоці керування потоком виконується старт/зупинка процесу виконання програми керування.

У основному вікні представлена анімація роботи віртуальної моделі об'єкту керування та є можливість корегування виразів файлу з програмою керування, які визначають поведінку виходів та машин моделі.

Приклад проекту можна зберегти на своєму комп'ютері і переглянути за допомогою стандартної програми Блокнот. У описі FSM – моделі використані наступні позначення: x – вхідна змінна, y – вихідна змінна, z – стан, a – автомат, # – логічна операція OR(АБО), & – логічна операція AND(І), ! – логічна операція NOT(НІ).

Практична частина

1. На сайті лабораторії ознайомитись з структурою лабораторії та описом існуючих моделей. Виконати один із демоприкладів.

2. За допомогою інструменту GIFT створити власний FSM (скінчений автомат) керування та виконати його у віртуальному режимі.

Контрольні запитання

1. Структура видаленої лабораторії
2. Принципи роботи фізичних моделей.
3. Опис скінченого автомату керування фізичною моделлю.

4. Технології реалізації скінченного автомату керування фізичною моделлю.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 13

Гібридні моделі динамічних систем

Мета: навчитись розробляти елементи гібридних систем.

Короткі теоретичні дані

Динамічні системи, в яких дискретні і безперервні поведінки присутні одночасно називають гібридними [17]. Такі системи формалізують гібридними автоматами, які описується кортежем:

$$H = (W, X, M, F, T),$$

де $W = \{u, y\}$ – безліч вхідних (u) і вихідних (y) зовнішніх змінних;

X визначає безперервне простір, для якого безперервні змінні стану x можуть приймати свої значення;

M – безліч режимів безперервного поведінки з яких тільки один режим активний в даний момент часу;

F – дискретне безліч диференційно-алгебраїчних рівнянь (DAE) першого порядку;

T – безліч переходів від одного режиму до іншого.

Кожне DAE рівняння визначає взаємозв'язок між змінними стану (x), їх похідними за часом першого порядку (x') і входами (w):

$$f_m(x, x', w) = 0, m \in M.$$

Моделі функціональних структур гібридних автоматів систем управління представляють у вигляді ієрархічної структури контурів дискретного і безперервного управління. Типові елементи цих функціональних структур – кінцеві

автомати, вхідні і вихідні операційні автомати, які функціонують в ієрархії структур управління.

Гібридний автомат, який управляє однорозмірною моделлю автомашини наведено на рис. 13.1.

Положення керованої автомашини задається координатою x , вхідними змінними u_1 і u_3 . Змінні стану – швидкість \dot{x} і прискорення \ddot{x} керованої автомашини. Три режиму безперервного поведінки: m_1 – гальмування; m_2 – розгін і m_3 – збереження поточної швидкості. Поведінка системи в цих режимах описується ДАЕ рівняннями f_1 - f_3 . Безліч переходів T складається з п'яти переходів, кожен з яких задає умову переходу.

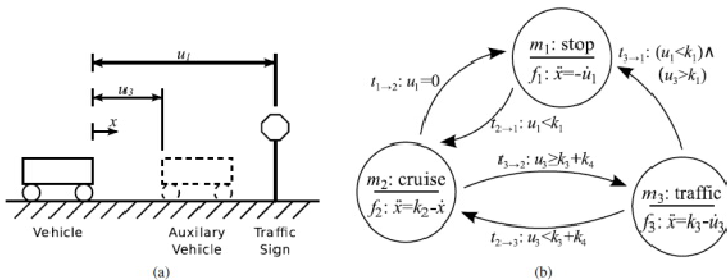


Рисунок 13.1 – Визначення елементів (а) та граф гібридного автомата (b) моделі управління автомашиною

де Vehicle – керована автомашини;

AuxiliaryVehicle – перешкода руху;

Traffic Sign – знак зупинки.

Структура гібридної системи управління з незалежними контурами управління приведена на рис. 13.2, де Вх. ОА – вхідні операційні автомати; Вих. ОА – вихідні операційні автомати; УА – управляючий автомат; Д – давачі; ВМ – виконавчі механізми; ОУ – об’єкт управління.

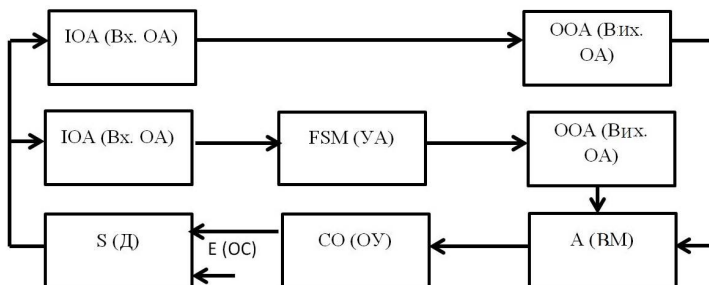


Рисунок 13.2 – Структура гібридної системи управління з незалежними контурами управління

У структурі системи управління діють незалежно один від одного два контури управління:

- CO-S-IOA-OOA-A-CO – контур безперервного управління;
- CO-S-IOA-FSM-OOA-A-CO – контур дискретного управління.

Хід роботи

1. Визначити елементи моделі системи управління.
2. Розробити граф гібридної системи управління.
3. Розробити структуру системи управління.
4. Розробити Stateflow модель блоку УА та Simulink моделі інших блоків.
5. Провести моделювання розробленої гібридної системи.

Контрольні запитання

1. Визначення гібридної динамічної системи.
2. Наведіть приклади гібридних радіотехнічних систем.
3. Як формалізувати поведінку гібридної системи.
4. Що таке входні та вихідні операційні автомати гібридної системи.
5. Наведіть приклади моделей радіотехнічного об'єкту управління.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 14

Інтегровані та когнітивні системи

Мета: навчитись розробляти елементи інтегрованих та когнітивних систем.

Короткі теоретичні дані

Інтегрованими будемо називати системи у яких керуючий пристрій на одному рівні є об'єктом управління на іншому.

Підвищення ефективності функціонування систем управління може бути досягнуто за рахунок розширення інформаційної бази для вибору впливів на об'єкт управління. Системи управління, в яких для цієї мети використовуються знання і які мають когнітивні здібності, назвемо когнітивними системами.

Прикладами таких систем є когнітивне радіо, РЛС, система керування об'єктом або процесом та інші. Знання в когнітивній системі зберігаються в багаторівневій базі знань у формах даних, інформації, знань, розумінь та мудрості. Когнітивна система складається з підсистем пізнання, когнітивності та діяльності. Підсистема пізнання містить конвертори форм знань. Підсистема когнітивності складається з блоків сприйняття, міркування, навчання та інші. Підсистема діяльності – це ієрархічна система, яка складається з скінчених автоматів мети, сценаріїв, поведінки, тощо.

Хід роботи

1. Розробити схему інформаційних зв'язків між об'єктом та пристроєм управління.

2. Розробити функціональні схеми конверторів «сигнал – дані», «дані – інформація», «інформація – знання», «знання – розуміння». Розробити функціональні схеми конверторів вторинної інформації, знань тощо.

3. Розробити Simulink моделі зовнішнього середовища та об'єкта управління.
4. Вибрати мету функціонування системи та розробити скінчені автомати мети, сценаріїв та поведінки.

Контрольні запитання

1. Визначення інтегрованої та когнітивної системи.
2. Форми знань, піраміда знань DIKUW.
3. Моделі конверторів знань.
4. Модель підсистеми діяльності когнітивної системи.
5. Що таке «когнітивне радіо».

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гліненко Л.К. Основи моделювання технічних систем: навчальний посібник [Текст] / Л.К. Гліненко, Г.С. Сухоносів. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 176 с.
2. Бахрушин В.Є. Математичне моделювання: навчальний посібник [Текст] – Запоріжжя: ГУ "ЗІДМУ", 2004. – 140 с.
3. Математичні основи побудови інформаційно-телекомунікаційних систем: навчальний посібник [Текст] / Л.С. Глоба. – К.: Політехніка, 2003. – 276 с.
4. Математичне моделювання телекомунікаційних систем та мереж: навчальний посібник [Текст] / Є.М. Чернихівський. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 272 с.
5. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем [Текст] / В.В. Поповський, С.О. Сабурова, В.Ф. Олійник, Ю.І. Лосєв, Д.В. Агєєв та ін. – Харків: ТОВ "Компанія СМІТ", 2006. – 564 с.
6. Введение в математическое моделирование: учебное пособие [Текст] / под ред. П.В. Трусова. – М.: Логос, 2005. – 440 с.
7. Математическое моделирование: учебный курс [Текст] / С.В. Глушаков, И.А. Жакин, Т.С. Хачиров. – Харьков: Фолио, 2001. – 524 с.
8. Матвійчук Я.М. Математичне макромоделювання динамічних систем [Текст] / Я.М. Матвійчук. – Львів, 2000 р.
9. Матвійчук Я.М. Елементи теорії систем та макромоделювання: навчальний посібник [Текст] / Я.М. Матвійчук // Вид. Інституту підприємництва та перспективних технологій при НУ ЛП, 2004.
10. Стеценко М.О. Аналіз спектрів сигналів засобами програмного комплексу MATLAB WAVELET TOOLBOX [Текст] / М.О. Стеценко, Ю.О. Єфіменко, І.Т. Богданов // Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія 5:

Педагогічні науки: реалії та перспективи : збірник наукових праць. – Київ: Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2012. – Вип. 32. – С. 230-236.

11. Бондаренко І.М. Системи радіозв'язку. Мережі радіозв'язку [Електронний ресурс]: навчальний посібник / І.М. Бондаренко. – Режим доступу: http://openarchive.nure.ua/bitstream/document/6788/1/SR_2.2_MR.pdf