

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний авіаційний університет**

Аерокосмічний факультет  
Кафедра комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій



**Система менеджменту якості**

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС**  
**навчальної дисципліни**

**«Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»**

Освітній ступінь Бакалавр


Освітньо-професійна програма: «Електротехнічні системи електроспоживання»

Галузь знань: 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022**

**КИЇВ**

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 2 із 131	

Навчально-методичний комплекс розробив:  
доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних  
систем та технологій, к.т.н., доц. \_\_\_\_\_ Сергій ЄГОРОВ

Навчально-методичний комплекс обговорено та схвалено на засіданні  
кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій протокол  
№ 13 від «22» серпня 2022 р.

Гарант освітньо-професійної програми \_\_\_\_\_ Сергій ЄГОРОВ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Володимир КВАСНІКОВ

Навчально-методичний комплекс обговорено та схвалено на засіданні  
НМРР Аерокосмічного факультету, протокол № 1 від «08» вересня 2022 р.

Голова НМРР \_\_\_\_\_ Катерина БАЛАЛАЄВА

Рівень документа – 3б  
Плановий термін між ревізіями – 1 рік  
**Контрольний примірник**



## ЗМІСТ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Дисципліна «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем»

Освітньо-професійна програма: «Електротехнічні системи електроспоживання»

Галузь знань: 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»


№	Складова комплексу	Позначення електронного файлу <sup>1)</sup>	Наявність	
			друкований вигляд <sup>2)</sup>	електронний вигляд <sup>3)</sup>
1	Робоча програма дисципліни та/або силабус	01_ПМЕС_РП	18.11.2022	18.11.2022
2	Курс лекцій або розширений план лекцій	02_ПМЕС_Л		
3	Методичні рекомендації з підготовки студентів до практичних (семінарських) занять	03_ПМЕС_МР_ПЗ		
4	Методичні рекомендації з підготовки студентів до лабораторних занять	04_XXX_МР_ЛЗ		
5	Методичні рекомендації з виконання домашнього завдання (розрахунково-графічної роботи)	05_XXX_МР_ДЗ (РГР)		
6	Методичні рекомендації з виконання контрольних (домашніх) робіт для студентів заочної форми навчання	06_ПМЕС_МР_КРз		
7	Методичні рекомендації до виконання курсової роботи (проекту)	07_XXX_МР_КР (КП)		
8	Завдання з дисципліни для поточного контролю (тести або практичні ситуаційні задачі)	08_XXX_З		
9	Модульні контрольні роботи <sup>4)</sup>	09_ПМЕС_МКР_1 10_ПМЕС_МКР_2		
10	Затверджені екзаменаційні білети	11_XXX_ЕБ		х

1) XXX – скорочена назва дисципліни (перші літери кожного слова з назви дисципліни)

2) Вказується дата затвердження до друку та номер справи у Номенклатурі справ кафедри

3) Вказується дата розміщення у інституційному репозитарії АБО дата та місце розміщення на кафедрі

4)

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 4 із 131	

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Аерокосмічний факультет**  
**Кафедра комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій**


**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни **«Програмування мікроконтролерів для  
 електроенергетичних систем»**

за напрямом 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Укладач: к.т.н., доц. С.В. Єгоров

Конспект лекцій розглянутий та схвалений на  
 засіданні кафедри комп'ютеризованих  
 електротехнічних систем та технологій  
 Протокол № \_\_\_\_\_ від « \_\_\_\_ »20 \_\_\_\_ р.

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
	Стор. 5 із 131		

## МОДУЛЬ № 1

### «АРХІТЕКТУРА МІКРОКОНТРОЛЕРІВ»

#### Лекція №1

#### Тема лекції: «Структура мікропроцесорної системи»

##### План лекції:


1. Види пам'яті.
2. Порти вводу-виводу.
3. Процесор і цифрові шини.
4. Шина даних.
5. Шина адреси. Шина керування.
6. Принцип роботи мікропроцесорної системи.

##### Зміст лекції:

Основним робочим елементом сьогоденної мікропроцесорної системи є мікроконтролер. Однак, щоб зрозуміти основні принципи роботи, спочатку необхідно зупинитися на мікропроцесорі. Відразу потрібно сказати, що мікропроцесор не працює сам по собі. Мікропроцесор - це всього лише частина мікропроцесорної системи.

Крім самого мікропроцесора, мікропроцесорна система включає в себе і інші, не менш важливі елементи. На рисунку 2.1 представлена узагальнена структурна схема типової мікропроцесорної системи. Давайте докладніше розглянемо, як вона працює. Як бачите, назви всіх елементів системи наведені як в українському, так і в англійському варіанті.

- (CPU) центральний процесор (Central Processing Unit) - це центральний процесор.

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 6 із 131	

- RAM (Random Access Memory) — пристрій з довільним доступом, або оперативна пам'ять (ОЗП).
- ROM (Read Only Memory) — Пам'ять лише для читання або постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП).
- Port I/O (Port Input/Output) — Порт вводу-виводу


Тепер давайте розглянемо всі ці елементи більш детально. Процесор не завжди був МІКРОпроцесором. Був час, коли процесором були одна або навіть кілька електронних плат, начинених радіоелементами.

#### Види пам'яті

Два види пам'яті (RAM і ROM) призначені для зберігання інформації (даних і програм). Обидва види пам'яті являють собою набір осередків, кожна з яких може зберігати єдине двійкове число. Поділ на постійну пам'ять і оперативну пам'ять досить умовно. З точки зору процесора обидва цих типу пам'яті практично ідентичні. Однак між ними є одна досить істотна відмінність.

Після того як інформація записана в оперативну пам'ять, вона зберігається там тільки до тих пір, поки подається напруга живлення. Як тільки харчування відключається, інформація, записана в оперативну пам'ять, тут же втрачається. Про це ми говорили вище. Класичний приклад осередку оперативної пам'яті - регістр стану, побудований на D-тригерах.

У такому регістрі можна написати інформацію і прочитати її звідти. Однак якщо відключити, а потім включити харчування, то всі тригери, що входять до складу регістрів ОЗП, будуть виставлені в випадковий стан. Інформація буде втрачена. Сучасні чіпи пам'яті побудовані на основі зовсім інших технологій. Але до цього дня не придумано досить швидкий пристрій пам'яті, який не втрачає інформацію при відключенні живлення.


	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 7 із 131	

Найбільш поширеною технологією побудови оперативної пам'яті на сьогоднішній день є так звана динамічна пам'ять. Зберігання інформації в мікросхемах динамічної пам'яті здійснюється за допомогою динамічно перезаряджаються мініатюрних контейнерів (конденсаторів), виконаних інтегральним способом на кремнієвому кристалі.

Кожен конденсатор зберігає один біт інформації. Якщо значення біта має дорівнювати одиниці, то схема управління заряджає конденсатор. Якщо в осередку має бути логічний нуль, конденсатор розряджається. Заряджений конденсатор може зберігати свій заряд, а, отже, і записану в ньому інформацію всього за кілька мілісекунд. Регенерація пам'яті використовується для того, щоб інформація не була втрачена.

Спеціальна схема періодично зчитує вміст кожної комірки пам'яті і заряджає конденсатори для тих біт, де один є. Для прискорення процесу регенерації всі осередки пам'яті кожного чіпа діляться на рядки. Зчитування і оновлення виконується відразу для цілого рядка. Для нормальної роботи динамічної оперативної пам'яті регенерація повинна працювати безперервно до тих пір, поки включена потужність. У сучасній оперативній пам'яті схема регенератора вбудовується всередину самих мікросхем.

Постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП) розрахований на тривале зберігання інформації і не втрачає записану інформацію навіть після відключення живлення. При виготовленні мікросхем ПЗУ використовуються зовсім інші технології. На зорі мікропроцесорної техніки ПЗУ-чіпи зберігали інформацію шляхом спалювання внутрішніх мікроперемичок на кристалі. Інформація, введена таким чином, змінити не вдалося. Якщо інформація застаріла, чіп просто викидали і замінювали на інший.

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 8 із 131	

Однопрограмовані ПЗП були замінені ПЗП, з ультрафіолетовим стиранням. Такі мікросхеми ПЗП були багаторазовими. Спалені перемички можна було відновити. Перед повторним використанням чіп потрібно було «стерти.» Тобто перемички довелося відновити. Для цього кристал чіпа піддавався впливу ультрафіолету, для чого чіпи оснащувалися спеціальним Вікно у верхній частині корпусу.


Кількість циклів запису-стирання для таких чіпів було обмежено. Чіпси з ультрафіолетовим стиранням існують давно. Вони до сих пір працюють в самих різних мікропроцесорних пристроях, виготовлених на рубежі минулих і нинішніх століть.

Сучасні чіпи ПЗП побудовані на так званій технології Flash. Такі чіпи також засновані на використанні спеціальних згорілих перемичок з можливістю відновлення. Але стирання інформації в даному випадку відбувається електрично. Тому такі чіпи ще називають ЕСПЗП (електрично стираємі ПЗП). Весь процес стирання здійснюється всередині чіпа. Для запуску процесу стирання досить відправити на його входи певну комбінацію сигналів.


### Список джерел

1. Програмування мікроконтролерів AVR : [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : [http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика,



	<p>Система менеджменту якості.  НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 9 із 131	

- електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
  4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.
  5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.
  6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 10 із 131	

«Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові данні (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.

## Лекція №2

### Тема лекції: «Алгоритм роботи мікропроцесорної системи»

#### План лекції:


1. Можливості процесора.
2. Програма. Процес виконання команди.
3. Робочі регістри.
4. Команди мікропроцесора.
5. Команди умовного та безумовного переходів.
6. Команди організації циклу.
7. Команди переходу до підпрограми.

#### Зміст лекції:

З електронними числами процесор здатний здійснювати будь-які види перетворень, які взагалі можливі з числами. Він може складати числа, віднімати, порівнювати між собою. Крім того, він здатний зміщувати цифри двійкового числа вправо або вліво, порозрядно логічні операції. До логічних операцій відносяться:

- логічне множення (операція «AND»);
- Логічне додавання (ОПЕРАЦІЯ «OR»);
- інверсія (операція «NOT»).

Деякі процесори також здатні виробляти множення і ділення. Однак потрібно розуміти, що всі ці операції мікропроцесор виконує простими восьмибітними (іноді шістнадцятибітними) двійковими числами. Всі

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 11 із 131	

перераховані вище операції виконуються апаратним способом.


Для цього мікропроцесор містить ряд логічних модулів. Всі вони складаються з набору логічних елементів, регістрів і так далі. Прикладом може служити суматор. Головна особливість мікропроцесора полягає в тому, що всі ці операції виконуються між простими двійковими числами одного (іноді двох) байтів. Але цього достатньо.

Будь-яку більш складну задачу завжди можна розкласти на більш прості компоненти і звести до операцій з байтами. Наприклад, для того щоб помножити два багатобітних десяткових числа, можна спочатку перевести їх в двійкову форму і записати кожне таке число в кілька осередків пам'яті. Потім зробіть невелику програму, яка буде множити ці числа байтами на байт, і результати будуть зберігатися з урахуванням розрядності. Головне - скласти правильний алгоритм.

Програма - це послідовність операцій, які повинен виконувати процесор. Він записується в пам'ять у вигляді послідовності кодів.

Отже, як змусити процесор робити всі ці речі в тій послідовності, яку ми хочемо? Для цього вам потрібно створити програму. Кожна операція, яку здатний виконати конкретний мікропроцесор, кодується певним числом. Цей номер називається кодом операції. Коди операцій записуються послідовно, один за одним, в пам'ять мікропроцесорної системи (в оперативній пам'яті або в ПЗП). Процесор зчитує операційні коди послідовно, байти за байтами і виконує їх у міру надходження.

У простих процесорах досить одного байта, щоб закодувати всі інструкції. Одна команда, один байт. У більш складних процесорах кількість інструкцій збільшується настільки, що для їх кодування недостатньо одного байта, в цьому

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 12 із 131	

випадку для кодування інструкцій використовуються два, а іноді і більше байтів. Більш того, найчастіше використовується гнучка система кодування. У такій системі одні команди кодуються одним байтом, інші - двома і так далі. Причому кодування враховує частоту застосування тієї чи іншої команди. Чим частіше команда з'являється в програмах, тим коротше її код.

Для кодування команд недостатньо вказати код, який визначає тип операції. Наприклад, для отримання інструкції про додавання двох цифр процесор повинен вказати:

- Адреса комірки, де зберігається перше число.
- Адреса другого числа;
- адреса, де розмістити результат.


Тому кожна команда, крім коду операції, може містити один або кілька параметрів. Це не обов'язково операційні адреси (як в наступному прикладі); параметрами можуть бути константи, допоміжні номери регістрів та інші спеціальні коди.

Існують різні способи кодування команд. Іноді команда складається з двох байтів. Перший байт - це код операції, а другий - параметр. Іноді вся команда разом з параметрами вписується в єдиний байт. При цьому частина бітів цього байта - це код операції, а інша частина - параметр.

Є й інші варіанти. Мікропроцесори серії AVR використовують одне двобайтове слово для кодування кожної інструкції. Для деяких особливо складних команд кодування може складатися з двох і більше слів.

#### Процес виконання команд

Тепер давайте розглянемо процес виконання програми. Для того щоб мікропроцесор міг послідовно читати інструкції з пам'яті, всередині нього є

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 13 із 131	

спеціальний реєстр, званий адресним реєстром або лічильником інструкцій. У цьому реєстрі зберігається адреса виконуваної в даний момент команди.

Робота мікропроцесора завжди починається з початкової процедури скидання. Скидання мікропроцесора зводиться до установки всіх його реєстрів в початковий стан. Після скидання в адресному реєстрі записується адреса початку роботи програми. Адреса початку програми залежить від моделі мікропроцесора і визначається її розробником. Більше


в цілому ця адреса дорівнює нулю.

Як тільки початковий процес скидання буде завершено, програма запускається. Почнемо з того, що процесор зчитує число з пам'яті програм, тобто з осередку, адреса якої записаний в адресному реєстрі. У нашому випадку з комірки з нульовою адресою. Прочитане число він сприймає як код першої команди.

Процесор аналізує код і виконує відповідну інструкцію. Якщо команда передбачає один або кілька байтів параметрів, процесор перед виконанням інструкції зчитує необхідну кількість байтів з наступних осередків пам'яті, кожен раз збільшуючи вміст адресного реєстра.

Після виконання першої інструкції процесор знову збільшує значення лічильника інструкцій на одиницю і приступає до читання і виконання наступної інструкції. Цей процес повторюється нескінченно довго, поки напруга живлення подається на процесор. Таким чином, нормально працюючий процесор завжди знаходиться в процесі запуску програми.

Однак є кілька винятків. Зокрема, набір інструкцій мікропроцесора зазвичай має спеціальну команду зупинки. Якщо така інструкція зустрічається під час виконання програми, процесор зупиняється. Тобто зупиняє виконання


	<p>Система менеджменту якості.          НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС          навчальної дисципліни          «Програмування мікроконтролерів для          електроенергетичних систем забезпечення          польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 14 із 131	

програми. В цьому випадку запустити процесор можна тільки після скидання системи або в результаті зовнішнього переривання. Мова піде про те, що таке переривання.

Другий виняток – режим сну. Деякі моделі мікроконтролерів здатні перейти в спеціальний низькоенергетичний режим, званий режимом сну або режимом сну. У сплячому режимі програма також призупинена. Режим сну зручний, коли мікропроцесорна система змушена тривалий час перебувати в режимі очікування. Наприклад, очікування натискання кнопки Пуск. Такий процесор здатний в потрібний момент прокинутися від сну і продовжити роботу.

#### **Список джерел:**

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна


	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 15 із 131	

- радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.
  5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.
  6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.

### Лекція №3.

**Тема лекції: «Механізм переривань і прямого доступу до пам'яті»**

**План лекції:**

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 16 із 131	

1. Механізм переривань.
2. Прямий доступ до пам'яті.
3. Мікроконтролери.

### **Зміст лекції:**

Отже, ми розглянули основні принципи роботи мікропроцесорної системи. Все вищесказане відноситься до первинного режиму роботи. Однак для підвищення ефективності більшість процесорів зазвичай мають ще два однаково важливих режиму роботи: це режим переривань і режим прямого доступу до пам'яті. Структурна схема типового мікропроцесорного пристрою (рисунок 2.1) не показує для простоти елементи, які призначені для роботи в двох додаткових режимах. Тепер прийшов час дізнатися про них.


### **Задача**

На вході певного мікропроцесорного пристрою надходять деякі імпульси, які процесор повинен постійно зчитувати. Наприклад, імпульси від датчика обертання коліс автомобіля в системі електричного спідометра. Спідометр повинен постійно рахувати ці імпульси, щоб отримати пробіг автомобіля. При цьому спідометр повинен займатися вимірюванням швидкості та іншими допоміжними операціями. Наприклад, опитати клавіатуру, виконати введені з неї команди, вивести інформацію про показники.

Почнемо з механізму переривань.

Давайте уявимо собі завдання. Якщо включити команду на опитування порту, по якому ці імпульси направляються в програму загального управління, то в момент надходження імпульсу від датчика процесор може займатися іншою операцією. В результаті деякі імпульси можуть бути упущені. Саме для таких випадків був винайдений механізм переривання.



	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 17 із 131	

Для цього будь-який процесор має спеціальний вхід на запит на переривання. Саме на цей вхід і повинні подаватися наші імпульси, призначені для підрахунку. Коли наступний імпульс надходить на вхід запиту переривання, включається вбудований в мікропроцесор внутрішній алгоритм обробки переривань.


Виконання основної програми переривається, а контроль передається на спеціальну процедуру обробки переривань. Дана процедура є невід'ємною частиною основної керуючої програми, яку розробляє програміст при створенні мікропроцесорної системи.

Адреса початку процедури обробки переривань визначається типом мікропроцесора. Процедура обробки переривань повинна виконувати дії, які необхідні при надходженні сигналу. У нашому випадку це може бути цифровий алгоритм фільтрації і збільшення на одиницю вмісту комірки пам'яті, де зберігається кількість вхідних імпульсів.

Підпрограма обробки переривань закінчується спеціальною командою виходу з переривання. Ця команда схожа на команду виходу з підпрограми, тому при завершенні обробки переривань мікропроцесор повертається в місце розташування основної програми, де відбулося переривання.

Процедура обробки переривань і підпрограма дуже схожі. Різниця лише в тому, що перехід до підпрограми відбувається за спеціальною командою, а виклик процедури обробки переривань відбувається при надходженні зовнішнього сигналу. Тому переривання може статися на будь-якому етапі виконання основної програми.

В результаті застосування механізму переривань ми досягаємо ефекту незалежності двох процесів. Виходить, що основна програма виконується як би сама по собі, а відлік імпульсів від датчика виконується як би окремо. Машинний

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 18 із 131	

час мікропроцесора розподіляється між цими двома процесами таким чином, що вони обидва виконуються незалежно один від одного. Механізм перебоїв широко застосовується як в мікропроцесорній техніці, так і у великих комп'ютерах.


Наочним прикладом проблеми, що вирішується шляхом переривання, є робота маніпулятора типу «миша» персонального комп'ютера. Яким би складним не був запущений комп'ютер, покажчик завжди вільно бігає по екрану, підкоряючись рухам миші.

Буває, що програма або кілька програм «зависли». А ось маніпулятор типу «миша» живе. Миша зазвичай зависає тільки в крайньому випадку в разі серйозного збою системи. Все це пов'язано з тим, що маніпулятор миші працює методом переривання. При переміщенні маніпулятора по столу спеціальний механізм всередині миші перетворює ці рухи в електронні сигнали, які передаються на один з входів комп'ютера.

Спеціальна схема всередині комп'ютера приймає ці сигнали і формує запит на переривання мікропроцесора. Отримавши цей запит, процесор перериває виконання основної програми і виконує процедуру переміщення зображення курсора миші по екрану.


З кожним перериванням курсор переміщається тільки на один крок. Потім процесор повертається до виконання своєї основної програми. В результаті ви спостерігаєте вільний рух курсу миші по екрану на тлі запущених програм.

Механізм переривань в персональному комп'ютері використовується не тільки для миші. Це дуже поширена методика. Будь-який сучасний процесор має складну багаторівневу систему переривань, яка дозволяє обробляти переривання з декількох джерел одночасно. Переривання обробляються такими пристроями, як клавіатура, жорсткий диск, внутрішній системний годинник, порт і інше.

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 19 із 131	

### Список джерел:

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 20 із 131	

- ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.
5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.
6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.

#### **Лекція №4**


##### **Тема лекції: «Загальні відомості про мікроконтролери AVR»**

##### **План:**

1. Особливості нової серії мікроконтролерів. Склад серії AVR. Особливості серії AVR.
2. Внутрішня пам'ять.
3. Особливості програмування пам'яті Flash та EEPROM.
4. Порти вводу-виводу. Периферійні пристрої. Інші пристрої.

##### **Зміст лекції:**

Отже, на попередніх лекціях розглянули загальні принципи роботи мікропроцесорної системи. Тепер давайте розглянемо, як вона виглядає на


	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 21 із 131	

прикладі конкретних мікроконтролерів. Найсучаснішою розробкою компанії Atmel на сьогоднішній день є **мікроконтролери серії AVR**. Чіпи цієї серії є досить поширеними і популярними в усьому світі. Тому ми зупинимося на цих мікроконтролерах.

В рамках серії мікроконтролери діляться на кілька родин. Застаріла родина «Classic» вже не використовується. Основою серії є **родина «Tiny»** і **родина «Mega»**. Родина мікроконтролерів Tiny - це мікроконтролери мінімальної конфігурації і, в основному, невеликих розмірів, розраховані на прості недорогі і мініатюрні електронні пристрої управління. Вони мають мінімальний набір функцій і невисоку ціну. **Родина** мікроконтролерів Mega, навпаки, мають вдосконалену архітектуру і розраховані на більш потужні мікропроцесорні системи. Крім того, Atmel випускає ще кілька типів мікроконтролерів, які він також називає серією AVR.

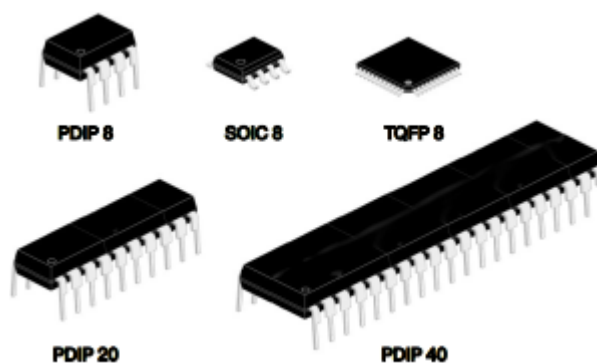
У далі ми розглянемо основні особливості та функції побудови всієї серії мікроконтролерів AVR. Таким чином, ми перейдемо від теоретичних міркувань до практичних питань конкретної конструкції чіпа. Всі мікросхеми AVR побудовані за єдиним принципом і мають єдиний набір інструкцій, який для різних моделей мікроконтролерів може відрізнятися лише наявністю або відсутністю декількох нефундаментальних команд. Тому доцільно вивчити всю серію чіпів в цілому. Якщо спробувати порівняти чіпи AVR з попередньою серією чіпів (серія AT89), то виявимо масу відмінностей. Розробляючи нову серію, Компанія Atmel вирішила не прив'язуватися до своїх старих розробок і кардинально змінила як внутрішню архітектуру нових мікроконтролерів, так і командну систему.

### Склад серії AVR

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
	Стор. 22 із 131		

Отже, які бувають мікроконтролери серії AVR? **Родина AVR** включає в себе мікроконтролери різної конфігурації, з різним об'ємом пам'яті і різною кількістю вбудованих портів вводу-виводу та інших додаткових пристроїв.

Конструкція мікроконтролерів також дуже різноманітна. Використовується кілька типів корпусів (див . **Рис. 3.1**). Це традиційні шасі PDIP з ніжками від 8 до 40. Пакети SOIC з 8 до 20 контактами. Але більшість мікроконтролерів Mega AVR виготовляються або в сорококонтактних пакетах PDIP, або в сучасних багатовихідних корпусах TQFP або MLF (до 64 контактів).




*Рис. 3.1. Мікроконтролери серії AVR*

Більш детально зупинимося тільки на одному чіпі з цієї серії, Як приклад оберемо чіп **ATtiny2313**. Якщо ви не знайдете потрібний вам чіп в довідковій літературі, рекомендую завантажити з інтернету оригінальний опис потрібного вам чіпа, так звану datasheet. Будь-який datasheet завжди знайдеться на сайті виробника ([www.atmel.com](http://www.atmel.com) ). На жаль, розміщена там документація існує тільки англійською мовою.

### **Особливості серії AVR**

Мікроконтролери серії AVR відносяться до **класу восьмибітних мікроконтролерів**. Це означає, що переважна більшість операцій процесора

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 23 із 131	

виконується з восьмибітними двійковими числами. З цієї причини вбудована шина даних цих контролерів також восьмибітна. Всі осередки пам'яті і більшість регістрів мікроконтролера також восьмибітні.

Для обробки шістнадцятизначних чисел деякі внутрішні регістри можуть бути об'єднані попарно. Кожна така пара може працювати як один шістнадцятизначний регістр. Виняток становить пам'ять програм. Вона повністю складається з шістнадцятизначних комірок. Мікроконтролери AVR виготовляються за технологією CMOS, завдяки якій вони мають досить високу швидкість і мале споживання струму. Більшість команд мікроконтролера виконуються за один тактовий цикл. Тому швидкість роботи контролерів може досягати 1 мільйона операцій в секунду при тактовій частоті 1 МГц.


### **Внутрішня пам'ять**

Мікроконтролери AVR мають в своєму складі **три види пам'яті**. **Перше**, це оперативна пам'ять (оперативна пам'ять для даних). В документації Atmel ця пам'ять називається **SRAM**. Обсяг оперативної пам'яті для різних контролерів варіюється від її повної відсутності (в чіпі AT90S1200) до 2 Кб.

**Другий тип пам'яті** - пам'ять програм. Вона виконана за технологією Flash і призначена для зберігання керуючої програми. У фірмовій документації вона називається **Flash-пам'ять**. Обсяг пам'яті програм в різних мікросхемах цієї серії становить від 1 до 64 Кб. Програмна пам'ять дозволяє стерти записану туди інформацію і перезаписати. Однак кількість циклів запису/стирання обмежена.

**Програмна пам'ять** мікроконтролерів AVR здійснює до 1000 циклів запису/стирання. Інформація записується в пам'ять програм за допомогою спеціальних пристроїв (програматорів).

Останні моделі мікроконтролерів AVR мають режим автоперепишу пам'яті

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 24 із 131	


програм. Тобто керуюча програма мікроконтролера сама здатна переписати себе.

**Третій тип пам'яті - енергонезалежна пам'ять для даних.** Вона також виконана з використанням технології Flash, але в технічній документації називається EEPROM. Основне призначення цього типу пам'яті - довгострокове зберігання даних. Дані, записані в цю пам'ять, не втрачаються навіть при відключенні блоку живлення. Керуюча програма мікроконтролера може в будь-який момент записати дані в EEPROM або прочитати їх звідти. Пам'ять EEPROM здійснює до 100000 циклів запису/стирання. Кількість циклів читання з EEPROM необмежена. Обсяг пам'яті EEPROM відносно невеликий. Для різних мікросхем він становить від 64 байт до 2 Кб. Для більшості завдань цього цілком достатньо. Також можна записати інформацію в EEPROM за допомогою **програматора**. Більш того, цей же програматор використовується для запису інформації в пам'ять програм і в EEPROM. Такий порядок доступу до пам'яті дозволяє при необхідності відмовитися від програмного перезапису EEPROM і використовувати цю пам'ять для зберігання будь-яких незмінних констант. Це підвищує гнучкість системи.


#### **Список джерел:**

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В.



	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 25 із 131	

- Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
  4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.
  5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.
  6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р.

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 26 із 131	

Рижова. – Електронні текстові данні (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.

## **Лекція №5**

### **Тема лекції: «Регістри загального призначення та регістри вводу-виводу»**

#### **План:**


1. Регістри загального призначення.
2. Регістри введення-виведення.

#### **Зміст лекції:**

Для зберігання проміжних результатів обчислень кожен мікроконтролер AVR має тридцять два регістри загального призначення (скорочено РЗП). Для того щоб регістри використовувалися в програмі, кожен має свою назву. Це назви: R0, R1, R2 - R31.

Всі РЗП складають те, що відомо під назвою як файл регістра загального призначення. Всі команди перетворення даних (додавання, віднімання і т.д.) мікроконтролера AVR побудовані таким чином, що в них обов'язково використовується РЗП. Кожна інструкція використовує або вміст двох різних РЗП в якості операндів, або вміст РЗП як константи. Результат обчислень також поміщається в один з РЗП.

Регістри загального призначення також використовуються в командах переміщення даних. Ви можете переміщати дані з одного РЗП в інший, з РЗП в комірку пам'яті, причому в зворотному напрямку. Дані також можуть переміщатися між регістрами РЗП і регістрами вводу/виводу. Деякі команди мають обмеження на використання РЗП. Наприклад, всі команди для обміну

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 27 із 131	

інформацією з регістрами вводу/виводу не можуть використовувати регістри R0-R15. Є й інші обмеження. Більш детальну інформацію дивіться в описі набору інструкцій (див. Регістри R0-R15).

Всі регістри загального призначення мікроконтролерів AVR восьмибітні. Однак останні шість регістрів (R26-R31) здатні об'єднуватися в регістрові пари. Така пара в деяких операціях виступає в якості самостійного шістнадцятизначного регістра. При цьому можливість читати кожен регістр пари окремо не втрачається. Регістрові пари мають свої назви. Пара, яка об'єднує регістри R26–R27, називається регістром X. Пара регістрів R28–R29 називається регістром Y. А пара регістрів R30–31 називається регістром Z. Весь набір регістрів загального призначення присутній у будь-якому мікроконтролері серії AVR.


#### Приклад

Команда `ADD R0, R1` додає вміст регістрів R0 і R1. Сума поміщається в R0. Команда `ADD R5, #7` додає число сім до вмісту регістра R5. Результат поміщається в R5.

Те, що ми раніше назвали портами вводу-виводу називається регістрами вводу-виводу в мікроконтролерах AVR.

Саме вони й одержали назву портів вводу-виводу.

Трохи пізніше ми докладніше розглянемо їх будову. Прості регістри, які служать для з'єднання ЦП з периферійними пристроями, мають більш відповідну назву в даному випадку: регістри вводу-виводу. Ці регістри дозволяють обмінюватися інформацією тільки з вбудованими периферійними пристроями самого чіпа. Такі як таймери, компаратори, послідовні інформаційні канали, система переривань, АЦП і т.д. Кожен регістр введення/виведення має свій номер, тобто адресу в адресному регістрі. Простір вводу-виводу. Номери регістрів можуть

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 28 із 131	

становити від \$00 до \$3F, що означає, що максимально можлива кількість РВВ становить 64. Однак фактична кількість регістрів будь-якого мікроконтролера завжди менше.

Різні мікроконтролери мають різний набір регістрів вводу-виводу. Кожен регістр вводу-виводу, крім номера, має свою унікальну назву.

Зміщення в поняттях відбулося тому, що мікроконтролери AVR для обміну інформацією із зовнішніми пристроями використовують досить складні електронні схеми, які мають кілька різних режимів роботи, а також можливість вибору програмно направляючих передач даних.

Назва регістра - умовне поняття, придумане тільки для зручності програмістів. Сам мікроконтролер працює виключно з номером регістра.


Пример

Приклад


У сімействі мікроконтролерів Tiny регістр номер \$1E призначений для управління EEPROM. Цей регістр має назву EEAR. Другий контрольний регістр EEPROM має номер \$1D і назву EEDR. Для різних мікроконтролерів регістри, які мають однакове призначення, зазвичай мають однакову назву. А ось номер регістру може відрізнитися.

### Список джерел

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для

	<p>Система менеджменту якості.  НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 29 із 131	

- здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
  4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.
  5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.
  6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 30 із 131	

призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові данні (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.

## Лекція №6

### Тема лекції: «Пам'ять»

#### План:

1. Пам'ять програм.
2. Оперативна пам'ять мікроконтролерів AVR.
3. Пам'ять, що суміщена з РОН. ОЗП.
4. Енергозалежна пам'ять.

#### Зміст лекції:


Як вже було сказано, мікроконтролери AVR мають три типи пам'яті: пам'ять програм (Flash); Оперативна пам'ять (SRAM) енергонезалежна пам'ять даних (EEPROM). Не всі мікроконтролери мають пам'ять EEPROM.

Крім того, деякі моделі не мають оперативної пам'яті (SRAM). У таких чіпах для оперативного зберігання даних використовуються тільки регістри загального призначення.

Кожен з цих трьох типів пам'яті має свій адресний простір, і різні види пам'яті доступні незалежно один від одного. Така конструкція мікроконтролерів називається *архітектурою гарвардського типу*.

#### Пам'ять програм

Пам'ять програм призначена для зберігання керуючої програми

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 31 із 131	

мікроконтролера. Кожний осередок цієї пам'яті має 16 біт, тобто зберігає одне шістнадцятибітне двійкове число.

Кожен такий номер містить як ідентифікатор операції, так і один або кілька параметрів команди. Крім того, дані можуть зберігатися в пам'яті програм. Такі дані будуть доступні лише для читання.


Програми зазвичай зберігають в пам'яті деякі постійні константи, таблиці символів і інші незмінні величини. Дані записуються у вигляді восьмибітних двійкових чисел (байтів). При цьому кожна шістнадцятибітна комірка програмної пам'яті використовується як дві восьмибітні.

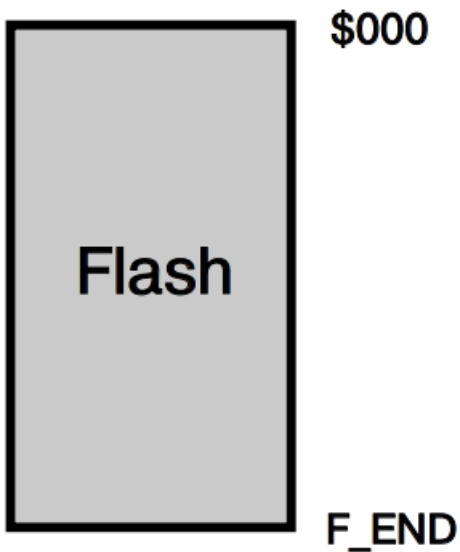
При зчитуванні даних з програмної пам'яті мікроконтролер може звертатися до кожної такої половини окремо. Детальніше про це ми ще поговоримо.

Для різних мікроконтролерів пам'ять програм має різні розміри. Однак для будь-якого обсягу пам'яті це суміжна область і починається з комірки, яка має нульову адресу.

**На рисунку 3.2** показано адресний простір пам'яті програми графічно. Це умовне представлення адресного простору часто використовується в технічній літературі. Адресний простір, показаний на малюнку, включає в себе осередки flash-пам'яті з адресами від \$000 до F\_END.

Пам'ять програм

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 32 із 131	



*Рис. 2. Адресний простір пам'яті програм*


Символ `F_END` вказує на **адресу останньої комірки пам'яті**. Значення цієї адреси буде різним для різних мікроконтролерів. Наприклад, для мікроконтролера ATtiny2313 адреса останньої комірки пам'яті становитиме `$7FF`. Адреса останньої комірки пам'яті завжди на один менше обсягу цієї пам'яті.

Так, для мікроконтролера ATtiny2313 обсяг пам'яті програм становить 2 кілобайта. Тобто 2048 байт. Якщо написати це число в шістнадцятковому вигляді, то отримаємо `$800`. Враховуючи, що адресація починається з нульової адреси, ми повинні використовувати адреси від 0 до 2047 для адресації такої кількості комірок. Або в шістнадцятковій формі від `$000` до `$7FF`.

Деякі адреси пам'яті програм зарезервовані. Тобто вони використовуються для якихось особливих цілей. А перша зарезервована адреса може бути **нульовою адресою**. Вона називається **вектором скидання системи**. Це адреса, за якою програма запускається після скидання мікроконтролера. Решта зарезервовані адреси є **векторами переривань**.

***Вектор переривань** - це адреса в пам'яті програми, з якого починається*



	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 33 із 131	

*процедура обробки переривань.*

Оскільки будь-який мікроконтролер AVR має кілька джерел переривань, існує також кілька векторів переривань: по одному для кожного типу переривань. Векторні адреси переривань знаходяться відразу за вектором скидання. Тобто вони займають осередки з адресами \$001, \$002 і т.д. Кількість векторів переривань для різних чіпів різна.

У цій графі окремо вказується кількість внутрішніх і кількість зовнішніх переривань.


У сімействі мікроконтролерів Tiny ця область починається від \$001. Для більшості мікроконтролерів Mega таблиця векторів переривань починається від \$002. При розробці програми для мікроконтролера програміст на свій розсуд може використовувати, але може і не використовувати механізм переривань.

Якщо переривання не використовуються, комірки, зарезервовані для векторів переривань, можуть бути використані як звичайні комірки для зберігання програми. Якщо ви вирішили використовувати переривання в своїй програмі, ви повинні написати команду безумовного переходу до адреси \$000, яка повинна передати управління на будь-яку адресу за межами таблиці векторів переривань.

Саме там і повинна початися основна програма. У кожній комірці, відповідній тому чи іншому вектору переривань, також прописується команда безумовного переходу. Кожен такий перехід передає управління на початок відповідної процедури обробки переривань.

**Внутрішнє переривання** - це переривання, викликане одним з вбудованих периферійних пристроїв самого мікроконтролера, такі як переривання таймера, аналогового компаратора, АЦП і так далі.

**Зовнішнє переривання** - це переривання від сигналу, що надходить від

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 34 із 131	

зовнішнього джерела, на спеціальний вхід мікроконтролера. Область адрес, зарезервована для векторів переривань, називається **таблицею векторів переривань**.

### **оперативна пам'ять мікроконтролерів AVR**


Пам'ять даних мікроконтролерів AVR - це окремий адресний простір з адресами від \$0000 до \$FFFF. Тобто максимальний обсяг пам'яті, що адресується становить 64 Кб. Однак більшість мікроконтролерів мають набагато меншу пам'ять. У таких мікроконтролерах частина адрес не використовується. Структура пам'яті завжди однакова. Графічно ця структура представлена на **рисунку 3.3**. Подивіться уважно на цей малюнок. Оперативна пам'ять мікроконтролерів AVR ділиться на три області.

- **\$0000—\$001F** — область пам'яті що поєднана з регістрами загального призначення (РЗП).
- **\$0020—\$005F** — область пам'яті що поєднана з регістрами вводу-виводу (РВВ).
- **\$0060—\$FFFF** — не поєднана ні з чим область пам'яті.


Ця остання область якраз призначена для зберігання даних. Цю область, в свою чергу, можна розділити на *область внутрішньої оперативної пам'яті (\$0060-RAMEND)* і *область зовнішньої оперативної пам'яті (RAMEND+1-\$FFFF)*.

RAMEND відноситься до адреси останньої комірки внутрішньої оперативної пам'яті конкретного мікроконтролера. Давайте докладніше розглянемо кожну область пам'яті.

#### **Список джерел:**

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 35 із 131	

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.

	<p>Система менеджменту якості.          НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС          навчальної дисципліни          «Програмування мікроконтролерів для          електроенергетичних систем забезпечення          польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 36 із 131	

5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.
6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.

## Лекція №7

### Тема лекції: «Лічильник команд та стекова пам'ять»

#### План:

1. Лічильник команд.
2. Стекова пам'ять.


#### Зміст лекції:

Лічильник команд являє собою спеціалізований внутрішній регістр мікроконтролера, в якому зберігається адреса запущеної в даний момент команди.

Нове значення адреси називається адресою переходу.

Два важливих регістра, які існують в будь-якому мікропроцесорі або мікроконтролері- це лічильник команд і покажчик стека.

Цей регістр недоступний програмісту в тому сенсі, що немає команд для безпосереднього запису або читання його вмісту. Розмір лічильника команд


	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 37 із 131	

становить для різних мікроконтролерів AVR від 9 до 12 розрядів. Кількість бітів лічильника інструкцій залежить від обсягу програмної пам'яті, що адресується конкретного мікроконтролера. Після скидання мікроконтролера у лічильник команд записується нуль.

Потім процесор переходить в режим виконання програми. Під час виконання програми лічильник завжди вказує на інструкцію, яка виконується в даний момент. При читанні коду команди значення лічильника збільшується на один або два (в залежності від довжини команди). При виконанні безумовних і умовних команд переходу вміст лічильника різко змінюється. У нього записується нове значення адреси.

Крім традиційного умовного переходу, про який ми вже говорили у попередньому розділі, мікроконтролери серії AVR мають ще один різновид інструкції, яку можна розглядати як їх модифікацію. Це команди типу «перевірка/пропуск». У командах такого типу перевіряється певна умова, а результат перевірки впливає на виконання наступної команди. Якщо умова вірна, то наступна команда ігнорується. Тобто сама команда не виконується, змінюється тільки вміст лічильника команд. Цей вміст збільшується або на одну, або на дві одиниці, залежно від довжини команди, що була пропущена. Якщо умова помилкова, то команда не пропускається, а виконується як зазвичай.

Тепер перейдемо до покажчика стека. Запис в стекову пам'ять та читання з неї проводиться за принципом магазину автоматів Калашникова. Патрони в такому магазині вставляються через вхідний отвір по одному. Виймаються патрони у зворотному порядку за принципом "останній увійшов, перший вийшов". Стекова пам'ять дуже часто використовується в програмуванні. Особливо корисно використовувати стек для збереження даних при виклику підпрограми і відновлення

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 38 із 131	

їх перед виходом. Надалі ми побачимо це на прикладах. На даний момент хочеться акцентувати увагу на методах організації стекової пам'яті.


Серія мікроконтролерів avr використовує широко прийнятий метод організації стекової пам'яті, де в якості стека використовується частина оперативної пам'яті. Для реалізації принципу «останній увійшов, перший вийшов» використовується регістр стекового покажчика. Залежно від розміру оперативної пам'яті бітова розрядність покажчика стека змінюється. Контролери з малим об'ємом оперативної пам'яті використовують восьмибітний покажчик стека. Він являє собою єдиний вхідний регістр і доступний для вільного зчитування і запису. Такий регістр називається регістром `sp1`. Для великих розмірів оперативної пам'яті до регістра `sp1` додається ще один регістр `spH`. Разом вони складають один шістнадцятибітний покажчик стека. Перед тим, як почати працювати з покажчиком стека, ви повинні записати адресу вершини стека. Це якась адреса комірки оперативної пам'яті, яка є найвищою коміркою пам'яті, виділеної для стека.

Для роботи зі стеком в системі інструкцій мікроконтролера є дві спеціальні команди:

- команда запису у стек (`push`);
- команда витягання зі стеку (`pop`).

Виконуючи команду `push`, мікроконтролер записує вміст одного з РЗП в оперативну пам'ять за адресою, на яку вказує покажчик стека, а потім зменшує значення покажчика на одиницю. Нова команда `push` запише значення іншого РЗП в наступну комірку ОЗП. І покажчик переміститься ще далі. Так заповнюється стек.

Виконуючи команду `pop` мікроконтролер спочатку збільшує вміст покажчика стека на одиницю, а потім витягує вміст комірки оперативної пам'яті, на яку вказує покажчик. Значення що було зчитано поміщається в один з РЗП. В результаті

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 39 із 131	


читається останнє число, яке було записано в стек. Наступна команда pop знову спочатку збільшить показчик стека і прочитає передостаннє число, яке там було записано. Через реєстр показчика стека і описаному вище алгоритму реалізується повноцінна стекова пам'ять.

Відразу після скидання мікроконтролера вміст показчика дорівнює нулю. Якщо залишити цей вміст без змін, всі команди, пов'язані зі стеком, працювати не будуть. Якщо ви збираєтеся використовувати стек в своїй програмі, то на самому її початку потрібно записати значення його вершини в реєстр показчика стека. Зазвичай вершину стека встановлюють на адресу, що дорівнює найстарішій осередку оперативної пам'яті. Крім того, при складанні програми слід переконатися, що вона не використовує в процесі своєї роботи виділену вами для стека область оперативної пам'яті.

Однією з інструкцій, яка активно використовує стекову пам'ять, є команда для переходу в підпрограму. При виклику підпрограми автоматично записується поточна адреса з лічильника команд. При виході з підпрограми мікроконтролер витягує адресу зі стека і продовжує виконувати програму з цієї адреси. Команда переходу до підпрограми використовує той же стек, що і команди push і pop.


Це обов'язково потрібно враховувати при складанні програми. Якщо записати дані в стек, а потім перейти до підпрограми, то вже неможливо прочитати дані зі стека в тілі підпрограми. Якщо ви все одно спробуєте отримати дані зі стека в цій ситуації, ви отримаєте зворотну адресу з підпрограми замість записаних даних. Ви не тільки не отримаєте потрібні дані, але і унеможливите правильний вихід з підпрограми, тому в стеку не буде адреси виходу.

**Список джерел:**

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 40 із 131	

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.



	<p>Система менеджменту якості.  <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b>  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 41 із 131	

5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.
6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.

## **МОДУЛЬ № 2**

### **«МІКРОКОНТРОЛЕРИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ»**

#### **Лекція №1**

#### **Тема лекції: «Підсистема вводу-виводу»**

##### **План:**


1. Регістри портів вводу виводу.
2. Принцип роботи портів вводу-виводу.

##### **Зміст лекції:**

##### **Регістри вводу-виводу**

Те, що ми раніше назвали портами вводу-виводу називається регістрами вводу-виводу в мікроконтролерах AVR.

Саме вони й одержали назву портів вводу-виводу.

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 42 із 131	

Трохи пізніше ми докладніше розглянемо їх будову. Прості регістри, які служать для з'єднання ЦП з периферійними пристроями, мають більш відповідну назву в даному випадку: регістри вводу-виводу. Ці регістри дозволяють обмінюватися інформацією тільки з вбудованими периферійними пристроями самого чіпа. Такі як таймери, компаратори, послідовні інформаційні канали, система переривань, АЦП і т.д. Кожен регістр введення/виведення має свій номер, тобто адресу в адресному регістрі. Простір вводу-виводу. Номери регістрів можуть становити від \$00 до \$3F, що означає, що максимально можлива кількість РВВ становить 64. Однак фактична кількість регістрів будь-якого мікроконтролера завжди менше.

Різні мікроконтролери мають різний набір регістрів вводу-виводу. Кожен регістр вводу-виводу, крім номера, має свою унікальну назву.


Зміщення в поняттях відбулося тому, що мікроконтролери AVR для обміну інформацією із зовнішніми пристроями використовують досить складні електронні схеми, які мають кілька різних режимів роботи, а також можливість вибору програмно направляючих передач даних.

Назва регістра - умовне поняття, придумане тільки для зручності програмістів. Сам мікроконтролер працює виключно з номером регістра.

#### Приклад

У сімействі мікроконтролерів Tiny регістр номер \$1E призначений для управління EEPROM. Цей регістр має назву EEAR. Другий контрольний регістр EEPROM має номер \$1D і назву EEDR. Для різних мікроконтролерів регістри, які мають однакове призначення, зазвичай мають однакову назву. А ось номер регістру може відрізнитися.

#### **Пам'ять загальні відомості**

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 43 із 131	

Як вже було сказано, мікроконтролери AVR мають три типи пам'яті: пам'ять програм (Flash); Оперативна пам'ять (SRAM) енергонезалежна пам'ять даних (EEPROM). Не всі мікроконтролери мають пам'ять EEPROM.

Крім того, деякі моделі не мають оперативної пам'яті (SRAM). У таких чіпах для оперативного зберігання даних використовуються тільки регістри загального призначення.

Кожен з цих трьох типів пам'яті має свій адресний простір, і різні види пам'яті доступні незалежно один від одного. Така конструкція мікроконтролерів називається архітектурою гарвардського типу.

### **Пам'ять програм**


Пам'ять програм призначена для зберігання керуючої програми мікроконтролера. Кожний осередок цієї пам'яті має 16 біт, тобто зберігає одне шістнадцятибітне двійкове число.

Кожен такий номер містить як ідентифікатор операції, так і один або кілька параметрів команди. Крім того, дані можуть зберігатися в пам'яті програм. Такі дані будуть доступні лише для читання.

Програми зазвичай зберігають в пам'яті деякі постійні константи, таблиці символів і інші незмінні величини. Дані записуються у вигляді восьмибітних двійкових чисел (байтів). При цьому кожна шістнадцятибітна комірка програмної пам'яті використовується як дві восьмибітні.


При зчитуванні даних з програмної пам'яті мікроконтролер може звертатися до кожної такої половини окремо. Детальніше про це ми ще поговоримо.

Для різних мікроконтролерів пам'ять програм має різні розміри. Однак для будь-якого обсягу пам'яті це суміжна область і починається з комірки, яка має нульову адресу.

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 44 із 131	

### Список джерел:

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 45 із 131	

- ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.
5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.
6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.

## Лекція №2


### Тема лекції: «Система переривань»

#### План:

1. Призначення.
2. Керування.
3. Алгоритм роботи.

#### Зміст лекції:

*Управління системою переривань* здійснюється за допомогою спеціальних регістрів вводу-виводу. Визначальним регістром тут є регістр *SREG* (регістр стану системи). Цей регістр призначений для зберігання прапорів стану. Кожен біт регістру є одним з прапорів. Сьомий біт регістру стану називається "прапор I". Це

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 46 із 131	


глобальний прапор дозволу на переривання. Коли цей прапор дорівнює нулю, всі переривання в роботі мікроконтролера заборонені. Щоб дозволити переривання, необхідно встановити цей прапор в одиницю. Однак найчастіше нам не потрібні всі види переривань одночасно. Для того щоб заборонити одні переривання і дозволити інші, використовуються так звані маскувальні регістри (регістри-маски). Мікроконтролери AVR використовують два регістри масок.

*Регістр маски являє собою звичайний регістр вводу-виводу, який використовується для управління окремими джерелами переривань. Кожному біту в регістрі маски відповідає одне джерело. Якщо біт скидається до нуля, цей тип переривань не допускається. Якщо біт встановлений в одиничний стан, переривання допускається.*

*Регістр GIMSK управляє усіма перериваннями, крім тих, що надходять з таймерів. В деяких мікроконтролерах «Mega» цей регістр називається GICR. існує спеціальний регістр TIMSK для контролю переривань з таймерів. Крім регістрів маски є ще два регістри для контролю процесу виконання переривань. Це **регістри прапорів переривань**. Кожен біт такого регістра є прапором одного з видів переривань. Коли надходить запит на переривання, прапор встановлюється в одиницю. За станом прапора програма може судити про наявність запиту.*

У певних режимах після того, як прапор встановлений, процедура обробки переривань викликається автоматично. Відразу після виклику процедури скидається відповідний прапор. Мікроконтролери AVR мають два регістри прапорів: регістр GIFR (обслуговує ті ж переривання, що і регістр GIMSK) і регістр TIFR (прапори переривань від таймерів).


Загальний алгоритм роботи системи переривань виглядає наступним чином. Після скидання мікроконтролера всі переривання заборонені (скинуті прапори

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 47 із 131	

дозволу). Якщо програміст планує використовувати один з типів переривань, він повинен передбачити це переривання в своїй програмі. Щоб включити переривання, програма повинна встановити прапор I реєстра SREG в одиницю і записати в реєстри маски код, який дозволить тільки ті переривання, які потрібні в даний момент. Дозволивши таким чином переривання, програма починає виконувати своє основне завдання. При надходженні запиту на переривання встановлюється відповідний прапор переривання. Прапор встановлюється навіть в тому випадку, якщо переривання заборонено. Якщо допускається переривання, мікроконтролер приступає до його виконання. Поточна програма тимчасово призупиняється і управління передається на адресу відповідного вектору переривань. При цьому прапор I автоматично скидається, запобігаючи обробці інших переривань. Прапор, відповідний викликаному перериванню, також скидається, сигналізуючи про те, що мікроконтролер вже приступив до його обробки. Процедури обробки переривань повинні обов'язково закінчуватися **командою повернення з переривання (RETI)**. Ця команда передає управління на адресу в основній програмі, де вона була перервана. Прапор I автоматично встановлюється в одиницю, дозволяючи нові переривання.

Слід зазначити, що вкладені переривання неможливі без спеціальних заходів. Поки обробляється одне переривання, всі інші переривання заборонені. Однак жодне переривання не залишається необробленим. Якщо ви отримаєте запит на переривання, буде встановлено відповідний прапор. Він буде залишатися в такому стані до тих пір, поки це переривання не буде оброблено.

Після обробки чергового переривання перевіряються інші прапори, і якщо є хоча б одне необроблене переривання, мікроконтролер приступає до його обробки. Якщо є кілька необроблених переривань, діє закон пріоритетів. З усіх

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 48 із 131	


переривань обирається переривання, пріоритет якого вище. Чим нижче адреса вектору переривання, тим вище його пріоритет. І на закінчення, як приклад, наведу таблицю векторів переривань для мікроконтролерів сімейства Tiny (див . **Табл. 3.2**).

*Таблиця 3.2*

*Адреси векторів переривань мікроконтролерів сімейства «Tiny»*

джерело	опис	Tiny11x	Tiny12x	Tiny15L	Tiny28x
INT0	зовнішнє переривання 0	\$001	\$001	\$001	\$001
INT1	зовнішнє переривання 1	–	–	–	\$002
PIN_CANGE	За зміною сигналу на будь-якому виводі	\$002	\$002	\$002	–
LOW_LEVEL	По низкому уровню на вході порта В	–	–	–	\$003
TIMER1 COMP	За збігом показів таймера/лічильника T1 із вмістом контрольного регістру	–	–	\$003	–
TIMER1 OVF	Переповнення таймера/лічильника T1	–	–	\$004	–
TIMER0 OVF	Переповнення таймера/лічильника T0	\$003	\$003	\$005	\$004
EE_RDY	По готовності EEPROM	–	\$004	\$006	–
ANA_COMP	За сигналом від	\$004	\$005	\$007	\$005




	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 49 із 131	

	аналогового компаратора				
ADC	Після завершення перетворення на АЦП	–	–	\$008	–

### Список джерел:

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.

	<p>Система менеджменту якості.  НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 50 із 131	

4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.
5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.
6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.


6. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 3. Мікропроцесори та мікроконтролери: Підручник / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков та ін. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Вища шк., 2004. – 399 с.

### Лекція №3

#### Тема лекції: «Таймери-лічильники»

##### План:

1. Загальні відомості.

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 51 із 131	

## 2. Режими роботи.

### Зміст лекції:

Будь-який мікроконтролер серії AVR містить кілька вбудованих таймерів, а за призначенням їх можна розділити на дві категорії. До першої категорії відносяться таймери загального призначення. Друга категорії - сторожовий таймер, який призначений для автоматичного перезапуску мікроконтролера в разі «зависання» його програми.


Зависання - це зациклення програми в результаті помилки, допущеної програмістом, або в результаті зовнішнього втручання.

На кожен мікросхему потрібен тільки один сторожовий таймер. У будь-якого мікроконтролера AVR є такий таймер.

Таймери загального призначення використовуються для генерації різних часових інтервалів і прямокутних імпульсів заданої частоти. Крім того, вони можуть працювати в режимі лічильника і рахувати тактові імпульси заданої частоти, вимірюючи таким чином довжину зовнішніх сигналів, а також при необхідності рахувати кількість будь-яких зовнішніх імпульсів.

З цієї причини ці таймери називаються «таймерами/лічильниками». Мікросхеми AVR використовують як восьмибітні, так і шістнадцятибітні таймери/лічильники. Їх кількість для різних мікроконтролерів варіюється від одного до чотирьох. Всі таймери позначені цифрами від 0 до 3.

Кожен восьмибітний таймер є єдиним восьмибітним регістром, який для мікроконтролера є регістром вводу-виводу. Цей регістр буде містити поточне значення таймера і називається рахунковим регістром. Шістнадцятирозрядні таймери мають шістнадцятирозрядний лічильний регістр. Кожен лічильний регістр має свою назву. Лічильний регістр восьмибітного таймера називається

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 52 із 131	


TCNT<sub>x</sub>, де "x" - номер таймера. Для таймера T<sub>0</sub> реєстр називається TCNT<sub>0</sub>. Для таймера T<sub>2</sub> - TCNT<sub>2</sub>. Шістнадцятирозрядні реєстри названі аналогічно. Різниця полягає в тому, що кожен шістнадцятизначний лічильний реєстр являє собою два реєстри вводу-виводу.

Один призначений для зберігання старших бітів числа, а другий призначений для зберігання молодших. До імені реєстру старших розрядів додається буква H, а до реєстру молодших розрядів додається буква L. Таким чином, лічильний реєстр таймера T<sub>1</sub> являє собою два реєстри вводу/виводу: TCNT<sub>1H</sub> і TCNT<sub>1L</sub>. Рахунковим реєстром таймера T<sub>3</sub> є два реєстри TCNT<sub>3H</sub> і TCNT<sub>3L</sub>.

#### Приклад

Timer/Counter<sub>0</sub>, Timer/Counter<sub>1</sub> і т.д. інколи називають скорочено T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>. Таймери T<sub>0</sub> і T<sub>2</sub> в більшості мікроконтролерів восьмибітні. Таймери T<sub>1</sub> і T<sub>3</sub> шістнадцятибітні. Таймер T<sub>0</sub> доступний в будь-якому чіпі AVR. Решта додаються по мірі збільшення складності моделі.

Мікроконтролер може в будь-який момент записати в будь-який лічильний реєстр, а також в будь-який момент прочитати вміст будь-якого лічильного реєстру. Коли таймер включений у режимі підрахунку, то на його вхід починають надходити лічильні імпульси. Після приходу кожного такого імпульсу вміст лічильного реєстра збільшується на одиницю. Рахунковими імпульсами можуть бути як спеціальні тактові імпульси, що генеруються всередині самого мікроконтролера, так і зовнішні імпульси, що надходять в спеціальні входи мікросхеми. При переповненні лічильного реєстра його вміст скидається, і відлік починається знову. Будь-який таймер жорстко прив'язаний до системи переривань. Ряд подій, пов'язаних з таймером, може викликати переривання.

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 53 із 131	

Наприклад, переривання відбувається через переповнення таймера, за спрацьовуванням спеціальної схеми збігу. Окремі переривання можуть бути викликані сторожовим таймером.

### Режими роботи таймерів


Таймери родини мікроконтролерів AVR можуть працювати в декількох режимах. Різні мікроконтролери мають різні набори режимів для своїх таймерів. Для вибору режимів роботи існують спеціальні регістри - регістри управління таймерами. Для простих таймерів використовується єдиний контрольний регістр. Для більш складних існує два регістри. Контрольні регістри таймера називаються TCCR<sub>x</sub> (де "x" - номер таймера). Наприклад, таймер T0 використовує один регістр з іменем TCCR0. Для управління таймером T1 використовуються два регістра: TCCR1A і TCCR1B. За допомогою керуючих регістрів вибирається не тільки відповідний режим, але і більш тонка настройка таймера. Нижче перераховані всі основні режими роботи таймера і їх опис.

### Режим Normal

Це найпростіший режим. У цьому режимі таймер підраховує імпульси, що надходять на його вхід (від тактового генератора або зовнішнього пристрою) і викликає переривання при переповненні. Це єдиний режим роботи для восьмибітних таймерів більшості мікроконтролерів сімейства «Tiny» і для деяких мікроконтролерів родини «Mega». Для всіх інших восьмибітних і всіх шістнадцятибітних таймерів це лише один з можливих режимів.

### Режим «Захоплення» (Capture)

Суть цього режиму полягає в збереженні вмісту лічильного регістра таймера в певний момент часу. Запам'ятовування відбувається або від сигналу, що надходить через спеціальний вхід мікроконтролера, або від сигналу з виходу

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 54 із 131	


вбудованого компаратора. Цей режим зручний, коли потрібно виміряти тривалість будь-якого зовнішнього процесу. Наприклад, час, необхідний для того, щоб напруга на конденсаторі досягла певного значення. В цьому випадку напруга від конденсатора подається на один з входів компаратора, а другий його вхід забезпечується опорною напругою.

Мікроконтролер повинен одночасно запускати ці два процеси: подавати напругу на конденсатор; запустити таймер в режимі Capture. Конденсатор почне заряджатися, напруга на ньому буде продовжувати рости. При цьому лічильник таймера буде рахувати тактові імпульси заданої частоти. У той момент, коли напруга на конденсаторі дорівнює опорній напрузі, логічний рівень на виході компаратора зміниться на протилежний. За цим сигналом поточне значення лічильного реєстра зберігається в спеціальному реєстрі захоплення. Ім'я цього реєстра ICRx (для таймера T0 це буде ICR0, для T1 - ICR1 і т.д.). Одночасно генерується запит на переривання.

Використовуючи принцип вимірювання часу заряджання, зручно створювати прості схеми, які працюють з різними аналоговими датчиками (температури, тиску і т. Д.). Якщо принцип роботи датчика полягає в зміні його внутрішнього опору, то такий датчик можна включити в коло заряджання конденсатора. Ємнісні датчики можна підключати безпосередньо.

#### Режим «Скидання при збігу» (СТС)

Для роботи в режимі СТС використовується спеціальний реєстр - реєстр збігання. Якщо мікроконтролер містить кілька таймерів, то для кожного з них існує окремий реєстр збігання. Більш того, для восьмибітних таймерів реєстром збігів є одним восьмибітним реєстром. Для шістнадцятизначних таймерів реєстром збігів є два восьмибітних реєстри. Реєстри порівняння також мають

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 55 із 131	

свої назви. Наприклад, реєстр збігів таймера T1 складається з двох реєстрів: OCR1L і OCR1H. Деякі мікроконтролери мають два реєстри збігів. Наприклад, у всіх мікроконтролерах сімейства Tiny є два реєстри збігів для таймера T1. Це реєстри OCR1A і OCR1B. Мікроконтролер ATmega8x також має два реєстри збігів для таймеру .В іншому випадку і таймер, і його реєстри збігів мають шістнадцять розрядів.

Якщо реєстр збігу шістнадцятибітний, то фізично він складається з двох реєстрів вводу-виводу. Наприклад, два реєстри збігів T1 чіпа ATmega8x - це чотири реєстри вводу-виводу з іменами OCR1AL, OCR1AH, OCR1BL, OCR1BH.

Як використовуються реєстри співпадінь? Ці реєстри вмикаються тільки тоді, коли обрано режим CTC. У цьому режимі, як і в попередньому, таймер відраховує вхідні імпульси. Поточне значення таймера з його лічильного реєстра постійно порівнюється з вмістом реєстрів збігів.


Якщо таймер має два реєстри збігів, для кожного з цих реєстрів проводиться окреме порівняння. Коли вміст лічильного реєстру збігається зі вмістом одного з реєстрів збігів, буде викликано відповідне переривання. Крім виклику переривання, під час збігу може відбутися одна з наступних подій:

- Скидання таймера (діє тільки для реєстрів збігів OCR1 і OCR1A).
- зміна стану одного з контактів мікроконтролера (вірно для всіх реєстрів).

Чи відбудеться одне або обидва з перерахованих вище подій, визначається при налаштуванні таймера.


### **Список джерел:**

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця :

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 56 із 131	

- ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
  3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
  4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.
  5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ;



	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 57 із 131	

КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.

6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.

#### **Лекція №4**


#### **Тема лекції: «Інші периферійні пристрої»**

##### **План:**

1. Аналоговий компаратор.
2. Аналогово-цифровий перетворювач.
3. Послідовний канал.
4. Послідовний периферійний інтерфейс.
5. Послідовний дводотовий інтерфейс.

##### **Зміст лекції:**

Ми вже згадували про компаратор. Він призначений для порівняння напруг на двох спеціальних зовнішніх входах. Ці входи мають назви: AIN0 (неінвертуючий); AIN1 (інвертуючий). Майте на увазі, що кожен з цих входів суміщений з однією з ліній порту вводу-виводу. Якщо напруга на вході AIN0 більше напруги на вході AIN1, то вихід компаратора є логічною одиницею. В іншому випадку існує логічний нуль. Цей результат зберігається в одному з

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 58 із 131	

розрядів спеціального регістра вводу-виводу, призначеного для роботи з компаратором.


Регістр називається ACSR. А біт, куди виводиться вихідний сигнал компаратора, також має свою назву. Він називається АСО. Інший розряд під назвою ACD того ж регістра відповідає за увімкнення/вимкнення компаратора. Ще два біта ACIS0 і ACIS1 визначають, як сигнал від виходу компаратора впливає на наступні схеми. Є три варіанти: будь-яка зміна на виході; зміна від одиниці до нуля; зміна від нуля до одиниці. Як бачимо, окремі цифри деяких регістрів також іноді відрізняються не за номером, а за назвою. Це дозволяє різним мікроконтролерам використовувати різні біти регістрів для однієї і тієї ж мети. В цьому випадку назва розряду залишається таким, що був раніше. Хоча найчастіше номери розрядів не змінюються.

Схема компаратора має спеціальне внутрішнє джерело опорної напруги, яке може бути підключено до неінвертуючого входу компаратора. Підключенням внутрішнього джерела керує розряд ACBG регістра ACSR. Крім того, на інвертуючий вхід компаратора можна подавати сигнал з будь-якого входу АЦП. Цим перемиканням керують рештою розрядів регістра ACSR. Що це за АЦП і які АЦП використовуються в мікроконтролерах серії AVR, ми розглянемо в наступному розділі.

#### Аналого-цифровий перетворювач

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) призначений для перетворення аналогової напруги в цифрову форму. На вхід АЦП подається звичайна аналогова напруга. Перетворювач вимірює величину цієї напруги і видає на виході цифровий код, відповідний цій величині.

АЦП використовуються в мікропроцесорних системах управління, які

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 59 із 131	


повинні контролювати різні аналогові процеси. Наприклад, мікропроцесорний стабілізатор напруги, цифровий вольтметр і т.д.

Не всі мікроконтролери AVR мають вбудовані АЦП. Це зрозуміло. Аналоговий вхід не завжди необхідний. Мікроконтролери AVR використовують десятибітний послідовно-апроксимаційний АЦП. Мікросхеми, які мають вбудовані АЦП, повинні мати роздільне живлення для цифрової та аналогової частин схеми. Тому вони мають два виходи живлення і два виходи загального проводу.

Крім того, один з виводів відведений для живлення мікросхеми зовнішньою опорною напругою. Опорна напруга використовується в схемі АЦП для оцінки рівня вхідного сигналу. Стабільність опорної напруги визначає точність вимірювання.

Кожен АЦП оснащений багатоканальним аналоговим комутатором (мультиплексором), що дозволяє вимірювати аналогову напругу з декількох різних входів. Кількість входів АЦП варіюється від мікросхеми до мікросхеми. Є варіанти на 4, 6, 8 і 11 входів. Зазвичай вимірюваний сигнал подається між відповідним входом АЦП і аналоговим загальним проводом. Ці входи називаються несиметричними. Деякі мікроконтролери мають режим, при якому входи АЦП об'єднуються попарно, утворюючи диференціальні входи. Диференціальні входи відрізняються від звичайних входів тим, що вимірюваний сигнал прикладається між двома входами: прямим і інверсним. Це компенсує завади, що наводяться, а корисний сигнал проходить без змін. Такі входи називаються симетричними.

Процес перетворення напруги в код займає 13 або 14 циклів. За цей час код вибирається методом послідовних наближень. Після закінчення процесу

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 60 із 131	

перетворення генерується запит на переривання. Результат конвертації записується в пари регістрів ADCH, ADCL. З шістнадцяти цифр цієї регістрової пари використовується тільки 10. Решта завжди нульові. При цьому може використовуватися як десять старших біт (ADCH7-ADCH0, ADCL7, ADCL6), так і десять молодших біт (ADCH1, ADCH0, ADCL7-ADCL0). Це залежить від обраного вами режиму роботи.

АЦП можуть працювати як в одиночному, так і в безперервному режимі. У безперервному режимі перетворення відбуваються один за одним. В одиночному режимі процес перетворення запускається один раз з однією з наступних подій:


- переривання з аналогового компаратора;
- зовнішнє переривання INT0;
- прерывания по событию «Совпадение» одного из таймеров;
- переривання при події «Збіг» одного з таймерів;
- переривання при переповненні одного з таймерів;
- переривання при події «Захоплення» одного з таймерів.

Всі режими роботи АЦП керуються за допомогою двох спеціальних регістрів ADMUX і ADCSR. Регістр ADMUX призначений для керування вхідним аналоговим мультиплексором. Регістр ADCSR призначений для вибору режиму роботи АЦП.

Процес перетворення в АЦП синхронізується з внутрішнього генератора мікроконтролера. Тактовий сигнал від генератора надходить в АЦП через попередній дільник з програмованим коефіцієнтом поділу. Коефіцієнт ділення залежить від розрядів ADPS0, ADPS1 і ADPS2 і може приймати значення 2, 4, 8, 16, 32, 64 і 128.

Найбільша точність перетворення досягається тоді, коли тактовна частота



	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 62 із 131	

тактового генератора, щоб отримати одну зі стандартних швидкостей передачі інформації. Наприклад, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800 біт в секунду.

### Послідовний периферійний інтерфейс (SPI)


Це спеціальний послідовний інтерфейс, призначений для з'єднання мікроконтролерів між собою. Канал SPI використовує три лінії для передачі інформації: лінію MISO (Master Input / Slave Output); лінію MOSI (Master Output / Slave Input); лінію SCK (тактовий сигнал). У мікроконтролерах AVR канал SPI може виконувати подвійну функцію. Так, за допомогою цього інтерфейсу можна не тільки організувати послідовний канал обміну інформацією між двома мікроконтролерами, але і між мікроконтролером і будь-яким периферійним пристроєм, що має SPI-інтерфейс. Існує цілий набір подібних пристроїв: цифрові потенціометри, ЦАП / АЦП, зовнішні Flash ПЗУ і т.д.

Друге призначення каналу SPI - програмування мікроконтролера. Саме через цей канал здійснюється послідовне програмування пам'яті програм і внутрішнього EEPROM.

Такий усічений канал SPI зустрічається практично в кожному AVR-мікроконтролері. Перевага програмування через SPI полягає в тому, що цей метод дозволяє програмувати чіп, не видаляючи його з налагоджується пристрою. Це так зване внутрішньосхемне програмування. Необхідно лише подбати про те, щоб в момент програмування були відключені інші сигнали на пінах, які служать лініями інтерфейсу SPI. Зазвичай в платі відлагодженого пристрою передбачений спеціальний роз'єм, куди підключається програматор.

### Послідовний двопровідний інтерфейс (TWI)

Даний інтерфейс є повним аналогом шини I2C від Philips, яка широко використовується в різних системах управління побутовою та промисловою


	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 63 із 131	

технікою. Інтерфейс дозволяє об'єднати воедино до 128 пристроїв, підключивши їх до однієї двопровідної шини. Лінії шини I2C мають такі назви: SCL (лінія тактового сигналу); SDA (лінія передачі даних). Інтерфейс дозволяє обмінюватися даними між головним пристроєм, яким зазвичай є мікроконтролер, і будь-якими зовнішніми пристроями, підключеними до двопровідної лінії. В цьому випадку головній пристрій може як передавати дані в підлеглий, так і отримувати дані з нього.

Наявність інтерфейсу для роботи з шиною I2C дозволяє використовувати мікроконтролери в системах управління телевізорами, радіоприймачами і т.д. В даний час широко використовуються спеціалізовані мікросхеми для телевізійних приймачів, радіоприймачів, радіоприймачів з інтерфейсом I2C. Крім того, в даний час широко використовуються контролери рідкокристалічних дисплеїв, мікросхеми флеш-пам'яті та інші пристрої, керовані за допомогою шини I2C.


### **Список джерел:**

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 64 із 131	

3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.
5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.
6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.



	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 65 із 131	

## Лекція №5

### Тема лекції: «Логічні елементи»

#### План:


1. Прості логічні елементи.
2. Таблиця істинності.
3. Складені логічні елементи.

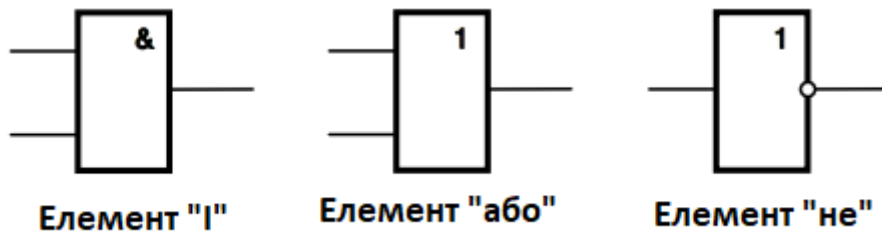
#### Зміст лекції:

Багато хто з вас напевно знайомі з поняттям ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ. Якщо ви трохи попрацювали з цифровими схемами, то напевно знайомі з цим поняттям. В даний час логічні елементи та інші цифрові компоненти можна зустріти в схемах, які дуже далекі від мікропроцесорів і комп'ютерів.

З усього різноманіття цифрових елементів більшість можна віднести до розряду композитних. Композитні елементи - це ті, які можуть складатися з інших, більш простих елементів, а в основі всього різноманіття цифрових пристроїв лежать всього три прості логічні елементи. *На рисунку 1.4* показані ці три кити цифрової техніки.

Логічні елементи наведені на рисунку *1.4*. За стандартами цифрові елементи представлені у вигляді прямокутника. Всі входи малюються зліва і виходи малюються праворуч. Саме так в цьому стандарті можна відрізнити входи елемента від його виходів. Однак у випадку з більш складними елементами цього правила не завжди вдається дотримуватися, так як часто буває так, що один і той же вихід служить одночасно входом. Але для простих елементів ця умова дотримується завжди.

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 66 із 131	



*Рис. 1.4. Найпростіші логічні елементи*

*У західних стандартах для цифрових схем прийняті і інші символи.*

Всі логічні елементи працюють з **цифровими сигналами**. Це означає, що сигнал на будь-якому з входів елемента повинен отримувати значення або логічного нуля, або логічної одиниці. Кожен елемент також забезпечує цифровий сигнал, який в залежності від логіки схеми приймає значення або логічної одиниці, або логічного нуля. На **рисунку 1.4** зображені варіанти для двох входів елемента "І" і елемента "АБО". Насправді ці елементи можуть мати будь-яку кількість входів. Теоретично кількість входів можна збільшити до нескінченності. Тип елемента визначається не кількістю входів, а логікою його роботи. Розглянемо кожен елемент окремо.

### **Прості логічні елементи**

**Елемент "І".** На виході цього елемента сигнал логічної одиниці з'являється тоді і тільки тоді, коли на всіх його входах є логічна одиниця. Тобто одиниця повинна бути **і** на першому, **і** на другому, **і** на третьому (якщо такий є), **і** на всіх доступних входах. Якщо хоча б один вхід має нуль, то на виході також буде нуль.

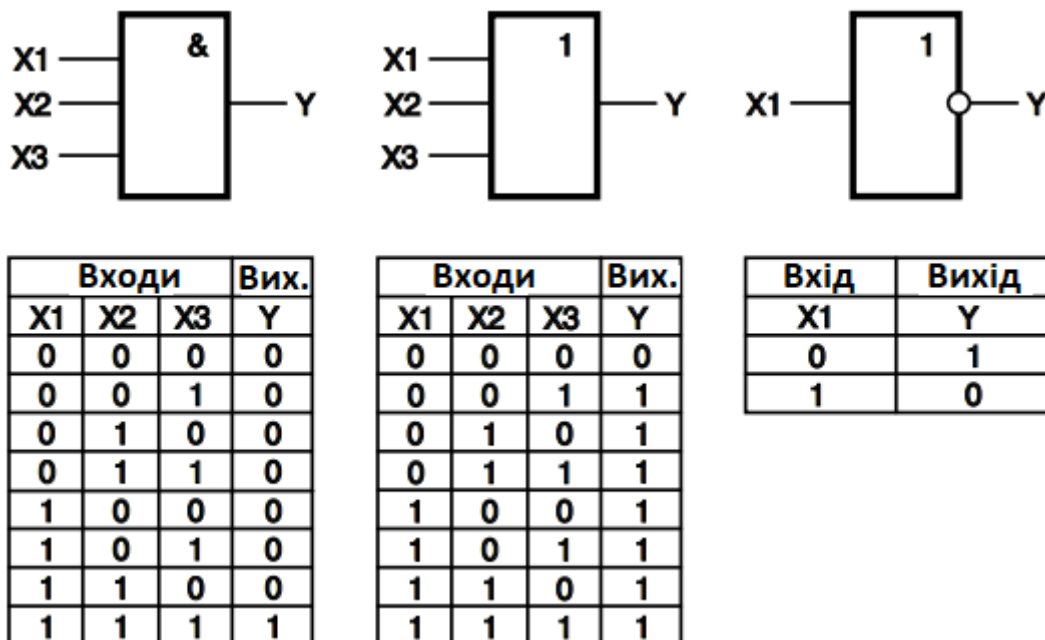
**Елемент АБО.** На виході цього елемента сигнал логічної одиниці з'явиться тоді і тільки тоді, коли хоча б один з його входів з'явиться одиниця. Тобто одиниця повинна бути **або** на першому, **або** на другому, **або** на третьому - на будь-якому з

доступних входів або відразу на декількох. Логічний нуль на виході буде тільки тоді, коли всі входи матимуть логічний нульовий сигнал.


**Елемент «НЕ»**, або інвертор. Цей елемент не може мати більше одного входу. Інвертор має один вхід і один вихід. А логічна робота дуже проста. Коли на вході інвертора є сигнал логічного нуля, вихід є логічною одиницею. І навпаки, коли вхід є логічною одиницею, вихід логічний нуль.

### Таблиця істинності

Для відображення логіки роботи елемента прийнято складати так звані таблиці істинності. **Таблиця істинності** - це таблиця, яка має стовпці для всіх входів і виходів конкретного елемента. Рядки в таблиці відображають всі можливі стани елемента. Кожному рядку відповідає один з можливих станів. На рисунку 1.5 показано таблиці істинності для трьох основних логічних елементів. Для наочності використовуються тривхідні варіанти елемента «І» і елемента «АБО».



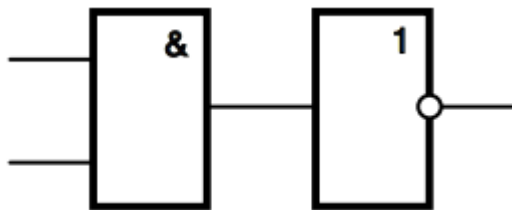
*Рис. 1.5. Приклади побудови таблиці істинності*

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 68 із 131	

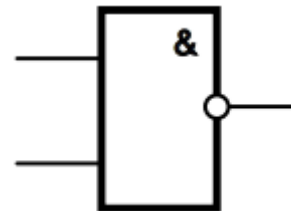
## Складені логічні елементи

Отже, вихідний матеріал - три основних елементи – ми маємо. Отримані нові елементи часто мають своє самостійне значення, а тому багато елементів, які ми представляємо як складові, мають своє схематичне позначення. Спочатку з'єднайте елемент «І» з інвертором так, як показано на **рис. 1.6**. В результаті ми отримаємо новий елемент. Такий елемент називається «І-НЕ», і на схемі він часто зображується так, як показано на **рис.1.7**. Логіка роботи нового для нас логічного елемента «І-НЕ» очевидна. Вихідний сигнал буде нульовим в тому випадку, коли на всіх його входах є логічна одиниця. Точно так же легко скласти елемент «АБО-НЕ».

Спробуємо тепер синтезувати більш складний логічний елемент під назвою «**ВИКЛЮЧНЕ АБО**», який також часто можна зустріти в різних електронних схемах.

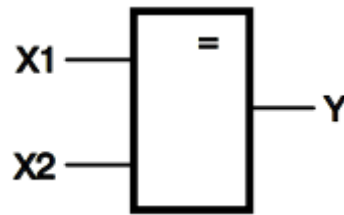


*Рис. 1.6. Складовий елемент «І-НЕ»*



*Рис. 1.7. Умовне позначення елемента «І-НЕ»*

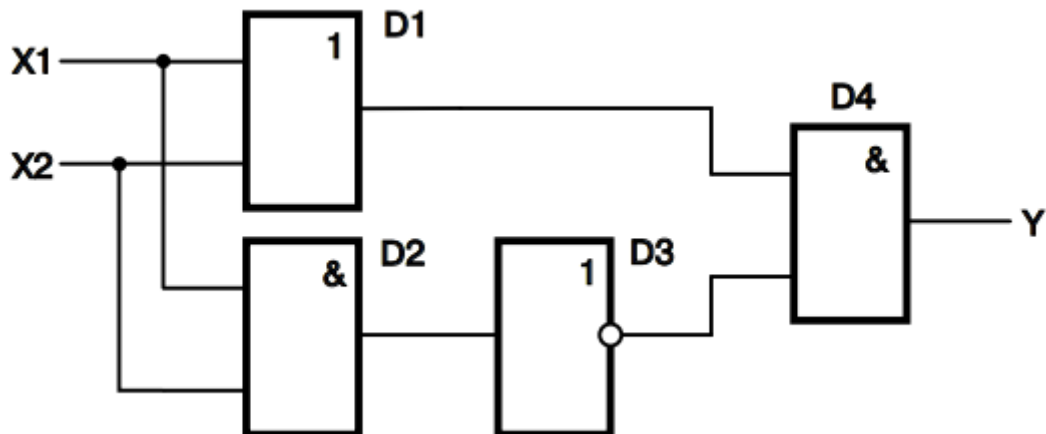
Схемне позначення елемента «**ВИКЛЮЧНЕ АБО**» і його таблиця істинності наведені на **рисунку 1.8**. Як видно з таблиці, логіка елемента відповідає його назві. Це один і той же елемент «АБО» з однією незначною відмінністю. Якщо значення на обох входах є логічною одиницею, то на виході елемента «**ВИКЛЮЧНЕ АБО**», на відміну від елемента «**OR**», не один, а нуль.



Входи		Вих.
X2	X3	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0


*Рис. 1.8. Елемент «Виключне АБО»*

Еквівалентна схема елемента «ВИКЛЮЧНЕ АБО» показана на **рис.1.9**. Раджу самостійно проаналізувати роботу цієї схеми. Для цього потрібно подумки підставити різні варіанти логічних сигналів на входи X1 і X2 і для кожного варіанту відстежити, які сигнали будуть на виході кожного елемента. І так по елементу простежити, який сигнал буде на виході всього кола.



*Рис. 1.9. Одне з можливих схематичних рішень елемента «Exclusive OR»*

Якщо уважно придивитися до таблиці істинності елемента «EXCLUSIVE

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 70 із 131	


OR» («ВИКЛЮЧНЕ АБО»), то неважко помітити, що логіка елемента дуже схожа на таблицю додавання двох однорозрядних двійкових чисел. І дійсно:

- нуль плюс нуль дорівнює нулю;
- один плюс нуль і нуль плюс один дорівнює одиниці;
- сума двох одиниць дає нуль в цьому біті, і а одиницю переносу у наступний розряд, відсутнє тільки перенесення.


Елемент, який також формує передачу, та підсумовує вхідні сигнали, називається **суматором**. Він також може бути складений з простих логічних елементів. Схематичне зображення і логіка суматора показані на **рисунку 1.10**. Тут **X1** і **X2** - входи розрядів, що додаються. **Y** - вихід суми. **P** - це вихід переносу у старший розряд. **XP** - це вхід переносу з молодшого розряду. Один суматор підсумовує два однорозрядних двійкових числа. Для підсумовування багаторозрядних цифрових сигналів суматори **з'єднуються каскадом**. В цьому випадку сигнал з виходу P суматора одного розряду подається на вхід xp суматора наступного розряду.

#### Список джерел:

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В.

	<p>Система менеджменту якості.  НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 71 із 131	

- Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
  4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.
  5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.
  6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р.

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 72 із 131	

Рижова. – Електронні текстові данні (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.

## Лекція №6

### Тема лекції: «Тригер»

#### План:

1. Будова і робота RS-тригера.
2. Брязкіт контактів.


#### Зміст лекції:

Тригер є якісно новою складовою цифрових технологій. Його вже не можна віднести до логічних елементів. *Тригер* можна назвати елементом нового класу. Ми вже говорили про те, що логічні входи мають тригерний ефект. У випадку з логічними входами ми мали справу з тригерним ефектом, який працює по рівню сигналу.

Ми також говорили, що тригер - це пристрій, який може перебувати в двох (і тільки одному з двох) стійких станах. Насправді входи логічних елементів мають слабкий тригерний ефект. Між областю вхідних напруг, що відповідають логічному нулю, і областю напруг, що відповідають логічній одиниці, завжди існує проміжний діапазон логічної невизначеності. Якщо напруга на логічному вході потрапляє в цей діапазон, то поведінка логічного елемента є непередбачуваною.

Деякі елементи можуть навіть перемикатися в лінійний режим роботи (посилювати аналоговий сигнал). Більш чітке спрацювання забезпечується так званим *тригером Шмітта*. Цей тригер має конкретний поріг спрацювання. Коли вхідна напруга проходить через цей поріг, тригер Шмітта перемикається з




	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 73 із 131	

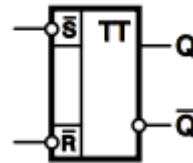
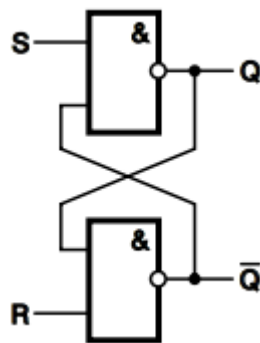
одного сталого стану в інший.

Друга особливість спускового тригера Шмітта полягає в тому, що існує не один, а два тригерних пороги. Перший поріг діє при підвищенні вхідної напруги. При досягненні порога спрацьовує тригер, а на виході з'являється логічна одиниця. При зниженні вхідної напруги застосовується другий поріг. Коли вхідна напруга падає нижче цього порога, тригер знову перемикається, а на виході встановлюється логічний нуль.

Другий поріг завжди трохи нижче першого. Наявність двох порогів називається **гістерезисом**. Гістерезис підвищує стабільність роботи тригера при напругах, близьких до порога. При відсутності гістерезису на вхідних напругах, близьких до порога спрацьовування, будь-які перешкоди на вході викличуть багаторазове перемикання тригера, що зазвичай вкрай небажано. Тригери Шмітта часто використовуються для перетворення аналогових коливань в прямокутні імпульси, які потім використовуються в цифровій техніці. Крім тригерів, що спрацьовують по рівню, існує цілий клас тригерів, які перемикаються при впливі різних комбінацій логічних сигналів. Такі тригери мають як мінімум два цифрових входи і один-два цифрових виходи. Сигнали на таких виходах завжди мають протилежні значення. Один з виходів називається прямим виходом тригера, а другий - інверсним.

Такий тригер має два сталих стани: **одиничний і нульовий**. В одиничному стані на прямому виході тригера з'являється сигнал логічної одиниці, а на інверсному виході відповідно з'являється нульовий сигнал. Якщо тригер знаходиться в нульовому стані, сигнали на виходах змінюють свої значення: на прямому виході нуль, а при зворотному - один. Перехід з одного сталого стану в інший відбувається під впливом сигналу на входах тригера.

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 74 із 131	



*Рис. 1.11. RS-тригер Рис. 1.12. Умовне позначення RS-тригера*


### Робота RS-тригера

Для різних тригерів використовуються різні комбінації сигналів. Далі в цьому розділі ми докладніше розглянемо всі існуючі типи тригерів і логіку. А почнемо ми з самого елементарного, найпростішого тригера, так званого **RS-тригера**.

На **рисунку 1.11** представлена схема такого тригера, а на **рисунку 1.12** наведені його умовне позначення. Як видно з **рисунка 1.11**, схема RS-тригера складається з двох елементів «І-НЕ». Тригер має два входи, які називаються S і R. **Вхід S** називається **входом налаштування** (від слова Set - установка). **Вхід R** – вхід це **вхід скидання** (Reset). Два тригерних виходи позначаються як Q і  $\bar{Q}$ .

Буква Q з **тире вгорі** читається як "**не кю**". Тире над назвою будь-якого виходу або входу означає, що цей вихід (вхід) інверсний. Отже, Q і  $\bar{Q}$  є, відповідно, прямим і інверсним виходами тригера.

Подивимося, **як працює RS-тригер**. Для коректної роботи тригера на обидва його входи потрібно подавати сигнали логічної одиниці. Перемикання тригера з одного стійкого стану в інший відбувається шляхом короткочасного


	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 75 із 131	

прикладання нульового сигналу до одного з входів. При подачі нуля на вхід S (Set) тригер переходить в одиничний стан. При подачі сигналу на вхід R (Reset) тригер скидається в нуль.

Одночасна подача двох нулів на обидва входи тригера неприпустима, оскільки стан тригеру у цьому випадку буде непередбачуваним. У проміжку між сигналами, коли на обох входах є одиниця, тригер зберігає раніше заданий стан. Якщо на обох входах присутня одиниця, заданий стан тригера зберігається протягом усього часу, поки на схему буде подаватись напруга живлення. Таким чином, тригер можна використовувати для зберігання інформації. При відключенні живлення інформація втрачається. Якщо живлення було відключено, то в момент включення живлення (до приходу перших вхідних імпульсів) тригер встановлюється у випадкове положення. Точніше, це положення залежить від того, який з елементів тригера виявився більш швидким.

*RS-тригер можна вважати найпростішим пристроєм для зберігання одного біта цифрової інформації.*

Давайте докладніше розглянемо, як відбувається перемикання **тригера**. Звернемося до схеми на **малюнку 1.11**. Припустимо, що після включення тригер скинувся у нульовий стан. Тобто на виході Q тригера - логічний нуль. Цей нуль йде на відповідний вхід нижнього елемента тригера (див. **Малюнок 1.11**). На другому вході того ж елемента, як ми пам'ятаємо, знаходиться логічна одиниця. Відповідно до логіки елемента «І-НЕ» на його виході також встановлюється одиниця. Ця одиниця йде на вихід  $\bar{Q}$  і на відповідний вхід верхнього елемента за схемою. На другому вході верхнього елемента, як ми пам'ятаємо, теж є одиниця. Дві одиниці на вході «І-НЕ» і дають нуль на його виході. Отже, коло замкнуте. Всі сигнали підтверджують себе. На виході Q - логічний нуль, на виході  $\bar{Q}$  - логічна

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 76 із 131	

одиниця. Тригер знаходиться в сталому стані.

Тепер подивимося, **як тригер переходить з одного стабільного стану в інший**. Для перемикання тригеру в одиничний стан давайте дамо на вхід S логічний нульовий сигнал. Рівновага буде порушена відразу. На входах верхнього елемента вже немає двох одиниць, а є одиниця і нуль. Тому на його виході відразу встановиться одиниця. Вона йде на відповідний вхід нижнього елемента.


І тепер на нижньому елементі на обох входах є два одиниці. Він одразу видає нуль на виході. Тепер можна знімати нульовий сигнал з входу S. Тригер вже знаходиться в новому стані. І це стабільний стан. Одиничний сигнал на вході S не переведе тригер назад в нульовий стан, так як на нижньому вході верхнього елемента за схемою є логічний нуль.

Перемикання тригера в нульовий стан - це те ж саме, що і перемикання в одиничний стан. Тільки нульовий сигнал для перемикання в цьому випадку подається на вхід R. Процеси, що відбуваються у тригері, при цьому повністю відповідають процесам, що відбувалися в попередньому випадку, тільки з точністю до навпаки.

Якщо тригер вже знаходиться в одиничному стані, то прикладання нульового імпульсу до входу S нічого не змінить. Аналогічно, даючи імпульс на вхід R, не змінить стан тригера, якщо він до цього перебував у нульовому стані.

**Один біт** - це один двійковий розряд або величина, яка може приймати тільки два значення (0 і 1). Логічно, що для зберігання одиниці тригер перемикається в одиничний стан.

Зверніть увагу на позначення входів скидання і установки **на рисунку 1.12**. Обидва входи мають кола і їх назви мають риску, що означає, що входи інверсні. RS-тригер має не тільки інверсний вихід, але обидва його входи також інверсні.

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 77 із 131	

Входи вважаються інверсними, оскільки активний сигнал для кожного з них є низьким логічним рівнем. У RS-тригері допускається позначення входів як з інверсією, так і без. Обидва варіанти будуть правильними.


### **Боротьба з брязкотом контактів**

Насправді RS-тригери рідко використовуються для зберігання двійкових чисел. Для цього існують і інші, більш складні тригери, про які ми поговоримо трохи пізніше. Але все ж RS-тригери широко використовуються в цифровій і мікропроцесорній техніці. Як приклад хотілося б виділити одне таке застосування. RS-тригер - ідеальний пристрій для боротьби з **брязкотом контактів**. Можливо, ви не знаєте, що таке контактне брязкіт. Тому пропоную зупинитися на цьому докладніше.


У цифровій і мікропроцесорній техніці рідко можна обійтися без різних кнопок або контактів. З їх допомогою до мікропроцесорного пристрою подаються різні інструкції, наприклад, реалізуються різноманітні датчики. Використання механічних контактів приносить додаткову проблему. Як би якісно не виконувався контакт, він ніколи не замикається і не відмикається миттєво. У момент замикання, коли два контакту тільки що торкнулися один одного і ще не щільно притиснуті, виникає настірливе явище, що називається **брязкотом**.

### **Список джерел:**

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для

	<p>Система менеджменту якості.  НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 78 із 131	

- здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
  4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.
  5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.
  6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 79 із 131	

призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові данні (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.

## Лекція №7

### Тема лекції: «Зберігання інформації»


#### План:

1. Будова та робота тригера.
2. Паралельний регістр.
3. Будова та робота JK-тригера.

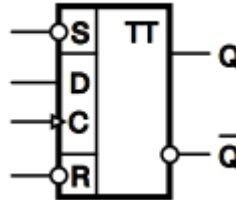
#### Зміст лекції:

У цифровій і обчислювальній техніці для цієї мети частіше використовуються інші, більш просунуті тригери, з яких складаються навіть цілі регістри. Почнемо з окремих тригерів. Мабуть, найпоширенішим типом тригера є так званий D-тригер. Схема позначення D-тригера представлена на рисунку 1.15. Основним атрибутом D-тригера є два нових входи: D-вхід і C-вхід. Входи R і S мають те ж призначення, що і RS-тригері (для скидання і налаштування). Як і будь-який інший тригер, D-тригер має два виходи: прямий і інверсний. Слід зазначити, що наявність входів RS, а також інверсного виходу необов'язково. Давайте розглянемо логіку D-тригера. Для початку давайте розглянемо почнемо з нових. Почнемо з нових. для нас входів.

Вхід D - це введення даних (від англійського DATA). В процесі роботи на цьому вході задається логічний рівень, який необхідно записати в D-тригер.

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 80 із 131	

Вхід С називається тактовим, який отримує тактовий імпульс, що синхронізує запис даних.




*Рис. 15. Схематичне позначення D-тригера*

Зверніть увагу, що на умовному позначенні тригера тактовий вхід позначений стрілкою у вигляді маленького трикутника. Такий трикутник означає, що цей вхід імпульсний. Поки що ми мали справу з потенційними входами. Потенційний вхід реагує на потенціал сигналу, що надходить на нього. Цей вхід, як кажуть, спрацьовує, коли прибуває логічна одиниця. Або він спрацьовує від логічного нуля.

Імпульсний вхід не чутливий до рівня сигналу. Такий вхід спрацьовує в момент переходу з одного рівня на інший. Такі входи, як кажуть, спрацьовують по передньому фронту (тобто при русі від нуля до одиниці) або спрацьовують по задньому фронту (тобто при переході від одиниці до нуля). Іноді для опису роботи імпульсного входу використовуються і інші технічні терміни. У літературі, можна прочитати: «вхід спрацьовує по фронту сигналу» або «вхід спрацьовує по спаду сигналу».

Тепер давайте докладніше розглянемо логіку D-тригера. Для перемикання тригера в потрібний стан спочатку потрібно подати відповідний логічний сигнал на вхід D. Щоб записати одиницю на вхід D, подаємо одиничний логічний рівень, для запису нуля - нуля. Потім до входу С повинен бути прикладений тактовий імпульс. Відповідно по спаданню цього імпульсу тригер буде налаштований в



	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 81 із 131	

потрібний стан (сигнал на D-вході буде записаний в тригер). Така логіка D-тригера робить його дуже зручним пристроєм для зберігання одного біта цифрової інформації (один біт двійкового числа).

### *Паралельний регістр*

Для зберігання двійкового числа, що складається з більшої кількості бітів, використовується кілька паралельних D-тригерів. На рисунку 1.16 представлена схема зберігання чотиризначного двійкового числа.

Ця схема називається паралельним регістром. Для того щоб зберегти будь-яке число в такому регістрі, потрібно по частинах подавати це число на входи D0-D3. Потім на вхід С схеми подається імпульс запису. По задньому фронті цього імпульсу число записується в регістр. При цьому кожна цифра числа записується в свій окремий D-тригер. Число, що записано в регістр, можна прочитати з виходів Q0-Q3. У схемі регістра також є вхід скидання R (reset). Він об'єднує R-входи всіх тригерів і використовується для початкової установки всіх регістрових бітів в нуль. У цифровій техніці це називається «початкове налаштування».

У реальних мікропроцесорних пристроях частіше використовуються восьмибітні паралельні регістри. На рисунку 1.17 показано схематичне позначення одного з цих регістрів. Його внутрішня структура і призначення виводів аналогічні структурі і призначенню умовиводів регістру, наведеного на рисунку 1.16.

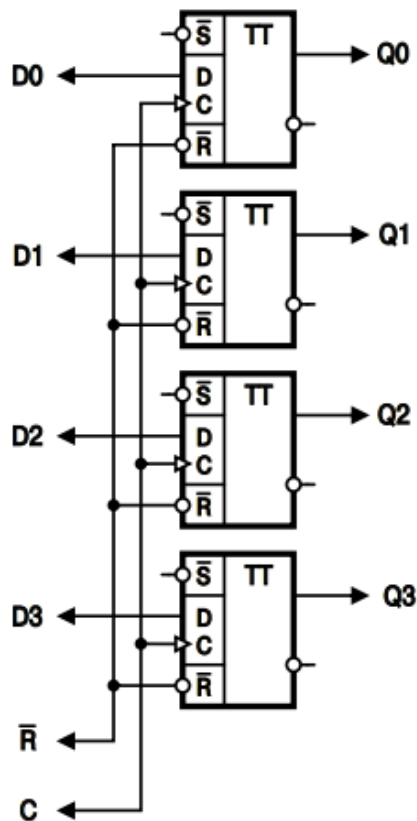


Рис. 16. Найпростіший паралельний регістр

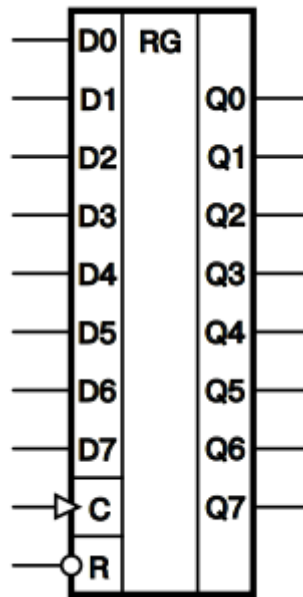


Рис.17. Восьмібітний паралельний регістр

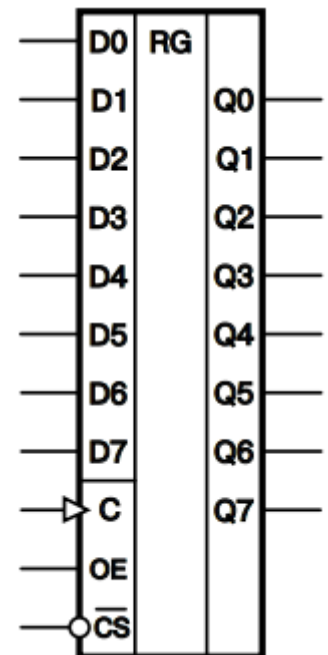



Рис. 18. Паралельний регістр розширеними можливостями

Паралельний регістр розширеними можливостями

Більш складний регістр показаний на рисунку 1.18. Цей регістр адаптований для роботи паралельної шини даних. Для цього в регістр вводяться два нових входи:

- вхід вибору мікросхеми (cs);
- Вихід gtht[j]e є високоомний стан (OE).

Давайте докладніше розглянемо ці нові входи і режими роботи. Вхід вибору мікросхеми CS (Chip Select) призначений для ввімкнення і вимкнення в різні моменти часу.


	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 83 із 131	

Такі входи часто можна зустріти в мікросхемах, призначених для мікропроцесорної техніки. Особливо у великих багатофункціональних чіпах. Наявність таких входів дозволяє підключати паралельно входам кілька аналогічних мікросхем, але працювати з кожною мікросхемою окремо. У разі паралельного з'єднання однойменних входів дані будуть записуватися тільки в один з регістрів, на вході CS якого на момент запису буде присутній низький логічний рівень. Стан інших регістрів залишиться незмінним. Вхід OE, навпаки, використовується при паралельному об'єднанні декількох регістрів по їх виходам. Таке з'єднання можливе тільки в тому випадку, якщо в будь-який момент часу буде працювати тільки один з чіпів. Виходи інших паралельно з'єднаних мікросхем повинні мати можливість автоматичного відключення від кола. Для цього мікросхема, що зображена на рисунку 1.18, має спеціальний режим. У цьому режимі всі виходи мікросхеми відключаються і не впливають на роботу решти кола.

Такий стан виходів називається високо імпедансним. Імпеданс - це повний опір кола. Якщо імпеданс високий, то відповідний вихід можна вважати просто відключеним. Мікросхема переводить свої виходи в високоомний стан при подачі логічної одиниці на вхід OE. Якщо на вхід OE подати логічний нуль, виходи мікросхеми повернуться в робочий стан.

#### *Конструкція і робота JK-тригера*

Ну а в кінці цього розділу хочеться повернутися до тригерів і описати інший вид. Це, мабуть, найскладніший з тригерів. Він називається JK-тригером. Умовне позначення такого тригера показано на рисунку 1.19. Як видно з малюнка 1.19, JK-тригер сильно нагадує D-тригер. Але замість одного D-входу такий тригер має два нових, поки невідомих нам входів, які мають позначення J і K.

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 84 із 131	

В цілому входи J і K частково виконують ті ж функції, що і D-вхід. Але логіка такого тригера складніше. Якщо на J-вхід подається сигнал логічної одиниці, а K-вхід є сигналом логічного нуля, то по спаданню тактового сигналу на вході C тригер встановиться в одиничний стан.

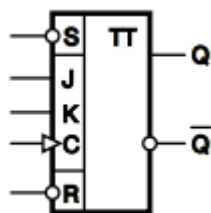



Рис.19. JK-тригер

Якщо подати логічний нуль на J і логічну одиницю на K, то тригер встановиться у нульовий стан по спаданню тактового сигналу. Якщо до входів J і K одночасно застосувати логічну одиницю, то для кожного спаду тактового імпульсу тригер буде перемикатися в протилежний стан. Тобто з одиниці на нуль і з нуля на одиницю. І, нарешті, якщо і J, і K дати логічний нуль, то тригер перестане реагувати на тактові імпульси, і його стан залишиться незмінним.


На перший погляд, логіка тригера занадто складна, та й область застосування таких тригерів не очевидна. Однак схемним віртуозам вдається використовувати JK-тригери для створення більш компактних і раціональних схем дільників і лічильників. Але з наступного розділу ми дізнаємося, що таке лічильники і дільники.

### Список джерел:

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця :

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 85 із 131	

- ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
  3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
  4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.
  5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ;

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 86 із 131	

КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.

6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.

## Лекція №8

### Тема лекції: «Лічильники»


#### План:

1. Робота дільника частоти.
2. Лічильники прямого лічення.
3. Лічильники із зворотнім ліченням.
4. Дільники зі змінним коефіцієнтом ділення.
5. Таймери.

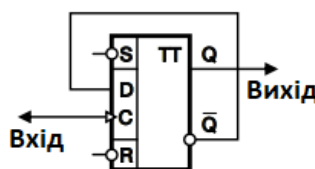
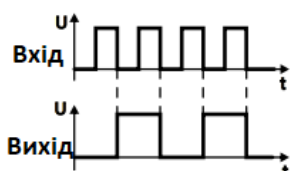
#### Зміст лекції:

Цифрові лічильники - це спеціальні елементи, що дозволяють підраховувати кількість імпульсів, які надійшли на вхід. Поняття «лічильник імпульсів» тісно пов'язане з поняттям дільника частоти. По суті, це той же пристрій. Але давайте розглянемо все по порядку.

Найпростішим дільником частот може бути JK-тригер, розглянутий в попередньому розділі (див. рис. 1.19). Для того щоб цей тригер спрацював як

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 87 із 131	

дільник, потрібно подати високий логічний рівень як входам J, так і K. Тепер, якщо на вхід С подається імпульсний сигнал деякої постійної частоти, то тригер буде перемикатися в протилежний стан при зниженні кожного вхідного імпульсу. В результаті на виході JK- тригеру ми отримуємо ще один сигнал зі швидкістю повторення імпульсу в два рази менше частоти імпульсів на його вході. Цей процес наочно показаний на рисунку 1.20. Як видно з малюнка, період сигналу на виході дільника рівно в два рази перевищує період вхідного сигналу. А частота вихідного сигналу, відповідно, в два рази нижче вхідного сигналу.




*Рис. 20. Ділення частоти Рис. 21. Найпростіший дільник частоти*

Другий варіант дільника частот показаний на рисунку 1.21. Він побудований на основі D-тригера. Для того щоб перевести D-тригер в режим підрахунку, потрібно з'єднати зворотний вихід тригера Q з його D-входом, як показано на рисунку 1.21. Тепер, якщо подати сигнал на вхід С, така схема буде працювати і як дільник. Вихідний сигнал такого дільника виділяється з виходу Q тригера.

Розглянемо докладніше роботу даної схеми. Припустимо, що після увімкнення, тригер встановлюється в одиничний стан. Це означає, що на зворотному виході тригера (Q) є логічний нуль. Цей нуль подається до D-входу. На вхід дільника ми подамо якийсь цифровий сигнал, такий же, як ми подавали в попередньому випадку (див. рис. 1.20).

По спаду першого вхідного імпульсу D-тригер перейде в нульовий стан, так як на його D-вході буде сигнал логічного нуля. Після цього встановлюється

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 88 із 131	

логічна одиниця на інверсному виході

Результат дільника на D-тригері точно такий же, як у і дільника на JK-тригері, а вихідний сигнал нового варіанту також повністю відповідає рис.1.20. Слід зазначити, що в даний час JK-тригери використовуються досить рідко. D-тригери набули набагато більшого поширення завдяки своїй простоті і універсальності. Дільники широко використовуються в цифровій техніці. Коло послідовно підключених D-тригерів дозволяє отримувати сигнали необхідної частоти шляхом ділення імпульсів тактового генератора.

Приклад

*Два дільника, з'єднаних послідовно, дозволять отримати сигнал з частотою в чотири рази менше вхідної. Треступеневий дільник (три D-тригера, з'єднаних послідовно) дасть поділ на вісім. Чотири каскади будуть ділити на шістнадцять. І так далі.*

На рисунку 1.22 представлена схема чотириступеневого дільника частоти на D-тригерах. Імпульси тактового генератора йдуть на вхід першого каскаду поділу. Якщо частота сигналу на вході дорівнює  $f$ , то на виходах дільника будемо отримувати сигнали з наступними частотами:  $Q_0$  —  $f/2$ ;  $Q_1$  —  $f/4$ ;  $Q_2$  —  $f/8$ ;  $Q_3$  —  $f/16$ .

Лічильники прямого підрахунку

Схема, що представлена на рисунку 1.22, може використовуватися не тільки як дільник частоти, але і як вхідний лічильник імпульсів. Уявімо, що виходи  $Q_0$ - $Q_3$  є бітами деякого двійкового числа. Вихід  $Q_0$  – молодший біт, а вихід  $Q_3$  – самий старший.



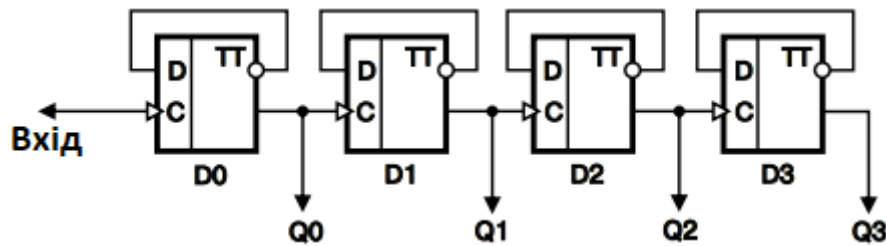


Рис. 22. Чотириступеневий дільник частот

Припустимо, що всі чотири тригери встановлені на нуль до початку підрахунку. На вхід кола надходить певна кількість імпульсів. Тригери, що входять в схему, будуть перемикатися за алгоритмом, описаним вище. Стан тригерів в процесі підрахунку наведено в таблиці 1.1. Як видно з таблиці, після приходу першого вхідного імпульсу тригер D0 переходить в одиничний стан. Після приходу другого імпульсу D0 повертається в нуль, але D1 переходить в одиничний стан.

Подальша поведінка всіх чотирьох тригерів добре видно з таблиці. А тепер уважно придивіться на те, що ми отримали. Якщо ми сприймаємо набір цифрових сигналів на виходах лічильника як чотиризначне двійкове число, то бачимо перед собою послідовність чисел від 0000 до 1111. Десятковий еквівалент цих чисел показаний в правій крайній колонці таблиці 1.1.

Отже, перед початком підрахунку вихід дільника дорівнює нулю. Після проходження першого імпульсу вихід дорівнює одиниці, після другого імпульсу - два і так далі. Кожен вхідний імпульс збільшує значення двійкового числа на виході лічильника на одну одиницю. Тому в будь-який даний момент часу лічильник містить число, рівне кількості імпульсів, які прийшли на його вхід на цей момент.

*Логіка роботи дільника Таблиця 1.1*

Вхідні імпульси	Стан виводу	десятковий еквівалент
-----------------	-------------	-----------------------




Q3	Q2	Q1	Q0		
не було жодного	0	0	0	0	0
один пульс	0	0	0	1	1
два імпульси	0	0	1	0	2
три імпульса	0	0	1	1	3
-	0	1	0	0	4
-	0	1	0	1	5
-	0	1	1	0	6
-	0	1	1	1	7
-	1	0	0	0	8
-	1	0	0	1	9
-	1	0	1	0	10
-	1	0	1	1	11
-	1	1	0	0	12
-	1	1	0	1	13
чотирнадцять імпульсів	1	1	1	0	14
П'ятнадцять імпульсів	1	1	1	1	15


Максимальна кількість імпульсів, яку може нарахувати лічильник, зображений на рисунку 1.22, дорівнює 16. Після надходження шістнадцятого імпульсу лічильник повернеться в нульовий стан.

Лічильники широко використовуються в цифровій техніці, коли потрібно підрахувати кількість імпульсів. І не обов'язково, щоб входні імпульси приходили рівномірно з постійним періодом. Це можуть бути одиничні імпульси. Наприклад, імпульси від якогось датчика, кнопки і т.д.

### Список джерел:

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 91 із 131	

1. Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.

	<p>Система менеджменту якості.  НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 92 із 131	

5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.
6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.



Система менеджменту якості.  
НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС  
навчальної дисципліни  
«Програмування мікроконтролерів для  
електроенергетичних систем забезпечення  
польотів»

Шифр  
документа

СМЯ НАУ  
НМК 07.01.07–01–2022

Стор. 93 із 131

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Аерокосмічний факультет**

**Кафедра комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ ДО  
ПРАКТИЧНИХ РОБІТ**

з дисципліни **«Програмування мікроконтролерів для  
електроенергетичних систем»**

за напрямом 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Укладач: к.т.н., доц. С.В. Єгоров


Методичні рекомендації розглянуті та

схвалений на засіданні кафедри

комп'ютеризованих електротехнічних систем

та технологій

Протокол №            від «            »20 \_\_\_\_ р.

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
	Стор. 94 із 131		


## ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

*Метою* проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем» є вивчення принципів і методів розробки програмного забезпечення для мікроконтролерів, ознайомлення із програмними та апаратними засобами розробки, налагодження і програмування сучасних мікроконтролерів, які використовуються у засобах вимірювальної техніки, мікропроцесорних засобах автоматизації, побутових пристроях та промисловому обладнанні.

Основними *завданнями* вивчення дисципліни є ознайомлення з галузями використання, класифікацією та можливостями сучасних мікроконтролерів, апаратними та програмними засобами для програмування мікроконтролерів; формування уявлень про принципи та типові алгоритми роботи пристроїв на базі мікроконтролерів.

Результати навчання, які дає можливість досягнути навчальна дисципліна **наступні:**

- Концептуальні знання, набуті у процесі навчання та професійної діяльності, включаючи певні знання сучасних досягнень;
- Критичне осмислення основних теорій, принципів, методів і понять у навчанні та професійній діяльності;
- Складати принципові схеми електроенергетичного устаткування з використанням комп'ютерів;
- Аналізувати дані та розробляти алгоритми вирішення інженерних задач професійної діяльності з використанням систем, що побудовані на мікроконтролерах;

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 95 із 131	

- Проводити вимірювання параметрів режиму енергосистем та електрообладнання;
- Оцінювати показники ефективності функціонування електроенергетичних об'єктів та застосовувати методи їх оптимізації за допомогою мікроконтролерів.


У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути наступні:

**загальні компетентності:**

- ЗК-1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК-2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК-5. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК-6. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

**фахові компетентності**

- ФК1. Здатність до математичного формулювання та досліджування неперервних та дискретних математичних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язування теоретичних і прикладних задач у галузі комп'ютерних наук.
- ФК3. Здатність до логічного мислення, побудови логічних висновків, використання формальних мов і моделей алгоритмічних обчислень, проектування, розроблення й аналізу алгоритмів, оцінювання їх ефективності та складності, розв'язності та нерозв'язності алгоритмічних проблем для адекватного моделювання предметних областей і створення програмних і інформаційних систем.

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 96 із 131	

- ФК6. Здатність до системного мислення, застосування методології системного аналізу для дослідження складних проблем різної природи, методів формалізації та розв'язування системних задач, що мають суперечливі цілі, невизначеності та ризики.

### Практична робота №1.

**Тема: «Дослідження команд пересилання, арифметичних, логічних, роботи з окремими бітами та зсуву»**

*Мета роботи:* користуючись налагоджувачем дослідити виконання команд пересилання даних, арифметичних, логічних, роботи з окремими бітами та зсуву у покроковому режимі.

*Методичні вказівки.* Вивчити теоретичні відомості з теми « Команди пересилання даних даних, арифметичн і, логічн і, роботроботи з окремими бітами та зсуву ». Дослідити формати (типи) команд, представлення операндів і роботу програми , що наведено у лабораторній роботі як приклад. Вміти коментувати команди.


### Практична робота №2.

**Тема: «Дослідження команд передачі керування, виклику та повернення із підпрограм»**

*Мета роботи:* користуючись налагоджувачем дослідити виконання команд передачі керування у покроковому режимі.

*Методичні вказівки.* Вивчити теоретичні відомості з теми « Команди передачі керування ». Дослідити формати (типи) команд, представлення операндів і роботу



	<p>Система менеджменту якості.  <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b>  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 97 із 131	

програми, що наведено у лабораторній роботі як приклад. Вміти коментувати команди.

### **Практична робота №3.**

**Тема: «Дослідження нових команд МК MEGA та XMEGA»**

*Мета роботи:* ознайомитись з загальною схемою розподілу електроенергії в аеропортах.

*Методичні вказівки.* Ознайомитися з основними вимогами до системи електропостачання. Ознайомитись зі структурною схемою системи електропостачання аеропорту. Ознайомитись із характеристиками джерел основного електропостачання аеропортів.

### **Практична робота №4.**

**Тема: «Моделювання пристрою керування двигуном постійного струму»**


*Мета роботи:* Користуючись налагоджувачем дослідити виконання нових команд AVR-мікроконтролерів у покроковому режимі.

*Методичні вказівки.* Вивчити теоретичні відомості з теми «Нові команди AVR-мікроконтролерів ». Дослідити формати (типи) команд, представлення операндів і роботу програми, що наведено у лабораторній роботі як приклад. Вміти коментувати нові команди команди.

### **Практична робота №5.**

**Тема: «Моделювання модуля АЦП»**

*Мета роботи:* Користуючись пакетом Proteus 8.6 дослідити роботу модуля АЦП.

	<p>Система менеджменту якості.          НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС          навчальної дисципліни          «Програмування мікроконтролерів для          електроенергетичних систем забезпечення          польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 98 із 131	

*Методичні вказівки.*

- створити модель пристрою в пакеті Proteus 8.6
- розробити схему алгоритму роботи моделі та робочу програму
- створити hex-файл та підключити його до мікроконтролера
- запустити модель та виконати її дослідження згідно методичних вказівок
- зробити відповідні висновки.

### **Практична робота №6.**

**Тема: «Моделювання цифрового вольтметра»**

*Мета роботи:* Користуючись пакетом PROTEUS дослідити моделювання цифрового вольтметра.

*Методичні вказівки.*

- створити модель пристрою в пакеті Proteus 8.6
- розробити схему алгоритму роботи моделі та робочу програму
- створити hex-файл та підключити його до мікроконтролера
- запустити модель та виконати її дослідження згідно методичних вказівок
- зробити відповідні висновки.


### **Практична робота №7.**

**Тема: «Моделювання модуля універсального асинхронного приймача–  
передавача сім'ї AVR»**

*Мета роботи:* Користуючись пакетом PROTEUS дослідити моделювання модуля універсального асинхронного приймача–передавача сім'ї AVR.

*Методичні вказівки.*

- створити модель пристрою в пакеті Proteus 8.6

	<p>Система менеджменту якості.  <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b>  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 99 із 131	

- розробити схему алгоритму роботи моделі та робочу програму
- створити hex-файл та підключити його до мікроконтролера
- запустити модель та виконати її дослідження згідно методичних вказівок
- зробити відповідні висновки.


### **Практична робота №8.**

#### **Тема: «Моделювання модуля SPI»**

*Мета роботи:* Користуючись пакетом PROTEUS дослідити моделювання модуля SPI.

*Методичні вказівки.*

- створити модель пристрою в пакеті Proteus 8.6
- розробити схему алгоритму роботи моделі та робочу програму
- створити hex-файл та підключити його до мікроконтролера
- запустити модель та виконати її дослідження згідно методичних вказівок
- зробити відповідні висновки.

	<p>Система менеджменту якості.  <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b>  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 100 із 131	

**Аерокосмічний факультет**  
**Кафедра комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**


Зав. кафедри \_\_\_\_\_ В.П. Квасніков

«        » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**МОДУЛЬНІ КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ**

**з дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем»**


Розробник  
к.т.н., доц. Сергій Єгоров

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 101 із 131	


## Перелік теоретичних питань

### для проведення модульної контрольної роботи №1

1. Наведіть структурну схему мікропроцесорної системи та розшифруйте абрєвіатури її компонентів
2. Для чого призначені постійний запам'ятовуючий пристрій та оперативний запам'ятовуючий пристрій та що вони собою являють
3. Що являє собою динамічна пам'ять?
4. Постійний запам'ятовуючий пристрій, що стирається ультрафіолетовим випромінюванням
5. Флеш-технологія (Flash)
6. Постійний запам'ятовуючий пристрій, що стирається електрично
7. Для чого призначені порти вводу виводу. Що являє собою шина?
8. Шина даних
9. Що являє собою шина адреси та чим вона відрізняється від шини даних?
10. Поясніть, що означає розрядність шини адреси
11. Шина керування
12. Які чотири основні операції виконує процесор по відношенню до будь-яких периферійних пристроїв?
13. Як відбувається процес читання з пам'яті?
14. Як відбувається процес запису у пам'ять?
15. Як відбувається процес читання з порту вводу-виводу?
16. Як відбувається процес запису у порт вводу-виводу?
17. Що таке програма та код операції?
18. Що таке лічильник команд та процедура початкового скидання?
19. Що таке режим сну та команда зупинки мікроконтролера?
20. Регістри загального призначення: для чого використовуються та їх переваги.
21. Команди мікропроцесора. Група команд переміщення даних.
22. Периферійні пристрої мікроконтролерів AVR.
23. Команди мікропроцесора. Команди умовного та безумовного переходу.
24. Команди мікропроцесора. Команди організації циклу.
25. Команди мікропроцесора. Команди переходу до підпрограми.
26. Механізм переривань.
27. Прямий доступ до пам'яті.

	<p>Система менеджменту якості.  НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 102 із 131	


28. Основні відмінності мікроконтролерів родини «Mega» від «Tiny» серії AVR.
29. Види конструктивного виконання мікроконтролерів.
30. Види внутрішньої пам'яті мікроконтролерів AVR.
31. Способи програмування Flash- та EEPROM-пам'яті.
32. Порти вводу/виводу мікроконтролерів AVR.
33. Периферійні пристрої мікроконтролерів AVR.
34. Регістри загального призначення мікроконтролерів AVR.
35. Регістри вводу-виводу мікроконтролерів AVR.
36. Пам'ять програм мікроконтролерів AVR.
37. Оперативна пам'ять мікроконтролерів AVR.

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07-01-2022
		Стор. 103 із 131	

## Перелік теоретичних питань


### для проведення модульної контрольної роботи №2

1. Область пам'яті, що об'єднана з набором регістрів загального призначення (РЗП). Область пам'яті в поєднанні з регістрами введення/виведення (РВВ).
2. Область пам'яті, що об'єднана з набором регістрів загального призначення (РЗП). Область внутрішньої ОЗП
3. Область пам'яті, що об'єднана з набором регістрів загального призначення (РЗП). Область зовнішньої ОЗП
4. Область пам'яті, що об'єднана з набором регістрів загального призначення (РЗП). Енергонезалежна пам'ять даних (EEPROM)
5. Область пам'яті, що об'єднана з набором регістрів загального призначення (РЗП). Які регістри введення виведення використовуються для керування EEPROM? Поясніть їх призначення
6. Лічильник команд і стекова пам'ять. Лічильник команд.
7. Лічильник команд і стекова пам'ять. стекова пам'ять. Команди типу «перевірка/пропуск»
8. Лічильник команд і стекова пам'ять. Визначення стека та покажчика стека і для чого стекова пам'ять використовується.
9. Лічильник команд і стекова пам'ять. Спосіб організації стекової пам'яті мікроконтролерів AVR і що потрібно зробити перед тим, як цю пам'ять використовувати.
10. Лічильник команд і стекова пам'ять. Команди для роботи зі стековою пам'яттю
11. Підсистема введення/виведення. Регістри підсистеми введення/виведення.
12. Підсистема введення/виведення. Внутрішній навантажувальний резистор.
13. Система переривань. Керування системою переривань.
14. Система переривань. Алгоритм роботи системи переривань.
15. Таймери/лічильники. Призначення та лічильний регістр.
16. Таймери/лічильники. Режим Normal.
17. Таймери/лічильники. Режим «Захоплення» (Capture)
18. Таймери/лічильники. Режим «Скидання при співпадінні» (CTC).
19. Таймери/лічильники. Режим «Швидкодійний ШІМ» (Fast PWM).

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
	Стор. 104 із 131		

20. Таймери/лічильники. Режим «ШІМ з точною фазою» (Phase Correct PWM).
21. Таймери/лічильники. Асинхронний. Режим.
22. Таймери/лічильники. Попередні дільники таймера/лічильника.
23. Інші вбудовані периферійні пристрої. Аналоговий компаратор.
24. Інші вбудовані периферійні пристрої. Аналого-цифровий перетворювач.
25. Інші вбудовані периферійні пристрої. Послідовний периферійний інтерфейс (SPI).
26. Інші вбудовані периферійні пристрої. Послідовний канал (UART/USART).
27. Інші вбудовані периферійні пристрої. Послідовний двопровідний інтерфейс (TWI).
28. Інші осередки. Комірки конфігурації.
29. Інші осередки. Осередки безпеки та ідентифікації.
30. Електронні цифри. Представлення чисел на ПК.
31. Електронні цифри. Дворівневий сигнал.
32. Логічні елементи Знайомство з логічними елементами. Прості логічні елементи і таблиця істинності.
33. Логічні елементи Знайомство з логічними елементами. Складені логічні елементи.
34. Найпростіший тригер. Що таке тригер.
35. Найпростіший тригер. Робота RS-тригера.
36. Найпростіший тригер. Боротьба з брязкотом контактів.
37. Зберігання інформації. Конструкція і робота D-тригера.
38. Зберігання інформації. Паралельний регістр.
39. Зберігання інформації. Паралельний регістр розширеними можливостями.
40. Зберігання інформації. Конструкція і робота JK-тригера.
41. Лічильники. Робота дільника частоти.
- 42.. Лічильники прямого підрахунку.



	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
	Стор. 105 із 131		

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Аерокосмічний факультет**

**Кафедра комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ  
 РОБОТИ ДЛЯ СТУДЕНТІВ ЗАОЧНОЇ ФОРМИ**


з дисципліни «**«Програмування мікроконтролерів для  
 електроенергетичних систем»**»

за напрямом 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Укладач: к.т.н., доц. С.В. Єгоров

Методичні рекомендації розглянуті та  
 схвалені на засіданні кафедри  
 комп'ютеризованих електротехнічних систем  
 та технологій

Протокол № \_\_\_\_\_ від « \_\_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ р.

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 106 із 131	

## Структурна схема типової мікропроцесорної системи

Основним робочим елементом сьогоденної **мікропроцесорної** системи є **мікроконтролер**. Однак, щоб зрозуміти основні принципи роботи, спочатку необхідно зупинитися на мікропроцесорі. Відразу потрібно сказати, що мікропроцесор не працює сам по собі. Мікропроцесор - це всього лише частина мікропроцесорної системи.


Крім самого мікропроцесора, мікропроцесорна система включає в себе і інші, не менш важливі елементи. На рисунку 2.1 представлена узагальнена структурна схема типової мікропроцесорної системи. Давайте докладніше розглянемо, як вона працює. Як бачите, назви всіх елементів системи наведені як в українському, так і в англійському варіанті.

- (CPU) центральний процесор (Central Processing Unit) - це центральний процесор.
- RAM (Random Access Memory) — пристрій з довільним доступом, або оперативна пам'ять (ОЗП).
- ROM (Read Only Memory) — Пам'ять лише для читання або постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП).
- Port I/O (Port Input/Output) — Порт вводу-виводу

Тепер давайте розглянемо всі ці елементи більш детально. Процесор не завжди був МІКРОпроцесором. Був час, коли процесором були одна або навіть кілька електронних плат, начинених радіоелементами.

### Види пам'яті

Два види пам'яті (RAM і ROM) призначені для зберігання інформації (даних і програм). Обидва види пам'яті являють собою набір осередків, кожна з яких може зберігати єдине двійкове число. Поділ на постійну пам'ять і оперативну

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 107 із 131	

пам'ять досить умовно. З точки зору процесора обидва цих типу пам'яті практично ідентичні. Однак між ними є одна досить істотна відмінність.


Після того як інформація записана в оперативну пам'ять, вона зберігається там тільки до тих пір, поки подається напруга живлення. Як тільки харчування відключається, інформація, записана в оперативну пам'ять, тут же втрачається. Про це ми говорили вище. Класичний приклад осередку оперативної пам'яті - реєстр стану, побудований на D-тригерах (див. Рис. 1.26).

У такому реєстрі можна написати інформацію і прочитати її звідти. Однак якщо відключити, а потім включити харчування, то всі тригери, що входять до складу реєстрів ОЗП, будуть виставлені в випадковий стан. Інформація буде втрачена. Сучасні чіпи пам'яті побудовані на основі зовсім інших технологій. Але до цього дня не придумано досить швидкий пристрій пам'яті, який не втрачає інформацію при відключенні живлення.

Найбільш поширеною технологією побудови оперативної пам'яті на сьогоднішній день є так звана **динамічна пам'ять**. Зберігання інформації в мікросхемах динамічної пам'яті здійснюється за допомогою динамічно перезаряджаються мініатюрних контейнерів (конденсаторів), виконаних інтегральним способом на кремнієвому кристалі.

Кожен конденсатор зберігає один біт інформації. Якщо значення біта має дорівнювати одиниці, то схема управління заряджає конденсатор. Якщо в осередку має бути логічний нуль, конденсатор розряджається. Заряджений конденсатор може зберігати свій заряд, а, отже, і записану в ньому інформацію всього за кілька мілісекунд. Регенерація пам'яті використовується для того, щоб інформація не була втрачена .

Спеціальна схема періодично зчитує вміст кожної комірки пам'яті і заряджає

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 108 із 131	


конденсатори для тих біт, де один є. Для прискорення процесу регенерації всі осередки пам'яті кожного чіпа діляться на рядки. Зчитування і оновлення виконується відразу для цілого рядка. Для нормальної роботи динамічної оперативної пам'яті регенерація повинна працювати безперервно до тих пір, поки включена потужність. У сучасній оперативній пам'яті схема регенератора Він будується всередину самих мікросхем.

**Постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП)** розрахований на тривале зберігання інформації і не втрачає записану інформацію навіть після відключення живлення. При виготовленні мікросхем ПЗУ використовуються зовсім інші технології. На зорі мікропроцесорної техніки ПЗУ-чіпи зберігали інформацію шляхом спалювання внутрішніх **мікроперемичок** на кристалі. Інформація, введена таким чином, змінити не вдалося. Якщо інформація застаріла, чіп просто викидали і замінювали на інший.

Однопрограмовані ПЗП були **замінені ПЗП, з ультрафіолетовим стиранням**. Такі мікросхеми ПЗП були багаторазовими. Спалені перемички можна було відновити. Перед повторним використанням чіп потрібно було «стерти.» Тобто перемички довелося відновити. Для цього кристал чіпа піддавався впливу ультрафіолету, для чого чіпи оснащувалися спеціальним Вікно у верхній частині корпусу.

Кількість циклів запису-стирання для таких чіпів було обмежено. Чіпси з ультрафіолетовим стиранням існують давно. Вони до сих пір працюють в самих різних мікропроцесорних пристроях, виготовлених на рубежі минулих і нинішніх століть.

Сучасні чіпи ПЗП побудовані на **так званій технології Flash**. Такі чіпи також засновані на використанні спеціальних згорілих перемичок з можливістю

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 109 із 131	

відновлення. Але стирання інформації в даному випадку відбувається електрично. Тому такі чіпи ще називають **ЕСПЗП (електрично стираємі ПЗП)**. Весь процес стирання здійснюється всередині чіпа. Для запуску процесу стирання досить відправити на його входи певну комбінацію сигналів.

При включенні в мікропроцесорну систему чіпи ОЗП і чіпи ПЗП працюють як єдина пам'ять програм і даних. Хоча процесор працює з обома типами пам'яті однаково, але з ПЗП він може тільки зчитувати інформацію. Записати інформацію в ПЗП неможливо. Якщо мікропроцесор все ж спробує записати, то нічого страшного не станеться. Просто в камері залишиться те, що було там до спроби написати.

### **Порти вводу/виводу**


***Порти вводу-виводу** - це спеціальні пристрої, за допомогою яких мікропроцесорна система може зв'язуватися із зовнішнім світом.*

Без портів втрачається весь сенс мікропроцесорної системи. Він не може працювати сам по собі. Мікропроцесор повинен чимось керувати, або ще навіщо йому це потрібно? Через вхідні порти процесор отримує зовнішні дії (сигнали управління). Наприклад, сигнали від кнопок, датчиків. Використовуючи порти виходу, процесор управляє зовнішніми пристроями (реле, моторами, світловими індикаторами, дисплеями).

Процесор працює з портами вводу-виводу приблизно так само, як і з осередками пам'яті. Робота з портами просто зчитує число з вхідного порту або записує число в порт виходу. Вихідний порт найчастіше є звичайним паралельним регістром. Вхідний порт ще простіше. Це проста схема ключів, яка по команді від CPU подає зовнішні дані на свої входи.

### **Процесор і цифрові шини**

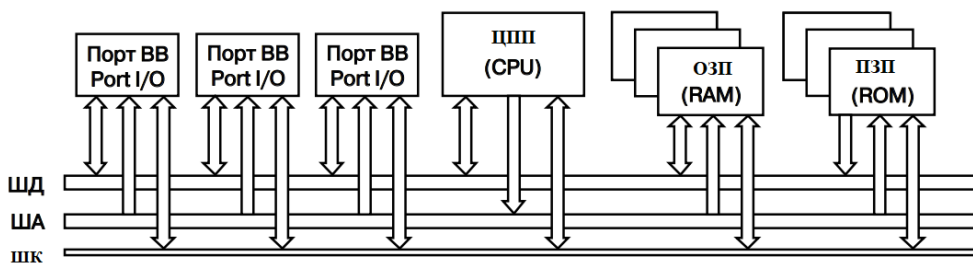
Основним елементом управління всієї мікропроцесорної системи є

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 110 із 131	

**процесор.** За винятком кількох особливих випадків, він управляє як портами пам'яті, так і вводу-виводу. Порти пам'яті і вводу-виводу є пасивними пристроями і можуть реагувати тільки на керуючі дії.

Для того щоб процесор міг управляти мікропроцесорною системою, його підключають до всіх її елементів за допомогою цифрових шин. Як ми вже говорили, **шина** - це сукупність паралельних провідників, по яких передається цифровий сигнал.

Тільки одне двійкове число передається по шині в будь-який момент часу. Один біт цього числа передається по кожній лінії. У будь-якій мікропроцесорній системі існує не менше трьох первинних шин.



**Рис. 1.** Структурна схема типової мікропроцесорної системи


Нижче наведена розшифровка цих абревіатур та їх англійський еквівалент:

- **ШД** — Шина даних (DATA bus);
- **ША** — адреса адреси (ADDR bus);
- **ШК** — Шина керування (CONTROL bus).

Разом ці три шини утворюють системну шину. Розглянемо докладніше призначення кожної шини.

### Шина даних

*двійкове число, яке має вісім бітів, називається байтом*

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 111 із 131	

Шина даних призначена для передачі даних з мікропроцесора на периферійні пристрої, а також в зворотному напрямку. Розрядність **шини даних** визначається типом використовуваного процесора. У простих мікропроцесорах шина даних зазвичай має 8 біт. Сучасні процесори можуть мати шину даних 16, 32, 64 біта. Кількість розрядів завжди кратно восьми.


В обчислювальній техніці байт по суті став мінімальною (після бітової) одиницею інформації. Шістнадцятибітна шина даних може передавати до двох байт за раз. 32-бітна шина передає до чотирьох байт. 64-бітна шина може передавати до восьми байт. Якою б не була розрядність шини, вона завжди має можливість при необхідності перерозподілити тільки один байт. Це не збіг. Будь-який процесор повинен вміти записувати інформацію в одне окреме місце пам'яті або в один окремий порт вводу-виводу. А також читати інформацію. Одна клітинка або порт.

### Шина адреси

#### Приклад

*Мікропроцесор серії K580IK80 має 16 адресних біт. Це можна вважати мінімальною сумою для мікропроцесора. Процесор Intel 8086, в якому знаходиться комп'ютер IBM PC-XT, родоначальник всіх PC-сумісних персональних комп'ютерів, має 20 біт адресної шини. Сучасні процесори мають до 32 біт і більше.*

*Один кілобайт в обчислювальній техніці не дорівнює 1000 байтам, як можна було б очікувати. Число 1000 не є круглим числом в двійковій системі. У двійковій системі зручно розглядати степені числа 2 як круглі числа. Наприклад, 4, 8, 16, 32, 64 і т.д. Найближча ступінь двох для числа 1000 буде  $2^{10}$ , тобто число 1024. Тому 1 кілобайт дорівнює 1024 байтам. Аналогічно 1 мегабайт*

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
	Стор. 112 із 131		

*дорівнює 1024 кілобайтам. А один гігабайт дорівнює 1024 мегабайтам.*

Як і **шина даних, адресна шина** являє собою набір програм, через які двійкові числа передаються в електронному вигляді. Однак на відміну від шини даних двійкові числа, які передаються по адресній шині, мають інше значення і призначення. Кількість розрядів адресної шини дуже різноманітно.

Кількість бітів адресної шини визначає, до скількох осередків пам'яті може адресувати процесор. Процесор шістнадцятибітною шиною даних може отримати доступ до  $2^{16}$  (тобто 65536) осередків пам'яті. Це число називається **обсягом пам'яті, що адресується**.


Фактичний обсяг підключеної пам'яті може бути менше, але не більше цього значення. Якщо все ж є необхідність підключити більше пам'яті, використовуються спеціальні схеми (перемикань банки пам'яті). У кожен раз до мікропроцесора підключається банк пам'яті. Мікропроцесор сам управляє перемиканням банків.

#### Приклад

*Для адресації комірок пам'яті 1024 потрібна адресна шина, яка має рівно 10 біт. Тобто до адресної шини в 10 біт можна підключити максимум 1024 осередки пам'яті. Якби ми підключили 1000 осередків, нам все одно довелося б використовувати 10 біт адреси, які в даному випадку не були б повністю використані. Тому ви ніколи не зіткнетеся з чіпом пам'яті, який має 1000 осередків. Саме з цієї причини фактичний обсяг пам'яті будь-якої мікропроцесорної системи, навіть якщо він менше максимально можливого обсягу для заданої розрядності адресної шини, завжди буде кратний ступеню двійки.*

**Обсяг пам'яті визначається в байтах.** Скільки комірок пам'яті, скільки



	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 113 із 131	

байтів. Існує поняття кілобайт, мегабайт, гігабайт, терабайт і т.д. Однак в обчислювальній техніці використовується незвичайний спосіб підрахунку кількості байтів в кілобайті.

Такий спосіб підрахунку може здатися дивним. Але це тільки на перший погляд. Насправді тут застосовуються ті ж закономірності, що і у випадку з декодером. Згадайте повні і неповні декодери. Щоб зробити це більш зрозумілим, наведу один невеликий приклад.


Та ж адресна шина використовується для адреси портів вводу-виводу. Але мікропроцесору зазвичай не потрібно стільки портів, скільки осередків пам'яті. Тому найчастіше для адреси портів використовується не вся шина даних, а лише кілька її бітів низького порядку.

### **Шина керування**

**Шина керування** не є повноцінною цифровою шиною в строгому сенсі. Просто для управління обміном інформацією мікропроцесорна система повинна мати **набір ліній**, які передають спеціальні сигнали управління. Ці лінії зазвичай об'єднуються в так звану шину управління. Що це за лінії і які сигнали? Нижче представлений приблизний набір ліній управління шиною.

- **RD** (Read) — Зчитування сигналу.
- **WR** (Write) — сигнал запису.
- **MREQ** — Сигнал ініціалізації пристроїв пам'яті (ОЗП або ПЗП).
- **IORQ** — Сигнал ініціалізації порту вводу-виводу.
- Крім того, до сигналів шини керування відносяться:
- **READY** — сигнал готовності;
- **RESET** — сигнал скидання.

І ще кілька спеціальних сигналів, про які ми поговоримо пізніше.

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 114 із 131	

## Принцип роботи мікропроцесорної системи


Тепер, коли ми вивчили всі елементи мікропроцесорної системи, прийшов час зрозуміти, як вона працює. Звернемося ще раз до **рис.2.1**. Як вже було сказано вище, основним елементом системи є центральний **процесор (CPU)**.

Відносно будь-яких периферійних пристроїв процесор може в будь-який момент часу виконувати одну з **чотирьох основних операцій**: читання з комірки пам'яті; запис в комірку пам'яті; читання з порту; запис в порт. При роботі з пам'яттю процесор активує сигнал на виході MREQ. Сигнал на виході IORQ залишається неактивним. При роботі з портами вводу-виводу вірно зворотнє: Сигнал IORQ активний, а сигнал MREQ неактивний. Активний рівень зазвичай є логічним нулем.

Тепер давайте докладніше розглянемо, як відбувається запис і зчитування пам'яті. Для того щоб прочитати байт з комірки пам'яті, процесор спочатку задає адресу потрібної комірки на адресній шині. Потім процесор переводить сигнал RD в активний стан (логічний нуль). Цей сигнал йде як на пристрої пам'яті, так і на порти вводу-виводу.

Однак порти не відповідають на нього, оскільки відключені високим рівнем сигналу IORQ. Пристрій пам'яті, навпаки, приймає сигнали RD і MREQ і відправляє в шину даних байти інформації з осередку пам'яті, адреса якого присутній на адресній шині.

Процес запису даних в пам'ять відбувається в такій послідовності. Спочатку, як і при читанні, центральний процесор задає адресу потрібної комірки пам'яті адресної шині. Потім він встановлює байт на шині даних для запису в цю комірку. Потім процесор встановлює в нуль сигнал WR. Після отримання всіх цих сигналів оперативна пам'ять записує байт в обрану комірку.

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 115 із 131	

При роботі з системами пам'яті часто використовується інший сигнал. Це сигнал готовності. Вона необхідна в тому випадку, якщо модулі пам'яті повільні, і така пам'ять може не встигнути видати інформацію або записати її так швидко, як може центральний процесор.

Щоб погодити повільні пристрої пам'яті з швидкими процесорами, є сигнал READY. Як тільки процесор переводить сигнал читання або запису в активний стан, пристрій пам'яті виводить сигнал «не готовий», а значить, переводить лінію READY в пасивний нульовий стан.

Сигнал READY надходить на процесор. Процесор робить паузу і переходить в режим очікування. Коли пристрій пам'яті закінчує читання (запис), воно встановлює сигнал READY в один (стан готовності). Отримавши цей сигнал, процесор відновлює свою роботу.


**Зчитування** з порту і **запис** в порт аналогічні операціям читання/запису RAM. Єдина відмінність полягає в тому, що замість сигналу MREQ активний сигнал IORQ, що дозволяє портам працювати. Сигнал READY також використовується для роботи з повільними зовнішніми пристроями.

### **Алгоритм работы микропроцессорной системы**

#### **Возможности процессора**

Ми дізналися, як мікропроцесор працює з периферійними пристроями – процесор зчитує цифри з цих пристроїв і записує інформацію. Однак, крім читання і запису, процесор виконує безліч інших операцій по обробці отриманої інформації.

З електронними числами процесор здатний здійснювати будь-які види перетворень, які взагалі можливі з числами. Він може складати числа, віднімати, порівнювати між собою. Крім того, він здатний змішувати цифри двійкового

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 116 із 131	

числа вправо або вліво, порозрядно логічні операції. До логічних операцій відносяться:

- логічне множення (операція «AND»);
- Логічне додавання (ОПЕРАЦІЯ «OR»);
- інверсія (операція «NOT»).

Деякі процесори також здатні виробляти множення і ділення. Однак потрібно розуміти, що всі ці операції мікропроцесор виконує простими восьмибітними (іноді шістнадцятибітними) двійковими числами. Всі перераховані вище операції виконуються **апаратним способом**.

Для цього мікропроцесор містить ряд логічних модулів. Всі вони складаються з набору логічних елементів, регістрів і так далі. **Прикладом** може служити **суматор**. Головна **особливість** мікропроцесора полягає в тому, що всі ці операції виконуються між простими двійковими числами одного (іноді двох) байтів. Але цього достатньо.


Будь-яку більш складну задачу завжди можна розкласти на більш прості компоненти і звести до операцій з байтами. Наприклад, для того щоб помножити два багатобітних десяткових числа, можна спочатку перевести їх в двійкову форму і записати кожне таке число в кілька осередків пам'яті. Потім зробіть невелику програму, яка буде множити ці числа байтами на байт, і результати будуть зберігатися з урахуванням розрядності. Головне - скласти правильний алгоритм.

### Програма

*Програма - це послідовність операцій, які повинен виконувати процесор.*

*Він записується в пам'ять у вигляді послідовності кодів.*

Отже, як змусити процесор робити всі ці речі в тій послідовності, яку ми хочемо? Для цього вам потрібно створити **програму**. Кожна операція, яку здатний

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 117 із 131	

виконати конкретний мікропроцесор, кодується певним числом. Цей номер називається **кодом операції**. Коди операцій записуються послідовно, один за одним, в пам'ять мікропроцесорної системи (в оперативній пам'яті або в ПЗП). Процесор зчитує операційні коди послідовно, байти за байтами і виконує їх у міру надходження.


У простих процесорах досить одного байта, щоб закодувати всі інструкції. Одна команда, один байт. У більш складних процесорах кількість інструкцій збільшується настільки, що для їх кодування недостатньо одного байта, в цьому випадку для кодування інструкцій використовуються два, а іноді і більше байтів. Більш того, найчастіше використовується гнучка система кодування. У такій системі одні команди кодуються одним байтом, інші - двома і так далі. Причому кодування враховує частоту застосування тієї чи іншої команди. Чим частіше команда з'являється в програмах, тим коротше її код.

Для кодування команд недостатньо вказати код, який визначає тип операції. Наприклад, для отримання інструкції про додавання двох цифр процесор повинен вказати:

- Адреса комірки, де зберігається перше число.
- Адреса другого числа;
- адреса, де розмістити результат.

Тому кожна команда, крім коду операції, може містити один або кілька параметрів. Це не обов'язково операційні адреси (як в наступному прикладі); параметрами можуть бути константи, допоміжні номери регістрів та інші спеціальні коди.

Існують різні **способи кодування команд**. Іноді команда складається з двох байтів. Перший байт - це код операції, а другий - параметр. Іноді вся команда разом

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 118 із 131	

з параметрами вписується в єдиний байт. При цьому частина бітів цього байта - це код операції, а інша частина - параметр.

Є й інші варіанти. Мікропроцесори серії AVR використовують одне двобайтове слово для кодування кожної інструкції. Для деяких особливо складних команд кодування може складатися з двох і більше слів.

### Процес виконання команд


Тепер давайте розглянемо **процес виконання програми**. Для того щоб мікропроцесор міг послідовно читати інструкції з пам'яті, всередині нього є спеціальний реєстр, званий **адресним реєстром** або **лічильником інструкцій**. У цьому реєстрі зберігається адреса виконуваної в даний момент команди.

Робота мікропроцесора **завжди починається з початкової процедури скидання**. Скидання мікропроцесора зводиться до установки всіх його реєстрів в початковий стан. Після скидання в адресному реєстрі записується адреса початку роботи програми. Адреса початку програми залежить від моделі мікропроцесора і визначається її розробником. Більше

в цілому ця адреса дорівнює нулю.

Як тільки початковий процес скидання буде завершено, програма запускається. Почнемо з того, що процесор зчитує число з пам'яті програм, тобто з осередку, адреса якої записаний в адресному реєстрі. У нашому випадку з комірки з нульовою адресою. Прочитане число він сприймає як **код першої команди**.

Процесор аналізує код і виконує відповідну інструкцію. Якщо команда передбачає один або кілька байтів параметрів, процесор перед виконанням інструкції зчитує необхідну кількість байтів з наступних осередків пам'яті, кожен раз збільшуючи вміст адресного реєстра.

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 119 із 131	


Після виконання першої інструкції процесор знову збільшує значення лічильника інструкцій на одиницю і приступає до читання і виконання наступної інструкції. Цей процес повторюється нескінченно довго, поки напруга живлення подається на процесор. Таким чином, нормально працюючий процесор завжди знаходиться в процесі запуску програми.

Однак є **кілька винятків**. Зокрема, набір інструкцій мікропроцесора зазвичай має спеціальну **команду зупинки**. Якщо така інструкція зустрічається під час виконання програми, процесор зупиняється. Тобто зупиняє виконання програми. В цьому випадку запустити процесор можна тільки після скидання системи або в результаті зовнішнього переривання. Мова піде про те, що таке переривання.

Другий виняток – **режим сну**. Деякі моделі мікроконтролерів здатні перейти в спеціальний низькоенергетичний режим, званий режимом сну або режимом сну. У сплячому режимі програма також призупинена. Режим сну зручний, коли мікропроцесорна система змушена тривалий час перебувати в режимі очікування. Наприклад, очікування натискання кнопки Пуск. Такий процесор здатний в потрібний момент прокинутися від сну і продовжити роботу.

### **Робочі регістри**

Кроме регистра адреса, любой микропроцессор обязательно имеет несколько рабочих регистров (так называемых **регистров общего назначения**). Эти регистры наряду с ячейками памяти предназначены для хранения промежуточных результатов вычислений. Преимущество внутренних регистров для хранения данных перед памятью данных — в скорости доступа. При доступе к этим регистрам не нужно указывать адрес, как в случае с доступом к ячейке памяти. Так, команда записи в память состоит минимум из двух байт: кода операции и адреса ячейки памяти.

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 120 із 131	

Крім адресного реєстра, будь-який мікропроцесор обов'язково має кілька робочих реєстрів (так званих реєстрів **загального призначення**). Ці реєстри разом з осередками пам'яті призначені для зберігання проміжних результатів обчислень. Перевагою внутрішніх реєстрів для зберігання даних перед пам'яттю даних є швидкість доступу. При зверненні до цих реєстрів не потрібно вказувати адресу, як у випадку з доступом до комірки пам'яті. Наприклад, команда запису пам'яті складається як мінімум з двох байтів: ідентифікатора операції і адреси комірки пам'яті.

Іноді однієї клітинки недостатньо для запису адреси. Якщо адресна шина процесора - 16 біт, для звернення до комірки пам'яті потрібно два байта. Тому така інструкція буде містити не менше трьох байт. Інструкція, яка працює з внутрішніми мікропроцесорними реєстрами, зазвичай складається з одного байта.


Сам **операційний код** містить інформацію про номер використовуваного реєстра. Читання і виконання таких інструкцій відбувається набагато швидше. Крім того, зовнішня пам'ять часто має меншу швидкість, ніж процесор. Наявність декількох внутрішніх областей з швидким доступом дозволяє оптимально використовувати пам'ять. Часто використовувані дані намагаються помістити в робочі реєстри.

Серія мікроконтролерів AVR використовує окрему пам'ять для зберігання програм, кожна комірка якої складається з одного шестибітного слова. Тобто кожна інструкція складається як мінімум з двох байтів. Ці два байти містять і код операції, і параметри. Якщо відсутні два байти, додаються ще два байти. Тобто байти завжди читаються парами.

### **команды микропроцессора**

Тепер зупинимось більш детально на командах, які підлягають виконанню.



	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 121 із 131	

Весь набір інструкцій будь-якого мікропроцесора можна розділити на кілька груп.

**Перша група** - це **команди переміщення даних**. Підкоряючись цим інструкціям, процесор копіює вміст однієї комірки пам'яті в іншу, копіює інформацію з осередку пам'яті в один з внутрішніх регістрів або, навпаки, копіює вміст регістра в одну з осередків пам'яті. Крім того, дані можуть бути скопійовані з одного внутрішнього регістру в інший.

Слід зазначити, що так звані **команди переміщення**, по суті, не переміщують дані з осередку в осередок, а копіюють ці дані. Функціонування руху в цифровій техніці безглуздо. У загальноприйнятому розумінні переміщення означає видалення з одного місця і заміну його в іншому. Але видалити дані з осередку пам'яті неможливо!


Будь-який біт будь-якої комірки пам'яті завжди або дорівнює нулю, або одиниці. Тобто він завжди містить число. Тому команди переміщення зчитують байт даних з вихідної комірки і записують їх в осередок призначення. Однак дані у вихідній комірці не змінюються.

До **другої групи** належать **команди перетворення даних**, які включають додавання, віднімання, логічне перетворення, бітовий зсув і так далі.

До **третьої групи** належать **команди передачі управління**. Це клас команд, про які хотілося б поговорити більш детально. Складно уявити собі програму, що складається всього з одного послідовного ланцюжка команд. Переважна кількість алгоритмів вимагає роздвоєння програми. Це означає, що програма повинна вміти виконувати різні послідовності дій в залежності від якоїсь умови.

*Приклад*

*Припустимо, що наш мікропроцесор має кнопки управління. Кожна кнопка повинна виконувати свою певну дію; наприклад, при натисканні на одну кнопку механізм виконання*

	Система менеджменту якості. <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 122 із 131	

повинен повернути вліво. Коли ви натиснете на інший, поверніть праворуч і так далі. Щоб це стало можливим, програма періодично зчитує стан кнопок, а потім програма повинна оцінити їх стан. Якщо натискається перша кнопка, виконуються деякі подальші команди, що видають код на відповідний порт, що веде до включення мотора в прямому напрямку. Якщо натискається друга кнопка, виконується інша послідовність команд, що видає на той же порт зовсім інший код. Цей код повинен привести до того, що двигун буде включений в зворотному напрямку.

Очевидно, що для того щоб реалізувати даний алгоритм, необхідно перервати послідовне виконання команд. Щоб програма змогла змінювати алгоритм своєї роботи в залежності від будь-якої умови, в командній системі будь-якого процесора повинні бути команди для передачі управління. Команди передачі управління включають такі типи команд: команди умовного переходу; команди безумовного переходу; команди переходу до підпрограми; команди організації циклу. Давайте розглянемо всі ці види команд по порядку.

### Домашнє завдання


1. Перевести дане число з десяткової системи числення в двійкову, вісімкову і шістнадцяткову системи числення.
2. Перевести дане число в десяткову систему числення.

#### Варіант 1

1. а) 777; б) 305; в) 153,25; г) 162,25; д) 248,46.
2. а) 11001110112; б) 10000001112; в) 10110101,12; г) 100000110,101012; д) 671,248; е) 41A,616.

#### Варіант 2

1. а) 164; б) 255; в) 712,25; г) 670,25; д) 11,89.
2. а) 10011100112; б) 10010002; в) 1111100111,012; г) 1010001100,1011012; д) 413,418; е) 118,8C16.

	<p>Система менеджменту якості.  <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b>  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 123 із 131	

### Варіант 3

- а) 273; б) 661; в) 156,25; г) 797,5; д) 53,74.
- а) 11000000002; б) 11010111112; в) 1011001101,000112; г) 1011110100,0112; д) 1017,28; е) 111,В16.

### Варіант 4

- а) 105; б) 358; в) 377,5; г) 247,25; д) 87,27.
- а) 11000010012; б) 11001001012; в) 1111110110,012; г) 11001100,0112; д) 112,048; е) 334,А16.

### Варіант 5

- а) 500; б) 675; в) 810,25; г) 1017,25; д) 123,72.
- а) 11010100012; б) 1000111002; в) 1101110001,0110112; г) 110011000,1110012; д) 1347,178; е) 155,6С16 .

### Варіант 6

- а) 218; б) 808; в) 176,25; г) 284,25; д) 253,04.
- а) 1110001002; б) 10110011012; в) 10110011,012; г) 1010111111,0112; д) 1665,38; е) FA,716.

### Варіант 7

- а) 306; б) 467; в) 218,5; г) 667,25; д) 318,87.
- а) 11110001112; б) 110101012; в) 1001111010,0100012; г) 1000001111,012; д) 465,38; е) 252,3816.


### Варіант 8

- а) 167; б) 113; в) 607,5; г) 828,25; д) 314,71.
- а) 1100100012; б) 1001000002; в) 1110011100,1112; г) 1010111010,11101112; д) 704,68; е) 367,3816.

### Варіант 9

- а) 342; б) 374; в) 164,25; г) 520,375; д) 97,14.
- а) 10001101102; б) 1111000012; в) 1110010100,10110012; г) 1000000110,001012; д) 666,168; е) 1С7,6816.

### Варіант 10

	<p>Система менеджменту якості.  <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b>  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 124 із 131	

1. а) 524; б) 222; в) 579,5; г) 847,625; д) 53,35.
2. а) 101111112; б) 11111001102; в) 10011000,11010112; г) 1110001101,10012; д) 140,228; е) 1DE,5416.

#### Варіант 11

1. а) 113; б) 875; в) 535,1875; г) 649,25; д) 6,52.
2. а) 111010002; б) 10100011112; в) 1101101000,012; г) 1000000101,010112; д) 1600,14; е) 1E9,416.

#### Варіант 12

1. а) 294; б) 723; в) 950,25; г) 976,625; д) 282,73.
2. а) 100000110012; б) 101011002; в) 1101100,012; г) 1110001100,12; д) 1053,28; е) 200,616.

#### Варіант 13

1. а) 617; б) 597; в) 412,25; г) 545,25; д) 84,82.
2. а) 1101111012; б) 11100111012; в) 111001000,012; г) 1100111001,10012; д) 1471,178; е) 3EC,516.

#### Вариант 14

1. а) 1047; б) 335; в) 814,5; г) 518,625; д) 198,91.
2. а) 11011000002; б) 1000010102; в) 1011010101,12; г) 1010011111,11012; д) 452,638; е) 1E7,0816.

#### Варіант 15


1. а) 887; б) 233; в) 801,5; г) 936,3125; д) 218,73.
2. а) 10101000012; б) 100000101012; в) 1011110000,1001012; г) 1000110001,10112; д) 1034,348; е) 72,616.

#### Варіант 16

1. а) 969; б) 549; в) 973,375; г) 508,5; д) 281,09.
2. а) 101000102; б) 11100101112; в) 110010010,1012; г) 1111011100,100112; д) 605,028; е) 3C8,816.

#### Варіант 17

1. а) 163; б) 566; в) 694,375; г) 352,375; д) 288,61.
2. а) 10011010012; б) 1100111012; в) 1000001101,012; г) 1010001001,110112; д)

	<p>Система менеджменту якості.  <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b>  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 125 із 131	

247,18; е) 81,416.

#### Варіант 18

1. а) 917; б) 477; в) 74,5; г) 792,25; д) 84,33.

2. а) 11100111002; б) 11111011112; в) 111110100,1012; г) 110011110,10000112; д) 1446,628; е) 9C,D16.

#### Варіант 19

1. а) 477; б) 182; в) 863,25; г) 882,25; д) 75,2.

2. а) 1010111002; б) 10000100112; в) 11100011,12; г) 100101010,000112; д) 1762,78; е) 1B5,616.

#### Варіант 20

1. а) 804; б) 157; в) 207,625; г) 435,375; д) 30,43.

2. а) 100100002; б) 110010102; в) 1110101100,10112; г) 110110101,101112; д) 1164,368; е) 1D5,C816.

#### Варіант 21

1. а) 753; б) 404; в) 111,1875; г) 907,0625; д) 62,88.

2. а) 111000112; б) 11110011112; в) 101111111,010012; г) 1001011101,0112; д) 615,728; е) 3DA,516.

#### Варіант 22

1. а) 571; б) 556; в) 696,25; г) 580,375; д) 106,67.

2. а) 1100110102; б) 1110010102; в) 1000010011,001012; г) 11010110,000012; д) 1343,668; е) 3C3,616.

#### Варіант 23


1. а) 244; б) 581; в) 351,6875; г) 1027,375; д) 151,44.

2. а) 10011001112; б) 11000100102; в) 1100110010,11012; г) 1001011,01012; д) 171,38; е) 3A3,416.

#### Варіант 24

1. а) 388; б) 280; в) 833,5625; г) 674,25; д) 159,05.

2. а) 110011112; б) 1010011012; в) 101001101,0010012; г) 100101011,1012; д) 750,518; е) 90,816.

	<p>Система менеджменту якості.          НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС          навчальної дисципліни          «Програмування мікроконтролерів для          електроенергетичних систем забезпечення          польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 126 із 131	

### Варіант 25

- а) 386; б) 608; в) 398,6875; г) 270,25; д) 317,32.
- а) 110000012; б) 11111111102; в) 1110100010,101012; г) 1001011001,0112; д) 1335,28; е) 18F,816.

### Варіант 26

- а) 76; б) 279; в) 572,25; г) 477,375; д) 184,97.
- а) 10011011112; б) 10110110002; в) 1110100,00112; г) 1000001010,010012; д) 1234,28; е) 1DD,216.

### Варіант 27

- а) 1003; б) 780; в) 74,375; г) 204,25; д) 241,39.
- а) 10100012; б) 110011012; в) 1010101000,1012; г) 110011001,012; д) 1031,58; е) 158,2416.

### Варіант 28

- а) 262; б) 414; в) 330,5; г) 541,6875; д) 115,41.
- а) 10010110012; б) 10001012; в) 11101111,1012; г) 111100011,12; д) 150,448; е) 377,716.

### Варіант 29

- а) 775; б) 523; в) 432,25; г) 158,3125; д) 1,09.
- а) 1011101102; б) 10100102; в) 1001100,1100112; г) 1001000111,100112; д) 236,638; е) 148,616.


### Варіант 30

- а) 149; б) 93; в) 463,6875; г) 184,75; д) 61,52.
- а) 11001101012; б) 1000010002; в) 1010100111,012; г) 111111001,10112; д) 1636,248; е) C7,7816.


## Рекомендована література

### Базова література

- Програмування мікроконтролерів AVR: [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця :

	Система менеджменту якості. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів для електроенергетичних систем забезпечення польотів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 127 із 131	

- ВНТУ, 2018. – 111 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL :[http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik\\_2018\\_111.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Tsirulnik_2018_111.pdf)
2. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. -Електронні текстові дані (1 файл: 819.13 Кбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 55 с.
  3. Мирончук, О. Ю. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 53 с.
  4. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 462 с.
  5. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] : підручник / А. О. Новацький ;

	<p>Система менеджменту якості.          НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС          навчальної дисципліни          «Програмування мікроконтролерів для          електроенергетичних систем забезпечення          польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 128 із 131	


КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 361 с.

6. Основи проектування систем Інтернету речей. Периферія мікроконтролерів STM32: конспект лекцій [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за сертифікатною програмою «Електронні охоронні системи та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ю. О. Оникієнко, А. Р. Рижова. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.29 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 127 с.

### **Допоміжна література.**

1. ATtiny2313A/ATtiny4313 DATASHEET – Atmel Corporation. – 274 с.
2. Новацький, А. О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Частина 2. Проектування мікропроцесорних систем. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» / А. О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 268 с.
3. Програмування для мікропроцесорних систем. Навчальний посібник до виконання модульної контрольної роботи [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. - Електронні текстові дані (1 файл: 1.02 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 21 с.
4. Мікропроцесори та мікроконтролери. Курс лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 153 «Мікро- та



	<p>Система менеджменту якості.  <b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b>  навчальної дисципліни  «Програмування мікроконтролерів для  електроенергетичних систем забезпечення  польотів»</p>	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.07–01–2022
		Стор. 129 із 131	

наносистемна техніка», освітньої програми «Мікро- та наноелектроніка» / КПП ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Д. Д. Татарчук, Ю. В. Діденко. – Електронні текстові дані (1 файл: 19,5 Мбайт). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 238 с.



