

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
(повна назва кафедри)

Федина Микола Юрійович
Fedyna Mykola

УДК 004:681.5

Спеціальність 123-Комп'ютерна інженерія
(шифр та назва спеціальності)

Кваліфікаційна робота
на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

Мікропроцесорна система комп'ютеризованого контролю якості
лакофарбових покриттів
Microprocessor system of computerized quality control of lacquer coatings

Науковий керівник:
кандидат фіз.-мат. наук, доцент
Терлецький А.І.

Рецензент:
кандидат фіз.-мат. наук, зав.кафедри
фізики і методики викладання
Ліщинський І.М.

Івано-Франківськ
2022

Об'єкт дослідження – процес забезпечення точності вимірювача товщини.

Предмет дослідження: методи вимірювання товщини лакофарбових покриттів конструкційних деталей.

Мета атестаційної роботи магістра: розробка вимірювача товщини та дослідження його похибок.

В процесі виконання роботи здійснено аналіз літератури відповідно до теми, визначено основні вимоги щодо неруйнівного виміру товщини лакофарбового покриття матеріалів.

Для неруйнівного контролю якості необхідно розробити портативний пристрій, який повинен мати такі параметри:

- генерування електромагнітного сигналу та його приймання;
- автоматичний відображення результату заміру на дисплеї;
- індикація живлення пристрою та автовимкнення;
- індикація проведення виміру товщини за умови акустичного контакту зонду з матеріалом;
- можливість внесення калібрування щодо матеріалу;

ABSTRACT

Explanatory note contains: 59 pages, 24 figures, 2 tables, 12 sources of links.

NONDESTRUCTIVE CONTROL, SENSORS, DEVELOPMENT, METHODS, THICKNESS GAUGE, THICKNESS MEASUREMENT, ULTRASOUND

The object of research is the accuracy of ultrasonic thickness gauges parts.

The subject of research – methods of measuring the thickness of structural.

The purpose of the master's certification work is to develop a thickness gauge and study its exact parameters

The analysis of the literature on the topic of the work was carried out, the basic requirements for measuring the thickness of materials when non-destructive testing of material thickness is required were determined.

For non-destructive testing it is necessary to develop a portable device, which should have the following parameters:

- generation of ultrasonic signal and reception of echo signal;
- automatic display of the measurement result on the display;
- device power indication and auto power off;
 - indication of thickness measurement at acoustic contact of the probe with the material;
- the possibility of making calibrations for the material;
 - the ability to work with ultrasonic split-combined sensors of different frequencies.

According to the results of the study, one thesis was published.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	5
1. Вступ.....	6
1 Аналіз сучасних вимірювачів товщини.....	8
1.1 Аналіз заданих даних.....	8
1.2 Аналіз аналогічних рішень.....	8
1.2.1 Механічні вимірювачі товщини.....	9
1.2.2 Електромагнітні вимірювачі товщини	11
1.2.3 Вихрострумові вимірювачі товщини	12
1.2.4 Ультразвукові вимірювачі товщини	12
1.2.5 Магнітні вимірювачі товщини	15
1.3 Постановка завдання.....	14
2 Аналіз ультразвукового контролю.....	16
2.1 Основні особливості ультразвукового контролю.....	16
2.2 Акустичні методи неруйнівного контролю.....	17
2.3 Ультразвукові датчики.....	21
3. Теоретичні передумови для розробки вимірювача товщини.....	23
3.1 Структурна схема вимірювача товщини.....	24
3.2 Розробка електричної принципової схеми.....	24
3.3 Аналіз елементної бази.....	27
3.4 Розробка друкарської плати і визначення її габаритів.....	28
3.5 Розрахунок електромагнітної сумісності схеми.....	28
4. Аналіз експериментальних досліджень похибок вимірювача товщини.	30
4.1 Проведення експериментальних досліджень та порівняння отриманих результатів з класичним методом вимірювання.....	30
5. Мікропроцесор як елемент комп'ютеризованої техніки.....	35
5.1. Історія зародження та створення мікропроцесорів	35
5.2. Класифікація різних видів сучасних мікропроцесорів	38
5.3 Структура мікропроцесора.....	40
6. Охорона праці.....	43
6.1. Основні засади охорони праці на виробництві.....	43

	5
6.2. Пожежна безпека.....	44
6.3. Інструкція охорони праці з електробезпеки.....	46
Висновки.....	50
Джерела посилання.....	52
Додаток: Програма для мікропроцесора вимірювача товщини.....	53

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

ДП – друкована плата;

ЕРЕ – електрорадіоелемент;

МК – мікроконтроллер.

НК – неруйнівний контроль;

ПК – персональний комп'ютер;

ПКП – п'єзоелектричні перетворювачі;

ТЗ – технічне завдання;

УЗ – ультразвуковий, ультразвук;

УЗК – ультразвуковий контроль;

ЧРЧ – часове регулювання чутливості;

RS-232 (Recommended Standard 232) – послідовний порт;

USB (Universal Serial Bus) – послідовний інтерфейс;

ВСТУП

Електромагнітна товщинометрія – метод оцінювання фактичного значення товщини елементів конструкцій шляхом одноразових вимірювань в місцях, недоступних для вимірювання товщини механічним вимірювальним інструментом. Найчастіше використовують пристрій, який визначає час проходження електромагнітного імпульсу від випромінювача до протилежної поверхні об'єкта контролю і назад до перетворювача. Для здійснення таких вимірювань доступ до протилежної поверхні об'єкта контролю не потрібно. Завдяки цьому, якщо протилежна поверхня об'єкта контролю є важкодоступною або повністю недоступною, не потрібно розрізати об'єкт на частини. За допомогою електромагнітних вимірювачів товщини можна виміряти товщину лакофарбових покриттів виробів з більшості конструкційних матеріалів, таких як метали, пластики, кераміка, композити, епоксидні смоли, скло, а також товщина шару рідини або біологічних зв'язків.

Для проведення вимірювань необхідно компенсувати зсув нуля, зумовлений компенсацією часу апаратної затримки імпульсу в самому вимірювачі товщини та перетворювачі. Отриманий часовий інтервал вимірювач товщини ділить на 2 і отримує час проходження електромагнітного імпульсу воднобік. Це значення помножується на швидкість поширення електромагнітного імпульсу в досліджуваному матеріалі. Таким чином розраховують товщину об'єкта контролю.

Швидкість поширення електромагнітного імпульсу залежать від виду матеріалу. Тому налаштування електромагнітного вимірювача товщини навірно швидкість в матеріалі, з якого виконаний об'єкт контролю, є надзвичайно важливим. Для цього використовують опірні різки відомої товщини з такого ж матеріалу, які об'єкт контролю.

За будь-якого виміру товщини вибір вимірювача товщини і

перетворювача залежить від матеріалу, з якого виконаний об'єкт контролю, діапазону вимірюваної товщини і необхідної точності вимірювань. Крім цього, необхідно враховувати форму об'єкта контролю, його температуру тощо.

Таким чином, метою є розробка електромагнітного вимірювача товщини та дослідження його похибок, предметом дослідження є метод вимірювання товщини конструкційних деталей, об'єктом дослідження є процес забезпечення точності електромагнітного вимірювача товщини.

Актуальність роботи полягає в тому, що однією з найважливіших областей застосування електромагнітного вимірювача товщини є вимірювання товщини та якості лакофарбових покриттів.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ВИМІРЮВАЧІВ ТОВЩИНИ

1.1 Аналіз заданих параметрів

Призначення загальна характеристика пристрою, який проектують:

- портативний мікропроцесорний пристрій для вимірювання товщини лаку фарбових покриттів на виробництві та в побуті;
- генерування сигналу та приймання сигналу;
- автоматичний відображення результату на дисплеї;
- автоматичний контроль живлення (від 1 хвилини та до 15 хвилин);
- індикація живлення пристрою;
- індикація проведення виміру товщини у разі акустичного контакту зонду з матеріалом;
- можливість внесення калібрування щодо матеріалу;

Оскільки проєктований пристрій є професійним інструментом, він має відповідати таким характеристикам:

- захист від удару, пилу, та надмірної вологості;
- широкому діапазону товщин;
- можливість живлення від акумуляторної батареї з можливістю зарядки;
- виведення результату виміру на дисплей для користувача;
- збереження даних в пам'яті приладу з можливістю перегляду в реальному часі;
- з'єднання з ПК через порт USB або RS-

232 для обліку вимірювань, внесення нових калібрувань (оновлення пристрою).

1.2 Аналіз аналогічних рішень

Вимірювачі

товщини поділяють за принципом їх роботи, сферою застосування та способом проведення вимірювань:

- механічні;
- електромагнітні;
- вихроструміві;
- ультразвукові;

– магнітні.

1.2.1 Механічні вимірювачі товщини

Вимірювачі товщини мокрого шару використовують для оперативного контролю не отверділих лакофарбових покриттів, для висновків щодо товщини сухої плівки. Контроль за товщиною нанесення лакофарбового покриття дає змогу уникнути виникнення проблем, пов'язаних з покриттям, швидкістю висушування, зовнішнім виглядом покриття, надлишком фарби тощо. Такі вимірювачі товщини виготовляють з пластмаси, алюмінію чи нержавіючої сталі згідно з вимогами стандартів ISO 2808-2007 та ASTM D4414 (Гребінка). В процесі контролю товщини мокрого шару за допомогою Гребінки, її вдавлюють в окриття перпендикулярно поверхні і притискають до підстави. Через кілька секунд її витягують для перевірки. Товщина мокрого шару коливається в діапазоні між максимальним значенням "мокрого" зубця і мінімальним значенням "сухого" зубця Гребінки.



Рисунок 1.1 – Механічний вимірювач товщини "Гребінка"

1.2.2 Електромагнітні вимірювачі товщини

У цих приладах для вимірювань використовують як магнітну індукцію,

так і ефект Холла, що дозволяє проводити вимірювання щільності магнітного поля. Для створення магнітного поля найчастіше використовують магнітом'який феромагнітний стрижень з котушкою. Для виявлення змін магнітного потоку застосовують другий стрижень з котушкою. Таким чином товщина покриття визначається методом вимірювання щільності магнітного потоку. Відносна похибка таких приладів зазвичай не перевищує $\pm 3\%$. Багатофункціональний електромагнітний вимірювач товщини лакофарбових покриттів всіх типів також має можливість контролю геометричних та електрофізичних характеристик виробів, якості підготовки поверхні та параметрів навколишнього середовища під час проведення фарбувальних робіт.

Контрольовані покриття:

- електропровідні та неферомагнітні діелектричні (гальванічні, лакофарбові, порошкові, пластикові та ін.) покриття на металевих феромагнітних підкладках;
 - діелектричні (лакофарбові, порошкові, аноднооксидні тощо) на неферомагнітних електропровідних підкладках;
 - бітумні та інші спеціальні покриття товщиною до 120 мм металевих виробів;
 - покриття з кольорових металів на виробах з кольорових металів; захисні покриття з внутрішньої сторони труб.
- Контрольовані параметри:
- шорсткість поверхні після піскоструменевої оброблення;
 - об'єм бетону до арматури і контроль її розміщення;
 - здатність електричної провідності неферомагнітних металів;
 - товщина металевих неферомагнітних листів.



Рисунок 1.2—Електромагнітний вимірювач товщини А1270

1.2.3 Вихрострумові вимірювачі товщини

Для проведення вимірювань непровідних покриттів без нанесення шкоди використовуються вимірювачі товщини з вихрострумовим принципом роботи. На поверхні зонду пристрою за допомогою струму (з частотою від десятків Гц до одиниць МГц), що проходить через котушку, наявну намотаний тонкий мідний дріт, створюється змінне магнітне поле. Під час наближення зонда до струмопровідної поверхні, змінне магнітне поле утворює на поверхні вихрові струми. Вихрові струми створюють власні (протилежні до первинного) електромагнітні поля, які можна виміряти основною або вторинною обмоткою котушки. Найчастіше вихрострумові вимірювачі товщини застосовують для вимірювання товщини металічних покриттів на підкладці з кольорових металів.

Підкладки з чорних металів мають нерівномірний опір, внаслідок чого виникає надто велика похибка вимірювання, тому застосування таких вихрострумових вимірювачів товщини часто є некоректним. Одночасне застосування магнітного та вихрострумового товщиномірів дозволяє визначити товщину комбінованого покриття, яке було нанесено на феромагнітну підкладку.

Наприклад, у випадку оцинкованої сталі з нанесеною фарбою, магнітним вимірювачем товщини можна виміряти товщину покриття фарба+цинк, а вихрострумовим вимірювачем товщини виміряти товщину фарби (цинкове покриття буде служити підкладкою для вихрострумового вимірювача товщини). Обмеження у використанні вихрострумових вимірювачів товщини в частині мінімального радіусу підставки, його шорсткості та товщини ідентичні магнітним вимірювачам товщини. Чим вище робоча частота вихрострумового вимірювача товщини, тим менша глибина проникнення в основу вихрових струмів.

У певних випадках такий ефект дає змогу працювати з дуже тонкою підкладкою, але в протилежному випадку цей фактор має від'ємне значення.

У

результаті

для різних завдань необхідне застосування вихорострумівих вимірювачів

товщини

зрізною робочою частотою. Загалом застосування магнітних та вихорострумівих вимірювачів

товщини

для вимірювання товщини лакофарбових покриттів обумовлено здатністю провідити вимірювання з високою точністю в діапазоні від 1 до 1000 мкм.



Рисунок 1.3 – Вимірювач товщини вихорострумівий VT-201

1.2.4 Ультразвукові вимірювачі товщини

Ультразвуковий вимірювач товщини, – це прилад який використовують для вимірювання товщини однорідних матеріалів (метал, кераміка, пластмаса, скло, композит тощо). Для цього приладу є характерним наявність сенсора ультразвуку в зонді, який працює за принципом проходження ультразвукового сигналу крізь покриття. Коли сигнал відбивається від протилежної сторони поверхні, він повертається до сенсора та перетворюється у високочастотний сигнал. Відбитий сигнал аналізують для визначення товщини матеріалу. Похибка такого приладу не перевищує $\pm 3\%$.

Ультразвуковий вимірювач товщини використовують тоді, коли є доступ тільки до однієї сторони матеріалу, товщину якого необхідно визначити, наприклад трубопровід, або тімісця де неможливо провести механічні вимірювання (обмежений доступ), або там, де для вимірювання треба розрізати матеріал. Перевага використання такого методу вимірювання – визначення

товщини матеріалу без його розрізання, або вирізання окремої частини матеріалу. Діапазон вимірювання товщини залежить від вибраного перетворювача матеріалу та може бути в межах від 0,08 мм до 653 мм.

Всі ультразвукові вимірювачі товщини потребують дуже точного вимірювання часу, який необхідний звуковому імпульсу, щоб генеруватися перетворювачем, для проходження через тестовий зріз. Оскільки звукові хвилі відбиваються від поверхні матеріалу, то вимірювання відлуння від сторони зріза може бути використано з метою вимірювання його товщини, аналогічно як радар використовують для вимірювання відстані. Вся інформація про вимірювання демонструється на дисплеї у реальному часі у цифровій формі.

Ультразвуковий вимірювач товщини має ряд переваг над механічним і оптичним методами вимірювання як у виробництві так і в експлуатації, завдяки контролю якості, надійності та моніторингу стану. Новітній ультразвуковий вимірювач товщини – економічний та результативний і зручний спосіб для проведення неруйнівного контролю. Таким чином, за допомогою цього пристрою можна досягти високої точності та надійності виміру.



Рисунок 1.4 – Ультразвуковий вимірювач товщини

1.2.5 Магнітні вимірювачі товщини

Принцип роботи вимірювача товщини магнітного покриття використовує властивості постійного магніту та може вимірювати немагнітні покриття, нанесені на магнітні підкладки. Процес вимірювання ґрунтується на оцінці сил взаємодії між вимірювальним магнітом та підкладкою вимірюваного покриття. Варіювання товщини покриття змінює силу взаємодії між магнітом та основою. За допомогою таких приладів важко досягти високоточних результатів вимірювань, тому що на похибку вимірювання впливають магнітні властивості матеріалу з покриттям. Прилад слід калібрувати за робочим зразком, виготовленим з тієї ж сталі, що і контрольна деталь із заданою товщиною покриття. Такі вимірювачі товщини дуже прості у використанні, недорогі та прості за конструкцією. Якість вимірювання залежить від магнітних властивостей матеріалу, тому перед використанням прилад необхідно відкалібрувати.



Рисунок 1.5—Магнітний вимірювач товщини Константа К5

1.3. Постановка завдання

Різні типи вимірювачів товщини використовують для точного виміру товщини матеріалів. Найбільш точним та зручним методом вимірювання товщини матеріалу є ультразвуковий. Ультразвукові методи мають багато переваг перед механічною та оптичною метрологією у виробництві та експлуатації з метою контролю якості, надійності та контролю стану.

Сучасні ультразвукові вимірювачі товщини – економічний та зручний спосіб проведення неруйнівного контролю. Тобто, коли у вас є доступ тільки до одного боку матеріалу, товщину якого не обов'язково вимірювати, наприклад, трубопроводів, або коли неможливо (обмежений доступ) чи не доцільно (потрібно розрізання матеріалу) проводити механічні виміри.

Вимірювання товщини коливається від 0,08 мм до 653 мм, залежно від вибраного еретворювача та матеріалу. Тому за допомогою цього приладу можна досягти високої точності та достовірності вимірювань.

Більшість сучасних портативних вимірювачів товщини мають внутрішню пам'ять для зберігання результатів вимірювань, які можна переглянути за допомогою самого вимірювача товщини. Пристрої зазвичай мають порт USB або RS-232 для передавання даних програмного забезпечення на комп'ютер з метою детальнішого перегляду виконаних вимірювань та для різних типів матеріалів (швидкість звуку, товщина, назва матеріалу).

Метою цієї роботи є розроблення портативного приладу для неруйнівного контролю товщини однорідних матеріалів ультразвуковими методами. Згідно з поставленим технічним завданням необхідно розробити переносний пристрій для неруйнівного вимірювання товщини матеріалів. Він має мати такі параметри:

- генерувати ультразвукові сигнали та оцифровувати відбиті сигнали.
- автоматично відображати результати;
- відображати вимір товщини за умови акустичного контакту сенсора з матеріалом;
- можливість калібрування за матеріалами;
- можливість використання ультразвукових датчиків дискретного зв'язку різних частот.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити кілька основних завдань.

- аналізувати принцип роботи таких конструкцій;

- аналізувати методи неруйнівного контролю;
- створити конструктивне креслення ультразвукового вимірювача

товщини;

- розробити принципову електричну схему пристрою;
- розробити алгоритм роботи пристрою.

2 АНАЛІЗ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ

2.1 Основні особливості ультразвукового контролю

Ультразвуковий контроль-метод, був запропонований С. Я. Соколовим 1928 року для дослідження процесів поширення ультразвукових коливань частотою 0,5-25 МГц у контрольованих виробках за допомогою спеціального обладнання на основі ультразвукового зондового вимірювача товщини, або дефектоскопа. Це один із найпопулярніших методів неруйнівного контролю на виробництві на частку якого припадає 32% всього обсягу контролю продукції. Попри високий рівень автоматизації праці розвинених країн, частка ручного ультразвукового контролю матеріалів залишається найбільшою. І це при тому, що великий обсяг робіт виконується на об'єктах без можливості руйнації і деформації, наприклад атомні електростанції, трубопроводи різного призначення, транспортні засоби. Особливістю цих об'єктів є велика різноманітність конструкцій і матеріалів, тому немає єдиного методу ультразвукового контролю.

Основними перевагами ультразвукового методу вимірювання товщини серед інших методів є незалежність результату вимірювання від неоднорідностей та нестабільностей у магнітній та електричній структурі матеріалу виробу, можливість контролю загальної товщини біметалічного виробу (наприклад, виробів, які виготовляють з феромагнітних і неферомагнітних металів і сплавів), відсутність шкідливих випромінювань, таких як рентгенівське, можливість вимірювань як малих, і великих товщин. На тепер застосовують вимірювачі товщини, які базуються на ехо імпульсному методі, тобто методі тимчасової акустичної локалізації, тобто проходженні імпульсу ультразвукових коливань матеріалом з боку введення на протилежній і задній бік. Цей час лінійно пов'язаний з контрольованою товщиною матеріалу.

Для виконання вимірювання вимірювач товщини повинен бути калібрований за стандартним зірцем, виготовленим з вимірюваного матеріалу. Товщина, кривизна та шорсткість зразка повинні відповідати контрольованому виробу.

П'єзоелектричні перетворювачі застосовують у використанні вимірювачів товщини: індивідуально комбінованих ПЕП та комбінованих ПЕП, які мають високу чутливість та низький рівень шуму. Залежно від вимірної товщини ПЕП використовують на частотах від 2 МГц (товсті об'єкти) до 10 МГц (тонкі об'єкти). Для вимірювання малих товщин (менше 10 мм) можна використовувати сильно загасаючі ПЕП із частотами до 20 МГц. Діаметр перетворювача становить 5-25 мм.

Як відомо, ультразвуковий вимірювач товщини належить до засобів непрямого вимірювання. Іншими словами, він вимірює не товщину об'єкту, а час, необхідний для проходження ультразвукових хвиль. Пристрій розраховує значення товщини, помножуючи цей час на швидкість ультразвуку в матеріалі виробу. Тому точність виміру залежить не тільки від того, наскільки точно вимірюється час, але й від того, наскільки точно відомо швидкість ультразвуку в даному матеріалі.

2.2 Акустичні методи неруйнівного контролю

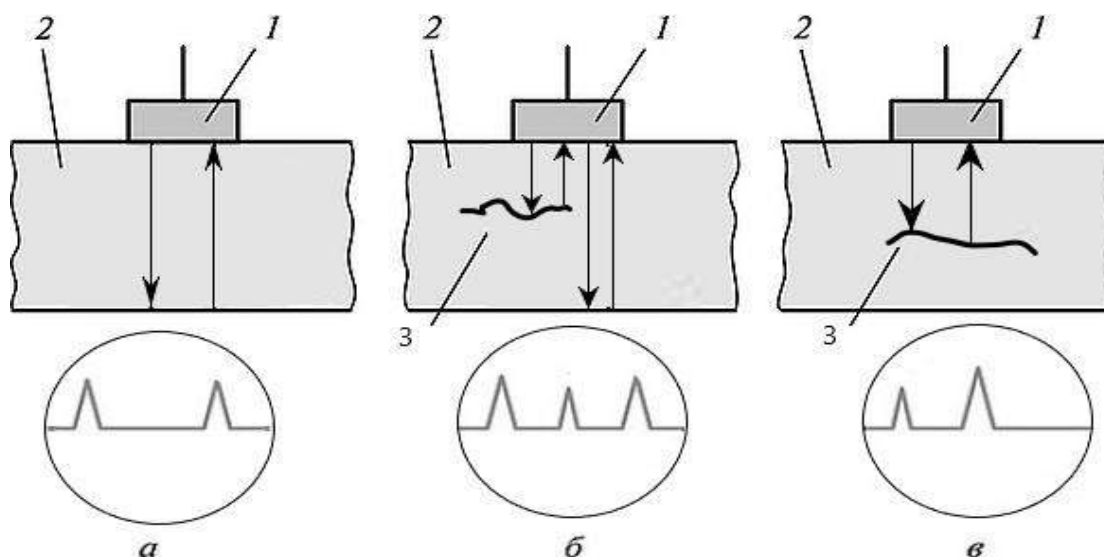


Рисунок. 2.1 Ехо-імпульсний метод: 1 - перетворювач; 2 - матеріал; 3 - дефект

Ультразвуковий вимір товщини використовує ряд методів вимірювання

товщини, у тому числі луна-імпульс, луна та зондове луна-покриття. Найбільш поширений луна-імпульсний метод. Перетворювач виробляє вібрації (тобто діє як генератор), а також приймає відбиті від дефекту ехо-сигнали. Цей метод у силу своєї простоти керування потребує лише один перетворювач (рис. 2.1). Це також один з небагатьох методів ультразвукового контролю, який дозволяє дуже точно визначати координати дефекту, такі як глибина дефекту та положення дефекту всередині об'єкта.

Перетворювач випромінювання можна одночасно використовувати як приймач. У момент відліку імпульсу на екрані приладу з'явиться сплеск. Ультразвуковий імпульс проходить через частину 2 і відбивається від іншої сторони назад до випромінювача. Прихід відбитого сигналу також реєструє прилад (рис. 2.1, а). За наявності дефекту 3 на шляху ультразвуку до деталі на екрані приладу з'явиться новий додатковий сигнал (рис. 2.1, б). Якщо дефект повністю перекриває ультразвуковий промінь, то на екрані приладу не буде відбитого імпульсу і буде відображено лише відлуння дефекту. Його розміри показують, що дефекти матеріалу значні (рис. 2.1), в). Значення цього сигналу вказує на розмір дефекту та інтервал до появи першого дефекту у виробі.

Отримання імпульсного і відбитого сигналів дозволяє визначити глибину його залягання. Реєстрація луна-сигналу здійснюється шляхом перетворення відбитої хвилі в електричний імпульс, його посилення та реєстрування на екрані дефектоскопа. Крім того, посилення сигналу не відбувається лінійно. Тобто сильні сигнали підсилюються меншою мірою, ніж слабкі. Підсилювачі також можуть компенсувати глибину дефекту – чим довша затримка ехо-сигналу, тим більше підсилюється ехо-сигнал.

Вимірювання товщини не розпізнає дефекти, оскільки прилад фіксує введення зондуючого імпульсу та його відлуння від нижньої поверхні матеріалу. Якщо дефект серйозний, товщину матеріалу неможливо визначити, а індикатор на екрані пристрою неправильний або відсутній. Для незначних дефектів матеріалу (дрібні газові отвори, мікротріщини) у разі підсилення імпульсу можна визначити приблизну товщину матеріалу, яка незначним чином відрізняється від калібрувального в зрізці. Ехо-ехо-метод є основним методом вимірювання товщини матеріалу через

покриття на багатьох пристроях неруйнівного контролю.

Розрахунок для вимірювання товщини:

$$t_{e1} = (t_{л.з.1} + t_{л.з.2}) + 2 \cdot t_{покр.} + 2 \cdot t_{мет.},$$

де $t_{л.з.}$ – час лінії затримки, $t_{покр.}$ –

час проходження ультразвуку через покриття, $t_{мет.}$ –

час проходження ультразвуку через метал;

$$t_{e2} = (t_{л.з.1} + t_{л.з.2}) + 2 \cdot t_{покр.} + 2 \cdot t_{мет.} - \text{час приходу сигналу ехо 2};$$

$$t_{вим.} = t_{e1} - t_{e2} = 2 \cdot t_{мет.} - \text{тривалість часового інтервалу між сигналами};$$

$$H_{мет.} = 0,5 C_{мет.} \cdot t_{вим.}, \text{ де } C_{мет.} - \text{швидкість ультразвуку в металі.}$$

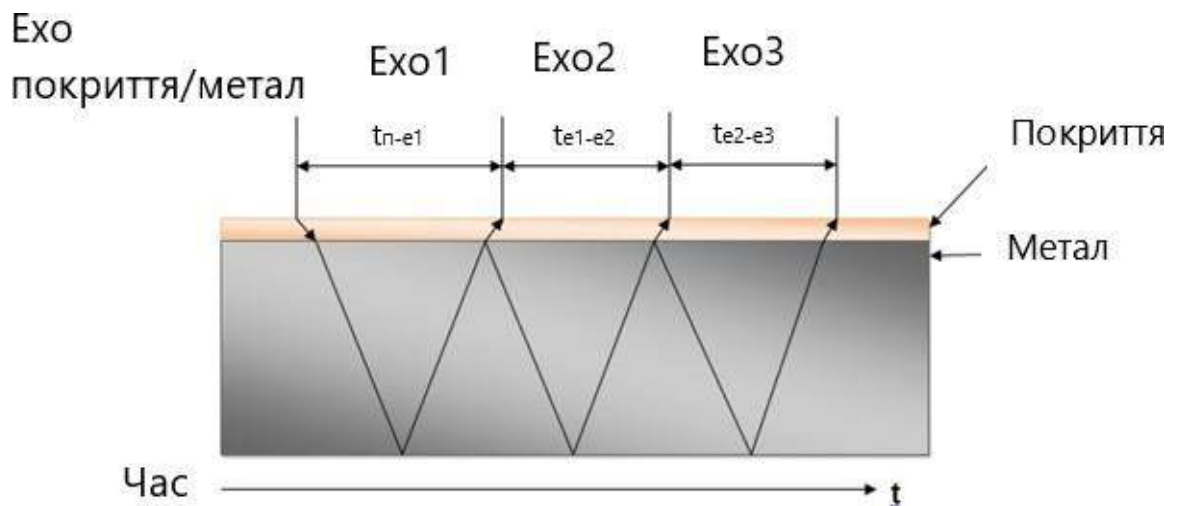


Рисунок 2.2 – Проведення вимірювання по методу Ехо-Ехо

Переваги методу луна:

- проста реалізація;
- можна використовувати для покриттів із шорсткими поверхнями;
- можна використовувати для контролю гарячих об'єктів (за допомогою спеціальних перетворювачів).

Особливостями луна-методу є необхідність отримання кількох відбитих сигналів, що не завжди можливо. Тому діапазон регулювання менший, ніж для інших методів (залежно від ступеня згасання та розсіювання ультразвуку в металі та ступеня корозії).

Метод покриття луна-зонда. Цей метод заснований на використанні спеціально розв'язаного перетворювача, що містить дві додаткові

п'єзопластини, для вимірювання часу проходження ультразвукової хвилі через покриття (рис.2.3). Ідея цього методу полягає у вимірюванні часу проходження ультразвуку через покриття окремо та віднімання цього часу із загального виміряного часу.

Повздовжня хвиля формується випромінюючою п'єзопластиною 1, оскільки додаткова п'єзопластина встановлена під великим кутом. Ця пластина 1 генерує хвилю, яка поширюється під поверхнею металу, проходить через призму і досягає п'єзопластини 4. Контролер пристрою розраховує часовий інтервал (ΔT) проходження ультразвукових хвиль через покриття.

Розрахунки для вимірювання товщини:

$$t_{\text{мет.}} = t_{\text{вим.}} - 2t_{\text{покр.}} - (t_{\text{л.з.1}} + t_{\text{л.з.2}}),$$

$$H_{\text{мет.}} = C_{\text{мет.}} \cdot t_{\text{мет.}}$$

$$H_{\text{покр.}} = \Delta T \cdot \cos \alpha / [2(1/C_{\text{покр.}} - \sin \alpha / C_{\text{мет.}})],$$

де $C_{\text{покр.}}$ – швидкість ультразвуку в покритті.

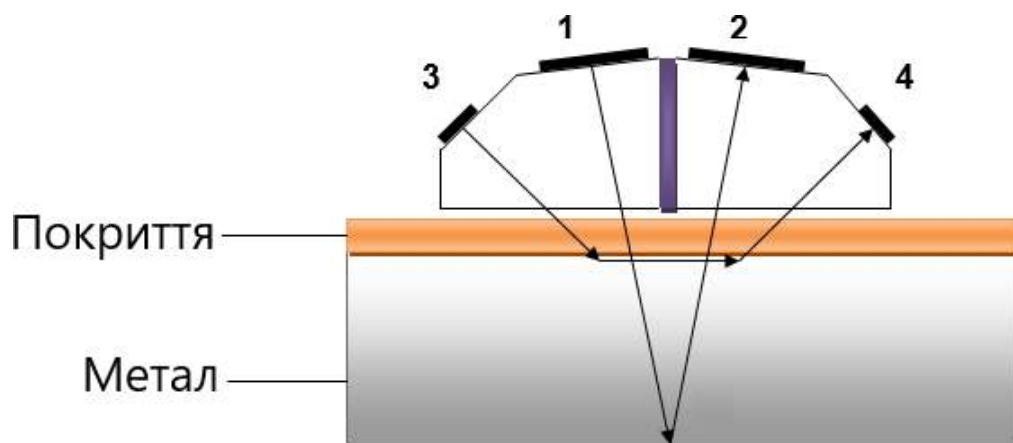


Рисунок 2.3 – Модель методу Зонд-Ехо-Покриття: 1, 2 – п'єзопластини для вимірювання загального часу проходження ультразвуку через метал і покриття; 3, 4 – п'єзопластини для вимірювання часу проходження ультразвуку через покриття

Переваги методу покриття зондової луни:

- неруйнівний характер;
- вимірювання товщини основного металу з одноразовим відбиттям від

нижньої поверхні, що значно розширює можливості приладу для вимірювання високо корозійних продуктів порівняно з методом відлуння;

- діапазон регулювання більше, ніж у методу луна;
- вимірювання товщини покриття (з використанням відомих швидкостей ультразвуку в покритті).

Особливості методу зондового ехопокриття:

- вимірювання можливі лише за допомогою спеціальних сенсорів та пристроїв, призначених для роботи з такими сенсорами.
- покриття має бути не металевим та мати товщину не менше 0,125 мм.
- поверхня покриття повинна бути дуже гладкою.

2.3 Ультразвуковий сенсор

Ультразвуковим сенсором є п'єзоелектричний елемент, який збуджується дуже коротким електричним імпульсом і випромінює ультразвуковий сигнал. Для отримання найточніших результатів вимірювання довжина хвилі імпульсу повинна бути якомога коротшою, тобто частота повинна бути якомога вищою. Для вимірювання товщини використовують діапазоні частот 1-20 МГц.

Металеві поверхні повинні бути підготовлені перед початком вимірів. Місце контакту п'єзоперетворювача з об'єктом керування має бути гладким та чистим. Необхідно переконатися, що всередині об'єкта, який вимірюють, немає перешкод (продуктів корозії тощо), що перешкоджають проходженню ультразвукових хвиль. Ультразвукові хвилі погано поширюються в повітрі, тому між випромінюючою поверхнею п'єзоперетворювача і поверхнею об'єкта контролю не повинно бути повітряних шарів. Для цього використовують контактні рідини, такі як мінеральна олія, вода або гелі, що забезпечують хороший акустичний контакт.

Низькочастотні перетворювачі використовують для вимірювання товщини складних матеріалів, незважаючи на їхню низьку чутливість. Ультразвук у матеріалі має поширюватися безперервно. У разі зміни відомої швидкості результат визначення відстані не буде відповідати дійсності. Ультразвукові хвилі також добре відбиваються від плоских

паралельних поверхонь. Непаралельні поверхні можуть відбивати ультразвук від робочої поверхні ПЕП. Якщо поверхня шорстка, ультразвукбудерозсіюватися лише частина його повертатиметься до перетворювача, що зрештою послаблює сигнал. Інший п'єзоелектричний кристал використовують для приймання ультразвукових хвиль, які перетворюються на електричні імпульси для подальших вимірювань часу. На рис. 2.4 подано модель взаємодії суміщеного перетворювача ультразвукової ізоляції та об'єкта керування.

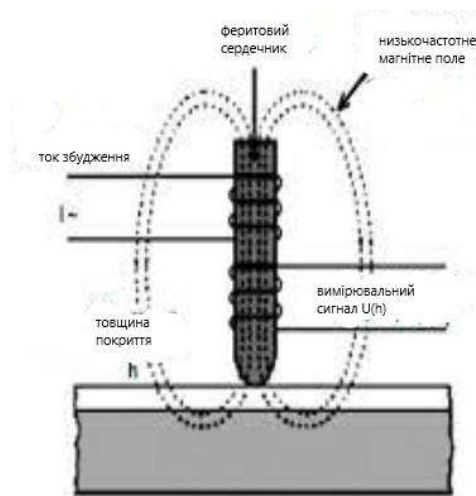


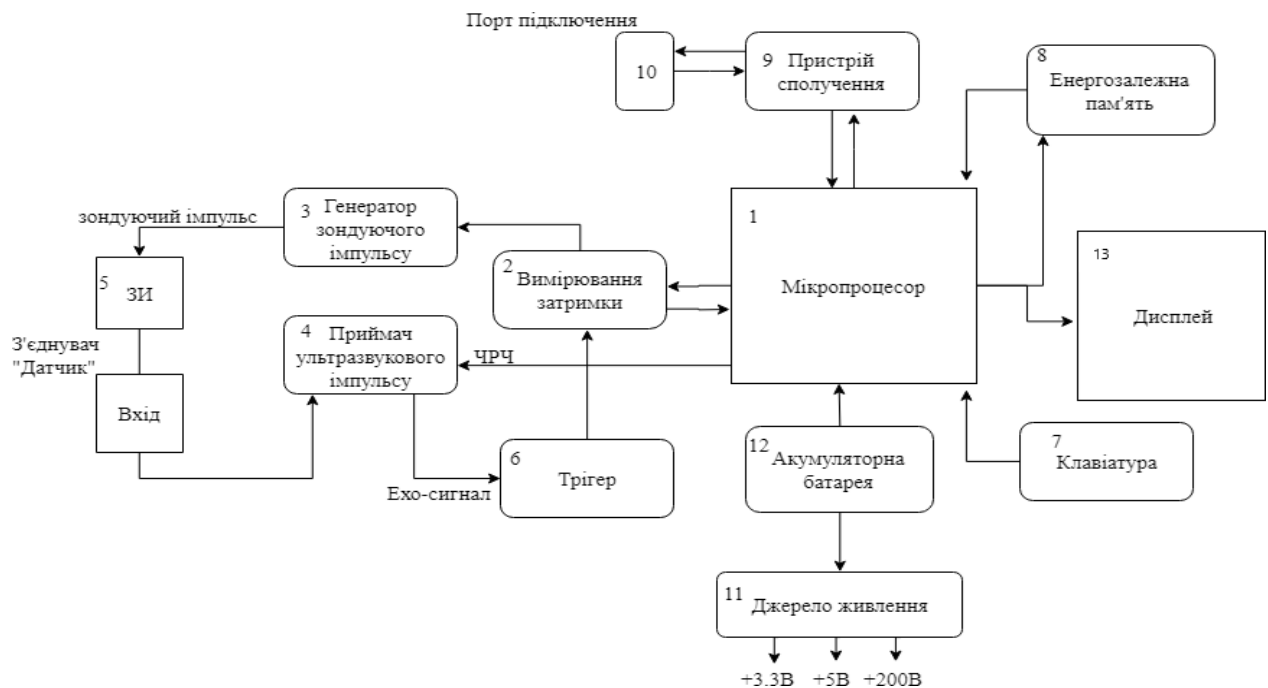
Рисунок 2.4 – Модель взаємодії електромагнітного роздільно-суміщеного перетворювача і об'єкта контролю. 1 – прилад створює електромагнітний імпульс; 2 – електромагнітний імпульс, що випромінюється перетворювачем, вводиться в поверхню об'єкта контролю; 3 – імпульс проникає в структуру контролюваного виробу; 4 – імпульс проходить до донної поверхні і відбивається від неї; 5 – імпульс повертається назад до перетворювача через матеріал об'єкта контролю; 6 – електромагнітний імпульс передається від поверхні контролюваного об'єкта в перетворювач; 7 – прийнятий відбитий електромагнітний сигнал вимірюється приладом.

3. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕННЯ ВИМІРЮВАЧА ТОВЩИНИ

3.1 Структурна схема вимірювача товщини

Структурна схема ультразвукового вимірювача товщини

ТОВЩИНИ



подано на рис. 3.1.

Рисунок 3.1 – Структурна схема ультразвукового вимірювача товщини

Центральним елементом є мікропроцесор 1, режим роботи мікропроцесора 1 визначається оператором за допомогою клавіатури 7. Наявність акустичного контакту, результати розрахунків, екранні заставки тощо відображається дисплеєм 13.

Схема вимірювання приладу складається з генератора зондувальних імпульсів 3, приймача 4, тригера блоку вимірювання затримки 2. Мікропроцесор 1 відправляє команду вимірювання затримки 2 на початку вимірювання. Вимір затримки 2 запускає ГЦЗ, який формує зондувальний імпульс. Зондувальний імпульс подається на роз'єм "сенсор" 5 і направляє на п'єзопластину, що випромінює ультразвук. Сигнал нижнього відлуння від приймального п'єзоелемента ФЕП надходить на вхід приймача 4, посилюється і подається на тригер 6 і повертається на вимірювання затримки

2. Потім сигнал надходить в АЦП і перетворюється на цифровий код. Мікропроцесор 1 зчитує цей код, розраховує товщину об'єкту та відображає результат надисплеї 13. Під час вимірювань мікропроцесор 1 керує чутливістю приймача 4 та забезпечує тимчасове регулювання чутливості (ВПЛ). Чутливість ПЕП змінюється залежно від товщини продукту. Мікропроцесор 1 вирівнює чутливість всього тракту електроакустичних вимірів. Характеристики НРС та параметри налаштування залежать від типу перетворювача (діаметр, частота).

Пристрій має незалежну пам'ять 8 з можливістю збереження даних у разі вимкнення живлення. Пам'ять 8 містить код поточної точки, дані налаштування перетворювача та результати вимірів. Мікропроцесор може записувати, читати та редагувати дані в пам'яті 8. Для передавання даних на персональний комп'ютер пристрій має можливість під'єднання до ПК через порт 10. Сполучний пристрій 9 забезпечує роботу через USB. ПК під'єднується до пристрою за допомогою кабелю Micro USB.

Пристрій живиться від літій-полімерного акумулятора. 12. Акумулятор під'єднаний до джерела живлення 11 і видає стабільні напруги +3,3 В, +5 В та +200 В. Напругу +200 В використовують для зондуючого імпульсу 3, напругу +3,3 В – для мікропроцесора, напруга +5 В – для решти елементів схеми.

Мікропроцесор містить 1 аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Напруга живлення батареї надходить до АЦП мікропроцесора 1, де вимірюється з частотою 20 разів за секунду. Якщо напруга живлення батареї знижується до 3,3 В, тоді мікропроцесор вимикає пристрій.

3.2 Розроблення електричної принципової схеми

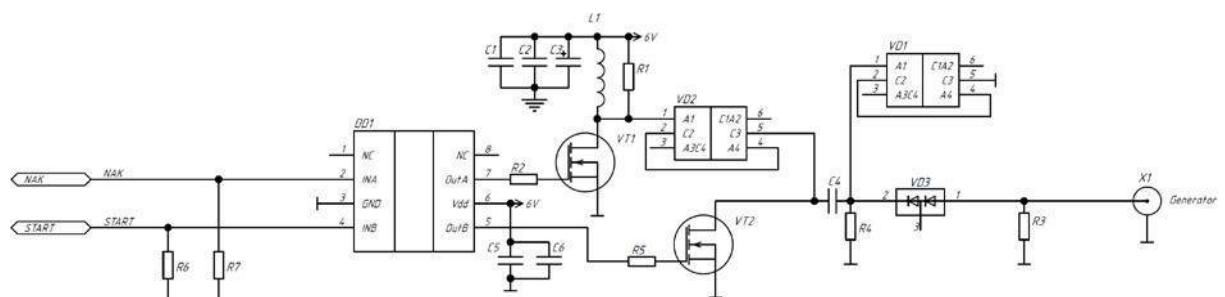


Рисунок 3.2 – Схема генератора зондуючих імпульсів

Генератор зондуючих імпульсів показано на рис. 3.2. Імпульс для відкриття транзистора подається мікроконтролером через драйвер DD1. Відкриття транзистора VT1 викликає зростання напруги С3 за допомогою L1. Після імпульсу накручування напруги МК видає короткочасний імпульс (~150нс) для відкриття транзистора VT2. При цьому генерується дуже короткий імпульс з напругою 150-200 В на п'єзоелектричній пластині сенсора.

Приймач ультразвукових імпульсів (рис. 3.3) використовує спеціальну мікросхему AD8332 виробництва компанії AnalogDevices, яка підсилює ультразвуковий сигнал. Ультразвуковий підсилювач дозволяє безпосередньо регулювати значення підсилення під час виміру. Це дозволяє регулювати час чутливості (TRS). Схема також включає швидкодіючий цифрове реле на DA1 для зчитування інформації з сенсора, в якому встановлена додаткова мікросхема пам'яті.

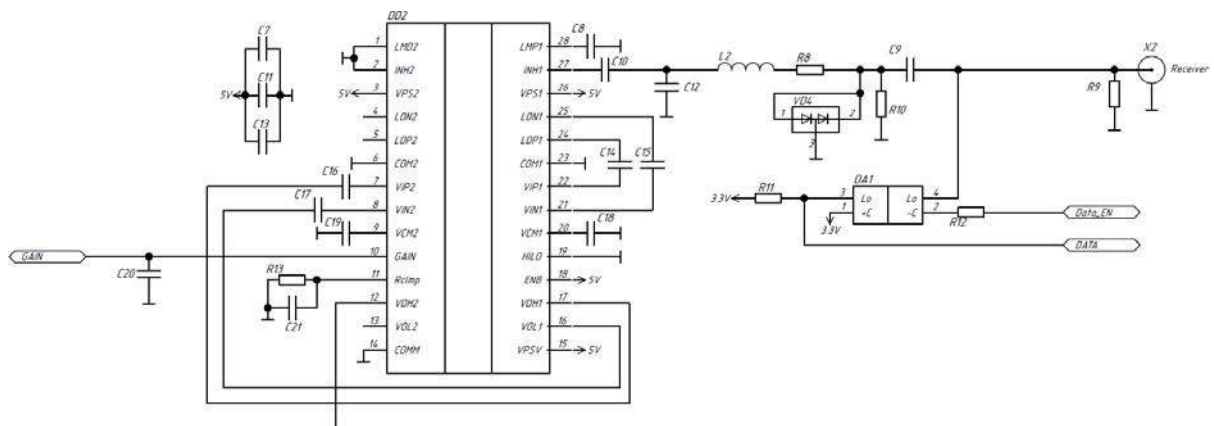


Рисунок 3.3 – Схема приймача ультразвукових імпульсів

Ультразвуковий сигнал після підсилення потрапляє на блок опрацювання сигналу (рис. 3.4), який складається з компараторів та J-К тригера.

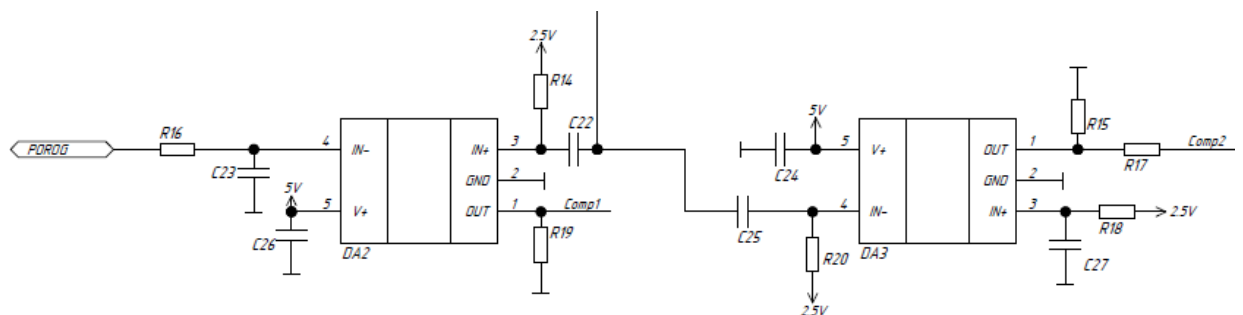


Рисунок 3.4– Блокопрацювання сигналу

Завмикання приладу відповідають 2 транзистори BC817-40.215i IRLML2244TRPBF (рис. 3.5). Після натискання на клавіатурі прибору кнопки включення відбувається замикання V_{atnaS1} , напруга від акумулятора подається до схеми та запускає МК, який в свою чергу подає логічну "1" на P_ON.

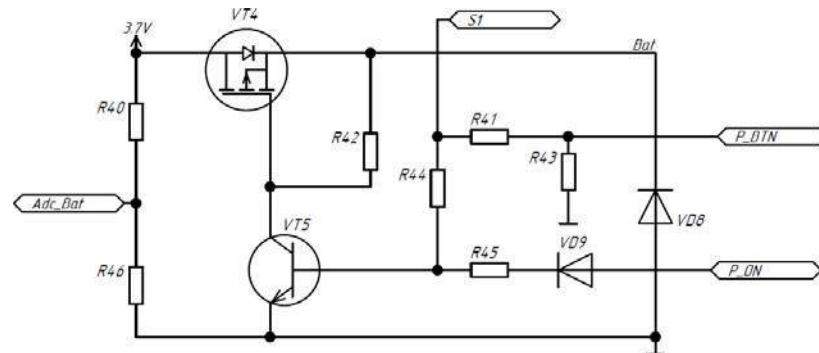


Рисунок 3.5–Схема підтримки живлення прибору

З живлення мікроконтролера, пам'яті та відображення відповідає мікросхема ST1S12GR (рис. 3.6), яка формує напругу 3,3 В для живлення мікроконтролера, а також для подання звукового сигналу під час вмикання чи вимикання приладу, супроводу дій оператора (використання клавіатури) та оновлення сервісним інженером.

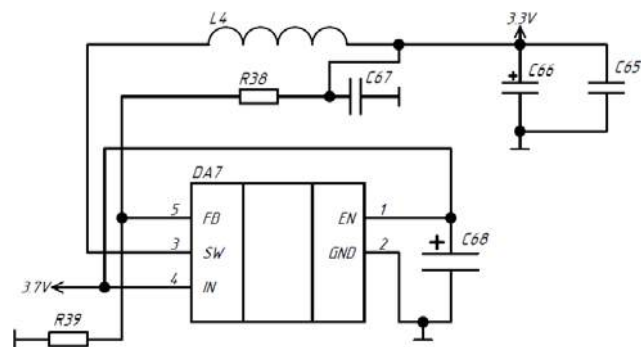


Рисунок 3.6 – Схема знижувального регулятора

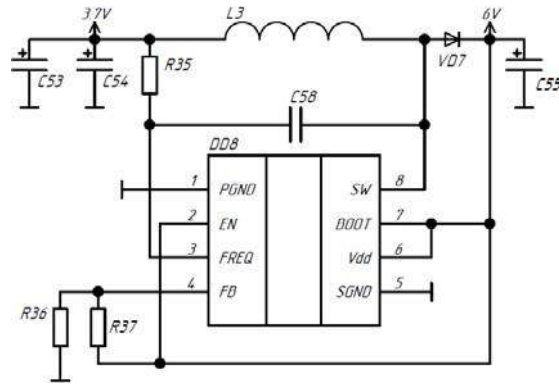


Рисунок 3.7 – Підсилюючий перетворювач LM2623 АММ/НОРВ

Для живлення інвертора, компаратора та J-K тригеру використовується підсилюючий перетворювач LM2623 АММ/НОРВ (рис. 3.7). Він підвищує напругу 3,7 В до 6 В для живлення драйверу генератора UCC27324 DGN. Також 6 В напруги служать живленням для LP2985A-50DBVR, який знижує напругу до 5 В для живлення інвертора SN74LVC2G04DBVR та знижувального до 2,5 В перетворювача LP2992AIM5-2.5/НОРВ (рис. 3.8), який відповідає за подання 2,5 В до компараторів блоку опрацювання сигналу (рис. 3.4).

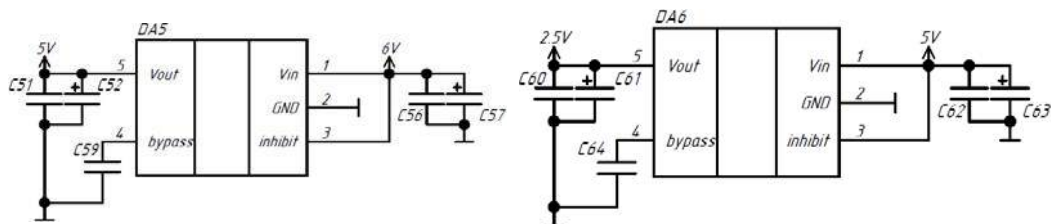


Рисунок 3.8 – Знижувальні перетворювачі LP2985A-50DBVR та LP2992AIM5-2.5/НОРВ

3.2 Аналіз елементної бази

В результаті того, що електронний радіоелемент, на якому побудовано схему модуля електричного принципу, є його складовою, для модуля опору виконуються ті ж умови для забезпечення надійної роботи в певному діапазоні зовнішніх впливів. Єдине ціле зазвичай накладається на кожну ERU на основі елемента. Тому робочі характеристики ER, що використовується,

повинні повністю відповідати робочим характеристикам всього модуля, зазначеним у технічному завданні. Дані щодо елементів показані в таблиці.

3.1. Визначимо сумарну міцність руйнування, розраховану за такою формулою.

$$\Sigma \lambda = \Sigma \lambda_i \cdot n, \quad (3.1)$$

де λ_i – інтенсивність відмови 1-го елемента (1/ч), n – кількість елементів одного типу.

Середнє напрацювання ультразвукового вимірювача товщини до першої відмови визначається відповідно до формули (3.1). Розрахунковий середній час безвідмовної роботи повністю, що відповідає вимогам надійності ВДЕ. Однак ця властивість є приблизною, оскільки не враховує похибки, що вносяться реальними режимами роботи елементів конструкції, їх матеріалами та методами розрахунку.

3.3 Розробка друкованих плат та визначення їх розмірів

Друкована плата є основою всього пристрою. Дно її окріпляється всі необхідні елементи та деталі, з'єднані один з одним друкованими провідниками. При проектуванні друкованої плати визначають її конфігурацію та габаритні розміри, виконують раціональне розміщення елементів та трас з'єднань між ними. Як правило, форми друкованої плати вибирають прямокутною

3.3 Розрахунок електромагнітної сумісності схеми

Електромагнітна сумісність – здатність технічного засобу одночасно функціонувати з необхідною якістю під дією ненавмисних електромагнітних перешкод у практичних умовах експлуатації та не викликати неприпустимих електромагнітних перешкод в інших технічних засобах.

Електромагнітна сумісність розглядає вплив як випромінюваних, так і індуктивних (наведених) перешкод, що поширюються провідниками

(наприклад, наведення в силових ланцюгах), і чутливість електроустаткування до впливу перешкод (завадостійкість). Електромагнітні перешкоди виникають у результаті природних явищ чи технологічних процесів.

Розрахуємо критичний переріз провідника для паразитних резонансних частот друкованої плати, що виникають через наявність розподіленої ємності та індуктивності.

Оскільки схема працює на частотах які нижче резонансної, то частота 18.48 МГц не може вплинути на роботу схеми. Також можна сказати, що лінії зв'язку такої друкованої плати є електрично короткими, тобто геометрична довжина лінії багатоменше довжини хвилі найбільш високочастотної складової спектру сигналу. Отже, під час поширення сигналу в лінії не відбуватиметься віддзеркалення його від неоднорідностей хвилевого опору окремих ділянок. І не виникатиме перешкод при складанні падаючого і відбитого сигналів. Напруга перешкоди в ланцюзі живлення визначається згідно з формулою. Для мікроконтролерів статична перешкодостійкість рівна 0,3 В. Отже, розраховане значення напруги перешкоди 6,39 мВ не впливатиме на роботу мікросхеми всього модуля.

4. АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЧА ТОВЩИНИ

4.1 Проведення експериментальних досліджень та порівняння отриманих результатів з класичним методом вимірювання

Під час проведення експерименту, було виміряно тридцять мір товщини за допомогою штангенциркуля МІКРОТЕХ ШЦЦ-І-300-0,01 (калібрування ISO/IEC 17025), та зроблено сто двадцять шість замірів розробленим вимірювачем товщини.

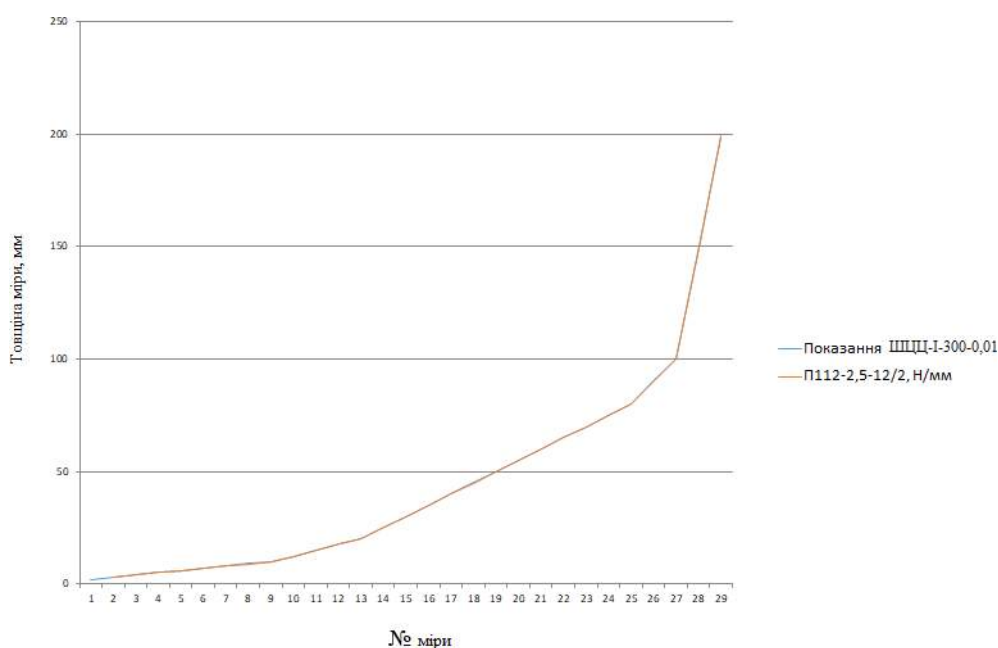


Рисунок 4.1 – Графік показань ШЦЦ-І-300-0,01 та ЕМ-сенсора П112-2,5-12/2

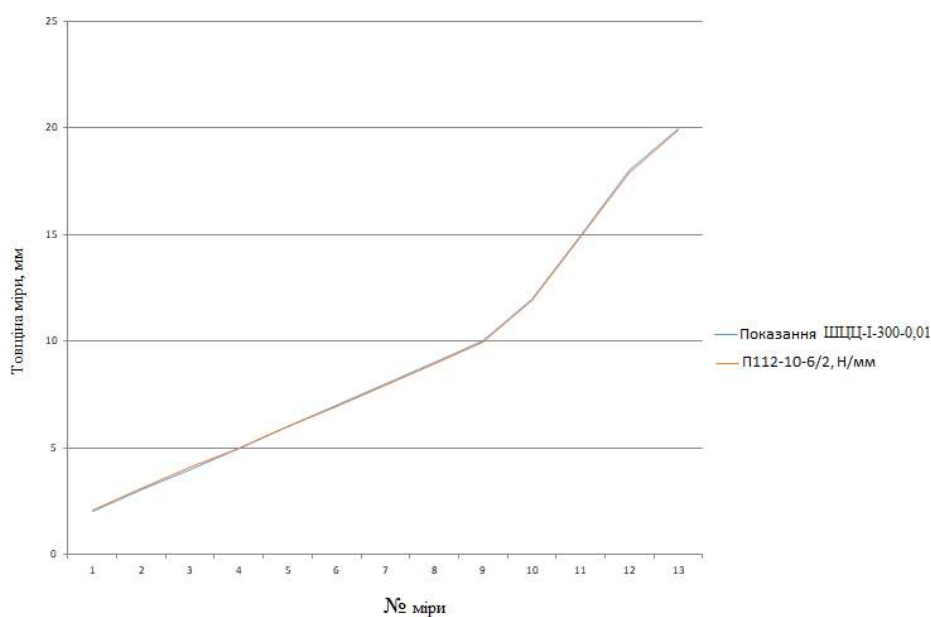


Рисунок 4.2 – Графік показань ШЦЦ-І-300-0,01 та ЕМ-сенсора П112-10-6/2

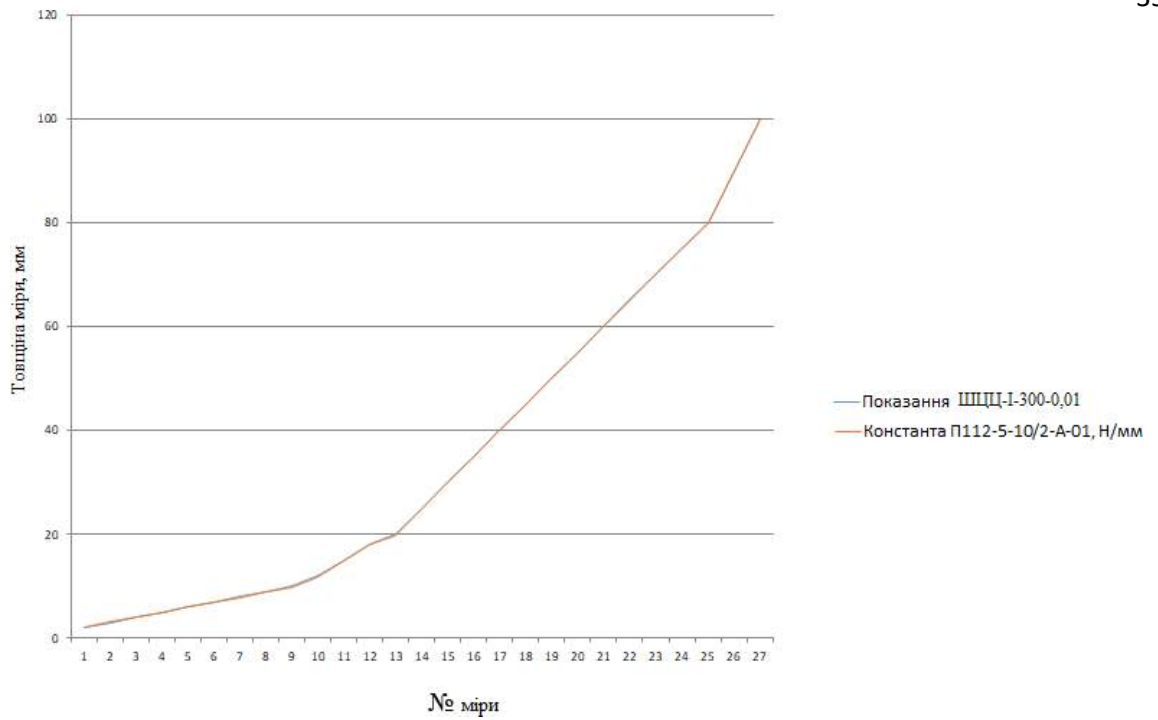


Рисунок 4.3 – Графік показів ШЦЦ-I-300-0,01 та ЕМ сенсора П112-5-10/2-А-01

Таблиця 4.4 – Експеримент за допомогою сенсора П112-10-6/2-А-01

№міри	Покази ШЦЦ-I-300-0,01,мм	Покази вимірювача товщини,мм	Розбіжність, мм
1	2	3	4
1	2,01	2,16	0,15
2	3,01	3,12	0,11
3	4	4,08	0,08
4	4,98	5,02	0,04
5	6	6	0
6	6,99	6,96	0,03
7	7,99	7,93	0,06
1	2	3	4
8	8,99	8,91	0,08
9	10	9,92	0,08
10	12	11,9	-0,1
11	15,01	15,36	0,35

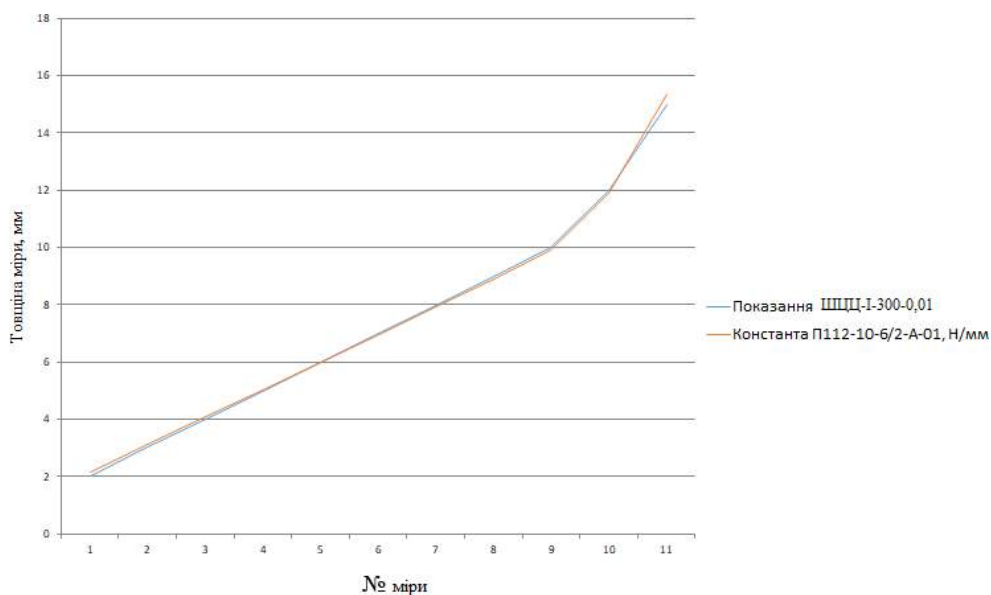


Рисунок 4.4 – Графік показів ШЦЦ-I-300-0,01 та ЕМсенса П112-10-6/2-А-01

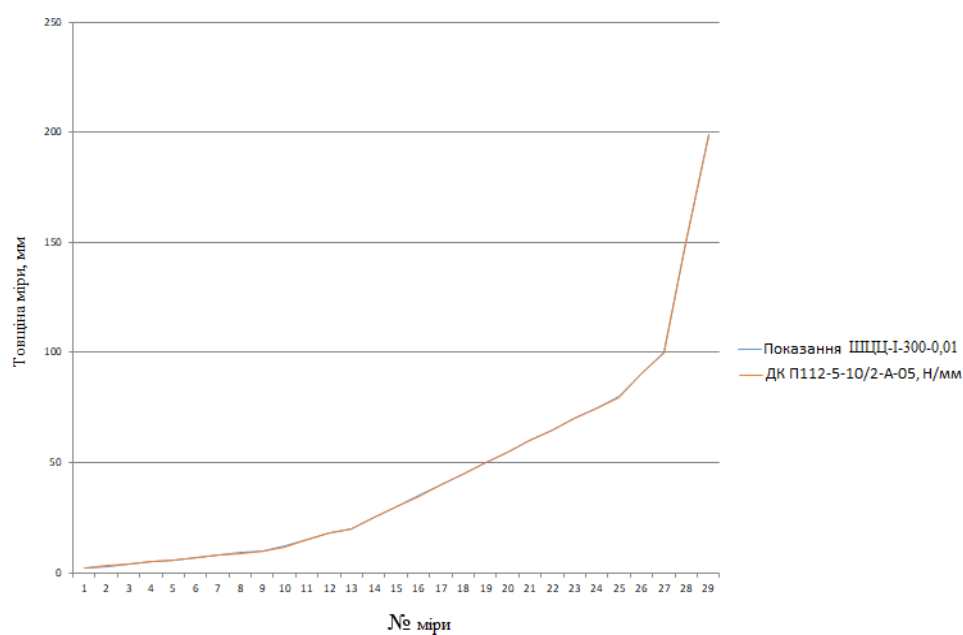


Рисунок 4.5 – Графік показів ШЦЦ-I-300-0,01 та ЕМсенса ДК П112-5-10/2-А-05

Таблиця 4.6 – Експеримент за допомогою сенсора ДК П112-5-4х4-БТ-01

№ міри	Покази ШЦЦ-I-300-0,01, мм	Покази вимірювача товщини, мм	Розбіжність, мм

1	2	3	4
1	2,01	–	–
2	3,01	–	–
3	4	–	–
4	4,98	5,06	0,08
5	6	6,03	0,03
6	6,99	6,97	0,02
7	7,99	7,95	0,04
8	8,99	8,93	0,06
9	10	9,96	0,04
1	2	3	4
10	12	11,93	0,07
11	15,01	14,93	0,08
12	17,99	17,91	0,08
13	19,99	19,9	0,09
14	25,03	24,92	0,11
15	30,02	30,3	0,28
16	34,98	34,85	0,13
17	40,01	39,85	0,16
18	45,02	45,52	0,5

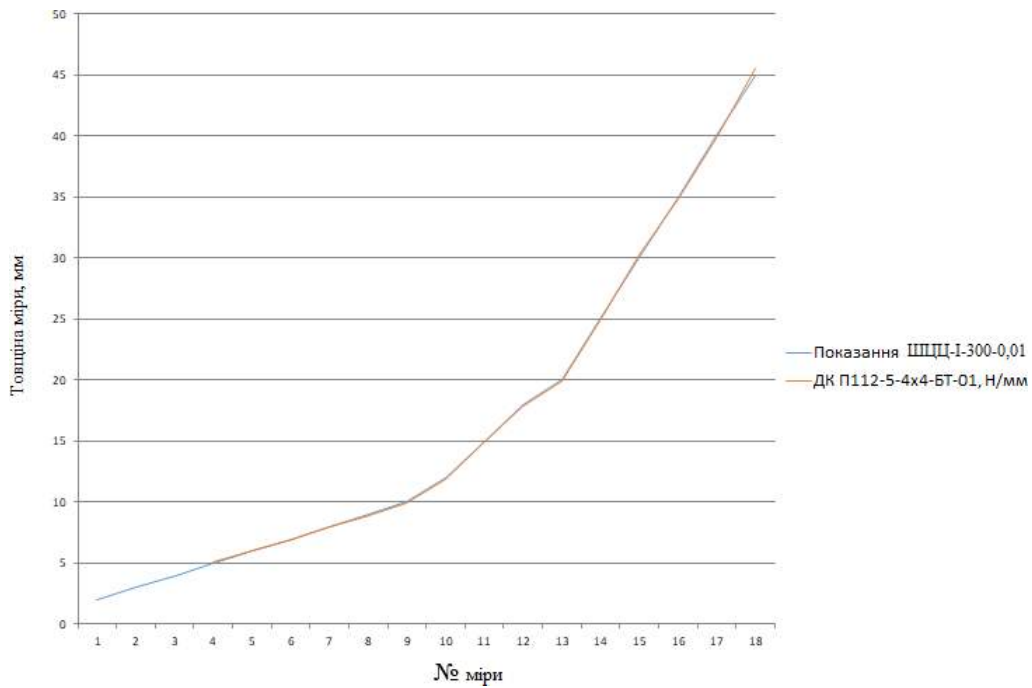


Рисунок 4.6 – Графік показів ШЦЦ-I-300-0,01 таЕМсенсаораДК П112-5-4x4-БТ-01

Середняпохибкавимірюванняскладає:

- П112-2,5-12/2–0,085714мм;
- П112-10-6/2-А–0,057692мм;
- КонстантаП112-5-10/2-А-01–0,07037мм;
- КонстантаП112-10-6/2-А-01–0,098182мм;
- ДКП112-5-10/2-А-05–0,098148мм;
- ДКП112-5-4x4-БТ-01–0,118 мм.

Похибкавимірузалежитьвіддекількохфакторів:

- якістьконтактноїрідини;
- зусилляпритисканнядатчикадоміри;
- шорсткістьповерхні;
- якістьУЗКдатчика;
- пори та мікротріщини в матеріалі (показання товщини можуть бутизбільшоюпохибкоюабо відсутні взагалі).

5. МІКРОПРОЦЕСОР ЯК ЕЛЕМЕНТ КОМПЮТЕРИЗОВАНОЇ ТЕХНІКИ

5.1 Історія зародження та створення мікропроцесорів

Мікропроцесор (МП)-мікроелектронний програмований пристрій, призначений для опрацювання інформації та управління процесом обміну цією інформацією у складі мікропроцесорної системи (ЕОМ). Всі мікропроцесори виготовляють за сучасною технологією мікроелектроніки на основі напівпровідникових кристалів. Інформація у мікропроцесорній системі передається електричними імпульсами. Конструктивно мікропроцесори виконані у вигляді однієї (іноді декількох) мікросхем. Мікросхеми складаються із пластикового або керамічного корпусу з невеликою напівпровідниковою підкладкою всередині. Усі електронні схеми мікропроцесора намальовані на цій підкладці за допомогою лазера. Входи та виходи схем на платі підключаються до металевих клем збоку або знизу корпусу мікросхеми.

Чому мікропроцесори є "пристроями, що програмуються". Мікропроцесорні системи, зазвичай, універсальні, отже, можуть виконувати широке коло завдань із опрацювання інформації. А мікропроцесор "налаштований" на виконання конкретної завдання з допомогою програми чи списку машинних команд.

Найважливішими компонентами мікропроцесора є реєстри, арифметико-логічний пристрій (АЛП) та блок керування. Реєстри призначені для тимчасового зберігання даних, арифметичних та логічних пристроїв або для виконання арифметичних та логічних операцій (тобто опрацювання даних). Блок керування відповідає за послідовне виконання програмних команд та правильний напрямок потоку даних.

Мікропроцесор неспроможний працювати один. Це центральна ланка у мікропроцесорних системах, до складу яких також входять пристрої постійного струму. Оперативна пам'ять, пристроїв введення/виведення інформації, накопичувачі на жорстких магнітних дисках (так звані

вінчестери) тощо. Такі мікропроцесорні системи називають комп'ютерами. Хоча персональні комп'ютери мають безліч застосувань, вони є дуже дорогими та громіздкими пристроями. І як надати елемент інтелекту побутовій електроніці, автомобілям та медичним приладам як зробити "Розумна". Очевидно, що звичайний системний блок персонального комп'ютера не може бути встановлений домашнього кондиціонера. Це подвоїть чи втричі вартість. А в комплектації так званого SmartTV ви не знайдете іншого персонального комп'ютера у його звичайному вигляді. Для автоматизації цього виду обладнання використовується спеціальний процесорний пристрій-однокристальний мікроконтролер (англ. "Мікроконтролер"). Control у перекладі з англійської означає "контролювати". "Управління". Таким чином, мікроконтролер-це спеціальний мікропроцесор, призначений для автоматизації різних пристроїв та керування їх роботою.

Таким чином, мікроконтролери є спеціальні мікроелектронні програмовані пристрої, призначені для використання в пристроях управління, системах передачі даних і системах управління технологічними процесами.

Поштовхом до розвитку мікропроцесорів послужила угода між Intel та Busicom, японською компанією, що спеціалізується на виробництві калькуляторів. Busicom замовив Intel розробку 12 спеціалізованих чіпів, але Intel не вистачило людських, фінансових і виробничих ресурсів для виконання такого великого замовлення. Тоді талановитий інженер Тед Хофф запропонував замість дванадцяти спеціалізованих мікросхем створити одну універсальну, яка б могла їх замінити. Ідея задовольнила Busicom, яка профінансувала роботу. Таким чином, Intel розпочала розробку програмованих універсальних мікросхем. Виконання певної команди. Вперше амблїшенепотрібно реалізувати алгоритми пристрою на апаратному рівні. Відтепер усі операції числової обробки даних виконуються за певною програмою, що обіцяло значну економію коштів та часу. Над реалізацією ідей Т. Хоффа працювала група інженерів та дизайнерів Intel під керівництвом Федеріко Фагіна. Після дев'яти місяців напруженої роботи з'явився перший у світі процесор "4004". У ньому було 2300

напівпровідникових транзисторів, але він уміщався на долоні. Новий процесор конкурував із комп'ютером ENIAC, який займав 85 кубічних метрів та складався з 18000 ламп. Тед Хофф розробив архітектуру першого процесора, Стен Мазор розробив його систему команд, а Федеріко Феджин розробив кристал процесора. Визнаючи переваги використання мікропроцесорів, керівництво Intel вступило в переговори з Busicom, внаслідок чого Intel набула всіх прав на процесор "4004" за 60000 доларів (Busicom незабаром банкрутувала). Потім було запущено масштабну рекламну кампанію. Його метою було довести інженерам величезний потенціал програмованих мікропроцесорів у багатьох сферах, від управління рухом до автоматизації складних виробничих процесів. Intel проводила семінари для інженерів та публікувала рекламні матеріали та довідкові посібники з використання мікропроцесорів. Залічені ті жні компанія продала більше зразків, аніж сам мікропроцесор. Через деякий час вони виявили дуже широкий спектр застосування.

Таким чином, мікросхема "4004" стала першим мікропроцесором. Приблизно за півроку ще кілька компаній оголосили про надходження подібних пристроїв. Ці мікропроцесори, виконані за технологією р-МОР, були 4-розрядними. Іншими словами, він міг обробляти лише 4 біти інформації за раз. Довжина програми та послідовність інструкцій обмежені. У перших процесорах були відсутні багатосуттєвих рис сучасних мікропроцесорів. У 1972 році Intel випустила процесор «8008», який успадкував усі основні риси "4004". Це перший 8-бітовий процесор, щось сьогодні класифікується як процесор 1-го покоління. Вже за кумулятором, бітрегістрами загального призначення, покажчиком стека, 8 адресним і регістрами спеціальними командами введення-виводу цей процесор так і не набув широкого поширення, особливо в комерційних розробках. Наявність 8-бітних мікропроцесорів із 16-бітною адресацією дозволило в середині 1970-х років створити перші домашні мікрокомп'ютери. Довгий час центральні процесори виготовлялися з малих та середніх інтегральних дискретних мікросхем, що містять від кількох до десятків тисяч транзисторів. Розміщення всього ЦП на

одному інтегрованому чіпі значно понизило вартість. У мікропроцесорів був скромний початок, але постійне збільшення складності мікропроцесорів зробило інші форми комп'ютерів майже застарілими. Сьогодні дин або кілька мікропроцесорів є обчислювальними елементами всього, від найменших будованих систем до найбільших мейнфреймів та суперкомп'ютерів.

5.2 Класифікація різних видів сучасних мікропроцесорів

В комп'ютерному світі мікропроцесори класифікують за наступними критеріями:

- за кількістю великих інтегральних схем (ВІС);
- за видом оброблюваних вхідних сигналів;
- за характером тимчасової організації роботи;
- за організацією структури мікропроцесорних систем;
- за кількістю виконуваних програм.

За кількістю великих інтегральних схем (ВІС) в мікропроцесорному комплекті розрізняють мікропроцесори одно-кристальні, багато-кристальні секційні. Одно-кристальні мікропроцесори виходять при реалізації всіх апаратних засобів процесора у вигляді однієї ВІС або НВІС (надвеликої інтегральної схеми). У міру збільшення ступеня інтеграції елементів в кристалі і числа виходів корпусу параметри одно-кристальних мікропроцесорів поліпшуються. Однак можливості одно-кристальних мікропроцесорів обмежені апаратними ресурсами кристала і корпусу. Для отримання багатокристального мікропроцесора необхідно провести розбиття його логічної структури на функціонально закінчені частини і реалізувати їх у вигляді ВІС (НВІС). Функціональна закінченість ВІС багатокристального мікропроцесора означає, що його частини виконують задалегідь визначені функції і можуть працювати автономно. Багатокристальні секційні мікропроцесори виходять у тому

ної операції визначити за сигналом фактичного закінчення виконання попередньої операції.

За організації структури мікропроцесорних систем розрізняють мікро-ЕОМ одно- і багато-магістральні.

У одно-магістральних мікро-ЕОМ всі пристрої мають однаковий інтерфейс підключення до єдиної інформаційної магістралі, через яку передаються коди даних, адрес і сигналів. У багато-магістральних мікро-ЕОМ устрою групами підключаються до своєї інформаційної магістралі. Це дозволяє здійснити одночасну передачу інформаційних сигналів по декількох (або усіх) магістралях. Така організація систем ускладнює їх конструкцію, проте збільшує продуктивність.

За кількістю виконуваних програм розрізняють одно- і багато-програмні мікропроцесори. У одно-програмних мікропроцесорах виконується лише одна програма. Перехід до виконання іншої програми відбувається після завершення поточної програми.

У багато-або мульті-програмних мікропроцесорах одночасно виконується кілька (зазвичай кілька десятків) програм.

5.3 Структура мікропроцесора

Процесор — це основна мікросхема комп'ютера, в якій виконуються всі обчислення. На справді комп'ютер не має єдиного процесора. Процесорів може бути кілька десятків. Пропрієтарними процесорами оснащені відеокарти, звукові карти та багато зовнішніх пристроїв (наприклад, принтери). У багатьох випадках ці мікросхеми можуть скласти конкуренцію основному центральному процесору за продуктивністю. Але, на відміну від нього, всі вони вузькі фахівці, один відповідає за обробку звуку, а інший за створення об'ємних зображень.

Основною відмінністю центральних процесорів є їхня універсальність. Центральний процесор може робити все, що захоче, якщо

захоче(і,звичайно,занаявності

потужностітапотрібнопрограмного

забезпечення),алепроцесорвідеокартинеможедекодуватитакіречі,якмузичніфа
йли,занеобхідності...

Коженпроцесорекристал кремнію,вирощений за спеціальною
технологією(недармапроцесоритехнічноназивають"камінцем").

Однакцейкамінчикміститьбезліч

окремихелементів,наприкладтранзистори,з'єднаніметалевимимостовимиконт
актами.Саме

вонидаютькомп'ютерамможливість"думати".Точніше,вінрозраховуєтьсяшлях
омвиконанняпевнихматематичних

операційзвикористаннямчисел,якіперетворюютьсянаінформацію,щовводиться
янакомп'ютер.

Звісно,ізоднимтранзисторомнеможнаробитиспеціальнірозрахунки.Єдин
е,щоможезробитицей електроннийперемикач,це пропустити сигнал далі або
затримати його, залежно віднапруги,що подаєтьсяна йогозатвор.Наявність
сигналунадаєлогічну одиницю
(ta).Йоговідсутністьдорівнюєлогічномунулю(none).

Однак процесор - це не простозбігтранзисторів,цеціла
системабагатьохважливих пристроїв.

Домікропроцесорівналежатьтакіпристрої:

1.Арифметико-логічніпристроїпризначенідовиконання всіх
арифметичних і логічних операцій надчисловоїтасимвольної інформацією.

2.Контролеркоординує взаємодію різних частин
комп'ютера.Вінвиконуєтакіосновні функції:

- Формуєспецифічнісигналикерування(керуючіімпульси)іподаєїхнавсіву
злимашинивнеобхіднийчас.Цевизначається деталямивиконання
різнихоперацій.

- Формуєадреси комірок пам'яті,щовикористовуютьсяуопераціях, що
виконуються,і передає ці адреси у відповідні блокиЕОМ.

- Приймаєзворотнупослідовністьімпульсіввідтактовихгенераторів.

3.Пам'ятьмікропроцесорапризначена для короткочасного зберігання,

запису

та виведення інформації, що використовується при безпосередньому обчисленні і аналізі найближчому такті машини. Пам'ять мікропроцесора побудована на регістрах та використовується для забезпечення швидкої роботи комп'ютера. Це з тим, що оперативна пам'ять який завжди забезпечує швидкість запису, вибірки та читання інформації, необхідну ефективної роботи швидких мікропроцесорів. Також важливо відзначити, що дані, введені в одні регістри, вважаються неданими, а скоріше командами, які керують обробкою даних в інших регістрах.

4. Кеш-пам'ять. Буферна пам'ять – це тип сховища даних. Сучасні процесори використовують два типи кеш-пам'яті. Мала (десять кілобайт) надшвидка пам'ять, а другого рівня – трохи повільніше, але більша – 128 кілобайт на 2 Мбайт.

5. Процесори

з'єднані кількома групами провідників, які називаються шинами. З іншими комп'ютерними пристроями, переважно з оперативної пам'яттю.

Існує три основні шини: шина даних, шина адрес та шина команд.

1. Адресна шина. Шина або частина шини призначена для передачі адрес. Іншими словами, ЦП – це один зосередків пам'яті або елементів, що містяться в системі введення-виведення.

2. Командна шина. Надсилає сигнали керування для пам'яті та пристроїв введення/виводу. Ці сигнали вказують на прямок передачі даних (до процесора або від процесора).

3. Шина даних –

це інформаційні магістралі, що дозволяють процесорам обмінюватися даними коїться з іншими комп'ютерними пристроями [3, с.80].

Важко повірити, що ці пристрої розміщені на кристалі площею трохи більше 4-6 квадратних сантиметрів. Тільки під мікроскопом можна побачити крихітні елементи, у тому числі складається мікропроцесор. Він з'єднує металеві "доріжки" (нині виготовлення використовується

алюміній, алевжевикористовуваласямідь).

6. ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1. Основні засади охорони праці на виробництві

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. (Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 №2694-12.).

Керівники підприємств організовують, забезпечують, контролюють трудову діяльність працівників у відповідності з вимогами Закону України "Про охорону праці" і забезпечують безпечні методи праці на кожному робочому місці.

Працівники під час прийняття на роботу і в процесі роботи повинні проходити за рахунок роботодавця інструктаж, навчання з питань охорони праці, знання першої медичної допомоги та потерпілим від нещасних випадків і правил поведінки у разі виникнення аварії.

Працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпекою або там, де є потреба у професійному доборі, повинні щороку проходити за рахунок роботодавця спеціальне навчання і перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з охорони праці.

Посадові особи, діяльність яких пов'язана з організацією безпечного ведення робіт, під час прийняття на роботу і періодично, один раз на три роки, проходять навчання, а також перевірку знань з питань охорони праці. Порядок проведення навчання та перевірки знань посадових осіб з питань охорони праці визначається типовим положенням, що затверджується спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з нагляду за охороною праці.

Не допускаються до роботи працівники, у тому числі посадові особи, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з охорони праці. У разі виявлення у працівників, у тому числі посадових осіб, незадовільних знань

з питань охорони праці, вони повинні у місячний строк пройти повторне навчання і перевірку знань. Відповідальність за організацію, здійснення навчання, перевірку знань працівників і проведення інструктажів з питань охорони праці покладається на керівника підприємства.

6.2. Пожежна безпека

Пожежна безпека входить в комплекс заходів з охорони праці, і організаційна робота в цій сфері на об'єктах господарювання включає широкий спектр заходів, а саме:

- створення умов для безпечної праці,
- мінімізації ризику виникнення пожеж,
- своєчасне і повноцінне забезпечення технічними засобами для запобігання займанню та усунення самих пожеж та їх наслідків,
- контроль дотримання протипожежних вимог і норм законодавства,
- розробка і впровадження регламентів погасінню пожеж, евакуації та порятунку з місць пожежі й задимлення людей і майна (матеріальних цінностей),
- внутрішнє і зовнішнє навчання співробітників.

У разі, якщо підприємство орендує площі в іншої особи, сторони повинні в письмовій формі домовитися про те, хто з них і на яких умовах здійснює роботу.

Вимоги до пожежної безпеки на підприємстві неухильно повинен дотримуватися кожен співробітник, а організаційна складова при цьому покладається на посадових осіб відповідним рішенням керівництва і прописується в посадових інструкціях і положеннях по структурним підрозділам.

Зокрема, вказуються конкретні території, ділянки, зони, об'єкти, цілі будівлі і їх частини, поверхи, на яких відповідального співробітника повинен проводити така організаційна робота.

Відповідальні особи зобов'язуються розробити, впровадити та підтримувати в певному інструкцією і положенням на ввірених їм об'єктах протипожежний режим і інструкції відповідно до вимог, викладених вно

рмативних актах.

Передбачено також створення підрозділу добровільної пожежної охорони та пожежно-рятувальної команди в його складі.

Встановлений режим включає порядки з описом місць спеціального призначення та правила їх користування та утримання, наприклад:

- евакуаційних шляхів,
- так званих «курилок»,
- місць складування продукції та сировини,
- стоянки транспорту.

Також встановлюється порядок роботи та технічного обслуговування:

- вентиляційного устаткування,
- засобів пожегогасіння захисту від загорянь,
- нагрівальних приладів,
- електрообладнання.

Розробляються і впроваджуються правила роботи з відкритим вогнем ігорючими матеріалами. Створюються графіки проходження інструктажів з пожежної безпеки співробітників, а також порядок і терміни перевірок знань пожежно-технічного мінімуму, в тому числі, тих працівників, які відповідальні за цю ділянку роботи на підприємстві. При цьому можуть передбачатися внутрішні лекції, семінари, тренінги та практичні заняття на підприємстві, а також зовнішні – на базі спеціалізованих навчальних центрів з професійними викладачами.

Важливою складовою проти пожежного режиму на будь-якому об'єкті є розробка і впровадження порядку дій при виникненні пожежі. Неодмінно має бути план евакуації, описано, як повинні відключатися електроустановки, що і в якій послідовності необхідно робити співробітникам.

Відповідно, для кожного об'єкта, кожного приміщення (крім коридорів, санвузлів, басейнів і подібних приміщень), окремих видів робіт складаються інструкції, за якими повинен працювати персонал, залучений на певних ділянках і в виконанні окремих видів робіт. За інструкціями проводиться навчання (інструктаж) персоналу з подальшим контролем знань.

Детально проте, як розробити проти пожежний режим, прописати порядок та і

інструкції, пояснюють на тематичних курсах і семінарах.

6.3. Інструкція охорони праці з електробезпеки

Електричний струм небезпечний тим, що його вплив на організм людини може спричинити серцеву недостатність, зупинку дихання, шок, опіки та нерідко смерть. В

результаті використання струму вимагає особливої обережності та обережності.

Ураження електричним струмом дуже відрізняється від інших травм. При ураженні електричним струмом розрізняють ураження електричним струмом, при якому діє електрика на все тіло, та електро травму, при якій виникають локальні зовнішні та внутрішні ушкодження тіла – опіки.

При ураженні електричним струмом, коли по тілу людини проходить електричний струм, найчастіше спочатку порушується дихання, серце продовжує працювати з порушенням ритму, а потім зупиняється, що призводить до смерті.

Електричні опіки тіла можуть виникати при проходженні струму через тіло людини і від іскор вольтової дуги за різних умов короткого замикання. Наприклад, при заміні електричних запобіжників, що вийшли з ладу, коли різні електричні фази випадково замикаються на метал. Погана ізоляція об'єктів чи ліній електропередач тощо. При цьому опіки можуть проявлятися почервонінням шкіри та утворенням на ній бульбашок, що іноді викликають глибоке пошкодження тканин і навіть обвуглення кісток.

Щоб уникнути ураження електричним струмом при використанні побутових та промислових електроприладів (далі-електроспоживачі) на виробництві (холодильники, телевізори, комп'ютери, обігрівачі, кондиціонери, праски, електричні водонагрівачі та ін.) необхідно дотримуватись наступних правил. Було: є.

Як правило, використовують електричні споживачі зі шнурами живлення, що мають триштиркову вилку з попереджувальним підключенням проводу, що заземлює (зануляє).

Не підключайте до мережі споживачів електроенергії з пошкодженою ізоляцією шнура живлення.

Не підключайте до електромережі електричні споживачі, пошкоджені або ненадійно підключені до мережних шнурів, вилок, розеток та подовжувачів.

Захисні напрямні вилки, не вмикайте електроспоживачів розетки без кришок.

Не користуйтеся пошкодженими розетками, дестеклорними коробками, розподільними коробками, вимикачами та іншими приладами, а також лампочками з темними або мітками на склі.

Не використовуйте саморобні подовжувачі, які не відповідають вимогам ПВЕ для переносної електропроводки.

Не використовувати для обігріву приміщень нестандартні (саморобні) електронні опалювальні прилади або лампи розжарювання;

При використанні електроспоживачів з окремим та незалежним заземлюючим проводом перед підключенням до електромережі необхідно перевірити наявність та надійність підключення заземлювального проводу до відповідної клеми.

По можливості уникати дотику металевих частин електроспоживачів, підключених до електричної мережі.

Не торкайтеся руками до електричних мереж, обірваних та оголених проводів електроспоживачів.

Не замінюйте пошкоджені електричні запобіжники, лампи окремо, ремонтуйте електричні споживачі або електричні мережі.

Завжди вимикайте їх з мережі при збиранні пилу з електроприладів, миття холодильників або підлог.

Не залишати увімкненими електричні споживачі.

Наприкінці дня вимикайте електроприлади та виймайте шнури живлення з розеток. При цьому необхідно пам'ятати, що при відключенні електроспоживача від розетки один із проводів може бути висмикнутий і оголений, тому він не повинен тягнутися за провід живлення, а утримуватись корпусом.

Охорона праці—це державне відомство, де навіть найкращих показників недостатньо для забезпечення повної безпеки та захисту працівників від

професійних захворювань, виробничого травматизму, пом'якшення шкідливих факторів.

Важливість створення системи управління охороною праці встановлена міжнародними законами та конвенціями. Набула чинності Конвенція МОП№ 155 про гігієну праці та промислове середовище

11 серпня 1983р., визначивши систему організацій з охорони праці на загальнодержавному та галузевому рівні, роботодавці були зобов'язані:

Ми надаємо робочі місця, механізми обладнання та організуємо виробничі процеси, що відповідають встановленим стандартам і не становлять небезпеки для здоров'я під час роботи. Важливим напрямом у галузі охорони праці та техніки безпеки є створення супутніх служб, на які покладено комплексні функції управління охороною праці та промислової безпеки, надання необхідної інформації, консультування та попередження травматизму працівників. Взаємодіють із представниками. Розслідування та облік виникнення нещасних випадків на виробництві, нещасних випадків та професійних захворювань. Проводити навчання співробітників з питань охорони праці та ін.

Українське законодавство відбиває важливу частину міжнародних стандартів організації управління охороною праці на різних рівнях.

У той же час на повсякденному рівні, будучи звичайним співробітником, ви часто залишаєте вас поза законодавчою ареною, оскільки ви незахищені законом штату.-відповідність з боку роботодавців. Особливо це стосується всіх, хто змушений працювати на приватну компанію за умов сьогоденних економічних реалій. На жаль, трудове законодавство там не врегульоване, а такі важливі терміни, як охорона праці, охорона праці, соціально-правовий захист, віддані роботодавцю, власнику, що ще гірше, його виду відсутні в лексиконі. Наука йому невідома. І якщо найманий працівник залучений у нещасний випадок, чи то тимчасовий чи постійний, відповідно до контракту чи угоди, з'ясувати юридичні зобов'язання роботодавця та власника несуть відповідальність відповідно до закону. У такому разі за вчорашній правий нігілізм піде гірка розплата, а на таких роботодавців чекає юридична, а іноді й кримінальна відповідальність. Тому необхідно створити своєрідний

навчальний центр, навчально-методичні курси та університети для підприємців. Такі установи можуть створюватися на різних засадах, наприклад, кооперативах, громадських установах, у тому числі під егідою міських, районних та обласних підприємницьких об'єднань, із залученням до навчання провідних фахівців з охорони праці.

Професіонали, такі як Національна наглядова служба, Фондсоціального страхування від нещасних випадків та професійних захворювань та юристи.

Там підприємці – початківці можуть здобути початкову освіту з питань безпечного виробництва. Це свого роду гарантія захисту перед законом та захисту життя та здоров'я співробітників.

Роботодавці зобов'язані проводити лабораторні дослідження умов праці на робочих місцях із шкідливими та важкими умовами праці, вживати заходів щодо усунення причин нещасних випадків та професійних захворювань, забезпечувати охорону працівників, які працюють у цих умовах гарантії.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання

магістерської атестаційної роботи отримано на

ступні результати:

- розроблена принципова електрична схема.
- проведено вибір елементної бази.
- розроблено топологію друкованої плати.
- розроблено складальне креслення для виготовлення пристрою.

Також розроблено пристрій для вимірювання товщини матеріалів

з такими можливостями:

- ультразвуковий метод вимірювання товщини;
- автоматичний показ результату заміру на дисплеї;
- автоматичне вимкнення живлення (від 1 хвилини та до 15 хвилин);
- індикація живлення пристрою;
- індикація проведення виміру товщини при акустичному контакті зонду з

матеріалом;

- можливість внесення калібрувань щодо матеріалу;
- регулювання ЧРЧ;
- можливість роботи з ультразвуковими роздільно-

суміщеними сенсорами різної частоти.

З метою з'ясування похибок розробленого пристрою проведено дослідження точності вимірювань за допомогою штангенциркуля МІКРОТЕХ ШЦЦ-І-300-0,01 (калібрування ISO/IEC 17025) та розробленого вимірювача товщини.

Проведено аналіз точності вимірювань розробленого вимірювача товщини.

(в процесі проведення експерименту, виконано двадцять шість замірів).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ГОСТ 12503-75 Сталь. Методы ультразвукового контроля качества, 2018 г. – 4 с.
2. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Том 3: Ультразвуковой контроль [Текст], 2004 г. – 864 с.
3. Ультразвуковой контроль. М.: Машиностроение, 2004. – 312 с.
3. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении [Текст]. СПб.: Свент, 2014 г. – 312 с.
4. ДСТУ 3008-15. Документація звітної сфери науки і техніки. Структура і правила оформлення [Текст] – Введ. 2015-06-22. – К.: Держстандарт України, 2017. – 29 с.
5. Основи наукових досліджень: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, Ю.М. Олександров, А.О. Андрусевич, О.О. Чала. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 396 с.
6. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник. – Кривий Ріг: КК НАУ, 2017. – 444 с.
7. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень в автоматизованому виробництві: Підручник / І.Ш. Невлюдов. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019 р. – 448 с.
8. Білокур І.П. Акустичний контроль: Навчальний посібник [Текст]. – К.: ІЗМН, 1999 г. – 244 с.
9. Потапов А.И., Сясько В.А. Неразрушающие методы и средства контроля толщин покрытий и изделий [Текст], 2009 г. – 904 с.
10. Кузелев Н.Р. Методы и средства неразрушающего контроля и анализаватомной энергетике и промышленности [Текст], 2009 г. – 256 с.
11. Балдев Радж, Раджендран В., Паланиччи П. Применение ультразвука [Текст], 2006 г. – 576 с.
12. Алешин Н.П. и др. Методы акустического контроля металлов. - М.: Машиностроение [Текст], 2000 г. – 456 с.

ДОДАТОК

Програма для мікропроцесора вимірювача товщини

```

simplest LC-generatoronarduino
canbeusedaslc-meter
(C)SAE762 07.feb.2015 @home
circuitdiagramm D2---R(100...1000)---D6---LC---GND; D7---GND
*/
#include<EEPROM.h>
#include "analogComp.h"
*/
//***** ФУНКЦІЇ*****
//Thisfunctionwillwrite a 2
byteintegertotheepromatthespecifiedaddressandaddress + 1
voidEEPROMWriteInt(intp_address, intp_value)
{
byteLowByte = ((p_value>> 0) & 0xFF);
byteHighByte = ((p_value>> 8) & 0xFF);
EEPROM.write(p_address, lowByte);
EEPROM.write(p_address + 1, highByte);
}
//Thisfunctionwillread a 2
byteintegerfromtheepromatthespecifiedaddressandaddress + 1
unsignedintEEPROMReadInt(intp_address)
{
byteLowByte = EEPROM.read(p_address);
byteHighByte = EEPROM.read(p_address + 1);
return ((lowByte<< 0) & 0xFF) + ((highByte<< 8) & 0xFF00);
}
intctl=2 ; // нога для накачки енергії в контур

```

```
intled=13; // нога світлодіода
intrise=0;
intfall=0;
intsumm;
inttchk=300;
intzero=11625;
intdelta=0;
intvbat=0;
intvbatpin=6;
intmredled=3;
intmblueled=4;
intmwhiteled=5;
intgreenled=8;
intpwhiteled=9;
intpblueled=10;
intpredled=11;
//+++++
//=====
intpgreen=25;
intmgreen=-10;
intpwhite=55;
intmwhite=-30;
intpblue=100;
intmblue=-60;
//intpred=130;
//intmred=-60
voidsetup() {
    // putyoursetupcodehere, torunonce:
    summ=0
    Serial.begin(9600);
    pinMode(led, OUTPUT); //
    pinMode(ctl, OUTPUT);
```

```

pinMode(mredled, OUTPUT);
digitalWrite(mredled, HIGH);
pinMode(mblueled, OUTPUT);
digitalWrite(mblueled, HIGH);
pinMode(mwhiteled, OUTPUT);
digitalWrite(mwhiteled, HIGH);
pinMode(greenled, OUTPUT);
digitalWrite(greenled, HIGH);
pinMode(pwhiteled, OUTPUT);
digitalWrite(pwhiteled, HIGH);
pinMode(pblueled, OUTPUT);
digitalWrite(pblueled, HIGH);
pinMode(predled, OUTPUT);
digitalWrite(predled, HIGH);

digitalWrite(ctl, LOW);
analogComparator.setOn(AIN0, AIN1); //D6+,D7-
analogComparator.enableInterrupt(comparatorInt,CHANGE);
vbat = analogRead(vbatpin);
if (vbat>50) {
rise=0
if (vbat< 700) { digitalWrite(mredled, LOW);digitalWrite(predled, LOW);}
//ifnopulses, make a startimpulse
if (rise==0) {
pulse();
}
summ=0;
digitalWrite(led, LOW);
rise=0;
fall=0;
delay(tchk); // waitfor a second
//Serial.println(rise);

```

```

summ=summ+rise;
rise=0;
fall=0;
delay(tchk);      // waitfor a second
summ=summ+rise;
rise=0;
fall=0;
delay(tchk);      // waitfor a second
summ=summ+rise-15;
// Serial.print(summ);
summ=summ/3;
digitalWrite(led, HIGH);
EEPROMWriteInt(0,summ);
digitalWrite(greenled, LOW);
while (1);
    }
}
voidloop() {
rise=0;
  //Serial.println(EEPROMReadInt(0));
  //ifnopulses, make a startimpulse
if (rise==0) {
pulse();
  }
summ=0;
digitalWrite(led, LOW);
rise=0;
fall=0;
delay(tchk);      // waitfor a second
summ=summ+rise;
rise=0;
fall=0;

```

```

delay(tchk);          // waitfor a second
summ=summ+rise;
rise=0;
fall=0;
delay(tchk);          // waitfor a second
summ=summ+rise;
// Serial.print(rise);
//ВЫЧИСЛИМСРЕДНЕЕ
summ=summ/3;
delta=summ-EEPROMReadInt(0);
Serial.print(EEPROMReadInt(0));          // з пам'яті
Serial.print(";");
Serial.print(delta);
Serial.println(" pulses/tchk");
digitalWrite(led, HIGH);
if (delta>= mgreen&&delta<= pgreen ) { digitalWrite(greenled, LOW);}
if (delta<mblue) digitalWrite(mredled, LOW);
if (delta>= mblue&&delta<mwhite ) digitalWrite(mblueled, LOW);
if (delta>= mwhite&&delta<mgreen) digitalWrite(mwhiteled, LOW);
if (delta>pblue) digitalWrite (predled,LOW);
if (delta>pwhite&&delta<= pblue) digitalWrite (pblueled,LOW);
if (delta>pgreen&&delta<= pwhite) digitalWrite (pwhiteled,LOW);
while (1); /// тормоза. измерениеокончено
delay(1000);          // waitfor a second

}
/**
notsoclear "magic" withinterrupt
weneedtoblockint'swhenmake a powerimpulse
comparatorisconnecteddirectlytocapacitor
*/
booleanwaitforRise=false;

```

```

//thisfunctioniscalledwhencomparatorchangestatus
//assetin ACSR register
voidcomparatorInt() {
if (waitforRise) { //ifwewaitingforrise
    ACSR &= ~(1<<ACIS0); //setinterruptforfalling
    ACSR |= (1<<ACIS1);
waitforRise=false;
rise++;
} else { //ifwewaitingforfall
    ACSR &= ~(1<<ACIE); //disableinterrupt
    //impulsetosupportanoscillations
pulse();
    ACSR |= (1<<ACIE); //enableinterrupt
    ACSR |= ((1<<ACIS1) | (1<<ACIS0)); //setinterruptforrising
waitforRise=true;
}
}
//sendpowerimpulseto LC
voidpulse() {
pinMode(ctl, OUTPUT);
digitalWrite(ctl, HIGH);
rise++; //makesomethinguseless )
    //digitalWrite(ctl, LOW);
pinMode(ctl, INPUT);

```