

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**  
**Факультет електроніки**  
**Кафедра промислової електроніки**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**  
**з дисципліни «Електронні системи керування та регулювання-1»**  
**для студентів спеціальності**  
**171 Електроніка**  
**спеціалізації Електронні компоненти і системи**

**Київ**  
**«КПІ ім. Ігоря Сікорського»**  
**2017**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**  
**Факультет електроніки**  
**Кафедра промислової електроніки**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**  
**з дисципліни «Електронні системи керування та регулювання-1»**  
**для студентів спеціальності**  
**171 Електроніка**  
**спеціалізації Електронні компоненти і системи**

*Рекомендовано Вченою радою  
факультету електроніки НТУУ «КПІ»  
протокол №*

(протокол №, дата)

**2017**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електронні системи керування та регулювання» для студентів спеціальності 171 Електроніка, спеціалізації Електронні компоненти і системи / Уклад.: Вербицький Є.В. – К.: КПІ, 2017. – 45 с.

Укладач: Вербицький Євген Володимирович, канд. техн. наук.

Рецензент:

Відповідальний редактор:

## ЗМІСТ

Вступ	5
Додаток 1. Вказівки до виконання лабораторних робіт	8
1. Лабораторна робота № 1. Програмування GPIO, переривань, аналогово-цифрового перетворювача мікроконтролерів сімейства STM32	8
2. Лабораторна робота № 2. Програмування Таймерів мікроконтролерів сімейства STM32	11
3. Лабораторна робота № 3. Синтез ПД регулятора лінійного перетворювача напруги або струму на основі мікроконтролера сімейства STM32	15
4. Лабораторна робота № 4. Синтез ПД регулятора Імпульсного перетворювача напруги на основі мікроконтролера сімейства STM32	18
5. Лабораторна робота № 5. Вивчення послідовних інтерфейсів	21
Додаток 2. Приклад оформлення титульного аркушу до протоколу лабораторної роботи	24

## ВСТУП

Метою вивчення дисципліни «Електронні системи керування та регулювання-1» є отримання знань про основні підходи до синтезу систем керування об'єктами керування різної структури, зокрема напівпровідниковими перетворювачами електричної енергії.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни студенти після засвоєння дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

**знати:**

- принцип розрахунку дискретних передавальних характеристик;
- особливості використання цифрових і аналогових давачів;
- принципи синтезу цифрових регуляторів.

**вміти:**

- розраховувати параметри ПД регуляторів;
- розраховувати параметри якості керування регуляторів;
- описувати системи керування в просторі змінних стану;
- розраховувати параметри та обирати пристрою для проектування вузлів систем керування.

**отримати досвід:**

- синтезу і моделювання цифрових систем керування;
- з реалізації системи керування напівпровідникового перетворювача електричної енергії.

Поставлені цілі досягаються за рахунок широкого застосування в навчальному процесі обчислювальної техніки та сучасного програмного забезпечення, підвищення пізнавальної та творчої активності студентів.

Методичні вказівки містять інформацію про 5 лабораторних робіт.

Тематика лабораторних робіт визначається програмою відповідної навчальної дисципліни. Цикл робіт для курсу «Електронні системи керування та регулювання-1» побудований за принципом поступового зростання складності об'єкту дослідження, та складається з п'яти лабораторних робіт із наступними темами:

Лабораторна робота №1	Програмування GPIO, переривань, аналогово-цифрового перетворювача мікроконтролерів сімейства STM32
Лабораторна робота №2	Програмування Таймерів мікроконтролерів сімейства STM32
Лабораторна робота №3	Синтез ПІД регулятора лінійного перетворювача напруги або струму на основі мікроконтролера сімейства STM32
Лабораторна робота №4	Синтез ПІД регулятора Імпульсного перетворювача напруги на основі мікроконтролера сімейства STM32
Лабораторна робота №5	Вивчення послідовних інтерфейсів

Вимоги до змісту, обсягу і оформлення протоколів лабораторних робіт, а також критерії оцінювання якості виконання роботи та її захисту регламентуються рейтинговою системою оцінювання з курсу «Електронні системи керування і регулювання – 1», наведеною нижче.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання:

- повне виконання роботи, захист з оцінкою «відмінно».....5 балів
- повне виконання роботи, захист з оцінкою «добре».....4 балів
- неповне виконання роботи, захист з оцінкою «задовільно».....3 бали
- неповне виконання роботи, захист з оцінкою «незадовільно».....2 бали
- робота не виконана.....0 балів

Оскільки умовою допуску до екзамену з курсу є виконання повного циклу лабораторних робіт, то невиконання лабораторної роботи студентом при наявності поважної причини повинно бути ліквідоване. Час відпрацювання роботи у такому випадку встановлюється викладачем за домовленістю із інженером (лаборантом) комп'ютерного класу.

Невід'ємним етапом виконання роботи є самостійна підготовка студентом до відповідей на питання при захисті. Однією зі складових якісного захисту є вивчення теоретичного матеріалу по тематиці кожної окремої лабораторної роботи. Підбір літератури студент здійснює самостійно із врахуванням рекомендованих джерел.

Протокол лабораторної роботи, як правило, повинен містити такі структурні елементи:

1. Титульний аркуш;
2. Мета роботи та завдання, які необхідно виконати;
3. Схема електрична принципова, яка моделюється;
4. Таблиці із результатами вимірювань (якщо інше не визначено завданням);
5. Графічна інтерпретація таблиць та / або осцилограми у контрольних точках схеми;
6. Висновки по роботі.

Для забезпечення можливості виконання лабораторних робіт студентам необхідно пройти інструктаж із техніки безпеки, факт чого фіксується особистим підписом слухача у журналі з техніки безпеки.

Терміни відпрацювання та здачі кожної окремої лабораторної роботи доводяться до відома студентів викладачем. При відсутності захисту двох лабораторних робіт упродовж циклу допуск до відпрацювання наступної за графіком роботи неможливий.

Вказівки до виконання лабораторних робіт циклу наведені у Додатку 1. Приклад оформлення титульного аркушу до протоколу лабораторної роботи наведений у Додатку 2.

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. ПРОГРАМУВАННЯ GPIO,  
ПЕРЕРИВАНЬ, АНАЛОГОВО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА  
МІКРОКОНТРОЛЕРІВ СІМЕЙСТВА STM32.**

Мета роботи: вивчення основних принципів програмування та моделювання мікроконтролерів (МК) у САПР Proteus, отримання практичних навичок з налаштування GPIO, переривань, аналого цифрового перетворювача (АЦП).

### 1. Порядок виконання роботи

1.1. Створити проект в Proteus на основі МК STM32F103C6.

1.2. До GPIO (лінії введення-виведення) згідно з табл. 1.1 під'єднати світлодіод, резистор з опором 100 Ом та шину живлення +3.3 В.

Таблиця 1.1.

№ вар.	GPIO	№ вар.	GPIO	№ вар.	GPIO	№ вар.	GPIO	№ вар.	GPIO
1	PA15	9	PA8	17	PB3	25	PB11	33	PA0
2	PA1	10	PA9	18	PB4	26	PB12	34	PA1
3	PA2	11	PA10	19	PB5	27	PB13	35	PA2
4	PA3	12	PA11	20	PB6	28	PB14	36	PA3
5	PA4	13	PA12	21	PB7	29	PB15	37	PA4
6	PA5	14	PA15	22	PB8	30	PC13	38	PA5
7	PA6	15	PB15	23	PB9	31	PC14	39	PA6
8	PA7	16	PB1	24	PB10	32	PC15	40	PA7

1.3. Створити проект прошивки МК, в якому:

- подати тактування на порт, до складу якого входить GPIO;
- сконфігурувати лінію GPIO на вхід, режим Push-pull з частотою 2 МГц для варіантів  $N \% 3 = 0$ ; 10 МГц для варіантів  $N \% 3 = 1$ ; 50 МГц для варіантів  $N \% 3 = 2$ , де N – номер варіанту;
- сформувані низький рівень сигналу на виході GPIO.



1.4. Скомпілювати проект прошивки, запустити модель проекту і пересвідчитись, що протягом симуляції роботи МК світлодіод світиться.

1.5. До GPIO під'єднати кнопку та резистор з опором 5 кОм (парний варіант – до GPIO PA0, непарний – до PB0).

1.6. До коду проекту додати:

- тактування на порт, до складу якого входить GPIO;
- сконфігурувати лінію GPIO на вхід, режим Floating для варіантів  $N \% 3 = 0$ ; режим Pull-up для варіантів  $N \% 3 = 1$ ; режим Pull-down  $N \% 3 = 2$ , де N – номер варіанту;
- модифікувати програму таким чином, щоб при натисненні кнопки загорявся світлодіод, а при відпусканні – гаснув. Для цього у нескінченному циклі сканується значення біту регістра IDR, лінії налаштованої на вхід. Залежно від його значення, формується значення вихідної GPIO.

1.7. Дозволити переривання GPIO. Налаштувати переривання на вхідну лінію GPIO. Модифікувати програму таким чином, щоб керування світлодіодом здійснювалось з обробника переривання лінії, налаштованої на вхід.

1.8. Створити новий проект до проекту додати світлодіод та дві кнопки з резисторами. Написати програму на основі обробників переривань від двох кнопок, яка б по натисненню однієї кнопки запалювала світлодіод, іншої – гасила. Кнопки і світлодіод під'єднати до GPIO, вказаних у табл. 1.2.

Таблиця 1.2.

№ вар.	Кнопка1	Кнопка2	Світлодіод	№ вар.	Кнопка1	Кнопка2	Світлодіод
1	PA0	PB1	PB2	21	PA2	PB1	PB2
2	PA0	PB2	PB1	22	PA2	PB0	PB1
3	PA0	PB3	PB1	23	PA2	PB3	PB1
4	PA0	PB4	PB1	24	PA2	PB4	PB1
5	PA0	PB5	PB1	25	PA2	PB5	PB1
6	PA0	PB11	PB1	26	PA2	PB11	PB1
7	PA0	PB12	PB1	27	PA2	PB12	PB1
8	PA0	PB13	PB1	28	PA2	PB13	PB1
9	PA0	PB14	PB1	29	PA2	PB14	PB1

10	PA0	PB15	PB1	30	PA2	PB15	PB1
11	PA1	PB0	PB2	31	PA3	PB0	PB2
12	PA1	PB2	PB1	32	PA3	PB1	PB2
13	PA1	PB3	PB1	33	PA3	PB2	PB1
14	PA1	PB4	PB1	34	PA3	PB4	PB1
15	PA1	PB5	PB1	35	PA3	PB5	PB1
16	PA1	PB11	PB1	36	PA3	PB11	PB1
17	PA1	PB12	PB1	37	PA3	PB12	PB1
18	PA1	PB13	PB1	38	PA3	PB13	PB1
19	PA1	PB14	PB1	39	PA3	PB14	PB1
20	PA1	PB15	PB1	40	PA3	PB15	PB1

1.9. Створити новий проект, налаштувати канал АЦП згідно з табл. 1.3 на режим Single. Додати до проекту світлодіод з резистором та шину живлення Power, яка під'єднується на вхід АЦП. Написати програму моргання світлодіодом з періодом, який задається вимірним АЦП значенням у мілісекундах.

Таблиця 1.3.

№ вар.	GPIO	№ вар.	GPIO	№ вар.	GPIO	№ вар.	GPIO	№ вар.	GPIO
1	IN0	9	IN8	17	IN6	25	PB11	33	IN4
2	IN1	10	IN9	18	IN7	26	PB12	34	IN5
3	IN2	11	IN0	19	IN8	27	PB13	35	IN6
4	IN3	12	IN1	20	IN9	28	PB14	36	IN7
5	IN4	13	IN2	21	IN0	29	PB15	37	IN8
6	IN5	14	IN3	22	IN1	30	PC13	38	IN9
7	IN6	15	IN4	23	IN2	31	PC14	39	IN0
8	IN7	16	IN5	24	IN3	32	PC15	40	IN1

**Примітка:** у зв'язку з особливостями програми Proteus деякі канали АЦП можуть бути непрацездатними.

1.10. Змінити режим роботи АЦП на Continuous.

## 2. Зміст звіту

- 2.1. Мета роботи.
- 2.2. Прінт-скрін моделей Proteus.
- 2.3. Тексти програм і результати моделювання.
- 2.4. Проекти Proteus.
- 2.5. Висновки по роботі.

### **3. Контрольні питання**

- 3.1. Опишіть процедуру створення проекту з МК STM32 в Proteus.
- 3.2. Перелічіть можливі режими роботи GPIO та опишіть їх особливості.
- 3.3. Назвіть регістри та біти, які відповідають за налаштування GPIO.
- 3.4. Поясніть вплив пріоритету переривань на послідовність їх оброблення.
- 3.5. Опишіть процедуру налаштування переривань GPIO.
- 3.6. Наведіть технічні характеристики АЦП МК STM32.
- 3.7. Опишіть можливі режими роботи АЦП.
- 3.8. Поясніть різницю між регулярними та інжектованими каналами АЦП.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. ПРОГРАМУВАННЯ ТАЙМЕРІВ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ СІМЕЙСТВА STM32.**

Мета роботи: програмування таймерів у САПР Proteus

### **1. Порядок виконання роботи**

- 1.1. Створити проект в Proteus на основі МК STM32F103C6.
- 1.2. Налаштувати незалежний сторожовий таймер IWDG на скидання мікроконтролера через  $5N$  мс, де  $N$  – номер варіанту.
- 1.3. Запустити програму у режимі відлагодження і перевірити точний час скидання МК. Час скидання занести у протокол.
- 1.4. Створити обробник переривання системного таймера SysTick. В тілі обробника написати код, який періодично підпалював і гасив світлодіод,

під'єднаний до МК. Тривалість ввімкненого і вимкненого стану світлодіода наведена у табл. 1.

Таблиця. 1

Варіант	$T_{\text{ввімк}}, \text{мс}$	$T_{\text{вимк}}, \text{мс}$	Варіант	$T_{\text{ввімк}}, \text{мс}$	$T_{\text{вимк}}, \text{мс}$
1	20	70	16	50	10
2	25	65	17	50	11
3	30	60	18	50	12
4	35	55	19	50	13
5	40	50	20	50	14
6	45	45	21	50	15
7	50	40	22	50	16
8	55	35	23	50	17
9	60	30	24	50	18
10	55	25	25	50	19
11	50	20	26	50	20
12	45	30	27	50	21
13	40	40	28	50	22
14	35	50	29	50	23
15	30	60	30	50	24

1.5. На основі таймера загального призначення написати програму яка реалізує виклик переривання через певні інтервали часу для виконання деякої задачі. Інтервали часу наведені у табл. 2.

Таблиця. 2

Варіант	$T_{\text{ввімк1}}, \text{мс}$	$T_{\text{ввімк2}}, \text{мс}$	$T_{\text{ввімк3}}, \text{мс}$	$T_{\text{ввімк4}}, \text{мс}$	$T_{\text{ввімк5}}, \text{мс}$
1	0.2	70	7000	$10 \cdot 10^4$	0.3
2	0.4	65	6500	$11 \cdot 10^4$	0.5
3	0.6	60	6000	$12 \cdot 10^4$	0.7
4	0.8	55	5500	$13 \cdot 10^4$	0.9
5	1.0	70	7000	$14 \cdot 10^4$	1.1

6	1.2	65	6500	$15 \cdot 10^4$	1.3
7	1.4	60	6000	$16 \cdot 10^4$	1.5
8	1.6	55	5500	$17 \cdot 10^4$	0.2
9	1.8	50	5000	$18 \cdot 10^4$	0.4
10	2.0	45	4500	$19 \cdot 10^4$	0.6
11	2.2	40	4000	$20 \cdot 10^4$	0.2
12	2.1	35	3500	$21 \cdot 10^4$	0.4
13	2.0	30	3000	$22 \cdot 10^4$	0.6
14	1.9	25	2500	$23 \cdot 10^4$	0.8
15	0.3	20	2000	$24 \cdot 10^4$	1.0
16	0.5	30	3000	$25 \cdot 10^4$	1.2
17	0.7	40	4000	$26 \cdot 10^4$	1.4
18	0.9	50	5000	$27 \cdot 10^4$	1.6
19	1.1	60	6000	$28 \cdot 10^4$	1.8
20	1.3	70	7000	$29 \cdot 10^4$	2.0
21	1.5	90	90	$30 \cdot 10^4$	2.2
22	1.7	110	110	$31 \cdot 10^4$	2.1

**Примітка:** для коректної роботи таймерів TIM2 і TIM3 в Proteus перед подаванням тактування на ці таймер потрібно подати тактування на таймер TIM1, інакше програма зависне (некоректність робот моделі).

1.6. Написати програму для вимірювання періода і тривалості ШІМ сигналу. Для цього один з виходів таймера налаштовується на режим ШІМ, інший – на режим захоплення імпульсів ШІМ. Вхід і вихід таймера з'єднуються між собою. Таблиця входів виходів згідно з варіантом наведена у табл. 3.

Таблиця 3

Варіант	Вхід	Вихід	Період ШІМ, мкс	$\gamma$	ШІМ
1	TIM1, Ch1	TIM2, Ch2	10	90	Передній фронт
2	TIM1, Ch2	TIM2, Ch3	20	80	Задній фронт
3	TIM1, Ch3	TIM2, Ch4	30	70	Двостороння
4	TIM1, Ch4	TIM3, Ch1	40	60	Передній фронт

5	TIM2, Ch1	TIM3, Ch2	50	50	Задній фронт
6	TIM2, Ch2	TIM3, Ch3	60	40	Двостороння
7	TIM2, Ch3	TIM3, Ch4	70	30	Передній фронт
8	TIM2, Ch4	TIM3, Ch2	80	20	Задній фронт
9	TIM3, Ch1	TIM2, Ch3	90	10	Двостороння
10	TIM3, Ch2	TIM2, Ch4	100	20	Передній фронт
11	TIM3, Ch3	TIM2, Ch1	90	30	Задній фронт
12	TIM3, Ch4	TIM2, Ch2	80	40	Двостороння
13	TIM1, Ch1	TIM3, Ch3	70	50	Передній фронт
14	TIM1, Ch2	TIM3, Ch4	60	60	Задній фронт
15	TIM1, Ch3	TIM2, Ch2	50	50	Двостороння
16	TIM1, Ch4	TIM2, Ch3	40	40	Передній фронт
17	TIM2, Ch1	TIM3, Ch4	30	30	Задній фронт
18	TIM2, Ch2	TIM3, Ch2	20	20	Двостороння
19	TIM2, Ch3	TIM3, Ch3	10	10	Передній фронт
20	TIM2, Ch4	TIM3, Ch4	20	20	Задній фронт
21	TIM3, Ch1	TIM2, Ch1	30	30	Двостороння
22	TIM3, Ch2	TIM2, Ch2	40	40	Передній фронт
23	TIM3, Ch3	TIM2, Ch3	50	50	Задній фронт
23	TIM3, Ch4	TIM2, Ch4	60	60	Двостороння

## 2. Зміст звіту

- 2.1. Мета роботи.
- 2.2. Принт-скрін моделей Proteus.
- 2.3. Тексти програм і результати моделювання.
- 2.4. Проекти Proteus.
- 2.5. Висновки по роботі.

## 3. Контрольні питання

- 3.1. Наведіть призначення сторожових таймерів.
- 3.2. Опишіть особливості роботи віконного таймера.
- 3.3. Опишіть особливості роботи сторожового таймера.
- 3.4. Наведіть принцип роботи таймера SysTick.
- 3.5. Опишіть функціональні можливості базового таймера.
- 3.6. Перелічіть регістри базового таймера та назвіть їх призначення.
- 3.7. Опишіть особливості налаштування режиму захоплення сигналу.
- 3.8. Опишіть особливості налаштування режиму ШІМ.

### **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. СИНТЕЗ ПІД РЕГУЛЯТОРА ЛІНІЙНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НАПРУГИ АБО СТРУМУ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА СІМЕЙСТВА STM32.**

Мета роботи: синтезувати систему керування лінійного перетворювача напруги або струму на основі ПД регулятора у САПР Proteus

#### **1. Порядок виконання роботи**

- 1.1. Проаналізувати схему моделі регулятора, виділити окремі функціональні вузли та назвати їх призначення.
- 1.2. Переглянути програму проекту, відокремити ділянки коду, що призначені для ініціалізації периферії та роботи з ЦАП на основі регістра.
- 1.3. Побудувати передавальну характеристику код ЦАП – вихідний параметр (парний варіант – напруга, непарний – струм). Зафіксувати максимально можливе значення вихідного параметра.
- 1.4. Додати до схеми проекту резистивний давач (парні варіанти – давач напруги, непарні – давач струму). Максимальне вихідне значення вихідного параметра давача узгодити з максимально можливою напругою на вході АЦП. Записати формулу перерахунку вихідного параметра у код АЦП.

**Примітка:** Для зменшення втрат на давачі, опір давача струму повинен бути мінімум на два порядки менший опору навантаження, опір давача напруги – на два порядки більше.

1.5. Під'єднати вихідний сигнал до каналу  $N_{АЦП}$  АЦП, де  $N_{АЦП} = N \% 8$ ,  $N$  – номер варіанту. Записати рівняння для пропорційного дискретного регулятора. Дані для синтезу регулятора – частота дискретизації вихідного параметра  $f_{АЦП}$ , еталонне значення вихідного параметра  $a_{em}$ , наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Вар.	$f_{АЦП}$ , кГц	$a_{em}$	Вар.	$f_{АЦП}$ , кГц	$a_{em}$	Вар.	$f_{АЦП}$ , кГц	$a_{em}$
1	2	30 мА	11	12	80 мА	21	10	130 мА
2	3	0.5 В	12	13	3.0 В	22	9	5.5 В
3	4	40 мА	13	14	90 мА	23	8	140 мА
4	5	1.0 В	14	15	3.5 В	24	7	6.0 В
5	6	50 мА	15	16	100 мА	25	6	150 мА
6	7	1.5 В	16	15	4.0 В	26	5	6.5 В
7	8	60 мА	17	14	110 мА	27	4	160 мА
8	9	2.0 В	18	13	4.5 В	28	3	7.0 В
9	10	70 мА	19	12	120 мА	29	2	170 мА
10	11	2.5 В	20	11	5.0 В	30	1	7.5 В

1.6. На основі отриманого рівняння написати програму для реалізації пропорційного регулятора.

1.7. Поступово збільшуючи значення коефіцієнта підсилення пропорційної ланки від нуля до максимального значення, визначити коефіцієнт підсилення, який відповідає межі стійкості регулятора  $k_{pmax} = \underline{\hspace{2cm}}$ .

1.8. Зменшити значення коефіцієнта підсилення  $k_p$  на 10 %,  $k_p = 0.9 k_{pmax}$ . Визначити для цього значення помилку вихідного параметра,  $\delta_a = \underline{\hspace{2cm}}$ .

1.9. Створити збурення по зміні навантаження (збільшення опору навантаження в 2 рази). Виміряти тривалість перехідного процесу,  $t = \underline{\hspace{2cm}}$ .



1.10. Записати рівняння для пропорційно-інтегрального дискретного регулятора. На основі отриманого рівняння написати програму для його реалізації.

1.11. Зменшити значення коефіцієнту підсилення пропорційної ланки  $k_p$  на 50 % порівняно з п.1.7,  $k_p = 0.5 k_{pmax}$ . Поступово зменшуючи період інтегрування  $T_i$  інтегральної ланки від нескінченності до нуля та збільшуючи значення  $k_p$ , підібрати їх значення, що призводять до мінімальної помилки вихідного параметра,  $k_{p1} = \underline{\hspace{2cm}}$ ,  $T_{i1} = \underline{\hspace{2cm}}$ ,  $\delta_a = \underline{\hspace{2cm}}$ .

1.12. Створити збурення по зміні навантаження (збільшення опору навантаження в 2 рази). Виміряти тривалість перехідного процесу,  $t = \underline{\hspace{2cm}}$ .

1.13. Записати рівняння для пропорційно-інтегрально-диференційного дискретного регулятора. На основі отриманого рівняння написати програму для його реалізації.

1.14. Зменшити значення коефіцієнту підсилення пропорційної ланки  $k_p$  на 50 % порівняно з п.1.7,  $k_p = 0.5 k_{pmax}$ , збільшити період інтегрування інтегральної ланки  $T_i$  у 2 рази в порівнянні з п. 1.10,  $T_i = 2T_{i1}$ . Поступово зменшуючи період інтегрування  $T_i$  інтегральної ланки, збільшуючи значення  $k_p$  та збільшуючи період диференціювання  $T_d$ , підібрати їх значення, що призводять до мінімальної помилки вихідного параметра,  $k_{p2} = \underline{\hspace{2cm}}$ ,  $T_{i2} = \underline{\hspace{2cm}}$ ,  $T_{d2} = \underline{\hspace{2cm}}$ ,  $\delta_a = \underline{\hspace{2cm}}$ .

1.15. Створити збурення по зміні навантаження (збільшення опору навантаження в 2 рази). Виміряти тривалість перехідного процесу,  $t = \underline{\hspace{2cm}}$ .

1.16. Зробити висновки щодо використання проаналізованих типів регуляторів.

## 2. Зміст звіту

2.1. Мета роботи.

2.2. Прінт-скріни моделей Proteus.

2.3. Тексти програм і результати моделювання.

- 2.4. Проекти Proteus.
- 2.5. Висновки по роботі.

### 3. Контрольні питання

- 3.1. Опишіть принцип роботи ЦАП на регістрі.
- 3.2. Перелічіть основні функціональні вузли компенсаційного регулятора на схемі в Proteus.
- 3.3. Опишіть принцип роботи дискретного ПІД регулятора.
- 3.4. Охарактеризуйте ефективність роботи досліджуваних типів регуляторів.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. СИНТЕЗ ПІД РЕГУЛЯТОРА ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НАПРУГИ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА СІМЕЙСТВА STM32.

Мета роботи: синтезувати систему керування імпульсного перетворювача напруги на основі ПІД регулятора у САПР Proteus

### 1. Порядок виконання роботи

- 1.1. Скласти схему перетворювача та розрахувати параметри його силової частини згідно з даними наведеними у табл. 1.

Таблиця 1

Вар.	Топологія	$f$ , кГц	$U_{вх}/U_{вих}$ , В	$K_{П}$ , %	$R_H$ , Ом
1	Понижувальна	20	12/5	5	5
2	Підвищувальна	30	5/12	5	10
3	Інвертувальна	40	5/-3.3	5	5
4	Понижувальна	50	12/5	5	5
5	Підвищувальна	20	5/12	5	10
6	Інвертувальна	30	5/-3.3	5	5
7	Понижувальна	40	12/5	5	5
8	Підвищувальна	50	5/12	5	10
9	Інвертувальна	20	5/-3.3	5	5

10	Понижувальна	30	12/5	5	5
11	Підвищувальна	40	5/12	5	10
12	Інвертувальна	50	5/-3.3	5	5
13	Понижувальна	20	12/5	5	5
14	Підвищувальна	30	5/12	5	10
15	Інвертувальна	40	5/-3.3	5	5
16	Понижувальна	50	12/5	5	5
17	Підвищувальна	20	5/12	5	10
18	Інвертувальна	30	5/-3.3	5	5
19	Понижувальна	40	12/5	5	5
20	Підвищувальна	50	5/12	5	10
21	Інвертувальна	20	5/-3.3	5	5
22	Понижувальна	30	12/5	5	5
23	Підвищувальна	40	5/12	5	10
24	Інвертувальна	50	5/-3.3	5	5

1.2. Про моделювати схему перетворювача з розімкненою системою керування, формуючи ШІМ сигнал таймером ТІМ1, отримати регульовальну характеристику перетворювача.

1.3. Додати до силової частини датчик напруги та з'єднати його з входом АЦП  $N_{АЦП}$ , де  $N_{АЦП} = N \% 8$ ,  $N$  – номер варіанту. Записати рівняння для пропорційного дискретного регулятора. Частота вимірювання напруги  $f_{АЦП}$  обирається на порядок меншою, ніж частота роботи перетворювача  $f$ ,  $f_{АЦП} = f/10$ .

1.4. Синтезувати І, ІІ регулятори керування перетворювачем. Записати його параметри:

- пропорційний регулятор  $k_p = \underline{\hspace{2cm}}$ ,  $\delta_a = \underline{\hspace{2cm}}$ ;
- пропорційно-інтегральний регулятор  $k_p = \underline{\hspace{2cm}}$ ,  $T_i = \underline{\hspace{2cm}}$ ,  $\delta_a = \underline{\hspace{2cm}}$ .

1.5. Створити збурення по зміні навантаження (збільшення опору навантаження в 2 рази). Виміряти тривалість перехідного процесу:

- пропорційний регулятор  $t = \underline{\hspace{2cm}}$ ;
- пропорційно-інтегральний регулятор  $t = \underline{\hspace{2cm}}$ .

## **2. Зміст звіту**

- 2.1. Мета роботи.
- 2.2. Прінт-скрін моделей Proteus.
- 2.3. Тексти програм і результати моделювання.
- 2.4. Проекти Proteus.
- 2.5. Висновки по роботі.

## **3. Контрольні питання**

- 3.1. Опишіть принцип налаштування ШІМ на основі таймерів МК STM32.
- 3.2. Наведіть принцип стабілізації вихідної напруги імпульсних перетворювачів.
- 3.3. Опишіть принцип роботи дискретного ПІД регулятора.
- 3.4. Охарактеризуйте ефективність роботи досліджуваних типів регуляторів.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5. ВИВЧЕННЯ ПОСЛІДОВНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ.

Мета роботи: реалізувати в САПР Proteus послідовні інтерфейси та вивчити принцип їх роботи.

### 1. Порядок виконання роботи

1.1. Створити проект, що складено з двох МК STM32F103C6.

1.2. В обох МК налаштувати параметри інтерфейсу UART згідно з табл. 1.

Таблиця 1

Вар.	Швидкість, Бод/с	Довжина слова, біт	Кількість стоп біт	Перевірка парності	Номер UART (1 МК / 2МК)
1	9600	5	0.5	+	1/1
2	19200	6	1	+	1/2
3	32700	7	1.5	+	1/3
4	56000	8	2	+	2/1
5	57600	9	0.5	+	2/2
6	9600	5	1	+	2/3
7	19200	6	1.5	+	3/1
8	32700	7	2	+	3/2
9	56000	8	0.5	+	3/3
10	57600	9	1	+	1/1
11	9600	5	1.5	+	1/2
12	19200	6	2	+	1/3
13	32700	7	0.5	+	2/1
14	56000	8	1	+	2/2
15	57600	9	1.5	+	2/3
16	9600	5	2	+	3/1
17	19200	6	0.5	+	3/2
18	32700	7	1	+	3/3
19	56000	8	1.5	+	1/1
20	57600	9	2	+	1/2

1.3. Написати програму, що реалізує обмін даними між двома МК за перериваннями у повнодуплексному режимі. Навести діаграми обміну даними між МК.

1.4. Переробити проект та код програми для обміну даними у напівдуплексному режимі з тими ж параметрами. Навести діаграми обміну даними між МК.

1.5. Налаштувати режим роботи SPI обох МК згідно з табл. 2. Реалізувати обмін даними між МК на основі переривань. Навести діаграми обміну даними між МК.

Таблиця 2

Вар.	Частота	CPOL/ CPHA	Довжина слова	Перший переданий біт
1	$f_{PCLK}/2$	00	8	Старший
2	$f_{PCLK}/4$	01	16	Молодший
3	$f_{PCLK}/8$	10	8	Старший
4	$f_{PCLK}/16$	11	16	Молодший
5	$f_{PCLK}/32$	00	8	Старший
6	$f_{PCLK}/64$	01	16	Молодший
7	$f_{PCLK}/128$	10	8	Старший
8	$f_{PCLK}/256$	11	16	Молодший
9	$f_{PCLK}/2$	00	8	Старший
10	$f_{PCLK}/4$	01	16	Молодший
11	$f_{PCLK}/8$	10	8	Старший
12	$f_{PCLK}/16$	11	16	Молодший
13	$f_{PCLK}/2$	00	8	Старший
14	$f_{PCLK}/4$	01	16	Молодший
15	$f_{PCLK}/8$	10	8	Старший
16	$f_{PCLK}/16$	11	16	Молодший
17	$f_{PCLK}/32$	00	8	Старший
18	$f_{PCLK}/64$	01	16	Молодший
19	$f_{PCLK}/128$	10	8	Старший
20	$f_{PCLK}/256$	11	16	Молодший

## 2. Зміст звіту

2.1. Мета роботи.

2.2. Прінт-скрін моделі Proteus.

2.3. Тексти програм і результати моделювання.

- 2.4. Проекти Proteus.
- 2.5. Висновки по роботі.

### **3. Контрольні питання**

- 3.1. Опишіть формат передавання даних протоколом UART.
- 3.2. Наведіть основні відмінності між протоколами UART і USART.
- 3.3. Перелічіть регістри, що використовуються для налаштування UART.
- 3.4. Опишіть формат передавання даних протоколом I2C.
- 3.5. Перелічіть регістри, що використовуються для налаштування I2C.
- 3.6. Опишіть формат передавання даних протоколом SPI.
- 3.7. Перелічіть регістри, що використовуються для налаштування SPI.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет електроніки  
Кафедра промислової електроніки**

## **Лабораторна робота № 1**

**ПРОГРАМУВАННЯ GPIO, ПЕРЕРИВАНЬ, АНАЛОГОВО-  
ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА МІКРОКОНТРОЛЕРІВ  
СІМЕЙСТВА STM32.**