

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему: **Комп'ютеризована система для вимірювання кутової
швидкості рухомих об'єктів**

Виконав: студент 4 курсу, групи MT-1

Спеціальності: 152 «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»

Криворучко М. Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник: доцент кафедри М та ІВТ

кандидат технічних наук

Чепюк Л.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доцент Швабурський Р.О.
доцент каф. АІТ ІТ ім. проф. Б.Б. Селівановича

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Житомир – 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« 15 » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент _____ Криворучко Максим Геннадійович

1. Тема роботи: Комп'ютеризована система для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів

затверджена наказом по університету від « 02 » травня 2022 р. № 147/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 24 » червня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи об'єкт управління – комп'ютеризована система вимірювання, параметр вимірювання – кутова швидкість рухомого об'єкту, діапазон вимірювання кутової швидкості 0,5 ... 80 рад/с, похибка вимірювання кутової швидкості 0,5

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) огляд та аналіз методів вимірювання кутової швидкості, розробка структурної схеми, розробка принципової схеми, конструкторська частина, розробка алгоритму та програми роботи системи, розрахунок метрологічних характеристик, оцінка показників надійності роботи системи, безпека життєдіяльності та охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень) структурна схема, електрична принципова схема, перелік елементів, топологія друкованої плати, блок-схема алгоритму роботи системи

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-8	Чепюк Л. О.		

7. Дата видачі завдання 15.04.2022

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз методів вимірювання кутової швидкості	25.02.22 – 15.03.22	
2	Розробка структурної схеми	16.03.22 – 15.04.22	
3	Розробка електричної принципової схеми	16.04.22 – 24.04.22	
4	Розробка топології друкованої плати	25.04.22 – 09.05.22	
5	Розробка алгоритму та програми системи	10.05.22 – 24.05.22	
6	Розрахунок метрологічних характеристик	25.05.22 – 03.06.22	
7	Розрахунок надійності	04.06.22 – 15.06.22	

Студент


(підпис)

Криворучко М. Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Чепюк Л. О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризовану систему на основі мікроконтролеру для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів. Розроблено систему, що дозволяє проводити аналіз перехідних процесів та контролю регульованої величини, а сам пристрій у найпростішому випадку можна застосувати в якості тахогенератора цифрового електроприводу.

Ключові слова: кутова швидкість, рухомий об'єкт, комп'ютеризована система, енкодер.

ABSTRACT

In this qualification work was developed a computerized system based on a microcontroller for measuring the angular velocity of moving objects. A system has been developed that allows the analysis of transients and control of the adjustable value, and the device itself in the simplest case can be used as a tachogenerator of a digital electric drive.

Keywords: angular velocity, moving object, computerized system, encoder.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота представлена пояснювальною запискою в обсязі 79 сторінок формату А4, записка містить вступ, основну частину, що складає вісім розділів, висновки, список використаних джерел та додатків. Темою роботи є розробка комп'ютеризованої системи для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів.

Перший розділ містить основні завдання та вимоги до виробу, а саме: умови експлуатації, технічні характеристики, надійність та конструктивне оформлення.

Другий розділ містить загальний огляд датчика кутової швидкості, було визначено найбільш практичний датчик та обрано доцільний метод програмного опрацювання вимірів.

Третій розділ містить огляд основних існуючих систем вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів, також виконано розробку структурної схеми комп'ютеризованої системи для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів.

Четвертий розділ містить опис обраної елементної бази та розраховано основні параметри системи на основі отриманих даних розроблено електричну принципову схему.

П'ятий розділ містить огляд розробленого компонування та трасування друкованої плати системи.

Шостий розділ містить огляд розробленого алгоритмічного та програмного забезпечення для комп'ютеризованої системи вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів.

Сьомий розділ містить розрахунок основних метрологічних характеристик системи, а саме похибка датчика кутової швидкості та вимірювального каналу, визначено клас точності розробленої системи.

Останній розділ містить розрахунок надійності приладу, графічно зображено залежність безвідмовної роботи виробу протягом часу.

ЗМІСТ

	стор
ВСТУП	8
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	9
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ	10
2.1. Застосування інтелектуальних датчиків у інформаційно-вимірювальних системах	10
2.2. Пристрій для вимірювання кутової швидкості	11
2.2.1. Класифікація та застосування датчика кутової швидкості	12
2.2.2. Будова та принцип роботи датчика вимірювання кутової швидкості	15
2.2.3. Методи опрацювання вимірів	18
2.3. Висновки до розділу	20
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ	21
3.1. Аналіз існуючих систем вимірювання кутової швидкості	21
3.2. Структурна схема комп'ютеризованої системи для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів	24
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ	26
4.1. Вибір датчика кутової швидкості	26
4.2. Вибір мікроконтролера	28
4.3. Вибір індикатора	32
4.4. Вибір панелі керування	37
4.5. Інтерфейс сполучення комп'ютера	38
4.6. Розрахунок параметрів системи	40
4.7. Опис принципової схеми комп'ютеризованої системи для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів	41

					МММТ.480.004.004 – ПЗ				
Вим	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютеризована система для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів	Лім.	Лист	Листів	
Розроб.		Криворучко М.Г.							
Перевір.		Чепюк Л.О.					6	79	
Реценз.		Шевченко Л.О.				Державний університет «Житомирська політехніка», гр. МТ-1			
Н. Контр.		Чепюк Л.О.							
Затверд.		Подчашинський Ю.О.							
					Пояснювальна записка				

	стор
4. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	43
4.1. Компонування друкованої плати	43
4.2. Трасування друкованої плати	47
5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ РОБОТИ СИСТЕМИ	49
6. РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	54
7. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ	57
8. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	61
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65
ДОДАТКИ	67

ВСТУП

У наш час науково-технічний прогрес характеризується щоденною розробкою нової техніки, прискорення якої значною мірою залежить від успіхів сучасної мікроелектроніки.

Одним з найпоширеніших напрямків зайняла цифрова техніка, що призначена для формування, обробки та передачі електричних імпульсних сигналів. Цифрові пристрої займають панівне місце у багатьох галузях науки й техніки, що зумовлено суттєвим зменшенням споживчої енергії, кращою адаптацією до змін зовнішніх умов, а також більшою стійкістю до перешкод.

Розвиток вимірювальної техніки також зазнав змін з появою таких пристроїв, через те, що засоби цифрової вимірювальної техніки краще сполучаються із засобами обчислювальної техніки, мають високу точність та швидкодію.

Новітні електроприводи, що використовуються для оцінки істинних значень кутової швидкості або кутового положення валу робочого органу використовують оптоелектронні датчики переміщення (енкодери), що фактично стали незамінними та мають широку сферу застосувань у різних видах промисловості.

Метою даною даної кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютеризованої системи, що призначена для вимірювання та обробки (збір, перетворення та зображення даних) кутової швидкості рухомих об'єктів. За допомогою такої системи можна проводити аналіз перехідних процесів та контролю регульованої величини, а сам пристрій у найпростішому випадку можна застосувати в області цифрових електроприводів або тахогенераторів.

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Підстава для розробки, призначення та галузь застосування

Підставою для розробки є завдання на дипломне проектування.

Система призначена для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів.

Потрібно розробити структурну схему системи та вибрати елементну базу, розробити електричну принципову схему системи вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів. Розробити програмно-алгоритмічне забезпечення та оцінити точність системи вимірювання.

Початок розробки – лютий 2022 р. Кінець розробки – червень 2022 року.

1.2. Умови експлуатації

1.2.1. Температура зовнішнього середовища від 0 до +45 °С

1.2.2. Відносна вологість не більше 80%

1.2.3. Атмосферний тиск 600-800 мм. рт. ст.

1.2.4. Хімічно активних речовин немає

1.2.5. Характер роботи неперервний

1.3. Вимоги до технічних характеристик

1.3.1. Об'єкт розробки – комп'ютеризована система вимірювання

1.3.2. Параметр вимірювання – кутова швидкість рухомого об'єкту

1.3.3. Діапазон вимірювання кутової швидкості, рад/с. 0,5 ... 80

1.3.4. Похибка вимірювання кутової швидкості, %. $\pm 0,5$

1.3.5. Відображати отримані значення на індикаторі.

1.3.6. Джерело живлення + 5 В постійного струму

1.4. Вимоги до надійності

Система є що відновлюється, не резервується, ремонтпридатною. Наробіток на відмову складає не менше 75000 годин.

1.5. Вимоги до конструктивного оформлення

Пристрій виконати на стандартній платі і в стандартному корпусі

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ

2.1. Застосування інтелектуальних датчиків у інформаційно-вимірювальних системах

Інформаційні технології все глибше проникають у всі сфери науково-технічної діяльності людського суспільства. Центральною ланкою таких систем є технології інженерних знань, тому значні успіхи багато в чому визначаються інтелектуальним рівнем і загальною ефективністю комп'ютерних систем.

Датчики являють собою найважливіші частини мікропроцесорних систем управління технологічними об'єктами та виробництвом в цілому, з однофункціональних засобів визначення поточних значень вимірюваних величин, вони поступово перетворюються в багатфункціональні засоби автоматизації, які вирішують цілий ряд завдань з діагностики, опрацювання та виконання простих алгоритмів управління на основі вимірювальної інформації. Неодмінна умова такого датчика це можливість самонавчання і самовідновлення при виникненні певного збою, тому вони можуть функціонувати, як в автономному, так і в інтерактивному режимі, при цьому забезпечуючи стабільну роботу протягом тривалого періоду навіть при зміні умов експлуатації.

Впровадження подібних інформаційно-вимірювальних пристроїв дозволяє не лише проводити вимірювання різноманітних величин, але й запам'ятовувати ряд вимірювань, проводити їх обробку та аналіз. Ще одною особливістю є можливість обміну між зовнішніми (периферійними) пристроями або показ даних на цифрових та графічних індикаторах. При необхідності розширення функціональних можливостей, оперативного отримання інформації та візуалізації результатів вимірювань тягне за собою значне ускладнення алгоритму роботи, збільшення параметрів процесора, обсягу пам'яті тощо.

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

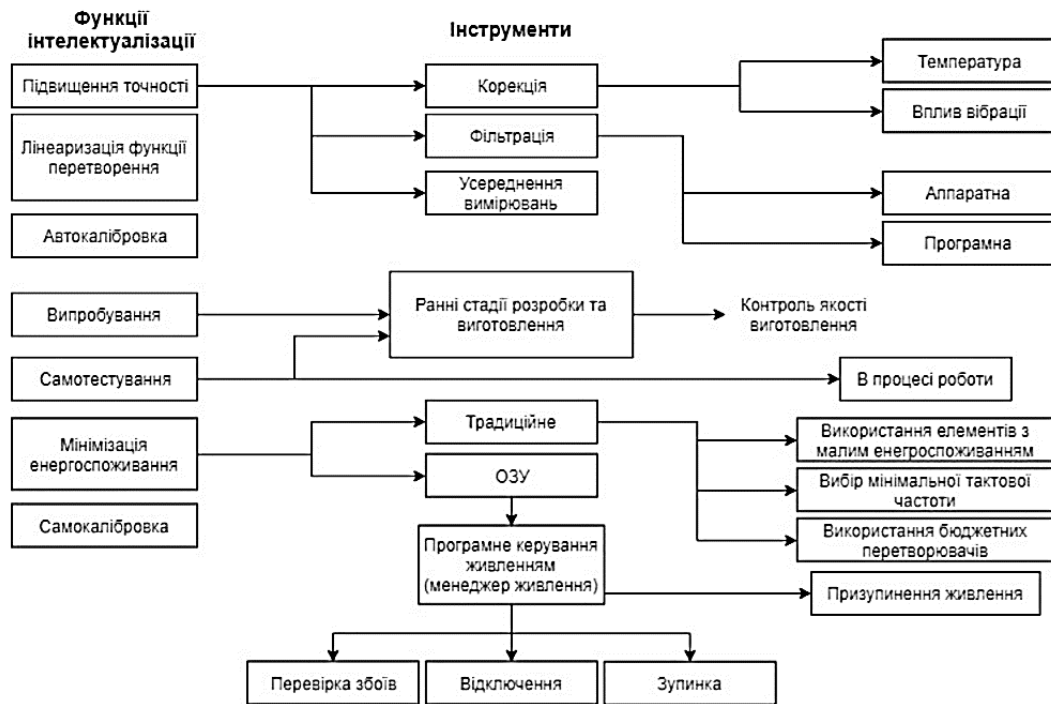


Рис. 2.1. Основні функції інтелектуалізації пристрою

Аналізуючи визначення з різних джерел, можна виділити наступні фактори інтелектуалізації починаючи з найбільш суттєвих:

1. Наявність обчислювального блоку та первинна обробка даних;
2. Виконання обчислювальним блоком коригуючої функції;
3. Виконання обчислювальним блоком інших додаткових функцій, а саме статистична обробка даних, калібрування, самодіагностика, зберігання даних тощо.

Необхідно відзначити, що для подальшої обробки даних і інтеграції таких датчиків у вимірювальні системи й комплекси, видача вимірювальних даних в цифровому вигляді є обов'язковою.

2.2. Пристрій для вимірювання кутової швидкості

Енкодер – прилад, що конвертує кутове або лінійне переміщення в послідовність сигналів. Відомий ще як датчик кутового положення - перетворює кут повороту об'єкта, що обертається (вал) в електричні сигнали, що дозволяють визначити той же кут повороту (валу), напрямок його обертання та положення щодо осі [1].

2.2.1. Класифікація та застосування датчика кутової швидкості

Енкодери мають широку сферу застосування в різних видах промисловості, металообробці, ліфтовій техніці, автоматах для фасування, пакування і розливу, у випробувальних стендах, а також в роботах і інших машинах, які потребують точної реєстрації показників руху частин. Вони практично повністю замінили широко поширені раніше сельсини.

Розвиток даного пристрою не зупиняється і на разі його вже використовують у сучасних вимірювальних приладах у якості високоточного пристрою виміру кутів обертання, поворотів та нахилів.

Енкодери зазвичай поділяються за характеристиками та загальним принципом роботи, основними групами яких є магнітні, оптичні, інкрементальні та абсолютні енкодери.

Магнітний енкодер це спеціальний датчик, який за допомогою електромагнітного поля дозволяє визначити розміщення деталі у просторі, відбувається це шляхом перетворення кутового переміщення валу в електронний сигнал безконтактно на основі ефекту Холла.

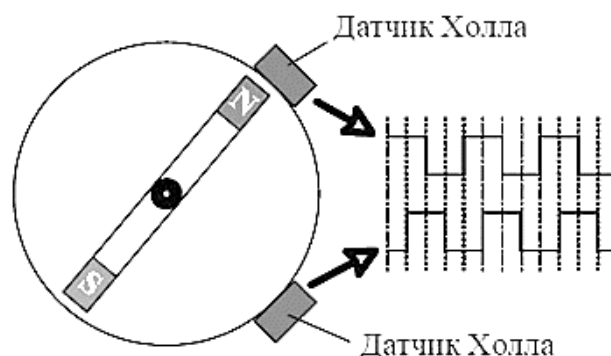


Рис. 2.2. Магнітний енкодер

Датчики Холла, що розміщені на кристалі мікросхеми, виконують фіксацію напруження магнітного поля, де розраховується абсолютне значення кута повороту магніту [3]. Функціональні можливості, вбудовані в мікросхему, дозволяють запрограмувати нульове положення магніту відносно

якого буде розрахований кут, зробити діагностику та калібрувати положення магніту над мікросхемою для кращої точності.

Оптичний тип енкодера працює на основі фотоефекту, у процесі роботи даного датчика спостерігається постійне перетворення світлового променя в електричний сигнал, точність такого пристрою значно вище за конкурента.

Інкрементальний енкодер – пристрій, який визначає кут повороту обертового об'єкта, видаючи імпульсний цифровий код. Використовується для визначення швидкості обертання валу (осі), коли немає потреби зберігати абсолютне кутове положення при виключенні живлення [4].

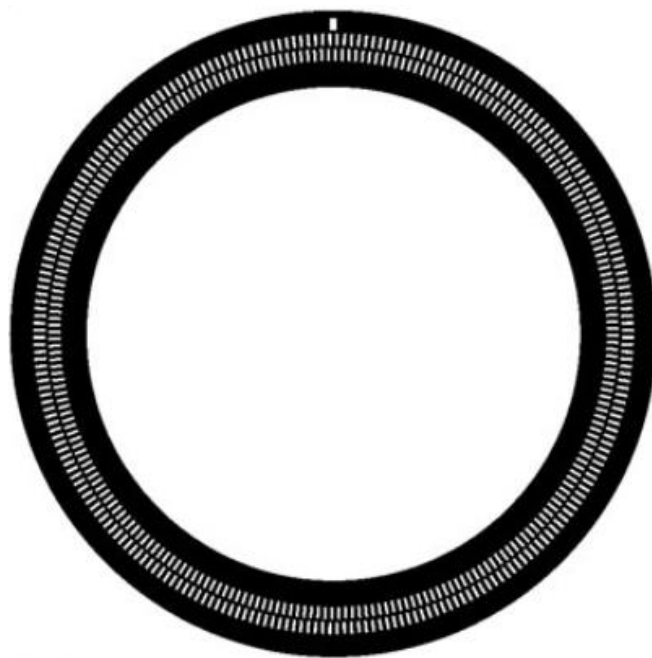


Рис. 2.3. Диск інкрементального енкодера

Кількість імпульсів на одиницю обороту i є основним робочим параметром пристрою, отримати дані можливо лише під час його обертання, при зупинці значення обнуляється, тому при повторному вмиканні попередні дані будуть невідомими.

Вони чудово підходять для імпульсних лічильників або додатків контролю частоти обертання, є економнішим і менш складним у порівнянні з абсолютним датчиком.

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Абсолютні енкодери - це датчики кута повороту, де кожному положенню валу відповідає унікальний цифровий вихідний код, який поряд з числом обертів є основним робочим параметром датчика [4].

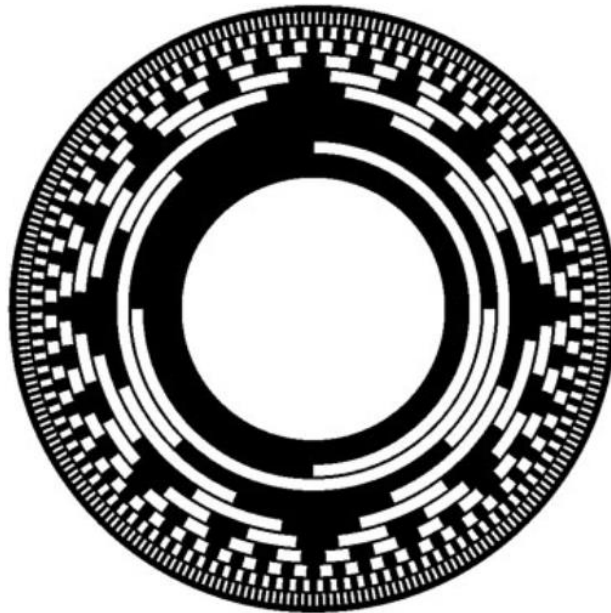


Рис. 2.4. Диск абсолютного енкодера

Такий тип датчика допомагає вирішувати значно більше завдань аніж інкрементальний, через те, що вимірювання відбувається не за допомогою фіксації імпульсів, а за спеціальним кодуванням.

Одиницею виміру є число унікальних цифрових кодів за одиницю обертання, у зв'язку з цим визначати поточну координату переміщення відразу після включення не викликає труднощів. Також особливою відмінністю від інкрементального є формування сигналу навіть у режимі спокою.

Таким чином даний енкодер чудово виконує не лише завдання з відстеження швидкості повороту об'єкта, але й видає дані про його розташування в поточний момент часу, незалежно від його підключення.

Так, як абсолютні енкодери вміють вирішувати широкий спектр задач вони отримали різні модифікації, які відрізняються за типом кріплення, наявністю наскрізного, пологового або виступаючого валу.

Крім того, вони бувають одно та багатооборотними, перші видаються значення поточної координати у межах 1 обороту, інший здатний розпізнавати ще декілька додаткових оборотів.

2.2.2. Будова та принцип роботи датчика вимірювання кутової швидкості

Енкодер у складі своєї вимірювальної системи містить вал, що є змонтованим на двох високих прецизійних підшипниках (рис. 2.5, 2) на ньому кріпиться кодовий диск (рис. 2.5, 1).



Рис. 2.5. Конструкція обертального абсолютного енкодера

Певні кроки на кодовому диску мають темні ділянки, що запобігають потраплянню світла на фотодіоди (рис. 2.5, 5), які розміщені з протилежного боку диска. Задля уникання пошкодження диска зазвичай монтується захисна рамка (рис. 2.5, 4).

Формування інфрачервоних променів відбувається за допомогою світлодіодної матриці (рис. 2.5, 3), на світлих ділянках промені проходять на фотодіоди, що формують логічну 1 на виході, відповідно темні ділянки стримують проходження променів і формують логічний 0.

Таким чином формуються відповідні унікальні коди, роздільна здатність енкодера своєю чергою залежить від кількості доріжок на диску. Недоліком двійкового коду є зміна розрядів при переході від однієї до іншої позиції, тобто це є причиною великих похибок, оскільки сусідні комбінації відрізняються одна від одної у декількох розрядах.

Розв'язання цієї проблеми є одна із систем кодування інформації, в якій два послідовні коди відрізняються значенням лише одного біта та має назву код Грея [5].

У разі використання коду Грея похибка при зчитуванні інформації на ділянці переходу від одного числа до іншого призведе лише до того, що цей перехід буде дещо зміщений за часом, проте видача абсолютно неправильного значення кутового положення на ділянці переходу повністю виключається.

Інкрементальні енкодери конструктивно мають два диски, один з яких рухомий та жорстко пов'язаний з валом, інший є нерухомим та прив'язаний до станини. Імпульси формуються за допомогою світлових переривань при обертанні диска з отворами або мітками. Відлік одного обороту в інкрементальному енкодері визначається наявністю референтних міток [2].

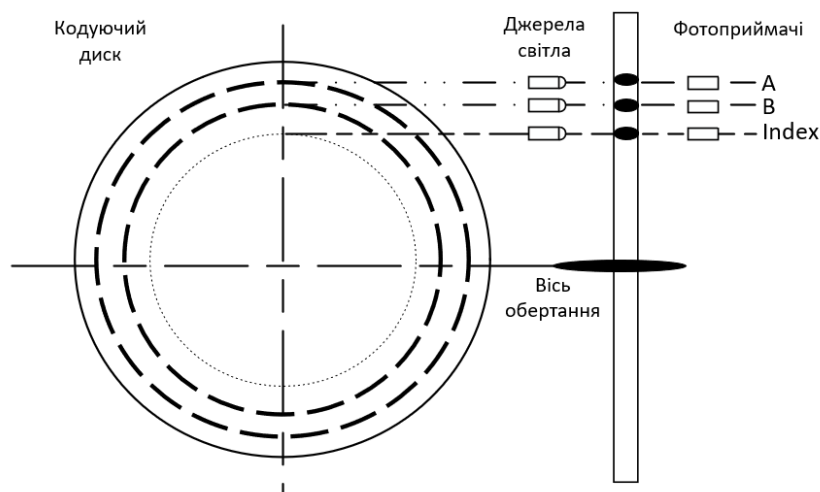


Рис. 2.7. Будова трьохканального енкодера

Розглянемо трьох каналний енкодер (рис. 2.7), що має на зовнішніх концентричних колах A і B мітки число яких на однакове і являє собою

роздільну здатність датчика та коло index, що має лише індексну мітку, яка фіксує точку відліку.

При обертанні диска датчик формує дві зсунуті по фазі на 90° періодичні імпульсні послідовності що відповідають рядкам міток A і B та так званому нульовому імпульсу відповідно індексній мітці.

Зрушення імпульсних послідовностей A і B залежить від напрямку обертання, коли рух відбувається за годинниковою стрілкою сигнал A відстає від сигналу B, а коли проти годинникової стрілки навпаки (рис. 2.8).

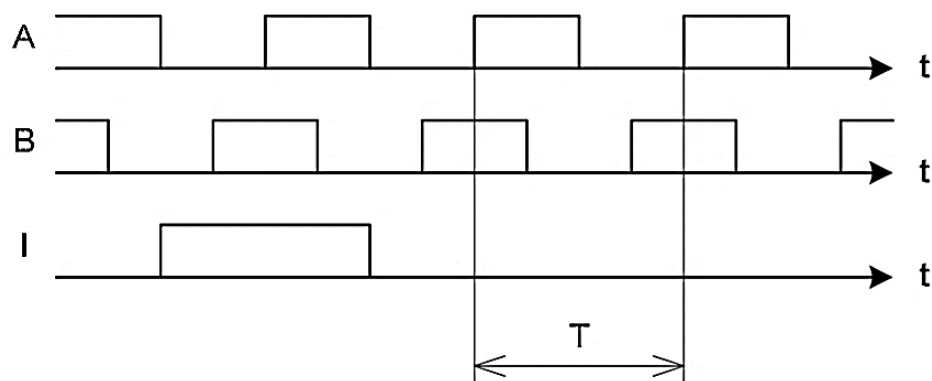


Рис. 2.8. Діаграми сигналів на виході енкодера

Частота f і період T проходження імпульсів на виході датчика однозначно пов'язана зі швидкістю обертання валу:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{n \cdot k}{60},$$

де n – швидкість обертання валу (об/хв).

Знак швидкості можна визначити по зсуву послідовностей A і B:

- якщо сигнал A випереджає сигнал B, то швидкість вважається позитивною;
- якщо сигнал A відстає від сигналу B, то швидкість вважається негативною.

Тобто процедура обробки сигналу енкодера є досить простою, якщо на передньому фронті сигналу A перевірити стан сигналу B дорівнюючи 0 ми збільшуємо лічильник координати на одиницю, інакше зменшуємо.

Така процедура застосовується у переважній кількості конструкцій, опублікованих в інтернеті та цілком придатна для застосування в некритичних пристроях, коли похибка визначення координати не призводить до фатальних наслідків.

Недосконалість полягає в тому, що така процедура вимагає сигнали в ідеальній формі, але у реальних умовах датчики можуть мати певні шуми та зміни стану сигналу. У такому випадку замість чіткого переходу нуля в одиницю на осцилограмі сигналу ми побачимо послідовність кількох швидких переходів (рис. 2.9).

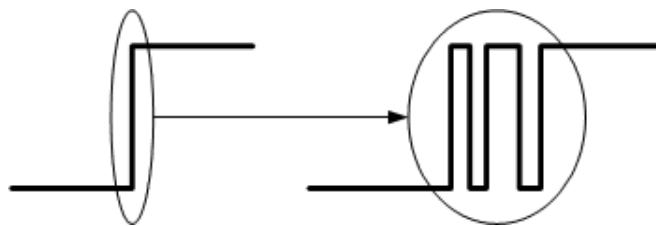


Рис. 2.9. Сигнал з швидким переходом

В результаті цього збільшення координати буде проведено кілька разів замість одного, і значення буде безнадійно зіпсовано, тому для боротьби з такими переходами застосовуються різноманітні методи опрацювання вимірів.

2.2.3. Методи опрацювання вимірів

Для підвищення вірогідності даних про координату диска процедуру обробки даних слід модифікувати. Звичайна процедура опрацьовує реакцію лише на передній фронт сигналу А що стає причиною некоректного результату, через те, що процедура не помічає зворотного відкату диска і не коригує координату в бік зменшення.

Таким чином доцільно використовувати реакцію на обидва фронти сигналу А, але дана процедура залишає одну вразливість: якщо для реакції на фронти сигналу А використовується переривання, то на час його обробки контролер перестає реагувати на інші фронти, що може призвести до помилки за наявності переходів сигналу.

Потенційним розв'язання проблеми є встановлення фільтра низьких частот на вході переривання по зміні стану сигналу А, або відмовитися від переривань зовсім і опитувати стан обох сигналів по таймеру, при цьому треба врахувати частоту таймера, щоб відбувалася втрата імпульсів при швидкому русі диску.

Але все ж таки у запропонованому вище методі сигнал А використовується як основний, а сигнал В як допоміжний. Насправді розподіл сигналів на А і В умовний і вони є цілком взаємозамінними. Якщо розглянути комбінацію значень як дворозрядне двійкове число, отримуємо циклічну послідовність: 00 – 01 – 11 – 10 – 00

Інтерпретувавши цю послідовність у звичайному вигляді отримаємо 0 – 1 – 3 – 2 – 0 ... , відповідно при зворотному обертанні диска ця послідовність змінить відлік. Такі послідовності дуже схожі на зміну станів якогось скінченного автомата [6].

У цьому випадку модель показує переходи та дії, що проводяться за фактом переходу, що відбувся. Для програмної реалізації процедури відліку координати зручно скористатися табличним поданням діаграми переходів.

Таблиця 1.1

Представлення діаграми станів

	0	1	2	3
0	-	-1	X	+1
1	+1	-	-1	X
2	X	+1	-	-1
3	-1	X	+1	-

Умовні позначення таблиці діаграми станів:

- рядки відображають поточний стан пари сигналів;
- стовпці відображають попередній стан пари сигналів;

- «-» стан сигналів не змінюється;
- «X» заборонений перехід, що свідчить про втрату даних;
- «+1» збільшення координати на одиницю;
- «-1» зменшення координати на одиницю.

Симетрична процедура має просту реалізацію та здатність виявляти втрату імпульсів. Недоліком процедури є марнотратне залучення виходів переривань контролера у випадку роботи з ними, крім того, без апаратного придушення шумів фільтром нижніх частот можлива занадто висока частота переривань з можливою втратою деяких імпульсів і, як наслідок, втратою точності вимірювання координати.

2.3. Висновки до розділу

У розділі проведено загальний огляд по енкодерах, розглянуто їх класифікацію, будову та принцип роботи, також розглянуто основні методи модифікації точності опрацювання результатів з датчика.

Було визначено, що найбільш практичним датчиком для малобюджетних проектів є оптичний інкрементальний енкодер, для програмного опрацювання даних, що надходять від енкодера, доцільно застосовувати метод симетричної процедури.

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1. Аналіз існуючих систем вимірювання кутової швидкості

Поширеним у застосуванні вимірювання кутових швидкостей рухомих об'єктів є струменевий датчик кутової швидкості, структурна схема датчика зображена на рис. 3.1.

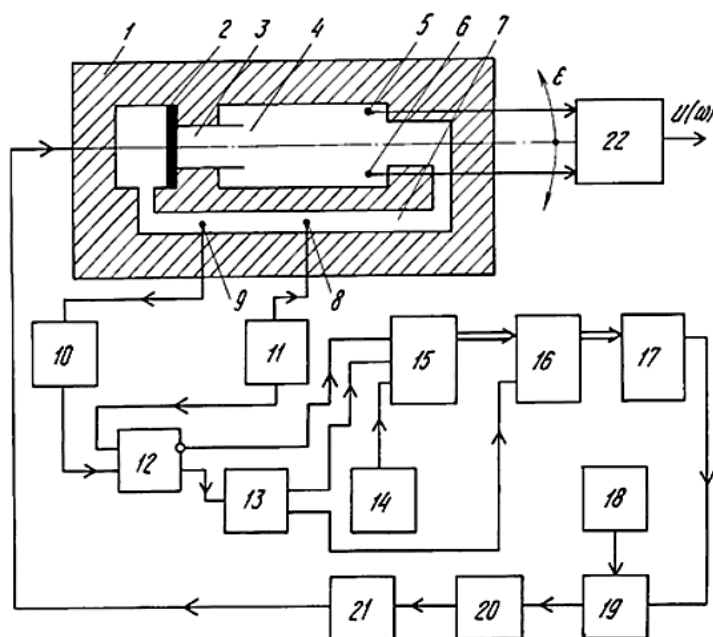


Рис. 3.1. Структурна схема струменевого ДКШ

При подачі живлення в робочій камері 4 шляхом роботи нагнітача 2 утворюється ламінарний струмінь газу близький до параболічного закону розподілу швидкостей у поперечному перерізі.

Через термістори 5 та 6 протікає струм і падіння напруги на них визначається швидкістю струменя в точці їх розміщення. Вихідна напруга подається на вхід електровимірювальної схеми 22, при відсутності кутової швидкості струмінь газу обтікає з однаковою середньою швидкістю термістори і падіння напруги дорівнює нулю.

Якщо ж кутова швидкість присутні осередки обтікання змінюються і значення термісторів відхиляється і на виході з'являється електричний сигнал пропорційний куту.

Недоліком такого ДКШ є похибка вимірювання кутової швидкості внаслідок зміни температури та коефіцієнта перетворення постійної напруги в частотний сигнал.

Мікромеханічний датчик кутової швидкості містить основу та кришку, що несе раму, першу та другу інерційні маси, закріплені на пружних елементах підвісу, датчики положення кожної інерційної маси.

Одна з відомих розробок датчик кутової швидкості Micromachined Comb Drive Gyroscope [7], що містить першу і другу інерційні маси, пов'язані з рамою, що несе, за допомогою стрижневих пружних елементів підвісу. Несуча рама пов'язана з основою через пружні елементи підвісу, що забезпечують кутовий рух, електростатичний датчик сили збуджує протифазні первинні поступальні коливання.

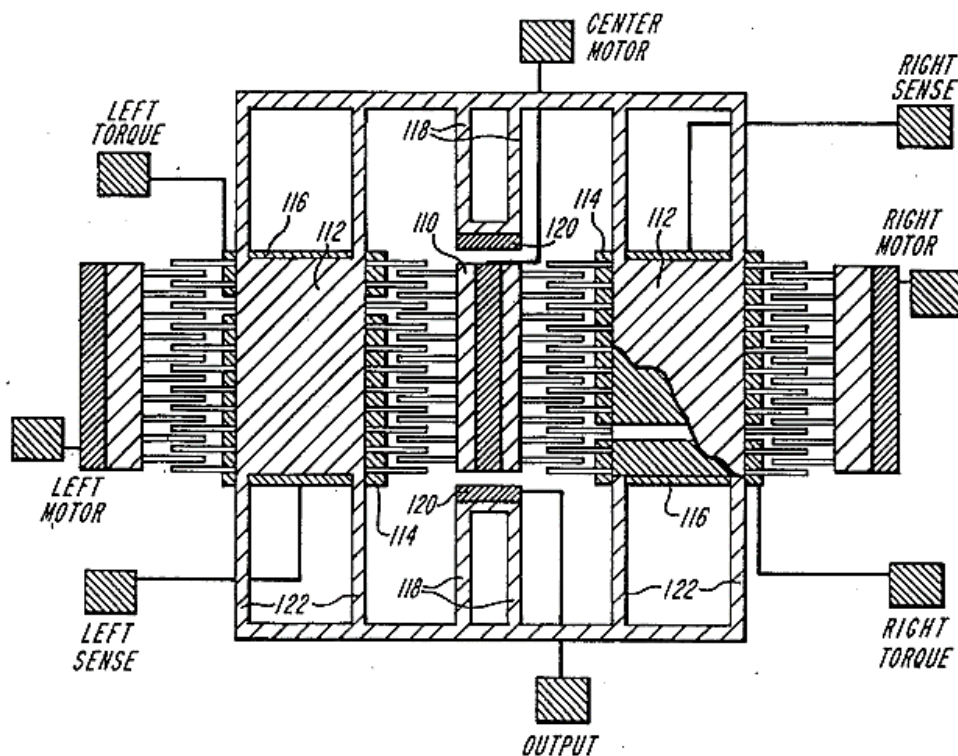


Рис. 3.2. Структурна схема Micromachined Comb Drive Gyroscope

При дії кутової швидкості основи Кориолісові сили створюють змінний момент, що призводить до вторинних кутових коливань рамки, які

вимірюються ємнісними датчиками, електроди яких розташовані під першою та другою інерційними масами. Недоліками є низька точність та малий діапазон вимірювань.

Ще одним відомим підходом є датчик кутової швидкості Micromachined Device With Rotationally Wibrated Masses [8], що містить першу та другу інерційні маси, які за допомогою трьох електростатичних двигунів гребінчастої структури приводяться у вібраційний рух паралельно площині основи так, щоб коливання інерційних мас мали протилежні фази.

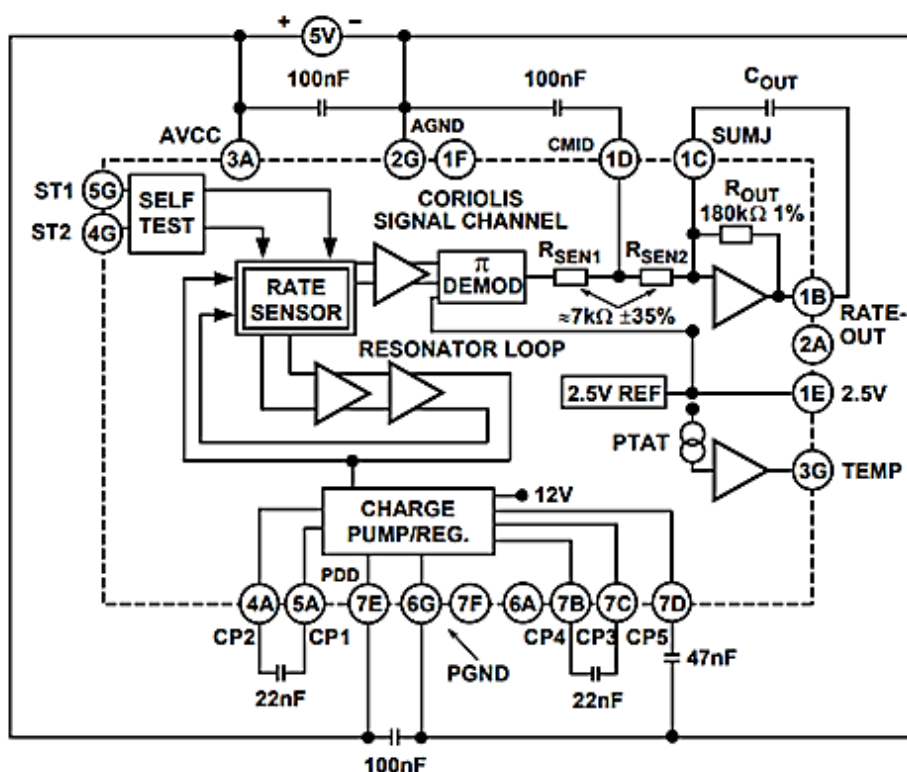


Рис. 3.3. Структурна схема Rotationally Wibrated Masses

За наявності кутової швидкості під дією сили Коріоліса одна інерційна маса підійматиметься, а інша - опускатиметься щодо площини вібрації. Чутливі елементи ємнісного датчика положення утворюють вихідний сигнал датчика кутової швидкості. Недоліками є мале значення створюваної електростатичними гребінчастими двигунами сили, низька точність та малий діапазон вимірювань внаслідок використання амплітудної модуляції сигналу.

3.2. Структурна схема комп'ютеризованої системи для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів

У другому розділі даної кваліфікаційної роботи було визначено, що краще за все для проектування нашої системи підходить датчик кутової швидкості на основі оптичного інкрементного енкодера.

Структурна схема комп'ютеризованої системи на основі мікроконтролера та датчика кутової швидкості, що дозволить обробляти результати виміру швидкості обертання механічного або електромеханічного об'єкта, зображена на рис. 3.4.

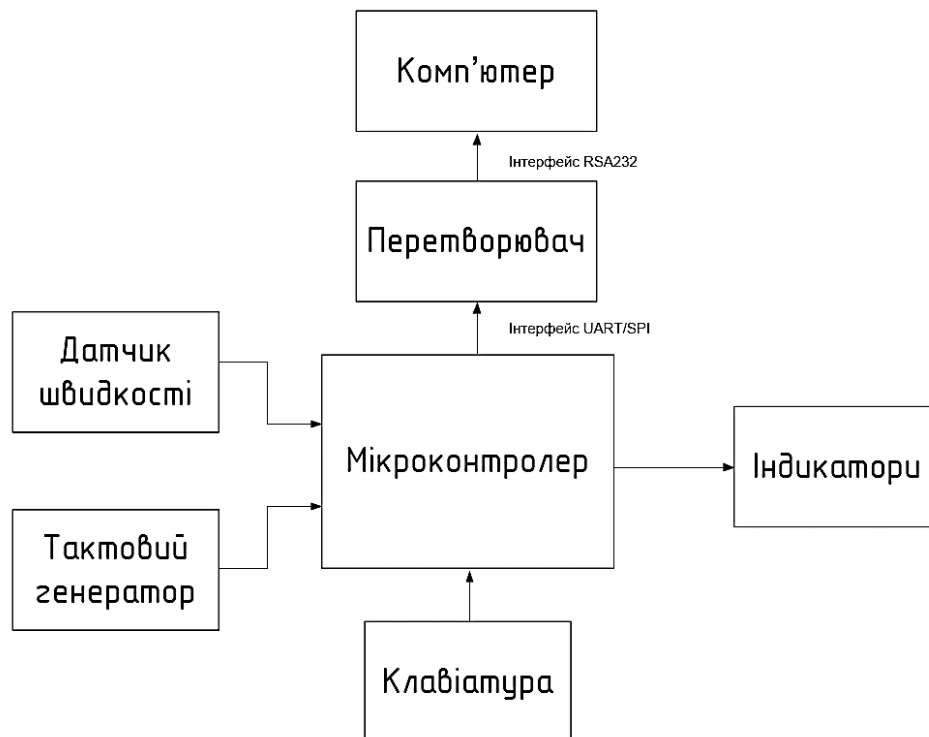


Рис. 3.4. Структурна схема ДКШ на основі оптичного інкрементного енкодера

За допомогою ДКШ ми отримуємо значення виміряної кутової швидкості об'єкта, ці сигнали надходять до мікроконтролера, який обчислює швидкість обертання та показує результати на відповідних периферійних пристроях або індикаторах.

У якості індикатора системи передбачається використання дворядкового знакосинтезуючого рідкокристалічного індикатору, що має зручні інструменти для показу інформації. Система також використовує клавіатуру для вводу певних налаштувань, наприклад одиниць вимірювання кутової швидкості.

Система обладнана стандартним для сучасних персональних комп'ютерів інтерфейсом – RS232, що дозволяє безперервно отримувати дані із вимірювача кутової швидкості, а також перепрограмовувати пристрій без апаратного програматора. Перетворювач інтерфейсу служить для узгодження рівнів напруги портів вводу та виводу мікроконтролера й COM-порта комп'ютера.

Система передбачає можливість роботи у двох режимах:

- Режим передачі даних, що дозволяє відображати на індикаторі поточне значення швидкості валу енкодера і транслюватиметься через мережевий інтерфейс RS232 на пристрій збору інформації.
- Режим програмування, у якому користувач матиме змогу перепрограмування та зміни властивостей через персональний комп'ютер із використанням інтерфейсу RS232.

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Вибір датчика кутової швидкості

Для проєктованого пристрою може бути використаний двоканальний енкодер із роздільною здатністю не більше 10000 міток на оберт. Такий датчик дозволить нам визначати зворотне напруження для управління двопозиційними валами [9].

Для розробки системи вимірювання параметрів руху нам також потрібно контролювати цикл проходження повного оберту, тому доцільніше використати саме трьох каналні, які забезпечують додатковий нульовий сигнал на кожному оберті.

Компанія Heidenhain пропонує широкий асортимент інкрементальних енкодерів для вирішення широкого спектра задач. Для вирішення наших потреб підійде інкрементний енкодер з порожнистим валом ERN 1020.

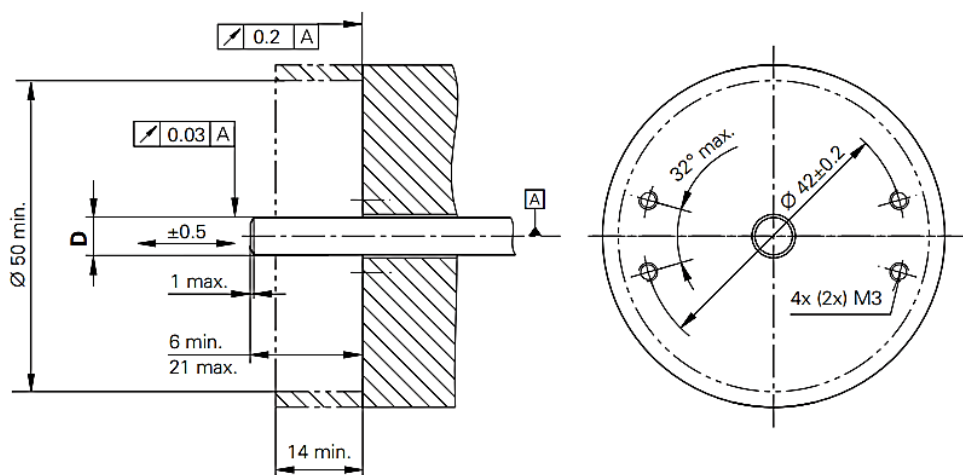


Рис. 4.1. Габаритне креслення енкодера ERN 1020

Креслення датчика зображено на рис. 4.1. основними особливостями енкодера є наявність вихідного сигналу TTL, кількість імпульсів на оберт – 2500, діапазон робочих температур від -10 °C до + 100 °C, що задовільняє умови проєктування системи для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів, більш детальні характеристики наведено у табл. 4.1.

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 4.1

Технічні характеристики енкодера ERN 1020

Інкрементальні сигнали	TTL
Кількість штрихів	2500
Тактова частота	> 300 кГц
Напруга живлення	$5\text{ В} \pm 10\%$
Споживання струму	> 120 мА
Вал	порожнистий вал діаметром 6 мм
Допустима частота обертання	10 000 об/хв
Початковий пусковий момент	$< 0,001$ Нм (при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$)
Зсув валу вздовж осі	$\pm 0,5$ мм
Мін. робоча температура	$-10\text{ }^{\circ}\text{C}$
Макс. робоча температура	$100\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ступінь захисту	IP 64

У якості електричного підключення використовують кабель 1-5 м, з роз'ємом або без різьбленням M23, що зображені на рис. 4.2.

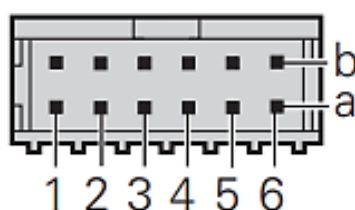


Рис. 4.2. Роз'єм кабелю підключення енкодера ERN 1020

Таблиця 4.2

Контакти роз'єму енкодера ERN 1020

6b	6a	5b	5a	4b	4a	2a	2b	1a	1b	3a	3b
U_{a1}	$\overline{U_{a1}}$	U_{a2}	$\overline{U_{a2}}$	U_{a0}	$\overline{U_{a0}}$	$5V U_P$	$5V S$	$0V U_N$	$0V S$	$\overline{U_{aS}}$	/

4.2. Вибір мікроконтролера

Перевагами використання мікроконтролерів є значне підвищення гнучкості, істотне зниження вартості та часу розробки та модифікацію пристрою. Фактично вирішуючи будь-які завдання, вони мають різні типи, основними з яких є:

- Інтерфейсні призначені для реалізації мало продуктивних систем керування, можуть використовуватись периферійними пристроями ЕОМ (клавіатура, миша тощо);
- Розрядні мають досить різну варіацію: 8-ми розрядні реалізують системи малої й середньої продуктивності, мають досить просту систему команд і велику номенклатуру вбудованих пристроїв, 16-ти розрядні призначені для систем реального часу, структуру та система команд адаптовані на швидку реакцію, 32-ох розрядні мають високопродуктивну архітектуру та призначені для високошвидкісної обробки інформації, наприклад телебачення тощо.
- Цифрові сигнальні процесори використовуються для складної математичної обробки вимірюваних сигналів у режимі реального часу. Основними відмінностями є підвищена розрядність та висока швидкість у форматі з плавною точкою.

Архітектура процесора також відіграє велику роль у типізації МК, найпоширеніша з них RISC-архітектура має досить високу швидкодію та реалізується спрощенням інструкцій, щоб їхнє декодування було більш просте, а час виконання коротшим [10].

Широкого застосування при побудові різноманітних радіоелектронних приладів отримали саме 8-ми розрядні однокристальні МК, з технічної точки зору здобули популярність AVR мікроконтролери компанії Atmel та micro-PIC від LTD Microchip, маючи чудові технічні характеристики та апаратну підтримку, вони також підтримують поширені протоколи зв'язку (інтерфейси RS232, I2C, USB тощо).

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Внаслідок наявності широкого модельного ряду, своєї надійності та порівняно низькою вартістю ці мікроконтролери отримали поширення не тільки у промисловій апаратурі, а й у радіоаматорських конструкціях. Ще однією позитивною характеристикою є доступність засобів розробки та налагодження програм.

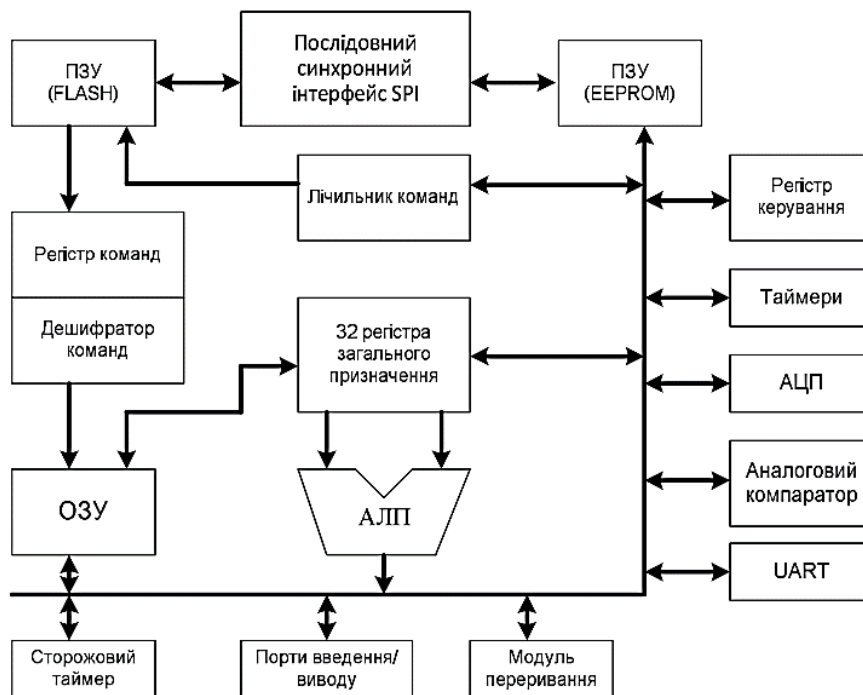


Рис. 4.3. Архітектура ядра AVR мікроконтролерів

З появою доступних та нескладних програм освоєння МК з флешпам'яттю, вбудованим UART та можливістю програмування дозволило спростити розробку периферійних пристроїв, шляхом скороченого набору високоефективних команд та простої архітектури.

Загалом в AVR мікроконтролерів виокремлюють такі переваги, як швидкодієний RISC-процесор, флешпам'ять з низьковольтною напругою програмування, перезаписувана ROM, потужні вихідні порти та широкий діапазон напруги живлення [11].

Розширений набір команд дозволяє ефективно використовувати компілятори мов високого рівня (Сі, Паскаль тощо), що значно спрощує розробку складних проектів, також існує засіб алгоритмічної розробки.

Для розробки нашої системи задамося наступними вимогами до мікроконтролера, а саме:

- тактова частота: >10 МГц;
- понад 23 контакти портів введення та виводу;
- наявність таймера або лічильника 16-біт;
- мінімум 8 кілобайтів флешпам'яті програм;
- 2 контакти для зовнішніх переривань;
- наявність EEPROM;
- наявність інтерфейсів UART та SPI;
- доступне середовище розробки та документація.

Відповідно до даних вимог обираємо мікроконтролер ATmega8 компанії Atmel, основні технічні характеристики наведено у табл. 4.3, також на рис. 4.5. представлено вигляд мікросхеми для різних типів корпусів [12].

Таблиця 4.3

Характеристики мікроконтролера Atmel ATmega 8

Flash ROM, Кбайт	8
EEPROM, байт 1024	512
RAM, байт	1024
ISP (I), Self prog (S)	I, S
Кількість контактів введення/виводу	23
Інтерфейси	USART, SPI, I2C
8/16-бітні таймери	2 / 1
N-канальний ШІМ	3
Аналоговий компаратор	+
N-канальний АЦП (10 біт)	6 / 8
Внутрішній RC-генератор	+

Сторожовий таймер	+
Апаратний помножувач	+
Кількість інструкцій	130
Живлення VSS, В	2,7 - 5,5
Тактова частота, МГц	0 - 16

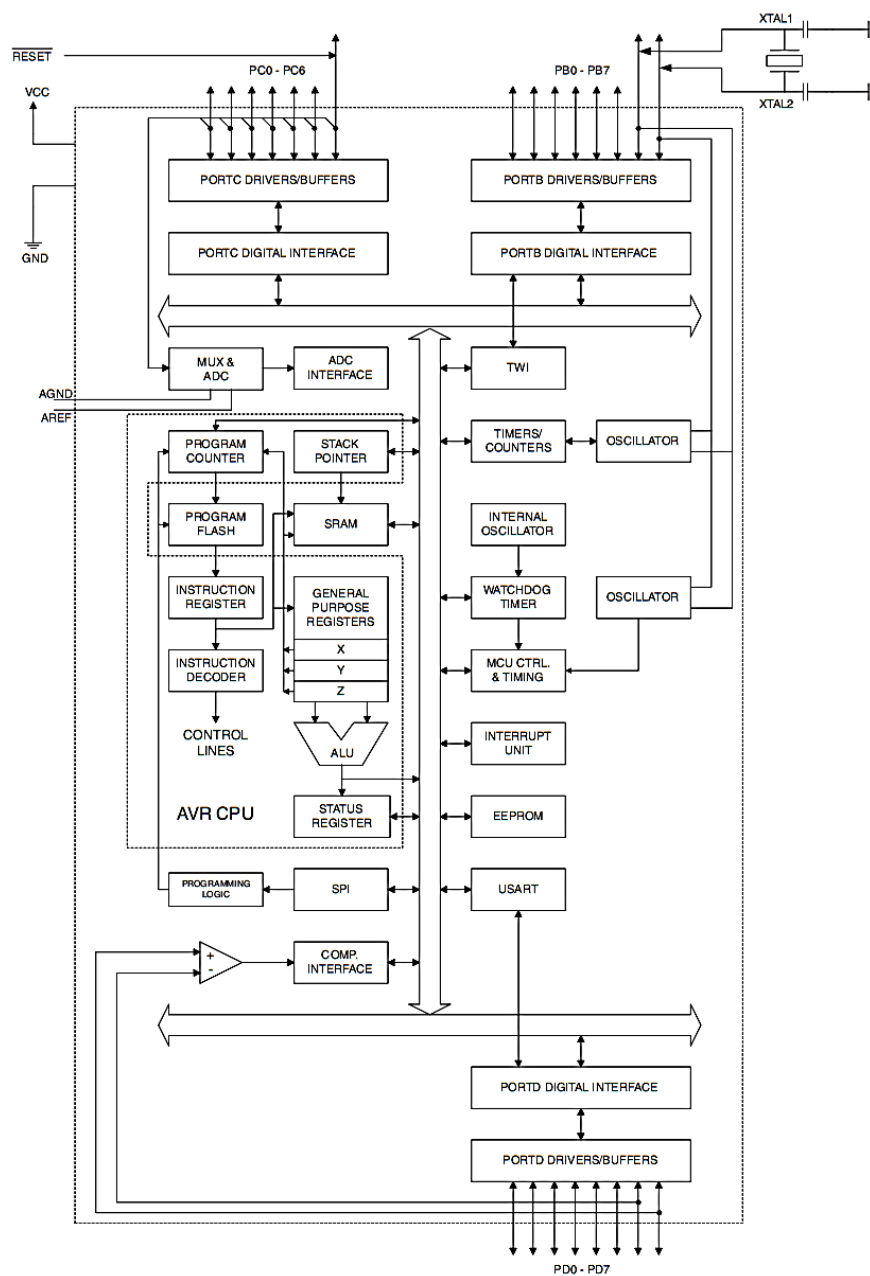


Рис. 4.4. Блок-діаграма мікроконтролера АТmega8

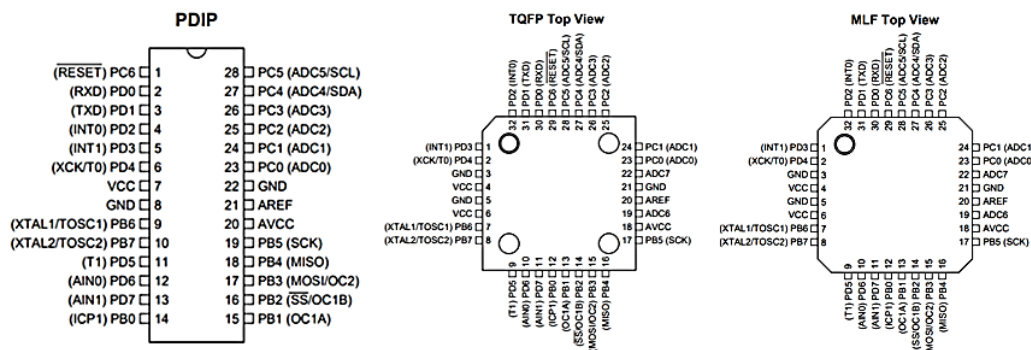


Рис. 4.5. Мікроконтролер АТмега8 та його мікросхемні конфігурації

4.3. Вибір індикатора

Індикація один зі способів донесення інформації оператору, на цей час існує безліч різних типів індикації від статичних до динамічних. Для нашої системи використаємо рідкокристалічні індикатори з вбудованими контролерами, які полегшують реалізацію інтерфейсу індикатора та мікропроцесора.

Чудовим варіантом є знаковисинтезуючий індикатор МТ-16S2Н фірми МЕЛТ на основі контролера Hitachi HD44780, він має 2 рядки по 16 символів у кожному та обладнаний стандартним 14-контактним роз'ємом за допомогою якого відбувається обмін інформацією з мікроконтролером [13].

У нашому випадку АТмега8 посилає команди до РКІ, що керує режимами його роботи та зображення символів на ньому, своєю чергою РКІ отримує за запитом свої внутрішні дані та інформацію про свій стан.

Таблиця 4.2

Основні роз'єми РКІ на базі HD44780

Номер виводу	Назва виводу	Опис виводу
1	VSS	Загальний (GND)
2	VDD	Напруга живлення
3	V0	Контрастність

Номер виводу	Назва виводу	Опис виводу
4	RS вхід	Дані та команди
5	R/W вхід	Читання та запис
6	E вхід	Супроводження даних
7	DB0	Лінія даних 0
8	DB1	Лінія даних 1
9	DB2	Лінія даних 2
10	DB3	Лінія даних 3
11	DB4	Лінія даних 4
12	DB5	Лінія даних 5
13	DB6	Лінія даних 6

Роз'єми VDD, V0 та VSS призначені для подачі напруги живлення та напругу зсуву, що контролює контрастність дисплея.

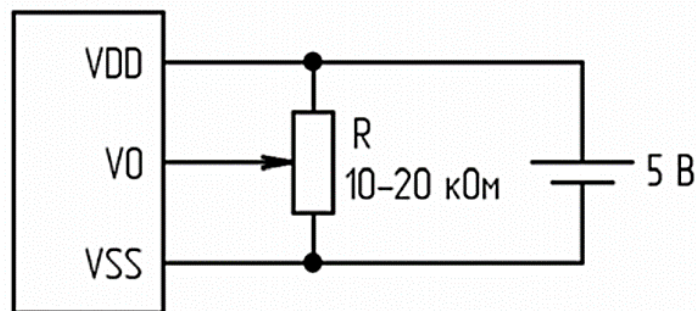


Рис. 4.6. Схема підключення живлення

Піни DB0-DB7 використовуються, як мультиплексори «команди / дані», виводи RS, R/W, E використовуються мікроконтролером для обміну керуючими сигналами. Діаграми сигналів під час запису команд або даних до контролера РКІ вказано на рис. 4.7.

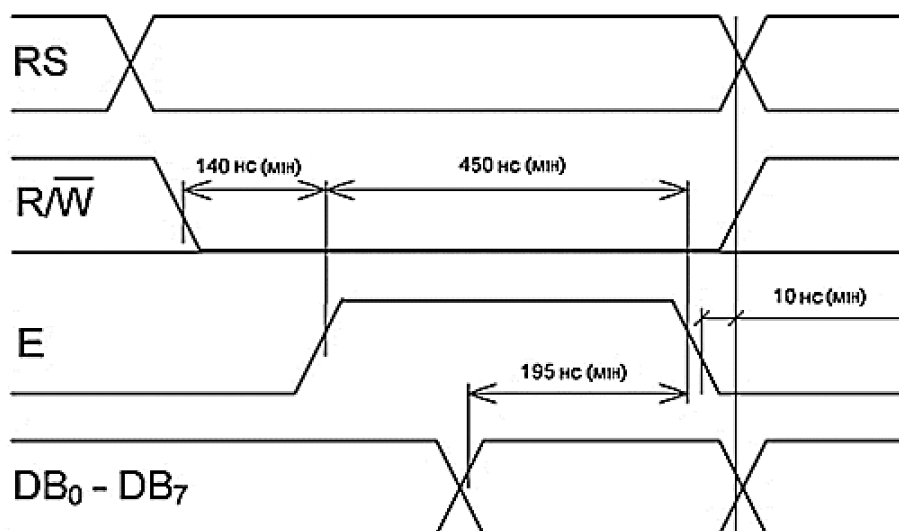


Рис. 4.7. Запис даних в РКІ

Сигнал RS повідомляє контролеру РКІ, що саме передається по шині: команда або дані, сигнал E супроводжує сигнали на шині «команди / дані», запис інформації відбувається по спаду цього сигналу. R/W керуючи вивід, що задає напрям передачі даних, тобто при 0 сигналі запис до RAM індикатора або навпаки зчитування при 1 сигналі.

Якщо мікроконтролер має обмежену кількість ліній вводу та виводу, передбачено варіант підключення з використанням чотирьох розрядної шини «команди / дані» у такому випадку кожен байт передається по лініях DB4-DB7 послідовно двома тетрадами починаючи старшою.

Мікроконтролер не повинен виконувати нову передачу після прийому даних контролером РКІ через те, що операція вимагає деякого часу для обробки отриманої інформації.

Для того, щоб визначити, що контролер РКІ закінчив свої внутрішні операції AVR може опитувати BUSY прапор, який скидається лише у випадку коли контролер вільний до нових операцій.

Простіший спосіб полягає у тому, що керуючий мікроконтролер знаючи скільки часу РКІ потрібно на обробку тієї чи іншої команди просто виконує тимчасову затримку після кожної операції.

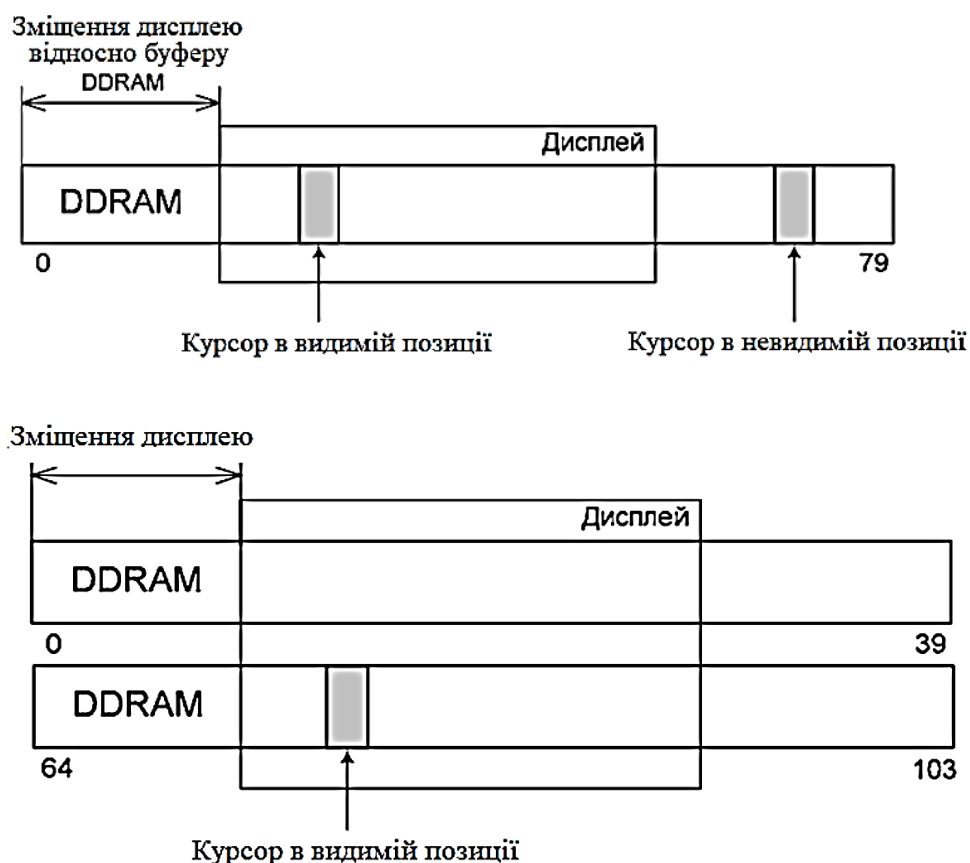


Рис. 4.8. Операція відображення символів, які записані в DDRAM для однорядкового та дворядкового РКІ

Під час циклу запису головний мікроконтролер передає до РКІ контролеру код команди, що записується до регістру контролера, після чого команда відразу виконується. Якщо ж мікроконтролер передає дані, які являючи собою коди відображення символів вони записуються до буфера даних, який зазвичай містить до 80 вільних комірок (рис. 4.8) При записі та зчитуванні обирається комірка на яку вказує курсор у момент звернення.

Буфер має більшу кількість комірок аніж число знакомісць дисплея, таким чином заміщуючи вікно індикатора можна відображати на дисплеї різні області буфера.

Наприклад у дворядкових індикаторах перші 40 комірок буфера даних зазвичай відображаються на верхньому рядку дисплея у той час, як інші 40 на нижньому.

Вікно дисплею зрушується відповідно буфера даних верхнього та нижнього рядка синхронно, курсор буде видно лише у тому випадку, якщо він потрапляє в зону видимості дисплея. Окрім DDRAM, контролер РКІ також містить ще один блок пам'яті генераторів символів у своїй прошивці зберігається відповідність кодів символів та їх зображення так, як основною є ПЗП вона не може бути зміненою.

					0x0F
					0x11
					0x11
					0x0F
					0x05
					0x09
					0x11
					0x00

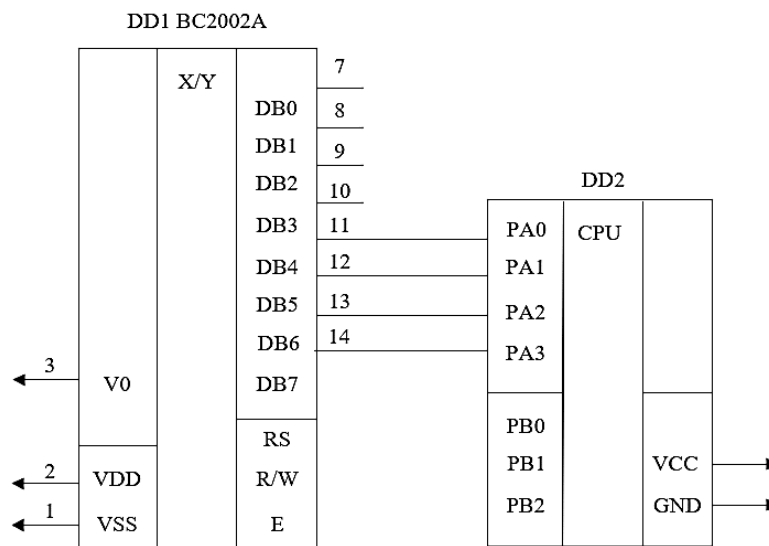
Рис. 4.9. Приклад кодування символу

В іншій частині використовується ОЗП, де знаходяться креслення символів для перших 16-ти кодів таблиці генератора, маємо можливість задати креслення 8 символів, що відповідають кодам 0 (8), 1 (9), 2 (10) ... 7 (15).

Для кожного з восьми перепрограмованих символів в ПЗП відводиться по 8 комірок пам'яті, кожна з яких відповідає одному рядку точок в зображенні символу (рис. 4.9). Таким чином, перепрограмовна частина генератора символів містить 64 байти пам'яті.

На рис. 4.10 зображена схема підключення РКІ, яка може використовуватись для AVR мікроконтролера, які не мають зовнішньої пам'яті даних, у цій схемі керуючі сигнали E та RS формуються програмно на звичайних лініях введення / виведення AVR.

Шина даних складається з чотирьох розрядів, кожен байт даних при цьому передається за дві послідовних посилення, починаючи зі старшого розряду, як було зазначено вище у даному пункті.



Якщо ж передача даних між контролером та РКІ буде відбуватися лише в одному напрямку у такому випадку контакт R/W можна замкнути загальним проводом землі, при цьому зникає можливість зчитування даних з індикатора, однак заощаджено один контакт порту введення та виведення мікроконтролера.

Для керування нашою системою буде використовуватись звичайна кнопкова клавіатура, порядок та зовнішній вигляд, якої вказано на рис. 4.11.

Рис. 4.11. Панель керування

Резистори у схемі призначені для визначення рівнів логічних сигналів на входах МК при натисканні кнопок, у стаціонарному стані старша тетрада порту на вивід та знаходиться на низькому рівні, щодо молодшої налаштована на введення з підключеними внутрішніми резисторами.

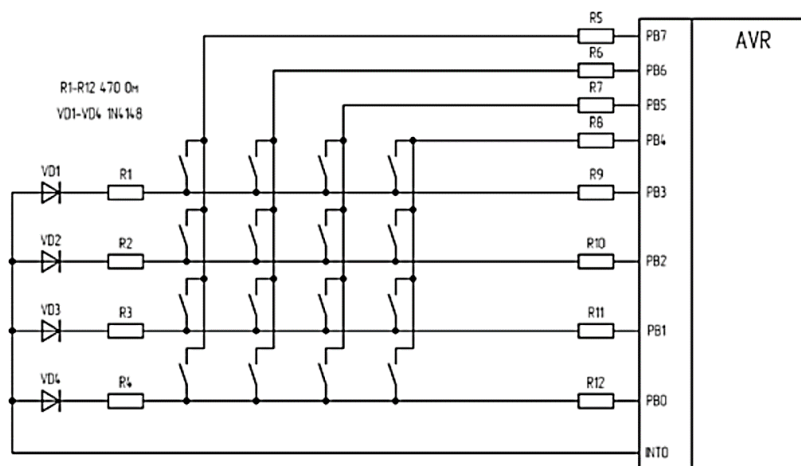


Рис. 4.12. Схема підключення матричної клавіатури

При натисканні на одну з кнопок клавіатури один з діодів VD1 - VD4 «опускає» на низький логічний рівень лінію зовнішнього переривання INT0, у якій також підключений внутрішній підтягувальний резистор. У момент надходження зовнішнього переривання підпрограма обслуговування цього переривання повинна зчитувати скан-код клавіші з порту В.

4.5. Інтерфейс сполучення комп'ютера

Інформація між системою на мікроконтролері та персональним комп'ютером, як правило відбувається через послідовний порт COM та UART мікроконтролера за інтерфейсом RS232, що дозволяє розміщувати пристрій на відстані від ПК.

Двоспрямована послідовна асинхронна передача даних відбувається по односпрямованих лініях за допомогою інтерфейсу RS232 [12], перетворення рівнів сигналів в TTL відбувається за допомогою спеціалізованої схеми. Більшість мікросхем мають два або більше каналів прийому-передачі, один з яких активно використовується, інші залишаються незалученими.

Під час налагодження схеми пристрою та програми виникає необхідність неодноразового перепрограмування мікроконтролера, для запису може застосовуватись, як паралельні, так і послідовний спосіб програмування.

Паралельний спосіб передбачає використання складних апаратних програматорів, що забороняє внутрішньосхемне програмування, тому його використання дуже рідко. Послідовний своєю чергою передбачає простоту апаратних засобів та частіше за все являє собою перетворювач рівнів, також спосіб дозволяє використання апаратних та програмних засобів.

Щодо пам'яті програм багатьох МК виконана на основі флешпам'яті і дозволяє багаторазовий перезапис при налагодженні, одна у такому випадку коли пристрій фізично віддалено від ПК програмування ускладнюється.

Здебільшого у всі AVR-контролери вбудовано функцію програмування ISP через трьох провідну шину SPI.

Майже всі AVR-контролери мають функцію внутрішньосистемного програмування ISP (In-System Programming) через 3-х провідну шину SPI, а саме лінії: MOSI – вхід даних, MISO – вихід даних, SCK – вхід тактового сигналу, у деяких МК цей порт може використовуватись і для обміну даними із зовнішніми пристроями.

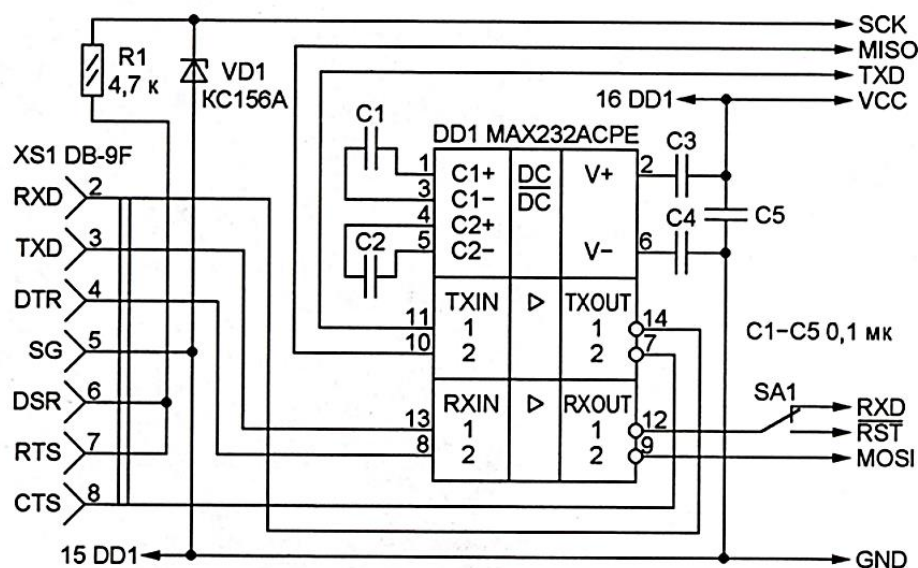


Рис. 4.13. Схема підключення контролеру і ПК

За допомогою підключення вказаного на рис. 4.13. таким чином має можливість перепрограмувати контролер та передавати дані використовуючи лише COM-порт.

Мікросхема DD1 [13] виконує перетворення рівнів TTL у RS232 та навпаки при обробці інформації з ПК, щодо UART входу мікроконтролера використовується при асинхронному обміну інформацією між лініями RXD та TXD. Перемикач SA1 служить для вмикання режиму програмування або обміну даних. При програмуванні сигнал на шині інтерфейсу переводить МК в режим програмування шляхом подачі низького сигналу на RESET.

Якщо увімкнено режим обміну, то по ньому відбувається приймання даних з комп'ютера. У свою чергу сигнали введення та виведення даних при програмуванні контролеру MOSI та MISO передаються по лініях інтерфейсу CTS та DTR, для узгодження їх рівнів використовують вільні буфери.

Щодо мікросхем приймачів інтерфейсу RS232 можуть бути застосовані такі, як MAX, HIN або ADM в залежності від розташування виходів та величину ємностей конденсаторів.

4.6. Розрахунок параметрів системи

Оцінка швидкості проводиться шляхом підрахунку імпульсів із виходу датчика за фіксований інтервал часу t , у свою чергу час потрібно відраховувати за допомогою таймеру.

Якщо відомо частоту генератора тактів мікроконтролеру, у нашому випадку 16 МГц, та розрядність лічильника (16 біт) ми можемо визначити інтервал його рахунку.

$$t = \frac{2^n}{CLK} = \frac{2^{16}}{16 \cdot 10^6} = 0,0041 \text{ (с)}$$

Звідси отримаємо частоту виникнення переривань від лічильника.

$$f = \frac{1}{t} = \frac{1}{0,0041} = 244 \text{ (Гц)}$$

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Загальна функція знаходження кутової швидкості можна визначити за наступною формулою:

$$V = \frac{pulses}{resolution} \cdot \left(f \left[\frac{об}{с} \right] = f \cdot 60 \left[\frac{об}{хв} \right] = f \cdot 2\pi \left[\frac{рад}{с} \right] \right), \quad (4.1)$$

де pulses – кількість підрахованих імпульсів за інтервал часу t ;

resolution – роздільна здатність датчика.

З розрахунків можна зробити висновок, що за допомогою задіяного 16-ти бітного лічильника здійснюється підрахунок тактових імпульсів частотою 16 МГц через інтервали часу, що складають 0,0041 секунд та генерує запити на переривання через заповнення.

4.7. Опис принципової схеми комп'ютеризованої системи для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів

Електрична принципова схема системи наведена у додатку Б даної кваліфікаційної роботи, у даному підрозділі розглянемо принцип її роботи.

Канал А енкодера підключений до входу зовнішнього переривання INT1, а канал В – підключений до лінії введення, таким чином за час t у регістровій змінній запам'ятується кількість пройдених позначок з урахуванням знака швидкості.

Опрацювання переривань лічильника викликає процедуру розрахунку швидкості, результат обчислення зберігається в регістрах з типом float для збереження числа з плаваючою точкою. Цю змінну використовують на два канали передачі даних – індикаторний та інтерфейсний.

За допомогою підключеної клавіатури вводиться вся потрібна інформація для роботи пристрою: одиниці виміру, налаштування передачі даних тощо. Результати налаштувань пристрою записуються до відповідних регістрів налаштувань, на час вимкнення пристрою вони зберігаються в незалежній пам'яті. Щодо самої схеми спроектованого пристрою головною частиною схеми є мікроконтролер DD2, який може бути прошитий мікропрограмою.

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для скидання параметрів програми використовується натискання клавіші SA2 «Скидання», при цьому на вході RESET контролера з'являється логічний 0 та відбувається його перезавантаження.

Щодо каналів енкодера, вони мають відповідне підключення до ліній портів введення та виводу контролера, відповідно це INT1, PB0 та PB4.

Знакосинтезуючий РКІ підключений до гнізда на чотирьох бітній шині, вхід вибору режиму «команди / дані» індикатора RS підключений до мікроконтролера (PC4), сигнал Е поступає від гнізда PC5, читання даних з індикатора не використовується, а вхід R/W індикатора заземлений.

Регулювання яскравості РКІ здійснюється шляхом обертання потенціометра, при бажанні можна встановити звичайний, який не впливатиме на регуляцію даного параметру.

Спроектована клавіатура складається з матричних стовпців та рядків, що підключаються відповідно до ліній PD5-7 та PB1-2, при натисканні надходить запит на переривання лінії INT0.

Перетворення рівні сигналів відбувається за допомогою мікросхеми DD1, забезпечуючи зв'язок між інтерфейсами UART та SPI. Перемикання між режимами (програмування або обмін даними) здійснюється за допомогою кнопки SA1.

Система вмикається перемикачем SA9, при цьому світиться світлодіодний індикатор червоного світіння HL1.

5. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

5.1. Компонування друкованої плати

Процеси при якому знаходять оптимальне розміщення елементів на друкованій платі отримав назву компонування. Очевидно, що з'єднання між частинами схема є одним із найважливіших критеріїв, виконання мінімуму забезпечує мінімізацію взаємних наведень, спрощення конструкції та підвищує надійність. Компонування у кваліфікаційній роботі виконувалось за допомогою графічних редакторів та програми P-CAD.

Сутність друкового монтажу полягає у відповідному нанесенні ізоляційної основи та тонких електропровідних покриттів, що виконують функції монтажних проводів для елементів схеми.

Основою монтажу будь-якого елемента на схемі є металізована ділянка навколо монтажного отвору, що забезпечує електричний контакт між ними, таке з'єднання отримало назву контактний майданчик. Монтажний отвір призначений для закріплення кінців елементів та з'єднання його з друкованою платою.

Для вдалого проектування та компонування на платі використовується координатна сітка, на якій наносять зображення та визначають положення отворів та інших елементів плати, крок сітки повинен бути кратним 0,625 мм.

Друковані плати повинні оформлюватися згідно з вимогами конструкторських документацій та нормативно-технічних документів, креслення має класифікуватися одностороннім або двостороннім, повинні міститись всі відомості, що необхідні для виготовлення та контролю, тобто зображення: компонування плати, топологічні схеми верхнього та при наявності нижнього шару плати, додатково можуть вказуватись примітки до виготовлення тих чи інших креслень.

Кожна сторона плати відповідає кратним до довжини значенням, щодо максимального розміру сторони плати не повинен перевищувати 470 мм. Співвідношення лінійних розмірів обирається згідно нормативного ряду.

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Розробку креслень починають із нанесення координатної сітки та послідовного розміщення на ній елементів.

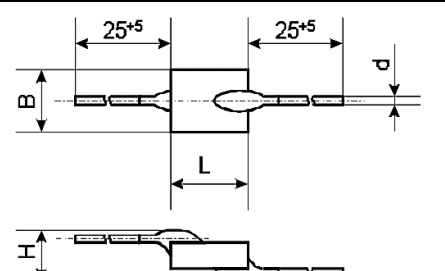
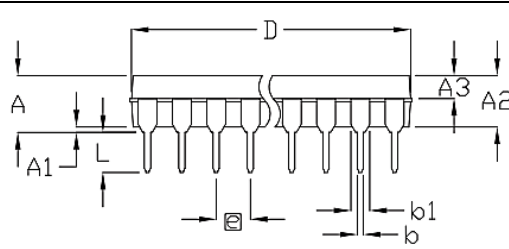
Центри отворів повинні розміщуватись на вузлах сітки, якщо через особливості елементів цього неможливо зробити, то отвори розташовують відповідно до вказівок креслення елементу.

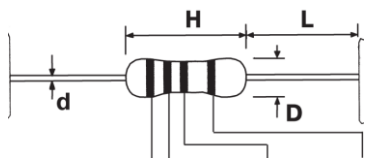
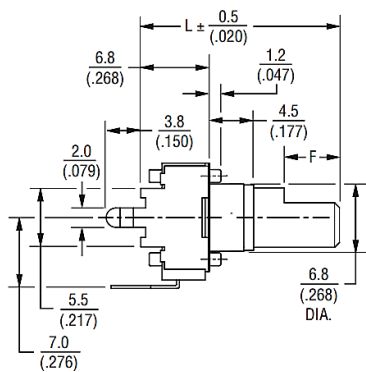
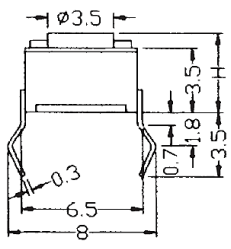
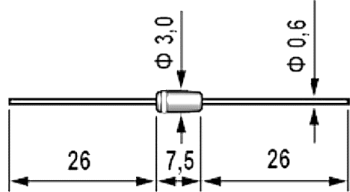
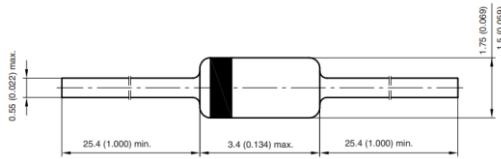
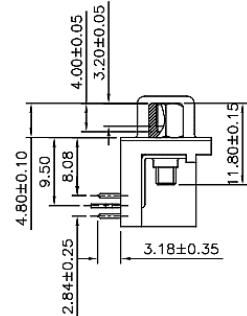
Діаметри монтажних та перехідних металізованих та неметалізованих отворів також обирають із нормативного ряду, не рекомендувано використання на одній платі більше трьох різних діаметрів отворів.

Розміри друкованої плати повинні бути економічно доцільні, відхилення від вимог призводить до підвищення виробних витрат та недоцільного використання матеріалу, основні елементи та їх габарити наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Основні габаритні розміри деяких елементів

Позн.	Найменування	Зображення елемента
C1 ... C7	KM5A H90, ПЗЗ	 $H = 3,0; B = 3,5-4,5; L=5,0-6,0$
DD1	MAX232ACPE	 $A = 4,6; A1 = 0,4; A2 = 3,2;$ $A3 = 1,4; B = 0,56; B = 1,14;$ $e = 2,54; D = 18,8;$

R1 ... R9, R11	C1-4	 $H = 3,2-15,0$; $D = 1,5-5,0$; $L = 28$; $d = 0,48-0,8$;
R10	PTV09	
SA2 ... SA8	TS-A1PS-130	
VD1	KC156A	
VD2, VD3	1N4148	
XS1	D-SUB DBR 9 MA	

XS2	AMPMODU 103635-4	
-----	------------------	--

При розміщенні також необхідно враховувати наступне [14]:

- 1) напівпровідники та мікросхеми слід розташовувати якомога далі від елементів, що виділяють велику кількість теплоти, а також джерел сильних магнітних полів;
- 2) передбачення можливості конвекції повітря у зоні розташування елементів, що виділяють велику кількість теплоти;
- 3) передбачення можливості легкого доступу до елементів, які вибирають при регулюванні схеми, також якщо елемент має електропровідний корпус і під корпусом проходить провідник, необхідно передбачити ізоляцію корпусу або провідника.

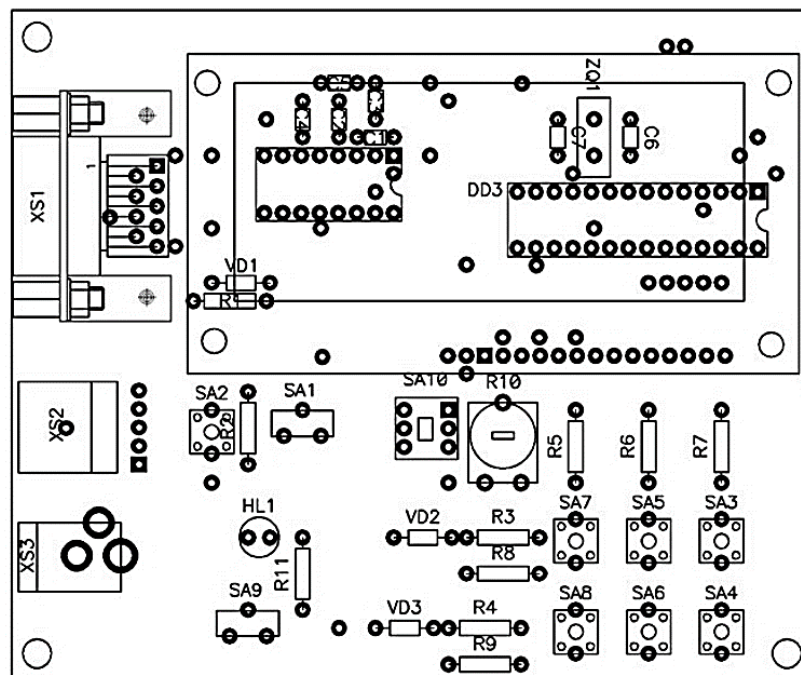


Рис. 5.1. Компонування елементів

5.2. Трасування друкованої плати

Саме перехід від схемної інформації до геометричної (розміщення на полі креслення друкованої плати) є трасуванням друкованої плати. Одночасно відбувається перехід від модельного опису виробу до опису реальної фізичної його реалізації.

На цьому етапі стають відомим реальні характеристики провідників, їх довжина, ширина, площа та інші характеристики. Топологія плати є лише малюнком сполучних проводів, розміщених у відповідному шарі плати, такий підхід до зображення схеми надає інформацію про координати та розміщення кожного елемента, проте сам малюнок елемента не є обов'язковим елементом топології друкованої плати.

Графічні чинники обумовлені лише роздільною здатністю та допусками процесу виготовлення, електричні обумовлені такими обмежуючими характеристиками компонента, як пробивні напруги, гранично допустима щільність струму в металевому провіднику, паразитні опори і ємності провідників.

Про ці два класи факторів зазвичай говорять як про «зведення правил проектування». У різних виробників друкованих плат правила проектування різні, але вони чітко визначають мінімальні розміри, і навіть максимальні значення параметрів, які диктуються кожним технологічним процесом із забезпечення масового виробництва із високим (заданим) виходом придатних і експлуатаційно надійних друкованих плат.

Розробка топології електричних з'єднань між посадковими місцями електронних компонентів, що встановлюють на друковану плату називають трасуванням. Трасування є наступною стадією розробки принципової схеми майбутнього виробу, у даній роботі використовувалось програмне забезпечення P-CAD PCB.

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

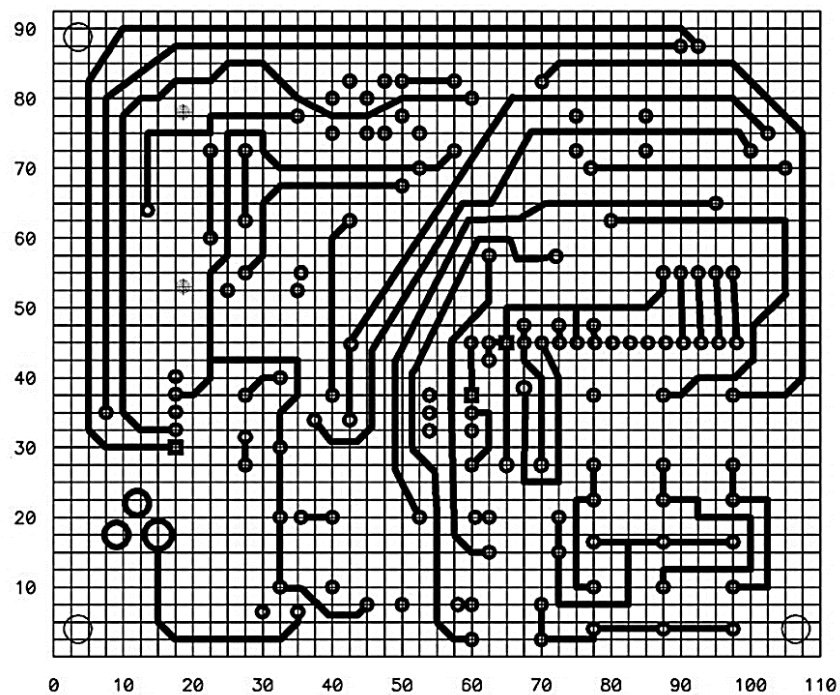


Рис. 5.2. Трасування верхнього шару друкованої плати

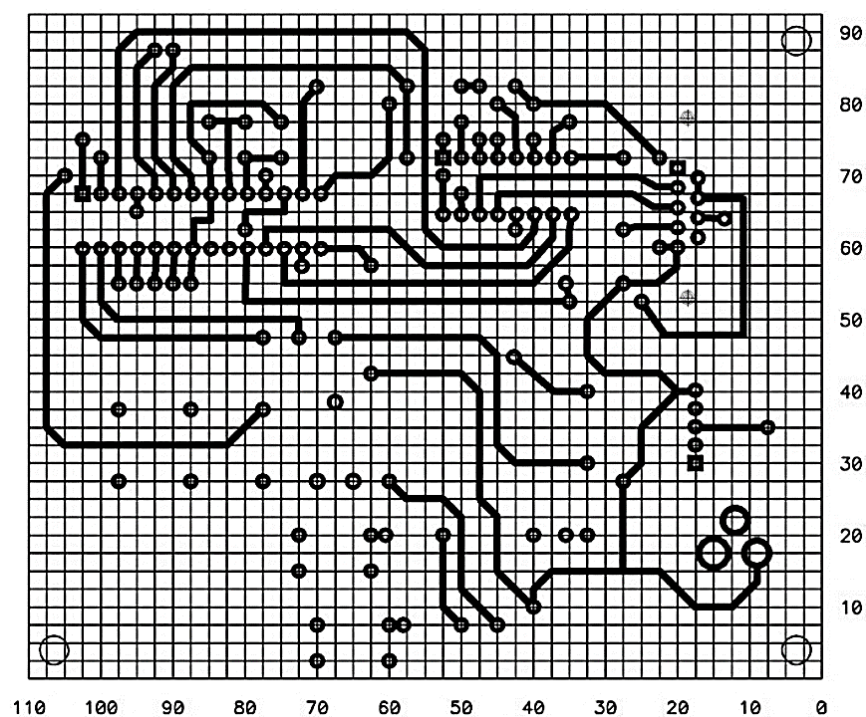


Рис. 5.3. Трасування нижнього шару друкованої плати

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МММТ.480.004.004 – ПЗ

Арк.

48

6. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ РОБОТИ СИСТЕМИ

Набір інструкцій, що описують певну послідовність дій виконання до досягнення певного результату має назву алгоритму та описуються у командах для об'єкта, що буде виконувати даний алгоритм.

Алгоритм має можливість представляти процес розв'язання задачі, як послідовне виконання деяких простих кроків. Для графічного відображення використовуються фігури, що логічно сполучені між собою лініями. Форма блоку визначає тип дії, а текст всередині блоку дає детальне пояснення та конкретизацію відповідної дії (рис. 6.1.).

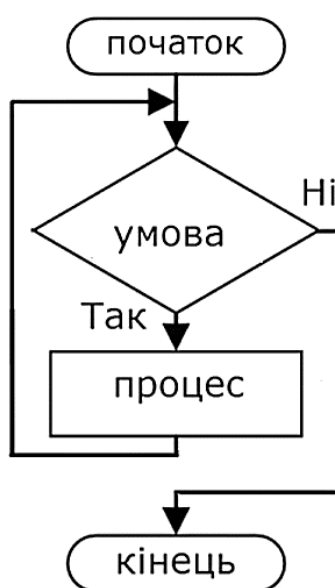


Рис. 6.1. Загальний вигляд блок-схеми алгоритму

Розробляють алгоритми згідно існуючих стандартів на типи блоків, що дозволяє легко адаптувати алгоритми, створені у вигляді блок-схем до будь-яких існуючих на сьогоднішній день мов програмування.

Зображення блоків у алгоритмі, їх розміри, товщина ліній, кут нахилу ліній тощо, регламентуються Державним стандартом "Схеми алгоритмів, програм, даних і систем" [16].

Проектування програми для мікроконтролера ATmega8 ведеться у спеціалізованому інтегрованому середовищі програмування для AVR

мікроконтролерів – AVR Studio. У додатку Г та В відповідно наведено повний алгоритм та програмний код для управління системою вимірювання кутової швидкості об'єктів.

Для спрощення розробки відповідної програми використовуються бібліотеки: операцій з дійсними числами, операцій з двійково-десятковими числами, підпрограм знакосинтезуючого РКІ, підпрограм для роботи з клавіатурою та меню.

Бібліотека операцій з дійсними числами маючи певні особливості пришвидшення роботи мікроконтролера та значного скорочення витрат часу на операції, використовується для опрацювання динамічно отриманих результатів вимірювання. Арифметико-логічний пристрій AVR-мікроконтролерів здатний виконувати елементарні арифметичні та логічні операції над числами, що представлені у двійковому коді. Результати вимірювання перетворюються у двійкові коди шляхом проходження через АЦП для змоги опрацювання їх мікроконтролером, однак коли потрібно відобразити остаточний результат на індикатор вони мають бути перетворені у десятковий формати зручний для сприйняття людиною, тому для цього доцільно використовувати бібліотеку операцій з двійково-десятковими числами.

Драйвер РКІ має набір підпрограм, які враховують усі апаратні особливості схеми включення та максимально полегшують роботу з індикатором у головній програмі мікроконтролера.

Підпрограма "ReadKey" здійснює сканування матричної та працює наступним чином: спочатку здійснюється пошук рядка натиснутої клавіші, потім слід виконати переналаштування портів, підключених до клавіатури.

Тепер рядки запрограмовані на вихід, а стовпці - на вхід. Таким чином, вже за відомою технікою визначається номер стовпця натиснутої клавіші. Результат сканування міститься в регістр "Key", після цього необхідно повернути порти введення/виводу у вихідний стан.

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підпрограма “OnAction” розподіляє команди з клавіатури між обробниками подій залежно від стану пристрою. Обробники подій вирішують, які дії необхідно виконати у відповідь на натискання певної кнопки. Таким чином, реакція на натискання клавіш залежить від контексту стану пристрою.

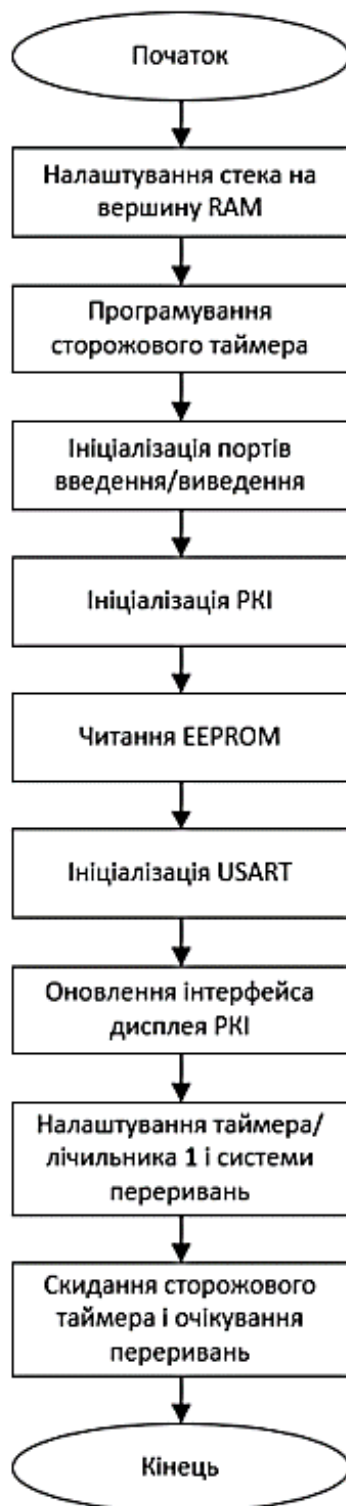


Рис. 6.1. Блок-схема алгоритму основної програми

Розглянемо алгоритм основної програми, що наведено на рис. 6.1. Після ініціалізації програми відбувається налаштування стеку шляхом завантаження прапорця “Ramend” в останню комірку пам’яті даних, після чого вмикаємо та задаємо значення таймеру 2,2 мс.

Ініціалізуємо направлення передачі даних та початкових значень портів вводу та виводу, використання драйверу РКІ дозволяє ініціалізувати виконання підпрограми "InitLCD", що задає режим роботи індикатора.

Для завантаження налаштувань потрібно виконати зчитування з регістру EEPROM, інтерфейс UART в свою чергу ініціалізується лише у випадку встановлення значення 3-го біта у Tunes.

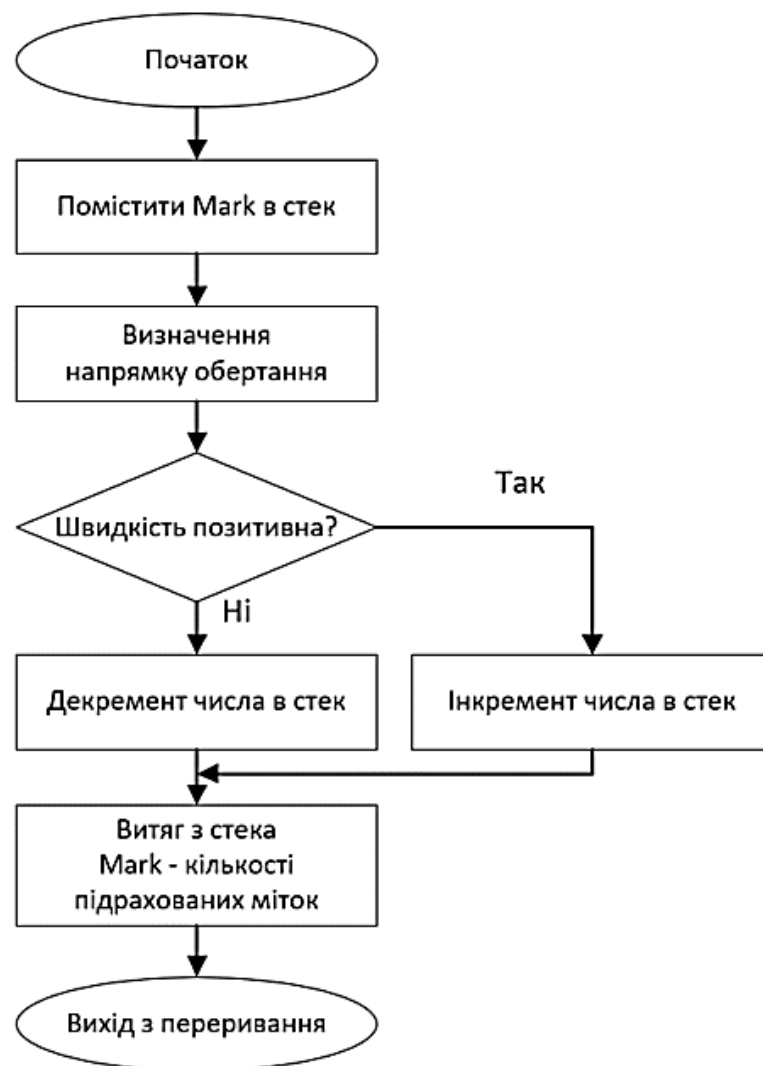


Рис. 6.2. Блок-схема алгоритму обробки переривань INT1



Рис. 6.3. Блок-схема алгоритму обробки переривань INT0



Рис. 6.4. Блок-схема алгоритму обробки переривань таймеру

Для обробки переривань таймеру, INT0 та INT1 використовуються відповідні програмні алгоритми, що зображено на рис. 6.2. – 6.4. Програма більшу частину часу перебуває у нескінченному циклі, тому для того щоб правильно обробляти переривань і запобігти виходу з ладу програми, використовується сторожовий таймер.

7. РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Розрахуємо похибку вимірювального каналу для системи вимірювання кутової швидкості, що складається з ДКШ серії ERN1020 і мікроконтролера АТmega8 від компанії Atmel.

Число періодів вихідного сигналу датчика кутової швидкості ERN1020 дорівнює 2500 за один оберт. Плата дозволяє підключати живлення датчика кутової швидкості безпосередньо та складає +5 В. Вихідний сигнал з датчика подається на вхід мікроконтролера, тактова частота якого складає 16 МГц, що дозволяє проводити вимірювання кутової швидкості з великою точністю у динамічному режимі.

Рівняння перетворення має вигляд

$$N_F = \frac{2\pi \cdot f_0}{\omega_x(t) \cdot z}, \quad (7.1)$$

де z – роздільна здатність енкодера.

Похибка квантування

$$\delta_k = \frac{1}{N_F} \cdot 100\% = \frac{\omega_x(t) \cdot z}{2\pi \cdot f_0} \cdot 100\% \quad (7.2)$$

де f_0 – частота імпульсів квантування;

Максимальна ємність бінарного лічильника мікроконтролера

$$N_{max} = 2^{n+1} - 1 \quad (7.3)$$

де n – розрядність лічильника.

Враховуючи рівняння (7.3) та (7.1), визначаємо нижню межу вимірювання:

$$\omega_{x \min} = \frac{2\pi \cdot f_0}{N_{max} \cdot z} \quad (7.4)$$

Верхня межа вимірювання $\omega_{x \max}$ для частотоміра миттєвих значень визначається із рівняння похибки квантування:

$$\omega_{x \max} = \frac{2\pi \cdot \delta_{\omega} \cdot f_0}{100\% \cdot z} \quad (7.5)$$

де δ_{ω} – нормоване значення похибки квантування.

Задаючись величиною $\delta_{\omega} = 0,2\%$, отримаємо:

$$\omega_{x \min} = \frac{2\pi \cdot 16 \cdot 10^6}{(2^{16+1} - 1) \cdot 2500} = 0,306 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right)$$

$$\omega_{x \max} = \frac{2\pi \cdot 0,2 \cdot 16 \cdot 10^6}{100 \cdot 2500} = 80,38 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right)$$

Отримані значення задовольняють умовам для вимірювання кутової швидкості у діапазоні 1 – 80 рад/с.

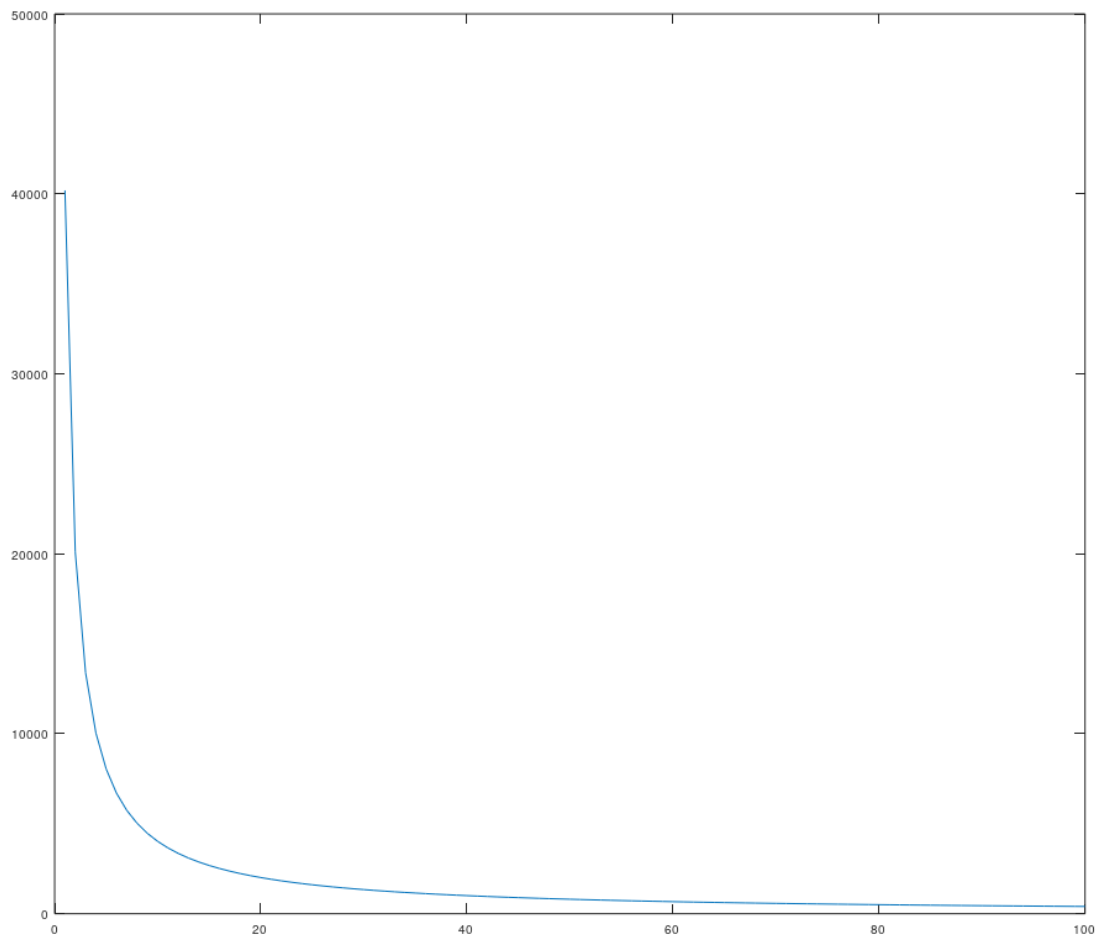


Рис. 7.2. Статична характеристики приладу

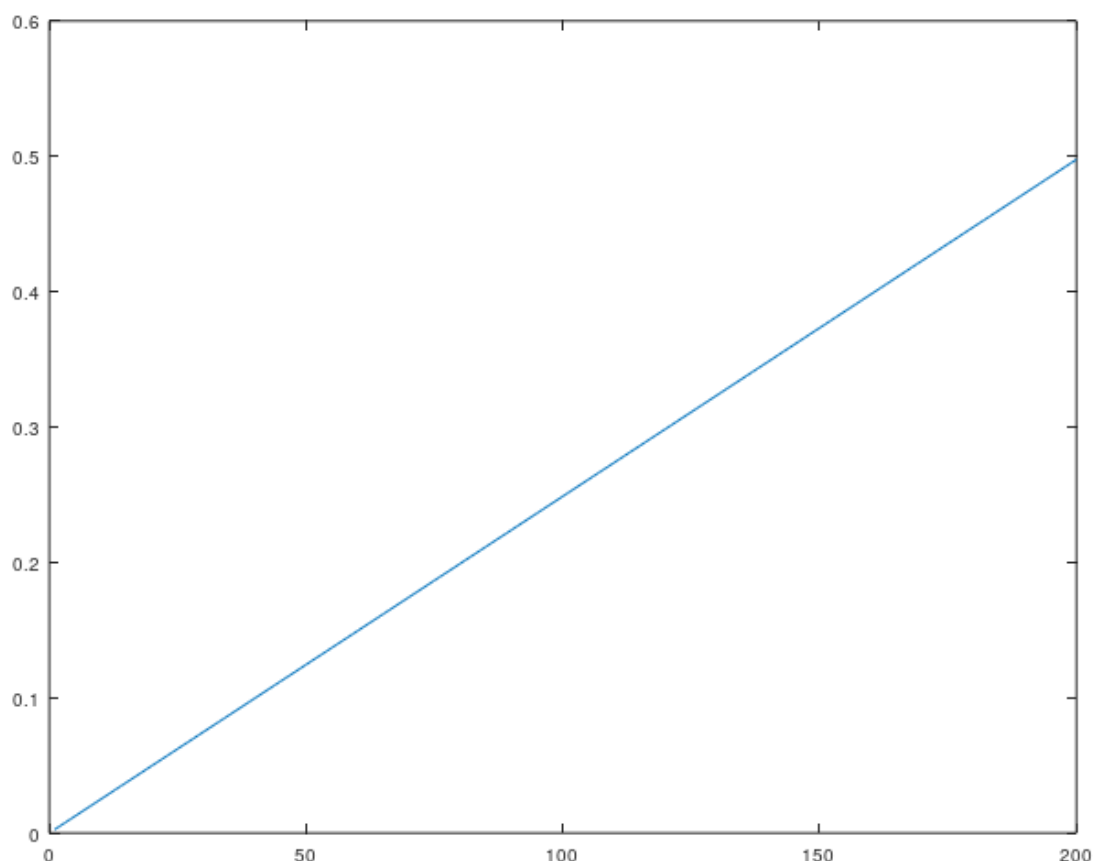


Рис. 7.3. Залежність похибки квантування від вихідної величини

За нормоване значення візьмемо різницю між верхньої і нижньої межею вимірювання. Підставивши значення отримаємо відповідно наступне значення абсолютної похибки:

$$\Delta = \frac{0,5 \cdot 79}{100\%} = 0,36 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right)$$

На рис. 7.2 показано розраховану залежність N_F , а на рис. 7.3 – похибку квантування δ_k . З рис. 7.3 видно, що значення похибки квантування при $\omega = 16$ МГц та $z = 2500$ не перевищує 0,5 % на всьому діапазоні вимірювання кутової швидкості від 1 до 80 рад/с.

8. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ

При розрахунку надійності системи потрібно визначити такі показники:

- ймовірність безвідмовної роботи системи за заданий час ($P(t)$);
- параметр потоку відмов (Λ);
- середнє напрацювання до відмови ($T_{\text{серед}}$).

Надійність – властивість об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників в заданих межах.

Ймовірність безвідмовної роботи – ймовірність того, що в межах вказаного періоду часу відмова пристрою не виникає.

Відмова – подія, яка полягає в порушенні працездатного стану об'єкта.

Середнє напрацювання до відмови – це математичне очікування напрацювання об'єкта до першої відмови.

Інтенсивність відмов – умовна щільність імовірності появи відмови.

Виріб використовуватиметься в таких умовах:

- температура повітря 19 °С, відносна вологість повітря 85 %;
- призначений для роботи в закритому приміщенні зі штучно регульованими кліматичними показниками.

Критерієм відмови системи вважається відмова будь-якої її складової частини, що приводить до порушення її працездатності і неможливості використання за призначенням. Відмова будь-якої складової частини системи призведе до відмови системи в цілому. Відновлення роботи системи проводиться методом заміни складової частини, що відмовила.

Розрахунок параметра потоку відмовлень виробу проводиться по формулі:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i \quad (8.1)$$

де n – загальне число групи КВ, що входять до складу проектного виробу; $N_i \lambda_i$ – кількість і інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи відповідно.

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи в робочому режимі визначалася по формулі

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_i \dots a_n \quad (8.2)$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмовлень КВ в номінальному режимі і нормальних умовах; $a_i \dots a_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують умови роботи (кліматичні і механічні впливи в залежності від призначення й умов майбутньої роботи), електричне навантаження КВ і температуру навколишнього середовища, ступінь інтеграції інтегральних мікросхем, а також співвідношення видів відмовлень.

Конкретні формули, по яких визначалися інтенсивність відмовлень кожної групи комплектуючих виробів, приведені в таблиці 8.2. Величини значень визначилися по довідковим даним з врахуванням вихідних даних для проєктованого виробу.

По формулі (8.1) визначаємо потік відмовлень виробу:

$$\Lambda = 13,254 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначалася по формулі

$$P(t) = e^{-\Lambda t} \quad (8.3)$$

де Λ – параметр потоку відмовлень; t – час роботи виробу (год)

Дані розрахунку $P(t)$ приведені в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
0,9967	0,9934	0,9054	0,9868	0,9738	0,9359	0,8994	0,8759

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \Lambda^{-1} \quad (8.4)$$

Підставляючи дані в формулу (8.4) одержимо

$$T = (13,254 \cdot 10^{-6})^{-1} = 75450 \text{ г.}$$

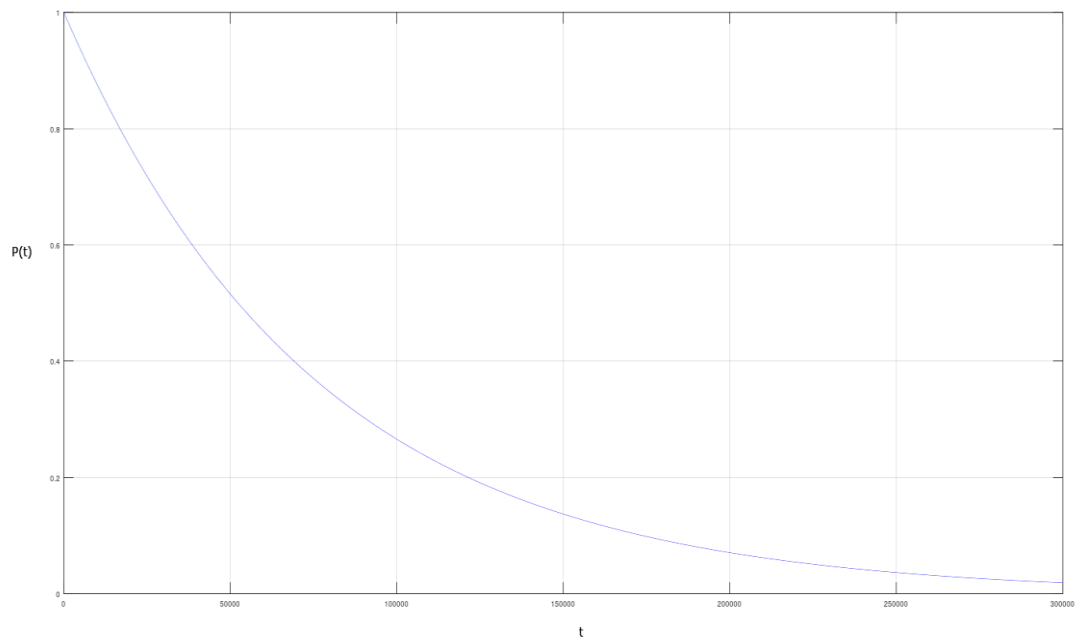


Рис. 8.1 Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

Таблиця 8.2

Перелік комплектуючих виробів

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_{i0} \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Конденсатори				a_1	a_2		a_4	
	КМ5А Н90 0.1мкФ	5	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,168
	КМ5А ПЗЗ 22пФ	2	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,0672
2	Резистори				a_1	a_2		a_4	
	С1-4 4.7 кОм	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
	С1-4 10 кОм	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
	С1-4 470 Ом	7	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,09408
	РТV09 20 кОм	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
	С1-4 330 Ом	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
3	Мікросхеми				a_1	a_2	a_4	a_6	
	АТmega8	1	2,1	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	5,733
	МАХ232АСРЕ	1	0,8	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	2,184
4	Діоди				a_1	a_2	a_4	a_6	
	1N4148	2	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5$	2,1	1	1,3	1	1,638
5	Стабілітрони				a_1	a_2	a_4	a_6	
	КС156А	1	0,4	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,588
6	Індикатори				a_1	a_2	a_4	a_6	
	Kingbright L-44 E D	1	0,7	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5$	2,1	1	1,3	1	1,911

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_{i0} \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	Індикатори				a_1	a_2	a_4	a_6	
	Kingbright L-44 E D	1	0,7	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5$	2,1	1	1,3	1	1,911
7	Кварцовий резонатор				a_1	a_2	a_4	a_6	
	НС-49U	1	0,2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	0,42
					a_1	a_2	a_4	a_6	
8	Перемикачі	4	0,03	$\lambda_0 \cdot a_1$	2,1				0,252
9	Пайки	171	0,0001	$\lambda_0 \cdot a_1$	2,1				0,036
10	Роз'єм	4	0,01	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	1	1,3	1	0,1092
	Разом								13,254

9. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

1. Інструкція з охорони праці є документом, який встановлює для працівників вимоги щодо безпечного виконання робіт та розроблена відповідно до таких нормативних документів:

- Положення про розробку інструкцій з охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 29.01.1998 № 9;

- Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 № 15;

- Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджених наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207;

2. Інструкція з охорони праці є документом, який встановлює для працівників вимоги щодо безпечного виконання робіт.

3. Керівник структурного підрозділу зобов'язаний створити на робочому місці умови, що відповідають Правилам охорони праці, забезпечити працівників засобами захисту та організувати вивчення ними цієї Інструкції.

4. Кожен працівник зобов'язаний:

- негайно повідомляти свого безпосереднього керівника, а за його відсутності - вищестоящого керівника про нещасний випадок і про всі помічені ним порушення інструкції, а також про несправності споруд, обладнання та захисних пристроїв;

- забезпечувати на своєму робочому місці збереження засобів захисту, інструменту, пристроїв, засобів пожежогасіння та документації з охорони праці.

5. За порушення вимог інструкції працівник несе відповідальність відповідно до чинного законодавства.

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

6. Під об'єктом випробувань (вимірювань) слід розуміти один або кілька однотипних об'єктів, що випробовуються (вимірюються) одночасно одним і тим же засобом випробувань (вимірювань).

7. Під випробуваннями (вимірюваннями) обладнання слід розуміти випробування (вимірювання) діючих електроустановок, що знаходяться в експлуатації, а також випробування (вимірювання), що здійснюються під час монтажу або ремонту обладнання.

Вимоги безпеки перед початком роботи

- Вимірювання та випробування слід проводити за програмами та методиками, технічними умовами організацій-виробників або стандартами на продукцію.

- Дозвіл на проведення вимірювань та випробувань діючих електроустановок має бути оформлений відповідно до чинних Правил охорони праці.

- Випробування та вимірювання в діючих електроустановках напругою вище 1000 В виробляються за вбранням.

- Допуск за нарядами або розпорядженнями на проведення вимірювань та випробувань провадиться тільки після видалення з робочих місць інших бригад, що працюють на обладнанні, що підлягає випробуванню або вимірюванню, та здачі ними нарядів або повідомлення про закінчення робіт з розпорядження.

- До складу бригад, що проводять випробування або вимірювання, можуть бути включені працівники з числа ремонтного персоналу з групою з електробезпеки не нижче II для виконання підготовчих робіт, охорони обладнання, що випробовується, а також для роз'єднання та з'єднання шин, жил кабелю, проводів. Ремонтний персонал, включений до складу бригади, до початку випробувань або вимірювань повинен бути проінструктований виробником робіт щодо заходів безпеки при випробуваннях або вимірюваннях.

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимоги безпеки під час виконання роботи

- Випробування електроустаткування з подачею підвищеної напруги від стороннього джерела
 - Роботи електровимірювальними кліщами, вимірювальними штангами та показчиками напруги.
 - Роботи з імпульсним вимірювачем ліній
 - Роботи з електролічильниками та вимірювальними приладами
 - Роботи з вимірювання напруженості електричного поля
 - Випробування електроустаткування з подачею підвищеної напруги від стороннього джерела

Вимоги безпеки після закінчення роботи

- Вимкнути випробувальне (вимірювальне) обладнання;
- у разі повного закінчення випробувань від'єднати дроти від випробувальної установки та зняти огорожі;
 - весь інструмент, пристрої, прилади та засоби захисту привести в належний порядок та розмістити у спеціальних шафах та на стелажах;
 - доповісти про завершення робіт вищому оперативному (черговому) персоналу та оформити закінчення робіт розписом в оперативному журналі;
 - зняти спецодяг, прибрати його та інші засоби індивідуального захисту у шафу для робочого одягу;

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено комп'ютеризовану систему збору, перетворення та зображення результатів виміру кутової швидкості рухомих об'єктів.

Основними елементами системи є датчик кутової швидкості ERN 1020 та мікроконтролер ATmega8.

Похибка вимірювального каналу 0,5 %.

Надійність розробленої системи: 75450 годин безвідмовної роботи.

Розраховані характеристики задовільняють вимоги технічного завдання.

У якості графічного матеріалу надано структурну та електричну принципу схему, топологія друкованої плати, перелік елементів, що використовуються при побудові. Щодо програмного та алгоритмічного забезпечення надано відповідний код програми для мікроконтролеру та зображено відповідні блок-схеми алгоритму.

Розроблено система дозволить проводити аналіз перехідних процесів, забезпечувати контроль регульованої величини, практично задіяти систему можна в області цифрових електроприводів, тахогенераторів або будь-якої вимірювальної системи на основі кутової швидкості.

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Інтелектуальні оптоелектронні сенсори кута: схемотехнічні та алгоритмічні методи синтезу [Монографія] М.І. Паламар, А. В. Чайковський; ТНТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2015 – 144 с.
- 2) Принцип роботи інкрементального енкодера [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://megasensor.com/products/princip-raboty-inkrementalnogo-enkodera/> (дата звернення: 24.04.2022).
- 3) Hall-effect sensors: theory and applications [Tutorial] Ramsden, Edward; Elsevier – USA, 2006 – 272 p.
- 4) Елементи та функціональні пристрої суднової автоматики [Навчальний посібник] Авдєєв Б.А; СПб: Технології, 2018. – 260 с.
- 5) Dictionary of algorithms and data structures. Gray's code [Collection of scientific publications] Black, Paul E; NIST, 2004.
- 6) Encyclopedia of Sensors [Tutorial] C. A. Grimes, E. C. Dickey, and M. V. Pishko; American Scientific Publishers, 2006.
- 7) Comb drive micromechanical tuneng forkgyro fabrication method [Patent] Jonathan J. Bernstein; US 005496436A, 1994.
- 8) Micromachined device with rotationally vibrated masses [Patent] J.Geen; US 5635640, 1997.
- 9) Incremental rotary encoder ERN 1020 Heidenhain [Datasheet] <https://www.heidenhain.com/products/rotary-encoders/external/ern-1000>
- 10) Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем: учебник для вузов / С.А. Орлов, Б.Я. Цилькер. - СПб.: Питер, 2011. – 688 с
- 11) Мікропроцесорна техніка: підручник/ Ю.І.Якименко, Т.О.Терещенко, Є.І.Сокол, В.Я.Жуйков, Ю.С.Петергеря; За ред. Т.О.Терещенко.– 2-ге вид. перероб. Та доповн.– К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»; «Кондор», 2004. – 440 с.
- 12) ATmega8 AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash [Datasheet] ATMEL Corporation, 303 p.

13) Рідкокристалічний індикатор літерно-цифровий [Довідник] МЕЛТ; 2018. – 12 с.

14) Розробка та основні правила оформлення конструкторської документації на друковані плати та друковані вузли радіоелектронних пристроїв. [Навчальний посібник] В.С. Глушков; Омськ, Омавіат, 2004 р.

15) ДСТУ 2681-94 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення. Режим доступу: http://dtp.lg.ua/DSTU_2681-94_metrologiya_terminy_i_opredeleniya.pdf (дата звернення: 14.06.2022)

16) Державні стандарти "Схеми алгоритмів, програм, даних і систем", Режим доступу: http://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTU2/dstu_7363-2013.pdf (дата звернення: 12.06.2022)

17) Метрологічне забезпечення тахометричних вимірювальних перетворювачів: монографія / Поджаренко В.О., Севастьянов В.М., Осадчий В.П.- Вінниця : ВНТУ, 2009. – 148 с.

18) Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Довгополов В.П., Грумінська Л.В. Метрологія та вимірювальна техніка. – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2004. - 256с.

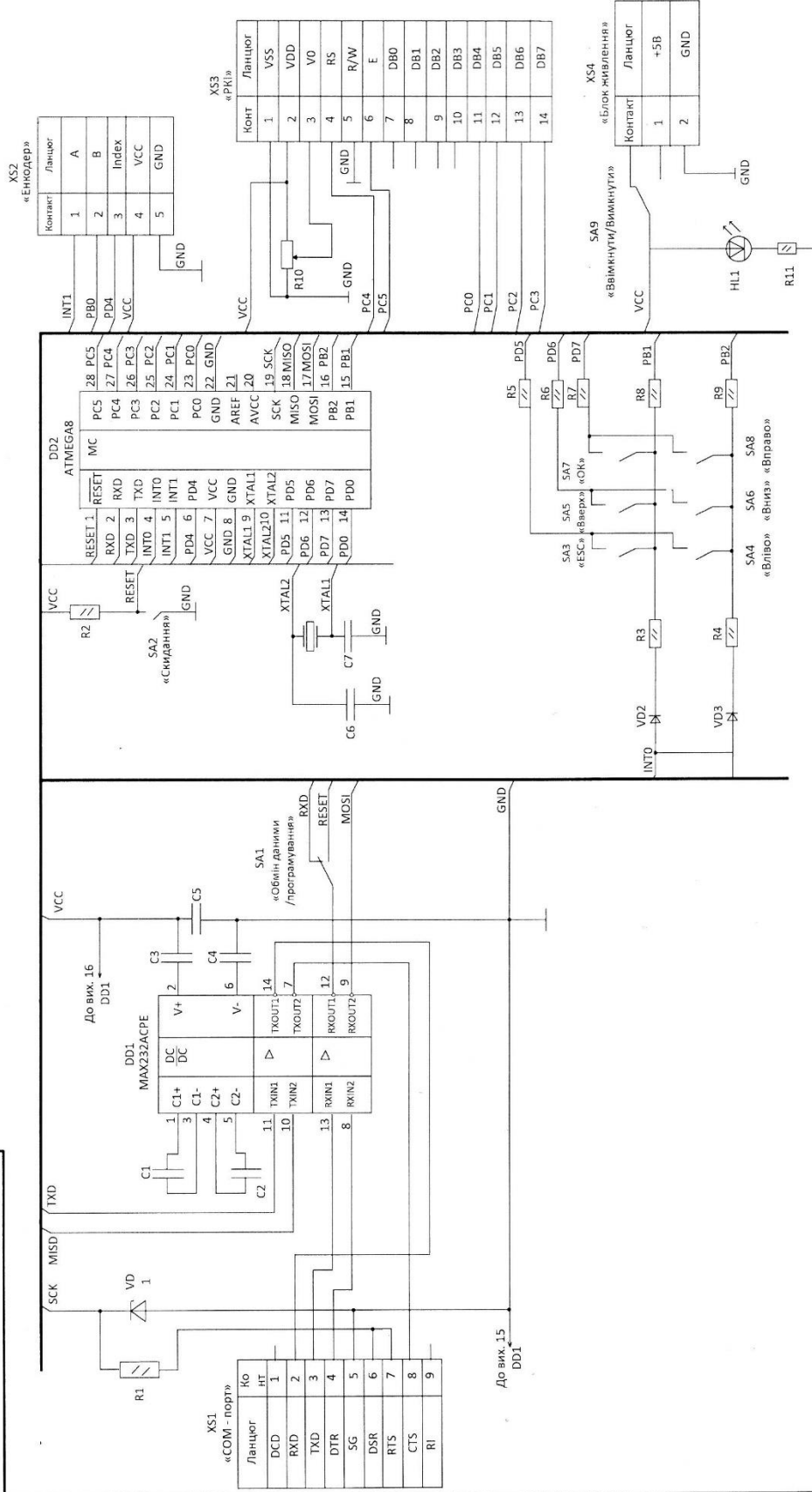
19) Метрологічне забезпечення тахометричних вимірювальних перетворювачів: монографія / В. О. Поджаренко, В. М. Севастьянов, В. П. Осадчий. — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 148 с.

20) MAX202E–MAX213E, MAX232E/MAX241E [Datasheet] Режим доступу: https://eu.mouser.com/datasheet/MAX202E_MAX241E-1292516.pdf (дата звернення: 20.05.2022)

21) Vishay Small Signal Fast Switching Diodes 1N4148 [Datasheet] Режим доступу: <https://www.vishay.com/docs/81857/1n4148.pdf> (дата звернення: 20.05.2022)

					МММТ.480.004.004 – ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ



МММТ.480.004.004 – ЕЗ

Комп'ютеризована система для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів				Лист		Листів	
Вид	Лист	№ докум.	Дата	Лист	Маса	Лист	Листів
Розроб.	Крижоручко М.Г.						
Перев.	Четков П.О.						
Т. контр.							
Н. контр.							
Зам.							

Схема електрична принципова

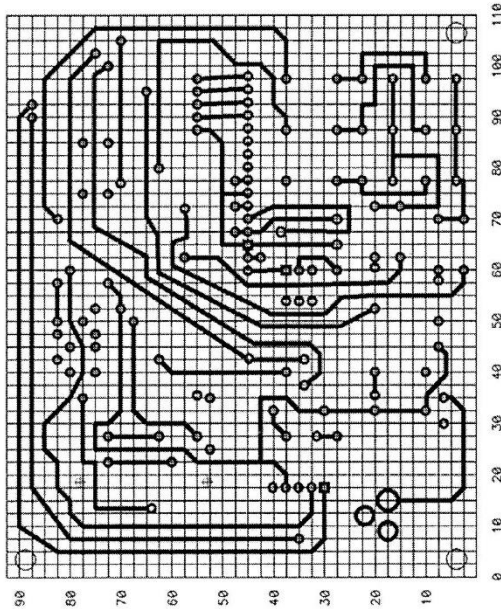
Державний університет
«Київський національний університет
імені Шевченка»

ар. МТ-1

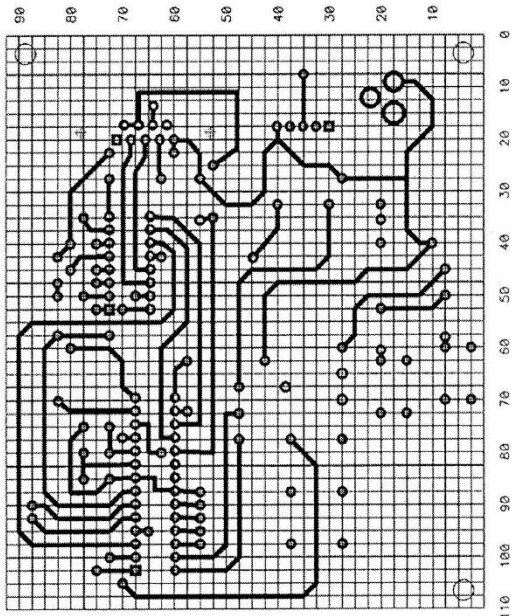
	Поз.познач.	Найменування	Кільк.	Приміт.
		Конденсатори		
	C1-C5	КМ5А Н90 0.1 мкФ (-20+50)%	5	
	C6, C7	КМ5А ПЗЗ 22 пФ 5%	2	
		Мікросхеми		
	DD1	MAX232ACPE	1	
	DD2	ATmega 8	1	
	HL1	Світлодіод Kingbright L-44 E D	1	
		Резистори		
	R1	C1-4 0.125 Вт 5% 4.7K	1	
	R2	C1-4 0.125 Вт 5% 10K	1	
	R3-R9	C1-4 0.125 Вт 5% 470 Ом	7	
	R10	Змінний резистор PTV09 20K	1	
	R11	C1-4 0.125 Вт 5% 330 Ом	1	
	SA1, SA9	Перемикачі ESP1010 12В 0.5А (SPDT)	2	
	SA2-SA8	Кнопки тактові TS-A1PS-130	7	
	VD1	Стабілітрон КС156А (симістор)	1	
	VD2-VD3	Діоди 1N4148	2	
		Роз'єми		
	XS1	D-SUB DBR 9 МА	1	
	XS2	AMPMODU 103635-4	1	
	XS3	IDC-14 MS	1	
	XS4	DTD-0020 (DJK-05D)	1	
	ZQ1	Резонатор 16Мгц HC-49U	1	

					МММТ.480.004.004 – ПЕ			
Вим	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютеризована система для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів Перелік елементів	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Криворучко М.Г.							1
Перевір.	Чеплюк Л.О.							
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.	Подчаїшинський Ю.О.				Державний університет «Житомирська політехніка», гр. МТ-1			

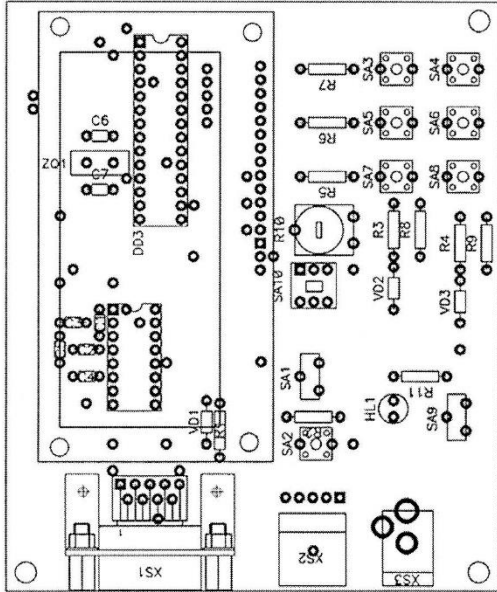
Верхня сторона друкованої плати



Нижня сторона друкованої плати



Розміщення елементів на платі



МММТ.480.004.004 – Т1									
Вик. Розроб.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб	Комп'ютеризована система для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів	
Перев.	Т. контр.	Міжвуз. Л.О.	Чепик Л.О.		Лист	Листів		Топологія друкованої плати	
Н. контр.	Затв.							Державний університет «Київська політехніка» зр. МТ-1	

ДОДАТОК Д

```

;=====
; Файл: Encoder.asm ; Програма керування інтелектуальним датчиком кутової швидкості
;=====
;-----
; Включення заголовків мікроконтролера ATmega8
;-----
.include "m8def.inc"
;-----
; Визначення імен регістрів
;-----
.def Float10 = r16 ; Число 1 дійсного типу
.def Float1L = r17
.def Float1H = r18
.def Float20 = r19 ; Число 2 дійсного типу
.def Float2L = r20
.def Float2H = r21
.def FTemp0 = r22 ; Тимчасові змінні для речових обчислень
.def FTempL = r23
.def FTempH = r24
.def FCnt = r25
.def var = r22 ; Змінна загального призначення
.def MarkL = r26 ; Кількість підрахованих міток енкодера (16 біт)
.def MarkH = r27
.def ResL = r28 ; Роздільна здатність енкодера (16 біт)
.def ResH = r29
.def fASCIIL = r11 ; Змінні для BIN2BCD-перетворення.def tASCII0 = r11
.def fASCIIH = r12
.def tASCII2 = r13
.def tASCII3 = r14
.def tASCII4 = r15
.def tASCII1 = r16
.def cnt16a = r16
.def tmp16a = r17
.def tmp16b = r18
.def LCDPrescaler = r5 ; Лічильник виведення значення швидкості на LCD
.def Key = r16 ; Скан-код клавіатури
.def State = r17 ; байт стану
.def BitRateFlags = r22 ; Байт прапорів швидкості обміну по інтерфейсу
.def EditPos = r18 ; Позиція редагованої цифри в EditBox
.def CursorPos = r23 ; Позиція курсора введення в EditBox
.def Tunes = r18 ; Байт прапорів налаштування пристрою
; *** Прапори настройки ***
; * 0 - об / с
; * 1 - об / хв
; * 2 - рад / с
; * 3 - інтерфейс
; * 4 - см / с
; *****
;-----
; Визначення змінних в пам'яті SRAM
;-----
.equ mSign = 0x60; Копія знака швидкості
.equ mState = 0x61; байт стану
.equ mTunes = 0x62; Байт прапорів налаштування пристрою
.equ mBitRate = 0x63; Байт прапорів швидкості обміну по інтерфейсу
.equ K0 = 0x64; Коефіцієнт передачі K.equ KL = 0x65
.equ KH = 0x66

```

```

.equ T0 = 0x88; Інтервал рахунку T
.equ TL = 0x89
.equ TH = 0x8a
.equ mtccr1b = 0x8b; Копія регістра tccr1b
.equ Sum0 = 0x8c; Сума значень лічених даних
.equ SumL = 0x8d
.equ SumH = 0x8e
.equ LCDState = 0x8f; стан дисплея
.equ Count0 = 0x91; Кількість лічених даних
.equ CountL = 0x92
.equ CountH = 0x93
.equ Mistake0 = 0x94; Допустима похибка вимірювань
.equ MistakeL = 0x95
.equ MistakeH = 0x96
; -----
; Початкові налаштування і параметри датчика в EEPROM
; -----
.eseg
// Інтерфейс включений
; од. вим. - об / с
; дозвіл енодера - 1000 мет / об.
// BitRate = 115200 baud
// Коефіцієнт передачі K = 1
// Період рахунку T = 0.01 с
.org 0
.db 0b1001, 0x03, 0xe8, 0x07, 0x41, 0x00, 0x80, 0x3a, 0xd6, 0xa3
; -----
; Таблиця векторів переривань
; -----
.cseg; RESET
.org 0
rjmp main; Запит на зовнішнє переривання int0 (клавіатура)
.org 0x1
rjmp int0Request; Запит на зовнішнє переривання int1 (канал А енодера)
.org 0x2
rjmp int1Request
; Порівняння таймера / лічильника 1 з регістром порівняння А
.org 0x6
rjmp intTimer1COMPA ; Переповнення таймера / лічильника 0
.org 0x9
rjmp intTimer0OVF
.org 0x20
; -----
; Основна програма
; -----
main:
    ldi var, high (RAMEND); Налаштування покажчика стека на вершину RAM
    out sph, var
    ldi var, low (RAMEND)
    out spl, var
    ldi var, 0b110; Налаштування порту В
    out portb, var
    ldi var, 0b11100010; Налаштування порту D
    out ddrd, var
    ldi var, 0b00000000
    out portd,
    var ldi var,
    0b111111; Налаштування ліній pc0..pc5 на висновок даних

```

```

out ddrc, var
ldi State, 0; Завантаження початкового стану в пам'ять
sts mState, State
sbrc Tunes, 3; Якщо необхідний інтерфейс, то включити його
rcall MeasureInterface; Вивести на дисплей інтерфейс вимірювання швидкості
ldi var, 0b1110; Налаштування запиту на переривання int1
out mcucr, var; по передньому фронту, а int0 - по задньому
ldi var, 0b11000000; Дозвіл зовнішніх переривань
out gicr, var
ldi var, 0b101; Налаштування таймера / лічильника 0 на частоту CLK/1024
out tccr0, var
rcall SetTimerInterval; Встановити періодичність рахунків
in var, tccr1b; Збереження tccr1b в SRAM
sts mtccr1b, var
ldi var, 0; Обнулення таймера / лічильника 1
out tcnt1h, var
out tcnt1l, var
out tcnt0, var
ldi var, 0b10001; Дозвіл переривання в порівнянні
out tmsk, var; таймера / лічильника 1
ldi var, 0; Обнулення лічильника виведення на PKI
mov LCDPrescaler, var
ldi Float2H, 0; Обнулення суми значень лічених даних
ldi Float2L, 0
rcall Fix2Float
sts Sum0, Float20
sts SumL, Float2L
sts SumH, Float2H
sts Count0, Float20; Обнулення кількості лічених даних
sts CountL, Float2L
sts CountH, Float2H
sei; Глобальне дозвіл переривань
loop: nop; очікування переривань
rjmp loop
; -----
; Підпрограма обробки запиту на зовнішнє переривання int0 (клавіатура)
; -----
int0Request: ldi var, 0b0; Вимкнення таймера / лічильника 1
out tccr1b, var
rcall ReadKey; Отримати скан-код в Key
rcall OnAction; Відреагувати на натиснуту клавішу
lds State, mState; Завантаження стану пристрою
tst State; Якщо State = Measure,
brne NoTimer; то включити таймер 1
lds var, mtccr1b; Відновлення частоти таймера / лічильника 1
out tccr1b, var
ldi var, 0; Обнулення таймера / лічильника 1
out tcnt1h, var
out tcnt1l, var

NoTimer: reti; Вихід з переривання
; -----

```

```

; Підпрограма обробки запиту на зовнішнє переривання int1 (канал А енкодера)
; -----
int1Request: push MarkH; Приміщення змінної Mark в стек
             push MarkL
             in var, pinb; Перевірка стану каналу В енкодера
             bst var, 0; Нижче йде обчислення: Mark = Mark (+/-) 1
             brtc Positive
             rcall DecSigned16; Зменшити на 1 кількість підрахованих міток
             pop MarkH
             pop MarkL
             rjmp CountOK
Positive: rcall IncSigned16; Збільшити на 1 кількість підрахованих міток
          pop MarkH <202> pop MarkL <203> CountOK: <204> reti; Вихід з переривання

; -----
; Підпрограма обробки переривання порівняння таймера / лічильника 1
; -----
intTimer1COMPA: ldi var, 0b0; Вимкнення таймера / лічильника 1
                out tccr1b, var
                ldi var, 0; Розпізнавання знака швидкості
                tst MarkH
                brpl SavePos
                ldi var, 1; var = 1, якщо швидкість негативна, інакше 0
                subi MarkH, 0x80; Приведення Mark до модулю: Mark = abs (Mark)

SavePos: sts 0x60, var; Збереження знака швидкості в пам'яті
         rcall GetVelocity; Отримання поточної швидкості в Float2
         rcall USART_Transmit; Передача швидкості через USART
         clr MarkH; обнулення Mark
         clr MarkL
         rcall SwapFl; Множення швидкості на 10 (12345 = 10 * 1234.5)
         ldi Float2L, 10
         ldi Float2H, 0
         rcall Fix2Float
         rcall SwapFl
         rcall FMult
         lds Float10, Sum0; Завантаження суми значень з пам'яті
         lds Float1L, SumL
         lds Float1H, SumH
         rcall FAdd; Додавання поточного значення до суми
         sts Sum0, Float20; Збереження суми в пам'яті
         sts SumL, Float2L
         sts SumH, Float2H
         lds Float10, Count0; Завантаження кількості значень з пам'яті
         lds Float1L, CountL
         lds Float1H, CountH
         ldi Float20, 0x41; Додавання одиниці до кількості значень 93
         ldi Float2L, 0x00
         ldi Float2H, 0x80
         rcall FAdd
         sts Count0, Float20; Збереження кількості значень в пам'яті
         sts CountL, Float2L
         sts CountH, Float2H
         breq SkipLCDOut

ldi var, 0

```

```

    sts LCDState, var
    clr LCDPrescaler
    lds Float10, Sum0
    lds Float1L, SumL
    lds Float1H, SumH
    lds Float20, Count0
    lds Float2L, CountL
    lds Float2H, CountH
    rcall FDiv
    rcall Float2Fix; Перетворення швидкості в ціле число
    mov fASCIIL, Float2L
    mov fASCIH, Float2H
    rcall bin2ASCII16; Перетворення швидкості BCD-формат
    ldi r25, 64; Початкова адреса DDRAM
    rcall OutFBCD; Висновок швидкості на дисплей
    ldi Float2H, 0
    ldi Float2L, 0
    rcall Fix2Float
    sts Sum0, Float20
    sts SumL, Float2L
    sts SumH, Float2H
    sts Count0, Float20
    sts CountL, Float2L
    sts CountH, Float2H
SkipLCDOut:
    lds var, 0x8b; Відновлення частоти таймера / лічильника 1
    out tccr1b, var
    ldi var, 0; Обнулення таймера / лічильника
    out tcnt1h, var
    out tcnt1l, var
    reti; Вихід з переривання
; -----
; Підпрограма обробки переривання переповнення таймера / лічильника 0
; -----
intTimer0OVF: inc LCDPrescaler; Збільшення лічильника виведення на РКІ
               ldi var, 31; Якщо пройшло 0.5 с, то оновити дані на РКІ
               cp LCDPrescaler, var;
               brne NoLCDFlag
               ldi var, 1
               sts LCDState, var
NoLCDFlag: reti; Вихід з переривання
; -----
; Підпрограма інкремента 16-бітного числа зі знаком
; -----
IncSigned16: pop r1; Як ввести адресу повернення в R1: R0
              pop r0
              pop r26; Витяг з стека аргументу
              pop r27
              tst r27
              brmi NegArg; Перевірка знака аргументу
              adiw r27, r26, 1 ; аргумент позитивний
              rjmp IncOK NegArg ; аргумент негативний
              tst r26; Облік зміни знака при Інкремент (-0 = 0)
              brne NoNegZero
              cpi r27, 0b10000000brne

              NoNegZero: ldi r27, 0

```

```

        adiw r27: r26, 1
        rjmp IncOK
    NoNegZero:
        sbiw r27: r26, 1
    IncOK:
        push r26; Повернення результату в стек
        push r27 94
        push r0; Приміщення адреси повернення в стек
        push r1
        ret; Вихід з підпрограми
; -----
; Підпрограма декремента 16-бітного числа зі знаком
; -----
DecSigned16: pop r1; Як ввести адресу повернення в R1: R0
              pop r0
              pop r26; Витяг з стека аргументу
              pop r27
              tst r27
              brpl PosArg; Перевірка знака аргументу
              adiw r27: r26, 1; аргумент негативний
              rjmp IncOK
    PosArg;; аргумент позитивний
              tst r26; Облік зміни знака при декрементом (0 = -0)
              brne NoPosZero
              cpi r27, 0
              brne NoPosZero
              ldi r27, 0b10000000
              adiw r27: r26, 1
              rjmp DecOK
    NoPosZero:
        sbiw r27: r26, 1
    DecOK:
        push r26; Повернення результату в стек
        push r27
        push r0; Приміщення адреси повернення в стек
        push r1
        ret; Вихід з підпрограми
; -----
; Підпрограма обчислення швидкості в об / с
; Вхід - Mark
; Вихід - Float2 (швидкість в об / с)
; -----
GetVelRevPerSec: mov Float2L, MarkL; Перетворення Mark в речовинний тип
                 mov Float2H, MarkH
                 rcall Fix2Float
                 mov Float10, Float20; Завантаження Mark в Float1
                 mov Float1L, Float2L
                 mov Float1H, Float2H
                 mov Float2L, ResL; Перетворення Res в речовинний тип
                 mov Float2H, ResH
                 rcall Fix2Float
                 rcall FDiv; Float2 = Mark / Res
                 lds Float10, T0; Завантаження в Float1 періоду опитування енодера T
                 lds Float1L, TL
                 lds Float1H, THrcall SwapFl
                 rcall FDiv ; Float2 = Mark / (Res * T)
                 lds Float10, K0; Завантаження в Float1 коефіцієнта передачі K

```

```

        lds Float1L, KL
        lds Float1H, KH
        rcall FMult; Float2 = Mark * K / (Res * T) (результат)
        ret; Вихід з підпрограми

; -----
; Підпрограма обчислення абсолютної погрешності
; Вхід - дозвіл енкодера Res [мет]
; інтервал рахунки T [з] в SRAM
; коефіцієнт передачі K в SRAM
; Вихід - абсолютна похибка швидкості в поточній розмірності Mistake в SRAM
; -----
GetMistake: lds Float10, T0; Завантаження в Float1 інтервалу рахунки T [з] 103
            lds Float1L, TL
            lds Float1H, TH
            mov Float2L, ResL; Завантаження в Float2 дозволу датчика Res [мет]
            mov Float2H, ResH
            rcall Fix2Float
            rcall FMult; Float2 = T [з] * Res [мет]
            lds Float10, K0; Завантаження в Float1 коефіцієнта передачі K
            lds Float1L, KL
            lds Float1H, KH
            rcall FDiv; Float2 = K / (T [з] * Res [мет])
            lds Tunes, mTunes; Завантаження налаштувань з пам'яті
            sbrs Tunes, 1
            rjmp GM_RadPS
            ldi Float10, 0x48; Завантаження в Float1 числа 60
            ldi Float1L, 0x00
            ldi Float1H, 0x3c
            rcall FMult; Float2 = 60 * K / (T [з] * Res [мет]) (результат)
            rjmp GM_Store
GM_Store:
GM_RadPS:  sbrs Tunes, 2
            rjmp GM_Store
            ldi Float10, 0x48; Завантаження в Float1 числа 2 * pi = 6.283
            ldi Float1L, 0x48
            ldi Float1H, 0x06
            rcall FMult; Float2 = 2 * pi * K / (T [з] * Res [мет]) (результат)
            GM_Store: sts Mistake0, Float20; Збереження Mistake в SRAM
            sts MistakeL, Float2L
            sts MistakeH, Float2H
            ret

; -----
; Підпрограма обчислення інтервалу рахунки
; Вхід - дозвіл енкодера Res [мет]
; допустима абсолютна похибка Mistake в SRAM
; коефіцієнт передачі K в SRAM
; Вихід - інтервал рахунки T [з] в SRAM
; -----
GetTimerInterval: lds Float10, Mistake0; Завантаження в Float1 похибки Mistake
                  lds Float1L, MistakeL
                  lds Float1H, MistakeH
                  mov Float2L, ResL; Завантаження в Float2 дозволу датчика Res [мет]
                  mov Float2H, ResH
                  rcall Fix2Float

                  rcall FMult; Float2 = Mistake * Res [мет]

```

```

lds Float10, K0
lds Float1L, KL
lds Float1H, KH
rcall FDiv; Float2 = K / (Mistake * Res [мет])
lds Tunes, mTunes; Завантаження налаштувань з пам'яті
sbrs Tunes, 1
rjmp GTI_RadPS
ldi Float10, 0x48; Завантаження в Float1 числа 60
ldi Float1L, 0x00
ldi Float1H, 0x3c
rcall FMult; Float2 = 60 * K / (Mistake * Res [мет]) (результат)
rjmp GTI_Store

```

GTI_RadPS:

```

sbrs Tunes, 2
rjmp GTI_Store
ldi Float10, 0x48; Завантаження в Float1 числа 2 * pi = 6.283
ldi Float1L, 0x48
ldi Float1H, 0x06
rcall FMult; Float2 = 2 * pi * K / (Mistake * Res [мет]) (результат)

```

GTI_Store:

```

sts T0, Float20; Збереження T [з] в SRAM
sts TL, Float2L
sts TH, Float2H
ret

```

```

; -----
; Бібліотека операцій з дробовими числами
; -----
#include "Float.inc"
; -----
; Бібліотека операцій з BCD числами <1139>
; -----
#include "BCD.inc"
; -----
; Бібліотека підпрограм для роботи з клавіатурою і меню
; -----
#include "Keypad.inc"
; -----
; Бібліотека підпрограм для роботи з РКІ
; -----
#include "LCD.inc"

```