

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

О. Ю. Мирончук
О. С. Неуймін

ЦИФРОВІ СИГНАЛЬНІ ПРОЦЕСОРИ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами
«Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна
радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»
спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
172 «Електронні комунікації та радіотехніка»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

Рецензент *Пільтяй Степан Іванович*, канд., техн. наук, доц., доцент
кафедри радіоінженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний
редактор *Жук Сергій Якович*, д-р техн. наук, професор

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 8 від 02.06.2023 р.)
за поданням Вченої ради радіотехнічного факультету (протокол № 05/2023 від 28.04.2023 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

*Мирончук Олександр Юрійович, PhD
Неуймін Олександр Станіславович, канд. техн. наук*

ЦИФРОВІ СИГНАЛЬНІ ПРОЦЕСОРИ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Цифрові сигнальні процесори. Розрахунково-графічна робота [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О.Ю. Мирончук, О.С. Неуймін; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 16 с.

Навчальний посібник містить завдання і рекомендації для виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Цифрові сигнальні процесори».

© О. Ю. Мирончук, О. С. Неуймін, 2023
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА	6
ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ.....	10
РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ.....	14
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	15
ДОДАТОК А.....	16

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

САПР	система автоматизованого проектування
CIX	скінченна імпульсна характеристика
АЧХ	амплітудно-частотна характеристика
АМ	амплітудна модуляція
UART	universal asynchronous receiver-transmitter
SPI	serial peripheral interface
I2C	inter integrated circuit
ASCII	american standard code for information interchange

ВСТУП

Навчальний посібник призначений для навчання здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка».

Посібник містить теоретичні відомості, індивідуальні завдання і рекомендації до оформлення та виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Цифрові сигнальні процесори». Виконання розрахунково-графічної роботи спрямоване на підвищення професійних умінь і навичок студентів у сферах *embedded development* та *digital signal processing*.

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Мета роботи: закріпити отримані теоретичні знання і здобути практичний досвід проектування цифрових фільтрів у САПР, які в подальшому можуть бути використані для виконання задач цифрового оброблення сигналів на цифровому сигнальному процесорі.

Розрахунково-графічна робота складається з двох завдань. Перше завдання спрямоване на здобуття практичних навичок проектування і роботи з цифровими фільтрами. Друге завдання спрямоване на поглиблення знань про інтерфейси передачі даних, які широко використовуються в цифрових сигнальних процесорах та інших видах обчислювальних пристроях.

Для розрахунку цифрових фільтрів може бути використано САПР Matlab, зокрема утиліта Filter Designer із тулбоксу Signal Processing and Communications, виклик якої зображено на рис. 1. Також виклик даної утиліти можна виконати із командного рядка Command Window за допомогою команди `fdatool`.

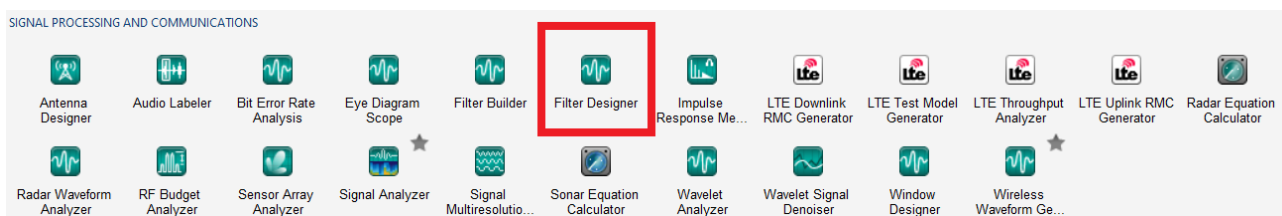


Рис. 1. Виклик утиліти Filter Designer

Утиліта Filter Designer представляє собою потужний інструмент для проектування і аналізу цифрових фільтрів. Вона має зручний та інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс, який дозволяє суттєво пришвидшити процедуру проектування цифрових фільтрів. За рахунок цього дана утиліта широко використовується радіоінженерами на практиці. Вікно проектування утиліти Filter Designer зображено на рис. 2.

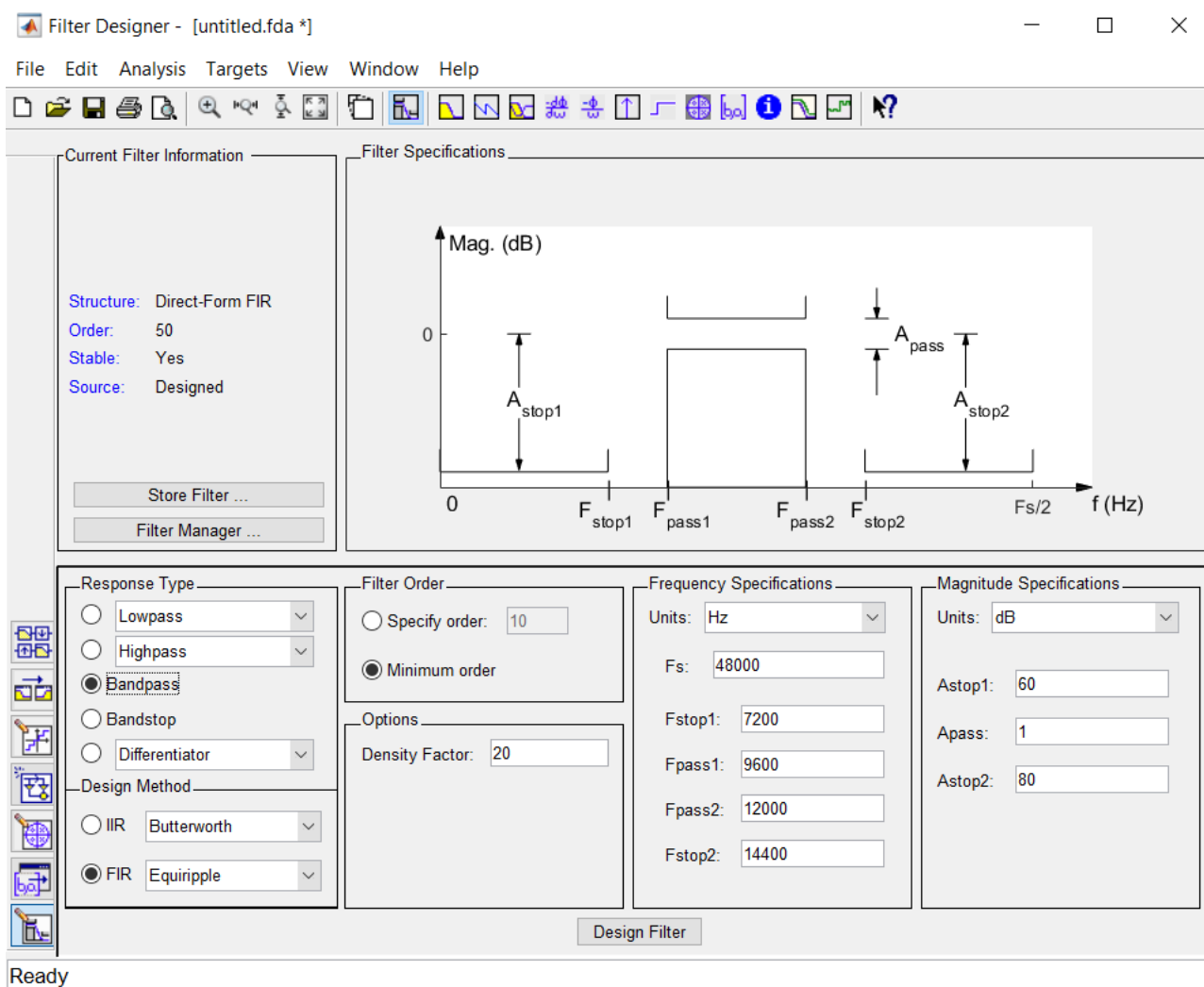


Рис. 2 Вікно проектування утиліти Filter Designer

Для того, щоб спроектувати цифровий фільтр, в секції Response Type обирається тип фільтра за його частотними характеристиками. В секції Design Method обирається тип фільтра за його імпульсною характеристикою та метод розрахунку. В секції Frequency Specifications задаються частотні параметри фільтра, що проектується, зокрема його смуга пропускання і смуга загородження. В секції Magnitude Specifications задаються значення нерівномірності в смузі пропускання та рівень придушення в смузі загородження. Після того, як вхідні дані введено, необхідно натиснути кнопку Design Filter. Результати проектування по заданих вхідних даних будуть відображені у вікні утиліти у вигляді графіків. Для подальшого використання спроектованого фільтра його коефіцієнти експортуються у вигляді файлу.

Цифрові інтерфейси зв'язку є невідємним компонентом радіоелектронної апаратури. Їх призначення забезпечувати обмін даними між функціональними вузлами пристрою та зв'язок пристроїв між собою. До найпоширеніших у використанні відносяться інтерфейсти UART, I2C, SPI. На рис. 3 представлено схему з'єднання пристроїв за допомогою інтерфейсу UART.

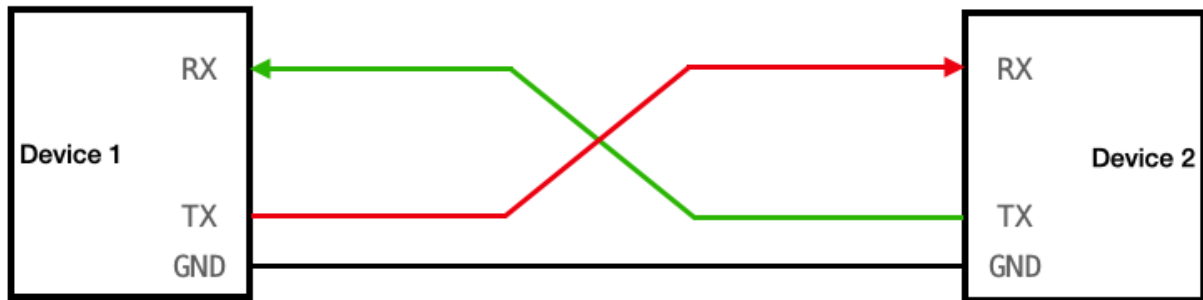


Рис. 3 З'єднання пристроїв по UART

На рис. 4 представлено схему з'єднання пристроїв за допомогою інтерфейсу I2C.

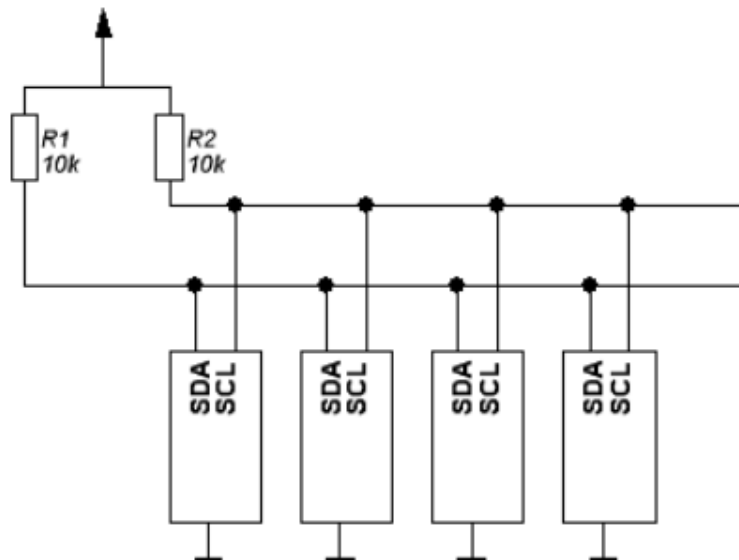


Рис. 4 З'єднання пристроїв по I2C

На рис. 5 представлено схему з'єднання пристроїв за допомогою інтерфейсу I2C.

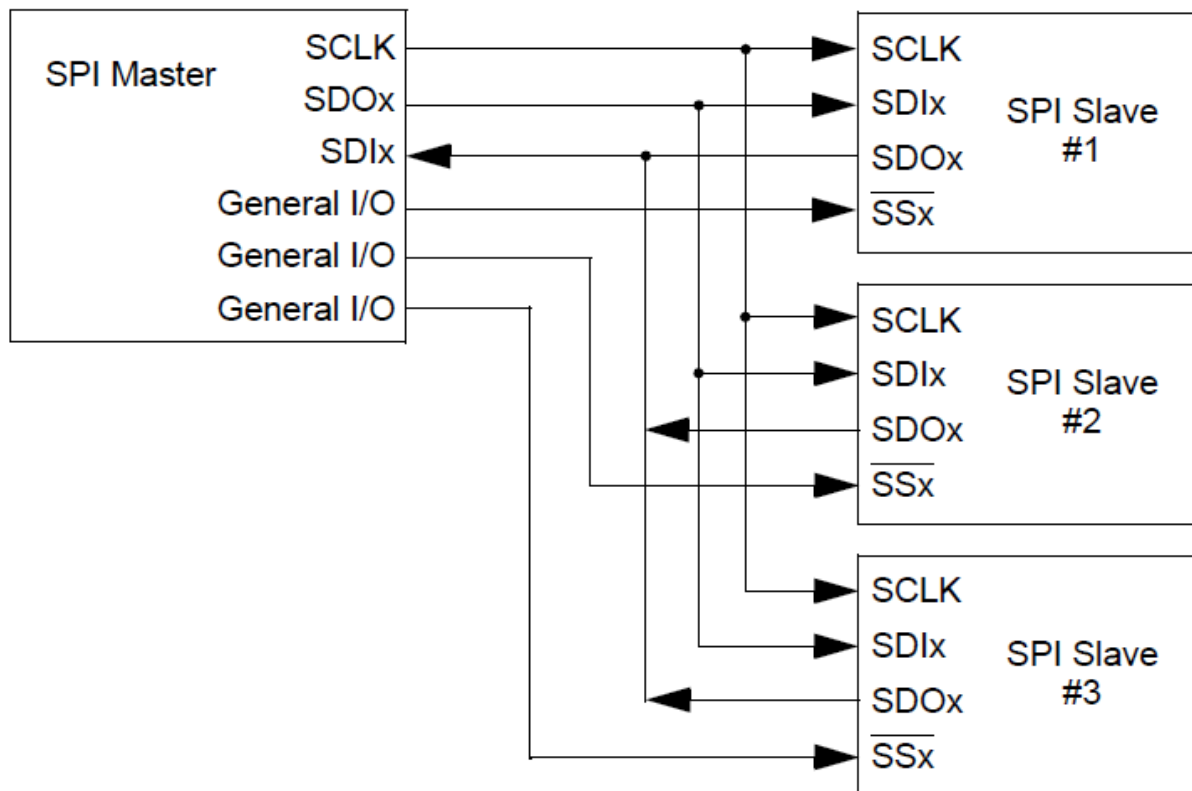


Рис. 5 З'єднання пристроїв по SPI

Ці інтерфейси належать до класу послідовних інтерфейсів передачі даних. В таких інтерфейсах дані рухаються побітово по черзі по одному провідникові. При цьому дані можуть супроводжуватися тактовими імпульсами на окремій лінії. Якщо лінія з тактовими імпульсами присутня, то такий інтерфейс називають синхронним. До синхронних інтерфейсів відносяться I2C та SPI. Якщо лінії з тактовими імпульсами немає, то такий інтерфейс називають асинхронним. Представником асинхронних інтерфейсів є UART.

Також слід звернути увагу на напрямок руху даних. Якщо дані можуть рухатися лише в одному напрямку, то такий інтерфейс називають симплексним. Якщо дані можуть рухатися в двох напрямках одночасно, то такий інтерфейс називають дуплексним. У випадку, якщо дані можуть рухатися в двох напрямках, але по черзі – інтерфейс називають напівдуплексним.

ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Завдання 1

Варіанти 1, 9, 17

Розрахувати характеристики цифрового низькочастотного СІХ фільтру з наступними параметрами: частотна межа смуги пропускання $f_p = 1.5 \cdot N$ кГц, частотна межа смуги затримання $f_s = 1.5 \cdot N + 1$ кГц., нерівномірність АЧХ у межах смуги пропускання $R_p = N/10$ дБ, мінімально необхідне затухання у межах смуги затримання $R_s = 40 + N$ дБ.

Варіанти 2, 10, 18

Розрахувати характеристики цифрового високочастотного СІХ фільтру з наступними параметрами: частотна межа смуги пропускання $f_p = 1.5 \cdot N + 1$ кГц, частотна межа смуги затримання $f_s = 1.5 \cdot N$ кГц, нерівномірність АЧХ у межах смуги пропускання $R_p = N/10$ дБ, мінімально необхідне затухання у межах смуги затримання $R_s = 40 + N$ дБ.

Варіанти 3, 11, 19

Розрахувати характеристики цифрового смугового СІХ фільтру з наступними параметрами: частотна межа смуги пропускання $f_{p1} = N$ кГц, $f_{p2} = 1.5 \cdot N$ кГц, частотна межа смуги затримання $f_{s1} = N-1$ кГц, $f_{s2} = 1.5 \cdot N + 1$ кГц, нерівномірність АЧХ у межах смуги пропускання $R_p = N/10$ дБ, мінімально необхідне затухання у межах смуги затримання $R_s = 40 + N$ дБ.

Варіанти 4, 12, 20

Розрахувати характеристики цифрового режекторного СІХ фільтру з наступними параметрами: частотна межа смуги пропускання $f_{p1} = N-1$ кГц, $f_{p2} = 1.5 \cdot N + 1$ кГц, частотна межа смуги затримання $f_{s1} = N$ кГц, $f_{s2} = 1.5 \cdot N$ кГц, нерівномірність АЧХ у межах смуги пропускання $R_p = N/10$ дБ, мінімально необхідне затухання у межах смуги затримання $R_s = 40 + N$ дБ.

Варіанти 5, 13, 21

Розрахувати характеристики цифрового низькочастотного СІХ фільтру з наступними параметрами: частотна межа смуги пропускання $f_p = 2 \cdot N$ кГц, частотна межа смуги затримання $f_s = 2 \cdot N + 2$ кГц., нерівномірність АЧХ у межах смуги пропускання $R_p = N/5$ дБ, мінімально необхідне затухання у межах смуги затримання $R_s = 50 + N$ дБ.

Варіанти 6, 14, 22

Розрахувати характеристики цифрового високочастотного СІХ фільтру з наступними параметрами: частотна межа смуги пропускання $f_p = 2 \cdot N + 2$ кГц, частотна межа смуги затримання $f_s = 2 \cdot N$ кГц, нерівномірність АЧХ у межах смуги пропускання $R_p = N/5$ дБ, мінімально необхідне затухання у межах смуги затримання $R_s = 50 + N$ дБ.

Варіанти 7, 15, 23

Розрахувати характеристики цифрового смугового СІХ фільтру з наступними параметрами: частотна межа смуги пропускання $f_{p1} = 1.5 \cdot N$ кГц, $f_{p2} = 2 \cdot N$ кГц, частотна межа смуги затримання $f_{s1} = 1.5 \cdot N - 2$ кГц, $f_{s2} = 2 \cdot N + 2$ кГц, нерівномірність АЧХ у межах смуги пропускання $R_p = N/5$ дБ, мінімально необхідне затухання у межах смуги затримання $R_s = 50 + N$ дБ.

Варіанти 8, 16, 24

Розрахувати характеристики цифрового режекторного СІХ фільтру з наступними параметрами: частотна межа смуги пропускання $f_{p1} = 1.5 \cdot N - 2$ кГц, $f_{p2} = 2 \cdot N + 2$ кГц, частотна межа смуги затримання $f_{s1} = 1.5 \cdot N$ кГц, $f_{s2} = 2 \cdot N$ кГц, нерівномірність АЧХ у межах смуги пропускання $R_p = N/5$ дБ, мінімально необхідне затухання у межах смуги затримання $R_s = 50 + N$ дБ.

N – номер студента в списку навчальної групи.

В звіті необхідно привести:

- Розрахунки проведені в програмному пакеті Matlab та характеристики отриманого фільтра;
- Результати реалізації цифрового фільтру (вхідний сигнал, вихідний сигнал, їх спектри).

В якості вхідного сигналу використати сигнал з АМ модуляцією: низькочастотним фільтром – пропустити нижню бокову і носійну сигналу; високочастотним фільтром - пропустити верхню бокову і носійну сигналу; смуговим фільтром – виділити носійну сигналу; режекторним фільтром - придушити носійну сигналу.

Завдання 2

Варіанти 1, 7, 13, 19

Зобразити часові діаграми сигналів передачі даних. Дані, що передаються - шифр кафедри (PI – це шифр для груп PI, PTC – це шифр для груп PC, PRE – це шифр для груп PE) та номер варіанту N. Дані являються символами ASCII. Інтерфейс – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) – у кадрі 8 біт даних, біт парності наявний, дані переносяться спочатку найменш значущими бітами.

Варіанти 2, 8, 14, 20

Зобразити часові діаграми сигналів передачі даних. Дані, що передаються - шифр кафедри (PI – це шифр для груп PI, PTC – це шифр для груп PC, PRE – це шифр для груп PE) та номер варіанту N. Дані являються символами ASCII. Інтерфейс - Inter-integrated Circuit (I2C). Номер варіанту – це адресний кадр. Відобразити випадки передачі даних від пристрою master до пристрою slave та прийому даних пристроєм master від пристрою slave.

Варіанти 3, 9, 15, 21

Зобразити часові діаграми сигналів передачі даних. Дані, що передаються - шифр кафедри (PI – це шифр для груп PI, PTC – це шифр для груп PC, ПРЕ – це шифр для груп PE) та номер варіанту N. Дані являються символами ASCII. Інтерфейс - Serial Peripheral Interface (SPI). Відобразити випадки передачі даних від пристрою master до пристрою slave та прийому даних пристроєм master від пристрою slave.

Варіанти 4, 10, 16, 22

Зобразити часові діаграми сигналів передачі даних. Дані, що передаються - шифр факультету (РТФ) та номер варіанту N+50. Дані являються символами ASCII. Інтерфейс – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) – у кадрі 8 біт даних, біт непарності наявний, дані переносяться спочатку найменш значущими бітами.

Варіанти 5, 11, 17, 23

Зобразити часові діаграми сигналів передачі даних. Дані, що передаються - шифр факультету (РТФ) та номер варіанту N+50. Дані являються символами ASCII. Інтерфейс - Inter-integrated Circuit (I2C). Номер варіанту – це адресний кадр. Відобразити випадки передачі даних від пристрою master до пристрою slave та прийому даних пристроєм master від пристрою slave.

Варіанти 6, 12, 18, 24

Зобразити часові діаграми сигналів передачі даних. Дані, що передаються - шифр факультету (РТФ) та номер варіанту N+50. Дані являються символами ASCII. Інтерфейс - Serial Peripheral Interface (SPI). Відобразити випадки передачі даних від пристрою master до пристрою slave та прийому даних пристроєм master від пристрою slave.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

Результатом виконання розрахунково-графічної роботи є документальний звіт, який повинен містити результати розрахунку та моделювання роботи цифрового фільтра, а також часові діаграми передачі даних по цифровому інтерфейсу зв'язку, визначеному індивідуальним завданням.

Оцінка за виконання розрахунково-графічної роботи виставляється по результатах її захисту. Під час захисту оцінюється якість звіту, дієздатність спроектованого цифрового фільтра, правильність часових діаграм передачі даних по цифровому інтерфейсу зв'язку та відповіді на поставлені викладачем запитання.

Звіт про виконання розрахунково-графічної роботи повинен мати наступну структуру:

- титульний лист;
- зміст;
- результати виконання завдань розрахунково-графічної роботи;
- висновки.

Зразок титульної сторінки звіту про виконання розрахунково-графічної роботи наводиться в додатках.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мирончук, О. Ю. Цифрові сигнальні процесори. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. С. Неуймін ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.29 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 100 с. – Назва з екрана.
2. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О.Ю. Мирончук, О.О. Шпилька; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,97 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с. – Назва з екрана.
3. Proakis, John G. and Manolakis, Dimitris K. Digital Signal Processing (4th Edition). 4 : Prentice Hall, 2006.
4. Vinay K. Ingle and John G. Proakis, Digital Signal Processing Using MATLAB V.4, PWS Publishing Company, Boston, 1997.
5. Kehtarnavaz, N., & Keramat, M. (2000). DSP System Design: Using the TMS320C6000.

ДОДАТОК А
ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

з дисципліни «Цифрові сигнальні процесори»

Виконав (ла):
студент (ка) РТФ
групи _____
ПІБ

Київ – 20__