

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської дипломної роботи на тему:

«РАДІОЕЛЕКТРОННИЙ СЕНСОР ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИНИ З ЧАСТОТНОМОДУЛЬОВАНИМ ІНФОРМАЦІЙНИМ СИГНАЛОМ»

Виконав: студент 4-го курсу, групи ТКР-206
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Озимий І.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ІРТС
Савицький А.Ю.
(прізвище та ініціали)

«14» 06 2024 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент каф. ІКСТ
Семенова О.О.
(прізвище та ініціали)

«14» 06 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІРТС
д.т.н., проф. Осадчук О.В.
(прізвище та ініціали)

«14» 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність – 172 – Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

Олександр ОСАДЧУК

15 березня 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Озимому Івану Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Радіоелектронний сенсор вологості деревини з частотно-
дульованим інформаційним сигналом»

керівник роботи Савицький Антон Юрійович, к.т.н., доц., доцент каф. ІРТС
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “11”03 2024 року № 80

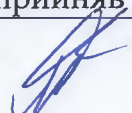
2. Строк подання студентом роботи 10 06 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: діапазон вимірювання відносної вологості деревини
0%...60%; абсолютна похибка вимірювання вологості $\pm 0,05\%$; напруга живлен-
ня 5 В; струм споживання (максимальний) 0,2 А; діапазон робочих частот 100
кГц ... 1 МГц; клас точності друкованої плати - 3-й; кількість шарів друкованої
плати – 2; ширина та довжина плати: 90×140 мм; середній час напрацювання на
відмову 30000 год; час безвідмовної роботи пристрою не менше 1000 год.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз сучасного стану методів і пристроїв
вимірювання вологості деревини. Електричні та конструкторські розрахунки
радіоелектронного сенсора вологості деревини. Моделювання роботи радіоеле-
ктронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним
сигналом. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень): Статична характеристика вологоміру. Схема електрична принципова
пристрою. Топологія друкованої плати пристрою. Встановлення елементів на
друкованій платі. Електрична схема автогенераторного перетворювача вологос-
ті деревини в пакеті програм OrCAD PSpice. Графік чутливості автогенератор-
ного перетворювача вологості деревини.

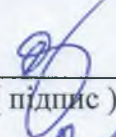
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	к.т.н., доцент, доцент каф. ІРТС Савицький А.Ю.		
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, професор, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 12.03. 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приймітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БДР	14.02.2024-28.02.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2024-10.03.2024	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БДР.	11.03.2024-31.03.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.04.2024-06.05.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	07.05.2024-18.05.2024	
6.	Розробка графічної частини БДР	19.05.2024-22.05.2024	
7.	Охорона праці (ОП)	23.05.2024-28.05.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	29.05.2024-05.06.2024	
9.	Нормоконтроль	06.06.2024-07.06.2024	
10.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	08.06.2024-10.06.2024	
11.	Захист БДР ЕК	11.06.2024-14.06.2024	

Студент  Озимий І.А.
(підпис)Керівник роботи  Савицький А.Ю.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396.6

Озимий І.А. Радіоелектронний сенсор вологості деревини з частотно-модульованим інформаційним сигналом. Бакалаврська дипломна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 105 с. Українською мовою. Бібліогр.: 52 назв; Рис.: 19. Табл. 15

У бакалаврській дипломній роботі розроблений та досліджений радіоелектронний сенсор вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом на операційному підсилювачі. Проаналізовано сучасний стан сенсорів вологості деревини. Виконані електричні розрахунки ланок радіоелектронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом на операційному підсилювачі. Отримані результати моделювання часових параметрів і характеристик частотномодульованих інформаційних сигналів сенсора вологості деревини. Виконані конструкторські розрахунки та розроблена друкована плата та конструкція радіоелектронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом. Здійснене оцінювання метрологічних характеристик розробленого радіоелектронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом.

Ключові слова: частотний сенсор, вологість деревини, вимірювання, похибка, частотна модуляція, операційний підсилювач, зворотний зв'язок.

ABSTRACT

Ozomy I.A. Radioelectronic sensor of wood moisture with a frequency-modulated information signal. Bachelor's thesis. - Vinnytsia: VNTU, 2024. 105 p. In Ukrainian. Bibliography: 52 titles; Figures: 19. Table 15

In the bachelor's thesis, a radio-electronic wood moisture sensor with a frequency-modulated information signal on an operational amplifier was developed and studied. The current state of the art of wood moisture sensors is analysed. The electrical calculations of the links of the radio-electronic wood moisture sensor with a frequency-modulated information signal on the operational amplifier are carried out. The results of modelling the time parameters and characteristics of frequency-modulated information signals of the wood moisture sensor are obtained. Design calculations were performed and a printed circuit board and a design of a radioelectronic wood moisture sensor with a frequency-modulated information signal were developed. The metrological characteristics of the developed radioelectronic wood moisture sensor with a frequency-modulated information signal have been evaluated.

Keywords: frequency sensor, wood moisture, measurement, error, frequency modulation, operational amplifier, feedback.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТОДІВ І ПРИСТРОЇВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИНИ.....	10
1.1 Види вологості деревини.....	10
1.2 Види вологомірів деревини.....	12
1.3 Класифікація та порівняння методів вимірювання вологості деревини	15
1.4 Характеристики вологоміра	18
1.5 Аналіз технічних вимог і умов експлуатації та вибір прототипу	25
1.6 Вибір і обґрунтування аналогів	26
2 ЕЛЕКТРИЧНІ ТА КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИНИ	32
2.1 Електричні розрахунки варіантів автогенераторного перетворювача на операційному підсилювачі	32
2.2 Аналіз елементної бази.....	36
2.3 Загальне компонування приладу	43
2.4 Конструкторські розрахунки пристрою.....	44
2.5 Розрахунок діаметрів контактних площадок	52
2.6 Розрахунок ширини провідників	54
2.7 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованої плати	55
2.8 Розрахунок плати на вібростійкість	57
2.9 Розрахунок ефектів впливу від дії удару	60
2.10 Тепловий розрахунок пристрою	63
2.11 Розрахунок надійності по раптовій відмови	65
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИНИ З ЧАСТОТНОМОДУЛЬОВАНИМ ІНФОРМАЦІЙНИМ СИГНАЛОМ	69

3.1 Комп'ютерне схемотехнічне моделювання автогенераторного перетворювача вологості деревини	69
3.2 Математичне моделювання статистичних характеристик автогенераторного перетворювача вологості деревини	72
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	76
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	76
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	79
4.3 Пожежна безпека.....	86
ВИСНОВКИ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	96
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (бакалаврської) дипломної роботи	104

ВСТУП

Актуальність теми.

Сьогодні неможливо уявити світ без електронних приладів, що перекладають на свої плечі частину людської праці [1,2]. І це не тільки важка фізична праця, але й розумова, що є не менш важкою. Більш того, в багатьох випадках машини виконують працю краще, ніж людина, тобто точніше, швидше. Це можливо завдяки тому, що машини навчилися аналізувати вхідний потік інформації і адекватно на неї реагувати [3,4]. Одним з прикладів є системи автоматичного управління виробничими та іншими процесами. На вхід такої системи надходить виміряна величина, яку треба контролювати [5,6]. Далі здійснюється обробка за певним закладеним алгоритмом, згідно з яким формується керуючий сигнал, що з виходу системи поступає на виконавчий механізм [7,8].

Точність вимірювання вологості деревини має вирішальне значення для передбачення загального часу сушіння деревини, оптимізації та оцінки якості процесу сушіння, сортування пиломатеріалів [9, 10]. Тому аналіз джерел похибок оцінки вологості деревинних матеріалів і шляхів її зменшення має велике практичне значення.

Впровадження радіоелектронних сенсорів вологості з частотномодульованим інформаційним сигналом у промислові процеси обробки деревини може значно покращити якість продукції та ефективність виробництва. Завдяки високій точності, стабільності та надійності, ці сенсори є перспективним рішенням для сучасних виробничих систем. Отже, розробка та практичне застосування таких пристроїв є актуальною задачею.

Сучасний стан розвитку за тематикою дослідження .

Радіоелектронні сенсори вологості деревини є важливими компонентами у багатьох галузях промисловості, де необхідно контролювати вологість деревини для забезпечення якості продукції та ефективності виробничих процесів [11, 12]. Одним із перспективних підходів до вимірювання вологості є використання частотномодульованого інформаційного сигналу, що дозволяє підвищити

точність і стабільність вимірювань [13, 14]. Вологість деревини є критичним параметром у виробництві меблів, будівництві, виготовленні паперу та інших матеріалів на основі деревини [15, 16]. Невідповідність вологісних параметрів може призвести до деформацій, зниження міцності та якості продукції, а також до додаткових витрат через необхідність повторної обробки матеріалу [17, 18].

Більш ніж півстоліття першість за розповсюдженістю утримує спосіб вимірювання вологості деревини за електричним опором (тобто, кондуктометричний спосіб). Функції вологочутливого елементу (давача) вологоміра виконують електроди (голки, штирі), що встромляються у пиломатеріал. Вологомір вимірює електричний опір деревини між голками, а вологість пиломатеріалу визначають за заданими для різних порід дерева залежностями електричного опору від вологості і температури.

Тестування, проведені в Україні та Англії [3, 4], мали на меті отримати об'єктивну оцінку достовірності показів різних типів кондуктометричних вологомірів (KB). Тестування показали, що рівня оголошеної для приладів похибки можливо досягти хіба що на конкретному еталонному зразку [1], а на практиці похибка результатів вимірювання вологості кондуктометричними приладами значно перевищує ці межі. Графіки частоти відхилень показів KB Протиметра «Диджитал Тимбермастер», GANN «Гидрометте Н35» та DELMHORST «RDM-2S» від вологості деревини, визначеної за ваговим методом, опубліковані в доповіді Шведського Інституту Контролю та Досліджень, ілюструє цю тезу [4].

Реальна точність такого методу невисока. Вона оцінена, у кращому випадку, на рівні 1-2% для вологості до 12 %; на рівні 3 % для вологості від 12% до 30 %, а понад значення 30% точність вимірювання взагалі не нормується [1, 2].

Метою роботи є розроблення та дослідження радіоелектронного сенсора з частотномодульованим інформаційним сигналом на основі дискретних резисторів, конденсаторів, операційних підсилювачів, який має призначення вимірювання вологості деревини.

Об'єктом дослідження - процес перетворення рівня відносної вологості деревини в частоту електричних коливань.

Предмет дослідження – часові параметри і характеристики електричних частотномодульованих сигналів радіоелектронного сенсора вологості деревини.

Щоб досягнути мету в бакалаврській дипломній роботі необхідно розв’язати такі завдання:

- аналіз сучасного стану методів вимірювання вологості деревини;
- розробити структурну схему радіоелектронного сенсора;
- виконати електричні розрахунки;
- розробити електричну схему;
- виконати конструктивні розрахунки;
- розробити топологію друкованої плати сенсора;
- здійснити комп’ютерне моделювання;
- виконати розділ охорони праці.

Методи дослідження. Елементи теорії нелінійних електричних кіл, теорія радіотехнічних кіл і сигналів, теорія коливальних і хвиль, математична теорія нелінійної динаміки.

Практичне значення одержаних результатів

Нова електрична схема та конструкція радіоелектронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом.

Структура та обсяг роботи. Бакалаврська дипломна робота має вступ, розділи 1-4, висновки, список використаних джерел, два додатки.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТОДІВ І ПРИСТРОЇВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИНИ

1.1 Види вологості деревини

Природна вологість дерева – це вологість сирої деревини під час росту дерева і відразу після його спиля. Це найвищий показник вологи в дереві, окрім спеціально намоченого, і залежить він від породи дерева. У різні пори року природна вологість може змінюватися, але в основному вологість свіжозрубаної деревини середньо стабільна. Також найчастіше вологи у дереві більше біля основи стовбура, ніж у кроні.

Таблиця 1.1 – Природна вологість деревини,:

Порода дерева	Вологість, %	
	Ядро	Заболонь
Клен	50	50-60
Дуб	50-80	70-80
Граб	60	60
Береза	78	70-90
Вільха	84	80-90
Сосна	30-40	100-120
Ясен	35-40	35-40
Акація	35-40	35-40
Осика	82	80-90

Якщо подивитися в таблицю, можна помітити, що в деяких порід природна вологість низька, а в інших висока. Наприклад, природна вологість сосни, точніше її заболоні, становить до 120%, тоді як заболонь ясеня волога максимум на 40%. Сосна – більш волога порода, ніж ясен або акація, тому вона гнучкіша і

частіше використовується в якості оздоблення в будинку. А ось для опалення краще підійде ясен, дуб, граб та береза.

Абсолютна вологість – це практично вага води у деревині. Цей показник використовується переважно для пиломатеріалів, де потрібно вираховувати вагу дерев'яного виробу. Процес висушування допомагає дізнатися вагу матеріалу до сушіння та після неї для визначення значення абсолютної вологості.

Для того, щоб розрахувати абсолютну вологість виробу, від нього вирізують зразок, який зважують. Далі його висушують до вологості 0% - це вологість деревини камерного сушіння. Хоча в сушильній камері можна досягти вологості деревини різного ступеня, але для розрахунку абсолютної вологості слід висушити її до нуля. Після цієї процедури порівнюють вагу зразка виробу до сушіння та зразок після сушіння – ця різниця і є вагою вологи у деревині. Дані показники використовуються для обчислення абсолютної вологості за спеціальною формулою.

Формула абсолютної вологості деревини:

$$W=(m_c-m_o)/m_o*100 \quad (1.1)$$

де W – вологість деревини; m_c – вага свіжозрубаної деревини; m_o - вага абсолютно сухої деревини.

Рівноважна вологість деревини - це вологість матеріалу, що рівномірно розподілилася по ньому. Відсоток вологості заготовки може змінюватись в залежності від змін температури навколишнього середовища та вологості повітря. Виріб може як вбирати вологу з повітря і при цьому набирати масу, так і випаровувати вологу і, відповідно, ставати легше. Оптимальний варіант такої сорбції створює рівноважну вологість у деревині, коли волога рівномірно розподілилася по всій довжині та ширині волокон матеріалу.

Для того, щоб досягти рівноважної вологості деревини, її залишають на деякий час у природному середовищі. У процесі сушіння дерева від початково-

го варіанту – свіжоспилу, деревина входить у потрібний стан, тобто у той вид, у якому пиломатеріал буде використовуватись за призначенням.

Залежно від сезону рівноважна вологість змінюється, оскільки змінюється температура та вологість повітря.

Стандартною вологістю деревини називається рівноважна вологість, про яку ми говорили вище, але не більше 15%.

1.2 Види вологомірів деревини

Непрямий метод використовується для швидкого і безперервного визначення вологості деревини в технологічному процесі:

- метод електричної провідності;
- індукційний метод;
- дієлькометричний метод;
- метод ЯМР (ядерного магнітного резонансу);
- радіоізотопний метод.

Серед них два широко використовувані методи: метод кондуктивності та індукційний метод. Кондуктивний метод заснований на залежності електричного опору від вмісту води в деревині. Сенсорна ручка з двома голками вставляється в деревину на глибину, де ймовірно буде найбільша вологість (приблизно половина товщини матеріалу).

Під час сушіння деревини різних порід товщиною 50 мм вологість в середині може бути на 10% вище, ніж на поверхні. Тому для вирівнювання вологості після сушіння деревину рекомендується витримати на виробництві не менше 3 діб і заміряти вологість вологоміром з необхідною глибиною проникнення в деревину.

Вологоміри, побудовані на основі методу електропровідності, більш точні, але вони показують максимальну вологість деревини в конкретній точці. Тому для об'єктивності вимірювання його слід проводити в кількох точках.

В основі індукційного методу лежить залежність діелектричної проникності або діелектричних втрат від вологи в деревині. Індуктивні вологоміри відображають середнє значення між максимальним і мінімальним вмістом вологи на глибині проникнення. Але оскільки такі вологоміри можна просто поставити на матеріал і переміщати по дошці натисканням кнопки, їх показання слід вважати більш об'єктивними. В ідеалі слід використовувати два гігрометри: За показаннями індуктивного гігрометра слід зафіксувати максимальне показання - в цей час проводяться електричні вимірювання.

Вибираючи гігрометр, варто звернути увагу на таку функцію, як «температурна корекція». Без нього кондуктивний гігрометр можна використовувати лише для вимірювань у приміщенні (або на вулиці) при температурах 15-250С. Якщо діапазон корекції температури досягає 900°С, можна виміряти вологість деревини в сушильній камері та після вивантаження з сушильної камери. Показання індукційного вологоміра практично не залежать від температури матеріалу.

Перед завантаженням в сушильну камеру необхідно відібрати заготовки приблизно однакової вологості ($\pm 2,5\%$), щоб уникнути недосушування і пересушування плит після сушіння. Для контролю початкової вологості деревини до і під час сушіння слід використовувати вологомір із розширеним діапазоном до 60%. Вологоміри з діапазоном вимірювання вологості до 30% контролюють лише остаточну вологість висушеної заготовки.

Фактори, що впливають на результати вимірювання вологості штифтовим гігрометром:

- 1) температура вимірюваного матеріалу (при підвищенні температури на кожні 5°С вологомір показує, що вміст вологи збільшується приблизно на 0,5%, а найбільш точні результати вимірювання можна отримати, коли температура матеріалу становить +20° С);

- 2) температура навколишнього середовища;

- 3) порода дерев, місце розташування та швидкість росту (сухі або заболочені території, північні чи південні широти, пасовища чи ліси);

4) фактична щільність деревини;

5) випадкові гнізда смоли та дефекти матеріалу в зоні вимірювання;

6) випадкова вологість поверхні матеріалу;

7) градієнт вологості в кінці процесу сушіння (перед вирівнюванням матеріал біля поверхні є більш сухим, ніж серцевина, наприклад, коли виходить із сушильної камери, вміст води в поверхневому шарі 50 мм плити становить близько 6,5% при висушуванні до 8%, приблизно 11,5% в ядрі [8])

8) взаємодія всіх перерахованих вище факторів.

Тому для контролю вологості деревини на різних етапах процесу рекомендується використовувати вологомір:

- при придбанні сухих або сухих дров;
- контролювати вологість укладеної деревини в процесі природного підсушування;
- вибрати ПМЗ приблизно однакової вологості при завантаженні в сушильну камеру;
- контролювати вологість деревини під час сушіння;
- при перекладі деревини з сушіння на виробництво;
- при тривалому зберіганні заготовок на виробництві чи складі (вони можуть накопичувати вологу для досягнення рівноважних значень вологості);
- при здачі замовнику незабарвленого готового виробу або ПМЗ.

Крім найбільш поширених гігрометрів, існують спеціальні гігрометри (закріплені в сушильній камері; з висунутими шинами для вимірювань всередині штабеля; для вимірювання вологості шару цементної стяжки перед укладанням паркету; з визначенням вологості вміст підлоги) сипучі матеріали; до 10000 виміряних значень можна зберегти та роздрукувати на принтері; таким чином, крім вологості деревини, також можна виміряти температуру та вологість повітря). Таким чином, у кожному конкретному випадку можливо підібрати необхідний тип вологоміра.

1.3 Класифікація та порівняння методів вимірювання вологості деревини

Кондуктивний вологомір вимірює опір між двома електродами (чутливими елементами пристрою) і використовує цю інформацію для визначення вмісту води в деревині. Основною характеристикою електропровідного пристрою є наявність металевих шпильок, які встановлюються в деревину і вимірюють вологість деревини.

Основними характеристиками цього типу обладнання є кількість порід деревини, для яких воно призначене, діапазон вимірювання та точність. Крім того, струмопровідні гігрометри можна розділити за функціями та виробниками.

Найчастіше для контролю виноробної сировини під час приймання, сушіння та зберігання використовують струмопровідні пристрої. Це пов'язано з тим, що електроди вимірювального приладу пошкоджують деревину. При надходженні на підприємство вологість деревини різних порід дерев може коливатися в межах 30-120% [6]. На виході з сушарки деревина має вологість 6-12% [6], залежно від використання.

На ринку України представлені струмопровідні гігрометри вітчизняних виробників:

- АВД-6100, ЕСВ -4М, ВДК -660 для одноточкового вимірювання;
- Для одночасного вимірювання декількох точок ИВД-12.

Схожі конструкції мають і прилади вітчизняних виробників, наприклад мобільні пристрої з виносними щупами: АВД-6100, ЭСВ-4М, ВДК-660.

Оскільки різні породи деревини мають різну провідність, яка зберігається в пам'яті приладу, при виборі вологоміра деревини слід звернути увагу на те, для якої породи деревини призначений прилад. Другим важливим показником є діапазон вимірювання і точність приладу. Тому перевірити результати при висушуванні деревини до 6% можна за допомогою приладів Немо АВД 6100 і ЭСВ-4М.

Немо АД 6100 призначений для вимірювання вологості 15 порід деревини від 4 до 100% з похибкою 1,5%.

ЭСВ-4М призначений для визначення вологості необробленої деревини в діапазоні від 4% до 90% на глибину до 10 мм. Похибка вимірювання - не більше $\pm 0,5\%$ від абсолютного значення, від 8% до 12% від фактичного значення вологості. .

ВДК-660 можна використовувати для перевірки деревини та деревини з підвищеним вмістом вологи. ВДК-660 призначений для вимірювання вологості від 6 до 100% під час виробництва, сушіння та зберігання деревини та виробів із сосни, ялини, берези, дуба та бука. [6]

Багатоканальний вологомір - це спеціальний тип приладу, який використовується для контролю вологості деревини в процесі сушіння. Зазвичай це стаціонарні прилади, наприклад вологомір деревини ІВД-12. Пристрій має такі особливості:

Діапазон вимірювання вологості - 7...60%.

Похибка вимірювання:

- діапазон 7...25 - $\pm 1,5\%$;
- діапазон 25...60 - $\pm 5,0\%$;
- тривалість вимірювання - 40 секунд;
- максимальна кількість каналів вимірювання – 6;
- багатоканальний вимірювач - ІВД-12 [6].

Вологоміри зарубіжних виробників представлені широким асортиментом виробів різного дизайну та якості. Розглянемо найпоширеніший тип кондуктометра деревини.

Як правило, таке обладнання призначене для вимірювання вологості деревини вище 6%. Таким чином, діапазон вимірювання ДТ-129 становить 6-100%, а ХІТ-1 - 6-50%. Але є винятки: так, гігрометр MD-7820 заявляє про діапазон вимірювання 2-70%, тоді як ДТ-129 і MD-7820 мають точність вимірювання 1%. [7]

Якщо говорити в цілому, то перевага струмопровідних вологомірів деревини зарубіжних виробників полягає в тому, що в пам'яті приладу зберігається велика кількість порід деревини. ДТ-129 містить інформацію про 150 порід деревини.

При виборі струмопровідного приладу слід пам'ятати, що його глибина вимірювання залежить від довжини електродів (шипів), тому для вирішення завдання важливо співвіднести довжину електрода обраного приладу з необхідною глибиною вимірювання.

Ще однією важливою властивістю провідних пристроїв є простота використання. Варто пам'ятати, що для розміщення електродів у деревині потрібно докласти зусиль (це особливо актуально для твердих порід деревини), а також слід враховувати вплив вимірювань, проведених з нерівномірно зануреними електродами. більша помилка. Тому, вибираючи струмопровідний гігрометр, потрібно оцінити його ергономічність і зручність використання.

Високочастотний (діелектричний метод) вологомір деревини вимірює діелектричну проникність і тангенс втрат контрольного зразка, що знаходиться в електромагнітному полі. Це найшвидший і зручний метод неруйнівного контролю вологості. Як правило, вони використовуються для контролю чорнових і готових виробів. Основна перевага даного типу приладу - контроль вмісту води без пошкодження поверхні вимірюваного об'єкта. У сучасному виробництві пред'являються дуже високі вимоги до вологості деревини, тому, наприклад, при виробництві клеєних дерев'яних вікон при забиванні і склеюванні різниця у вологості склеюваних частин не повинна перевищувати 1%.

Високочастотні вологоміри деревини зазвичай використовуються для вимірювання вологості інших матеріалів, крім їх основного призначення: обрізків паперу, картону, будівельних матеріалів тощо. Високочастотне обладнання на українському ринку представлене переважно моделями іноземних виробників.

Тому портативний вологомір деревини MD918 призначений для вимірювання вмісту води в зразках деревини на місці без пошкодження та руйнування зразків деревини. Прилад має діапазон вимірювань 4...80% і похибку 0,5%

[6]. Оскільки немає вимірювальних голчастих електродів, його можна використовувати для різноманітних завдань. Пристрій відкалібровано для 50 основних видів деревини та має автоматичну температурну компенсацію.

Ще однією перевагою високочастотних вологомірів є їх компактність і простота використання, про що яскраво свідчить вологомір МС-420, призначений для вимірювання вмісту вологи в деревині та будівельних матеріалах в діапазоні глибин 0-100% 20- 40 мм.

1.4 Характеристики вологоміра

Діелькометричний метод визначення кількісного вмісту вологи в матеріалі є найпоширенішим методом визначення вологості твердих тіл і рідин. Цей метод часто називають «ємнісним», тому що при своєму виникненні й первісному розвитку він ґрунтувався на вимірі ємності датчика-конденсатора, у якому контрольований матеріал відігравав роль діелектрика, що визначає цю ємність залежно від діелектричної проникності.

У дійсності, у системах з датчиками ємнісного типу вимірюється в більшості випадків повний опір датчиків на змінному струмі й рідше - окремого складового цього опору. Тому більш правильно й точно називати цей метод «діелькометричним».

Вологість матеріалів діелькометричним методом вимірюється звичайно в діапазоні частот від сотень кілогерців до 10 МГц, при використанні таких фізичних характеристик матеріалу, як діелектрична проникність ε й тангенс кута діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta$. У деяких випадках вимірюється так звана добротність Q , чисельно рівна $1/\operatorname{tg} \delta$.

Електричні параметри твердих і рідких матеріалів залежать від будови матеріалу, структури, хімічного складу, температури, змісту сухої речовини, води й повітря, що заповнюють пори,- капіляри або проміжки між частками матеріалу (для сипучих і зернистих матеріалів). Особливо велику роль грає співвідношення між твердою сухою речовиною, водою й повітрям у загальній масі

контрольованої проби, тому що тверда, рідка й газоподібна фази різко відрізняються друг від друга по своїх електричних властивостях. Справа ускладнюється ще й тим, що параметри матеріалу, необхідні для дієлькометричного визначення вологості, залежать від частоти, при якій ведуться виміри. Крім того, на електричні властивості матеріалів впливають і властивості води, що міститься в матеріалі, які залежать від форм її зв'язку із сухою речовиною.

Теоретичні розрахунки, що встановлюють залежність параметрів матеріалу, контрольованих при дієлькометричному методі від його вологості, дуже складні й не завжди в стані врахувати всі властивості матеріалу й умови, що супроводжують вимірам. Тому основні характеристики дієлькометричного методу отримують дослідним шляхом.

Для проведення дієлькометричного визначення вологості матеріалів потрібно встановити наступні закономірності.

1. Залежність діелектричної постійної й тангенса кута втрат від вологості, тобто

$$\varepsilon = f(W) \quad \text{і} \quad \operatorname{tg} \delta = f'(W)$$

2. Оскільки зазначені вологісні характеристики залежать від частоти f , виникає необхідність в отриманні й аналізі частотно-вологісних характеристик матеріалу у вигляді сімейства залежностей (графіків) $\varepsilon = \varphi(f)$ і $\operatorname{tg} \delta = \varphi'(f)$ при різних $W_1; W_2; \dots, W_n$ або $\varepsilon = f(W)$ і $\operatorname{tg} \delta = f'(W)$ при різних частотах $f_1, f_2, \dots, f_n$.

3. Істотний вплив на ε й $\operatorname{tg} \delta$ при всіх частотах робить температура матеріалу. Це приводить до необхідності одержання температурно-частотних характеристик для контрольованих матеріалів при різних значеннях вологості типу .

4. Для твердих матеріалів й особливо для дисперсних матеріалів ε й $\operatorname{tg} \delta$ залежать від ступеня його ущільнення в міжелектродному просторі датчиків. Як установлено в численних роботах, ущільнення матеріалу збільшує ε й $\operatorname{tg} \delta$ й одночасно впливає на вологісні, частотні й температурні характеристики матеріалу.

5. Найбільш складним є питання про вплив на результати дієлькометричних вимірів хімічного складу матеріалу.

По деяких дослідженнях для неводних рідин діелектрична постійна не залежить від того, чи містить диспергирована волога розчинені солі або ні. У твердих матеріалах хімічний склад (зміст електролітів) значно впливає на їхні діелектричні властивості.

Рівняння статичної характеристики датчика вологості деревини має вигляд

$$C = f(\varepsilon) = \frac{1}{K} \varepsilon_0 \varepsilon,$$

де C - ємність датчика-конденсатора, Ф; $K = \frac{d}{S}$ - постійна електродної системи датчика (для двох паралельних пластин), м/м²; ε_0 - постійна, рівна $8,86 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ε - діелектрична проникність контролюваного матеріалу; d - відстань між пластинами конденсатора, мм; S - площа пластин, мм².

Статична характеристика датчика при зміні діелектричної проникності матеріалу має вигляд показаний на рис. 1.1.

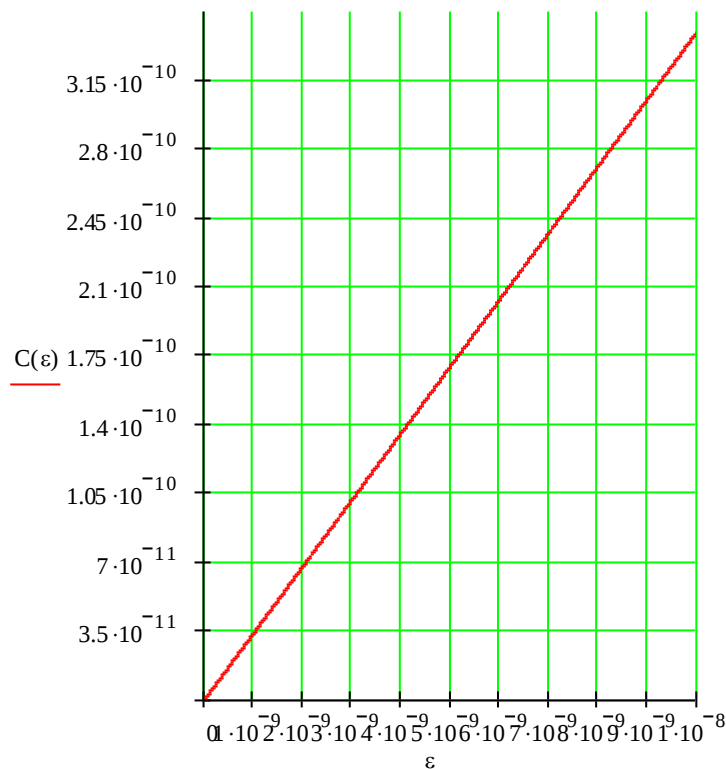


Рисунок 1.1 – Статична характеристика вологоміра

Для характеристики вмісту води в матеріалах застосовуються дві величини: вологовміст і вологість. Раніше ці величини називалися відповідно абсолютною і відносною вологістю.

Під вологовмістом U розуміється відношення маси води M , що міститься в тілі, до маси абсолютно сухого тіла M_0

$$U = M/M_0.$$

Під вологістю W розуміється відношення маси води M , що міститься в тілі, до маси вологого матеріалу M_1 .

$$W = M/(M + M_0).$$

Іноді ці величини виражають через ваги і у відсотках. У такому випадку вирази (1) і (2) приймають вигляд

$$U\% = ((P-P_0)/P_0) * 100\%,$$

$W\% = ((P-P_0)/P) * 100\%$ де P -вага вологого тіла; P_0 -вага абсолютно сухого тіла.

Для вказівки вмісту води в матеріалі може бути застосована будь-яка з цих величин. Перехід від однієї величини до іншої може бути здійснено за співвідношенням:

$$W = U/(1 + U),$$

$$U = W/(1-W).$$

Вологомісткістю (масовою) u є відношення маси води M , яка міститься у тілі, до маси його абсолютно сухого тіла M_0 :

$$u = \frac{M}{M_0} \quad (1.1)$$

Масовою вологістю W є відношення маси води M , яке міститься у тілі, до маси цього вологого матеріалу M_1 :

$$W = \frac{M}{M_1} = \frac{M}{M_0 + M}. \quad (1.2)$$

Ці величини також подають через вагу та в процентах. У цьому випадку вирази (1.1) та (1.2) приймають вигляд

$$u = \frac{P - P_0}{P_0} \times 100\% \quad ;$$

$$W = \frac{P - P_0}{P} \times 100\%, \quad (1.3)$$

У формулі P - волога маса тіла; P_0 - маса повністю сухого тіла.

У виробничих умовах і дослідках найчастіше використовують вологість W .

Методи вимірювання вологості зазвичай поділяють на прямі та непрямі. Матеріал безпосередньо розділяється на суху речовину та воду по прямій лінії. Значення, пов'язані з функцією вологості, вимірюються опосередковано.

При відборі та підготовці проб у даній роботі використовувався найпоширеніший прямий метод - метод сушіння (термогравіметричний), згідно з яким проби висушують до постійної маси. Прискорене сушіння проводили в муфельній печі з регульованою температурою 130°C протягом 40 хвилин.

За допомогою діелектричного методу – непрямого методу, заснованого на визначенні зв'язку між вологістю та основними електричними властивостями речовини – діелектричною проникністю ϵ і тангенсом діелектричних втрат $\text{tg}\delta$.

Діелектрична проникність ϵ є безрозмірна величина, вона характеризується на практиці це відношення ємності конденсатора до та після введення в його електричне поле діелектрика

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0}.$$

Діелектрична проникність обумовлена як наскрізною електропровідністю, так і поляризаційними явищами у недосконалих діелектриках, що зрозуміло з її комплексного подання

$$\varepsilon = \varepsilon' + j\varepsilon'',$$

де ε'' – враховує втрати на провідність. Відношення складових діелектричної проникності має назву тангенса кута діелектричних втрат

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = tg\delta_\varepsilon.$$

Аналітичне визначення $\varepsilon(W)$ та $tg\delta_\varepsilon(W)$ за параметрами сухого матеріалу, води та повітря являє собою складну задачу, тому користуються наближеною емпіричною залежністю $\varepsilon = f(W)$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \left(1 + \varepsilon_\varepsilon - \frac{\varepsilon}{a\varepsilon_\varepsilon} + \frac{b\varepsilon\rho}{\rho_\varepsilon} \frac{W}{100} \right),$$

де ε – це відносна діелектрична проникність сухого матеріалу; ρ – це густина аналізованого матеріалу; ε_ε – це відносна діелектрична проникність води; ρ_ε – це густина води; W – це вологість матеріалу.

Встановлення датчика у деревину не в торець а у площину таким чином , щоб струм йшов від однієї голки до іншої вздовж волокон деревини.

При замиканні ланцюга кнопкою виміру стрілка приладу покаже на шкалі величину заміряне вологості. Якщо стрілка у першому діапазоні піде за шкалу , необхідно вести відлік за шкалою - другого діапазону.

Таріровка електровологоміра ЕВА- 2М проведена - на деревині сосни при температурі деревини $+20^{\circ}\text{C}$. При вимірі волого - з TM Деревини інших порід і при іншій температурі необхідно - вводити поправки , користуючись інструкцією , яка додається до приладу .Електричні вологоміри вимірюють тільки локальну (місцеву) вологість в тому місці , де заглиблені голки датчика.

Для достовірного судження про вологість цілої дошки необхідно зробити виміри у великій кількості точок по довжині дошки , взявши середнє значення з цих свідчень. При досить великій довжині провідника між датчиком і приладом електровологоміра може бути використаний для дистанційного вимірювання вологості деревини , що знаходиться в камері. При цьому контрольні зразки з заглибленим голками датчика укладаються всередину штабеля , а прилад поміщається поза камерою . При таких вимірах обов'язково роблять поправку на справжню температуру деревини.

Вологомір МД-4Г призначений для вимірювання вологості паперу, дерева, фанери, бамбука та ін. при температурі від 0 до 50°C в діапазоні від 5 до 40% з точністю $\pm 1\%$.

Вологомір деревини та будівельних матеріалів МС-160SA призначений для вимірювання на місці вмісту вологи та відносної вологості (ВВ) у зразках деревини та будівельних матеріалів без пошкодження та руйнування. Пристрій використовує високочастотні методи вимірювання. Діапазон вимірювання абсолютної вологості деревини - $0-80\%$, абсолютної вологості будівельних матеріалів серії Е1 - $0-16\%$ або $0-98\%$ відносної вологості. Точність приладу - $\pm 1\%$, роздільна здатність - $0,1\%$. Проникнення полів високочастотного випромінювання - 50 мм .

Серед багатьох приладів, що використовуються для вимірювання вологості деревини та інших речовин, особливе місце займають прилади, здатні визначати вологість на різних глибинах. Так, діелектричний вимірювач МС-380ХСА здатний вимірювати вологість на глибині 10 і 100 мм , а кондуктивний ДТ-125Г дозволяє вимірювати вологість на точно визначених глибинах по всій площі завдяки ізольованим електродам датчика. Діапазон довжини електрода.

Цей тип обладнання забезпечує високу точність і підходить для професійних вимірювань у столярній, будівельній та інших галузях промисловості.

1.5 Аналіз технічних вимог і умов експлуатації та вибір прототипу

Даний пристрій відноситься до апаратури, що працює на рухомій основі.

Пристрій експлуатується в умовах, де відсутні постійні вібрації, де значення робочої температури повітря складає $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (верхнє); $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (нижнє); нормальна температура $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

До корпусу пристрою висуваються вимоги електробезпеки і механічної міцності, оскільки він може зазнавати фізичних навантажень.

По експлуатаційним параметрам пристрій відноситься до II категорії – апаратура, що працює на рухомій наземній поверхні.

Допускаються впливи на пристрій теплових ударів: вище $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, тиск $p_n=101,3\text{ кПа}$.

Кондуктивні вологоміри вимірюють електричний опір між двома електродами, які являють собою чутливий елемент приладу, та на основі цієї інформації визначають вологість деревини. Основною ознакою кондуктивних приладів є наявність металевих шипів, які розміщуються у деревині, вологість якої вимірюється.

Основними характеристиками таких приладів є кількість порід деревини, на яку вони розраховані, діапазон і точність вимірювання. Крім цього, кондуктивні вологоміри можна розділити за функціональністю та виробником.

Найчастіше кондуктивні прилади використовують для контролю сировини під час прийомки, сушіння та зберігання. Це пов'язане з пошкодженням деревини електродами вимірювача. При надходженні на підприємство волога деревини різних порід може перебувати в межах 30-120 % [6]. На виході ж із сушарок деревина має вологість 6-12 % [6] в залежності від призначення.

1.6 Вибір і обґрунтування аналогів

Вологоміри зарубіжних виробників представлені широким асортиментом виробів різного дизайну та якості. Розглянемо найпоширеніший тип кондуктометра деревини.

Як правило, таке обладнання призначене для вимірювання вологості деревини вище 6%. Таким чином, діапазон вимірювання ДТ-129 становить 6-100%, а ХІТ-1 - 6-50%. Є винятки: так, вологомір MD-7820 заявляє діапазон вимірювання 2-70%, тоді як ДТ-129 і MD-7820 мають діапазон вимірювання 1%. [7]

Якщо говорити в цілому, то перевага струмопровідних вологомірів деревини зарубіжних виробників полягає в тому, що в пам'яті приладу зберігається велика кількість порід деревини. ДТ-129 містить інформацію про 150 порід деревини.

При виборі струмопровідного приладу пам'ятайте, що його глибина вимірювання залежить від довжини електродів (шипів), тому для вирішення проблеми важливо співвіднести довжину електрода вибраного приладу з бажаною глибиною вимірювання.

Ще однією важливою властивістю провідних пристроїв є простота використання. Варто пам'ятати, що для розміщення електродів у деревині потрібно докласти зусиль (це особливо актуально для твердих порід деревини), а також слід враховувати вплив вимірювань, проведених з нерівномірно зануреними електродами. більша помилка. Тому, вибираючи струмопровідний гігрометр, потрібно оцінити його ергономічність і зручність використання.

Високочастотний (діелектричний метод) вологомір деревини вимірює діелектричну проникність і тангенс втрат контрольного зразка, що знаходиться в електромагнітному полі. Це найшвидший і зручний метод неруйнівного контролю вологості. Як правило, вони використовуються для контролю чорнових і готових виробів. Основна перевага даного типу приладу - контроль вмісту води без пошкодження поверхні вимірюваного об'єкта. У сучасному виробництві

тві пред'являються дуже високі вимоги до вологості деревини, тому, наприклад, при виробництві клеєних дерев'яних вікон при забиванні і склеюванні різниця у вологості склеюваних частин не повинна перевищувати 1%.

Високочастотні вологоміри деревини часто використовуються на додаток до основного призначення для вимірювання вологості інших матеріалів: обрізків паперу, картону, будівельних матеріалів тощо. Високочастотне обладнання на українському ринку представлене переважно моделями іноземних виробників.

Тому портативний вологомір деревини MD918 призначений для вимірювання вмісту води в зразках деревини на місці без пошкодження та руйнування зразків деревини. Прилад має діапазон вимірювань 4...80% і похибку 0,5%[6]зхст. Оскільки немає вимірювальних голчастих електродів, його можна використовувати для різноманітних завдань. Пристрій відкалібровано для 50 основних видів деревини та має автоматичну температурну компенсацію.

Ще однією перевагою високочастотних вологомірів є їх компактність і простота використання, про що яскраво свідчить вологомір МС-420, призначений для вимірювання вмісту води в деревині та будівельних матеріалах в діапазоні глибин 0-100% 20- 40 мм.

Аналоги і прототипи

- датчик відносної вологості

Загальна інформація:

- НІН-3602 - датчик відносної вологості в корпусі ТО-5 з гідрофобним фільтром з нержавіючої сталі.

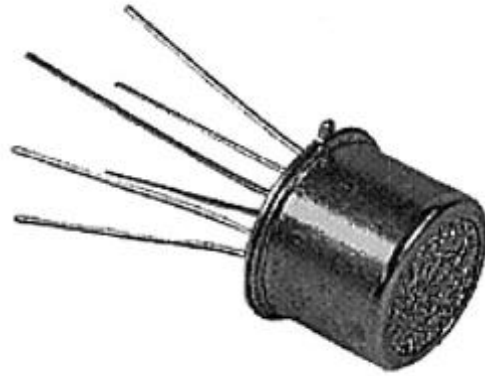


Рисунок 1.2 - Зовнішній вигляд давача

Кожен сенсор НІН-3602 включає специфічне NIST калібрування та роздрук даних (рис. 1.3).

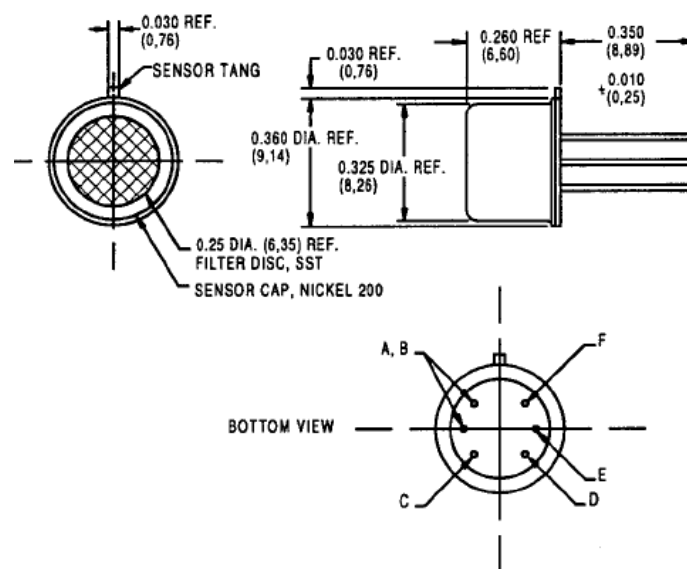


Рисунок 1.3 - Монтажні розміри

Сенсор складається з планарного конденсатора з другим шаром полімеру для захисту від бруду, пилу, жирів та інших ризиків.

В даний час серійно випускається електронний аккумуляторний електро-вологомір ЕВА2М, конструкція якого розроблена ЦНІМОД (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 - Внутрішня будова давача

Прилад призначений для визначення вологості деревини в межах від 7 до 60 % і побудований за мостовою схемою .

Струм, що проходить через випробовувану деревину , посилюється і потім вимірюється мікроамперметром М- 24 , шкала якого відградується в відсотках вологості деревини. Шкала має окремі діапазони : від 7 до 24% і від 22 до 60 % вологості. У першому діапазоні похибка приладу складає $\pm 1,5-2\%$, у другому $\pm 10\%$. Прилад живиться від малогабаритних лужних акумуляторів типу Д- 0 , 06 і Д- 0 , 2, які заряджають від мережі змінного струму 220 в при 50 Гц.

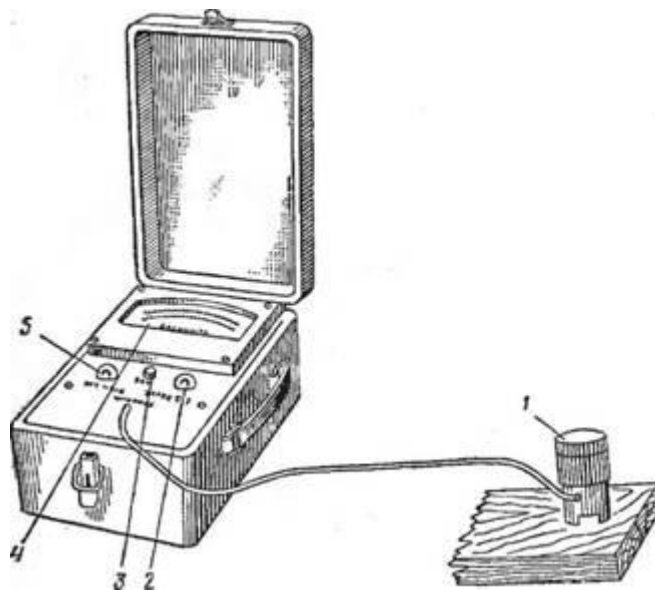


Рисунок 1.5 - Загальний вигляд електровологоміра ЕВА-2М:

1 - датчик, 2 - ручка діапазонів, 3 - кнопка виміру, 4 - мікроамперметр, градуїований у відсотках вологості деревини, 5 - установка нуля

Встановлення датчика у деревину не в торець а у площину таким чином , щоб струм йшов від однієї голки до іншої вздовж волокон деревини.

При замиканні ланцюга кнопкою виміру стрілка приладу покаже на шкалі величину заміряє вологості. Якщо стрілка у першому діапазоні піде за шкалу , необхідно вести відлік за шкалою - другого діапазону.

Таріровка електровологоміра ЕВА- 2М проведена - на деревині сосни при температурі деревини $+20^{\circ}\text{C}$. При вимірі волого - з TM Деревини інших порід і при іншій температурі необхідно - вводити поправки , користуючись інструкцією , яка додається до приладу .

Електричні вологоміри вимірюють тільки локальну (місцеву) вологість в тому місці , де заглиблені голки датчика.

Для достовірного судження про вологість цілої дошки необхідно зробити виміри у великій кількості точок по довжині дошки , взявши середнє значення з цих свідчень.

При досить великій довжині провідника між датчиком і приладом електровологоміра може бути використаний для дистанційного вимірювання вологості деревини , що знаходиться в камері. При цьому контрольні зразки з заглибленим голками датчика укладаються всередину штабеля , а прилад поміщається поза камерою . При таких вимірах обов'язково роблять поправку на справжню температуру деревини.

Вологомір МД-4Г призначений для вимірювання вологості паперу, дерева, фанери, бамбука та ін. при температурі від 0 до 50°C в діапазоні від 5 до 40% з точністю $\pm 1\%$.

Вологомір деревини та будівельних матеріалів МС-160SA призначений для вимірювання на місці вмісту води та відносної вологості (ВВ) у зразках деревини та будівельних матеріалів без пошкодження та руйнування. Пристрій використовує високочастотні методи вимірювання. Діапазон вимірювання абсолютної вологості деревини - 0-80%, абсолютної вологості будівельних матеріалів серії Е1 - 0-16% або 0-98% відносної вологості. Точність приладу - $\pm 1\%$,

роздільна здатність - 0,1%. Проникнення полів високочастотного випромінювання - 50 мм.

Серед багатьох приладів, що використовуються для вимірювання вологості деревини та інших речовин, особливе місце займають прилади, здатні визначати вологість на різних глибинах. Так, діелектричний вимірювач МС-380ХСА здатний вимірювати вологість на глибині 10 і 100 мм, а кондуктивний ДТ-125Г дозволяє вимірювати вологість на точно визначених глибинах по всій площі завдяки ізольованим електродам датчика. Діапазон довжини електрода. Цей тип обладнання забезпечує високу точність і підходить для професійних вимірювань у столярній, будівельній та інших галузях промисловості.

2 ЕЛЕКТРИЧНІ ТА КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИНИ

2.1 Електричні розрахунки варіантів автогенераторного перетворювача на операційному підсилювачі

Розрахувати параметри елементів схеми автогенератора з мостом Віна (рис. 2.1) на основі операційного підсилювача, якщо частота генерованих коливань f_0 складає 400 кГц.

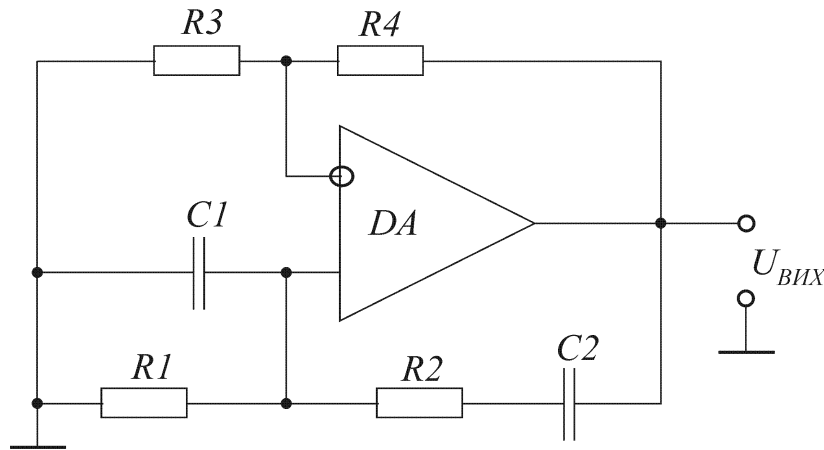


Рисунок 2.1 – Електрична схема генератора з мостом Віна

Одне плече генератора з мостом Віна утворено резистивним подільником напруги R_3 , R_4 , а друге – диференціювальним R_2C_2 та інтегрувальним R_1C_1 колами. Коефіцієнт передачі з виходу фазозсувного кола R_1 , R_2 , C_1 та C_2 на неінвертувальний вхід операційного підсилювача на резонансній частоті дорівнює $1/3$. Для забезпечення балансу амплітуд коефіцієнт передачі підсилювача з виходу на неінвертувальний вхід має дорівнювати трьом, тобто необхідно виконати умову $R_4 = 2R_3$. Для виконання балансу фаз стала часу диференціювального кола має дорівнювати сталій часу інтегрувального кола, тобто $R_1C_1 = R_2C_2$.

При $R_1 = R_2 = R$, $C_1 = C_2 = C$ частота коливань визначається таким чином

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} = \frac{1}{RC}.$$

Виберемо $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ кОм}$. Тоді $R_4 = 2 \cdot 10 = 20 \text{ кОм}$,

$$C_1 = C_2 = C = \frac{1}{2\pi f_0 R_1} [\text{пФ}],$$

$$C_1 = C_2 = C = \frac{1}{2\pi \cdot 400000 \cdot 10000} = 39,8 \text{ (пФ)}.$$

Для покращення самозбудження, стабілізації амплітуди коливань та зменшення нелінійних спотворень в схемі необхідно використовувати підсилювач з регульованим коефіцієнтом передачі чи включити нелінійний обмежувач напруги на виході операційного підсилювача.

Розрахуємо параметри елементів схеми RC – автогенератора на основі операційного підсилювача (рис. 2.2), якщо частота генерованих коливань $f_0 = 400 \text{ кГц}$.

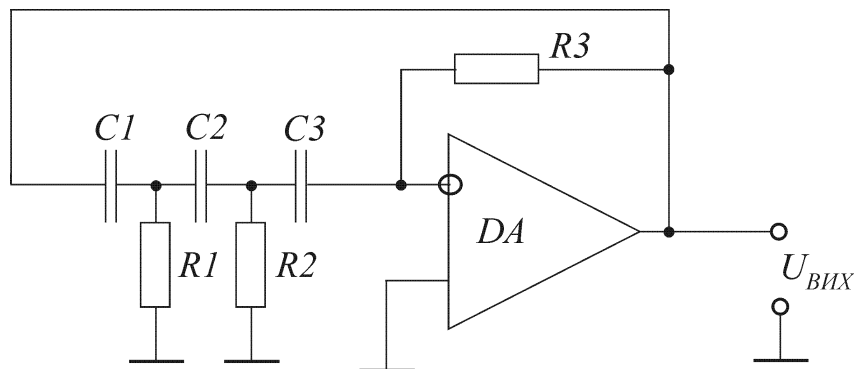


Рисунок 2.2 – Електрична схема RC – автогенератора

Для RC–автогенератора на рис. 2.2 частота генерованих коливань визначається за співвідношенням

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 (C_1 C_2 + C_1 C_3 + C_2 C_3)}},$$

або при $R_1 = R_2 = R$ та $C_1 = C_2 = C_3 = C$

$$f_0 = \frac{1}{2\sqrt{3}\pi RC}$$

Умову самозбудження для схеми на рис. 2.2 можна записати у вигляді

$$R_3 \geq \frac{[R_1(C_1 + C_2) + R_2(C_2 + C_3)](C_1C_2 + C_1C_3 + C_2C_3)}{C_1C_2C_3}$$

При $C_1 = C_2 = C_3 = C$ та $R_1 = R_2 = R$ тоді отримаємо $R_3 \geq 12R$. Виберемо $R_1 = R_2 = 10 \text{ кОм}$. Тоді $R_3 \geq 12 \cdot 10 = 120 \text{ кОм}$, а

$$C_1 = C_2 = C_3 = \frac{1}{2\sqrt{3}\pi f_0 R} \text{ [пФ]},$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = \frac{1}{2\sqrt{3}\pi \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 10^4} = 23 \text{ (пФ)}.$$

Стабілізація амплітуди та зменшення нелінійних спотворень в такому автогенераторі досягається при введенні автоматичного підстроювання коефіцієнта передачі підсилювача або нелінійного обмежувача вихідної напруги.

Електрична схема пропонованого автогенератора для вторинного вимірювального перетворювача наведена на рис. 2.3.

1) Визначаємо резистори R_1, R_2, R_3 . Виходячи з умови $R_1 = 100 \text{ кОм}$, так як $R_{ex} \approx R_1$, а R_2, R_3 , так як

$$K_\beta \approx (R_2 + R_3)/R_2,$$

тоді будуть рівними $R_2 = 1 \text{ кОм}$, $R_3 = 99 \text{ кОм}$. Перевіряємо вибір

$$(1 + 99) / 1 = 100 = K_{\beta}.$$

Отже, резистори обрані вірно.

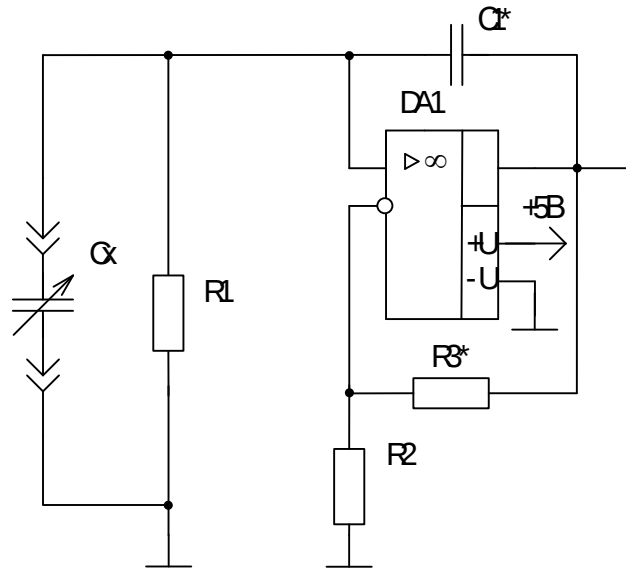


Рисунок 2.3 – Електрична схема пропонованого автогенератора для частотного перетворювача вологості

2) Визначаємо петльовий коефіцієнт β з формули

$$\beta = \frac{R2}{R2 + R3} = \frac{1}{1 + 99} = 0,01.$$

3) Визначаємо номінал конденсатора C_p :

$$C_p = \frac{1}{2\pi \cdot F_n \cdot R_{вх} \sqrt{M_n^2 - 1}} \text{ [пФ]},$$

$$C_p = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 10^3 \sqrt{2 - 1}} = 15 \text{ (пФ)}.$$

2.2 Аналіз елементної бази

Елементну базу аналізують, щоб з'ясувати, чи забезпечує схема задані характеристики виробу, що визначаються умовами експлуатації та режимами роботи, і чи потрібні проектні заходи для здійснення налагодження обладнання з метою забезпечення його нормальної та правильної роботи. режими роботи, при цьому слід враховувати номінал і потужність елементів схеми, їх швидкодію, технічні вимоги до забезпечення обладнання та конструкції, наявність цих типів елементів у серійному виробництві.

На основі списку електричних схем компонентів, наведеного в додатку, ми опишемо характеристики вибраних радіодеталей. Варто відзначити, що при виборі компонентної бази пріоритет віддається радіодеталям з мінімально малим показником, щоб пристрій мав мінімально можливі габарити. Через це вітчизняних радіодеталей в пристрої небагато, чи то через великі розміри комплектуючих, чи то через відсутність закордонних аналогів. Однак ці та інші тепер доступні там, де раніше цього не було. А деякі радіодеталі навіть дешевші за наші.

Вибираємо електролітичний конденсатор типу K50-35, габаритні розміри якого наведені на рисунку 2.4.

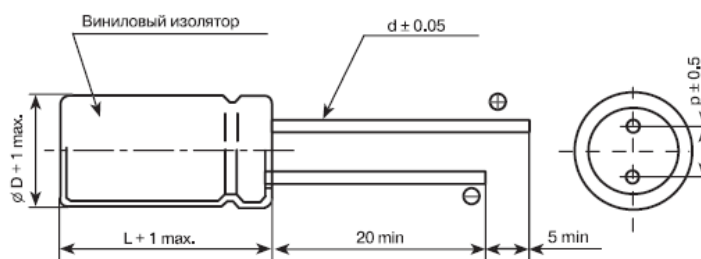


Рисунок 2.4 – Креслення електролітичного конденсатора TKR100M1ED11

Керамічні конденсатори постійної ємності NPO призначені для роботи в колах постійного струму, змінного струму й пульсуючого струму, виконані ізолювано. Електричні характеристики наведені в таблиці 2.1.

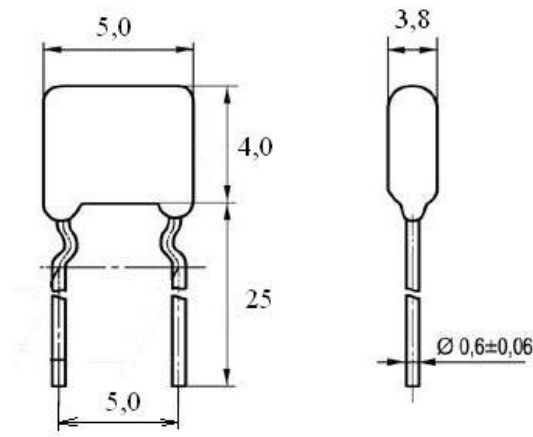


Рисунок 2.5 – Корпус та габаритні розміри конденсатора NPO

Таблиця 2.1 – Електричні характеристики конденсаторів

Тип	TKR100M1ED11	NPO
Характеристики		
Діапазон номінальних ємностей	0,47 мкФ...220 мкФ (ряд E24)	2,2 пФ...2,2 мкФ (ряд E6,E24)
Відхилення ємності допустиме	$\pm 20\%$	$\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$
Напруга номінальна	4В; 6,3В; 10В; 16В; 25В; 35В; 50В	25В; 40В; 50В; 100В; 160В
Діапазон температур	$-40...+105\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-60...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$
Тангенс кута діелектричних втрат	0,35...0,1	0,0015...0,035мкА
Струм витoku	0,01...3мкА	0,01...3мкА
Напрацювання на відмову, $\lambda_0 \times 10^{-6}, \text{год}^{-1}$	0,001	0,1

Універсальний резистор С2-23-0,125, ізольоване і неізольоване виконання для будь-якого клімату, підходить для роботи в ланцюгах постійного, змінного і імпульсного струму, а також для використання в автоматизованих установках. Умови зварювання $260 \pm 5\% \text{ }^{\circ}\text{C}$ $2 \pm 0,5$ с. Електричні характеристики резистора

наведено в таблиці 2.2, габаритні розміри – у таблиці 2.3, а зовнішній вигляд корпусу – на рисунку 2.6.

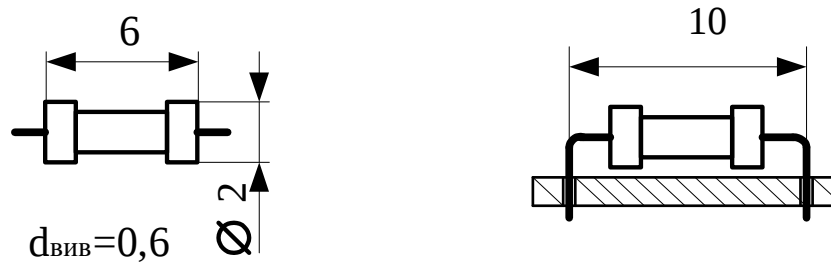


Рисунок 2.6 – Габаритні розміри і вигляд корпусу резистора С2-23-0,12

Таблиця 2.2 – Електричні характеристики резисторів

Клас точності	5%
Типо-розмір	С2-23-0,125
Потужність номінальна	0,25 Вт
Напруга робоча	150В
Напруга максимальна	250В
Діапазон температур робочих	-60...+155°C
Діапазон опорів номінальних	1 Ом...10 МОм (ряд E24; ряд E96)
Напрацювання на відмову $\lambda_o \times 10^{-6}, \text{год}^{-1}$	0,4

Операційний підсилювач LF147. Призначений для приладів які мають широку смугу пропускання, має досить високу швидкість наростання вихідної напруги, має внутрішній коефіцієнт підсилення частотної компенсації також має додаткові виводи які призначені для частотної корекції, та встановлення нуля на виході при відсутності вхідного сигналу. Електричні характеристики операційного підсилювача наведені в таблиці 2.3.

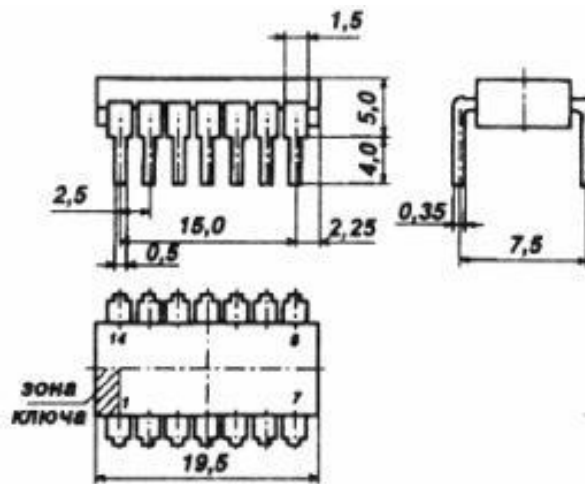


Рисунок 2.7 – Габаритні розміри і вигляд корпусу операційного підсилювача LF147

Таблиця 2.3 – Електричні параметри операційного підсилювача

Кількість каналів ОП	4
Напруга живлення	5...44 В
Струм власного споживання	7,2 мА
Частота одиничного підсилення	4 МГц
Діапазон робочих температур	0...70 °С
Максимальна швидкість наростання вихідного сигналу	13 В/мкс
Тип корпусу	DIP14

Мікроконтролер обираємо типу Atmega8a-ри, його перевагою є те, що він знаходиться в корпусі DIP 32, тому при розробці топології якнайкраще підходить і відповідає обраному класу точності. Габаритні розміри вказані на рисунку 2.8.

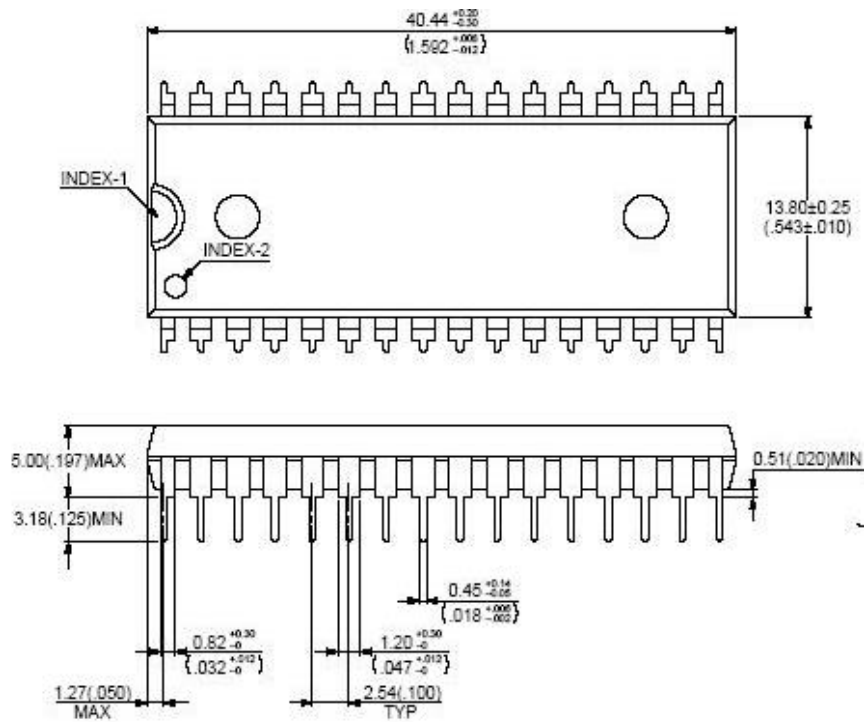


Рисунок 2.8 – Габаритні розміри і вигляд корпусу мікроконтроллера Atmega8-
ру

Таблиця 2.4 – Електричні параметри операційного підсилювача

Контролер сімейства:	AVR MEGA
Розрядність ядра:	8 бит
Кількість ліній вводу/виводу:	23
Пам'ять програм (FLASH):	8 Кб
Оперативна пам'ять (SRAM):	1 Кб
EEPROM:	512 байт
Тактова частота:	16 МГц
Тип генератора:	внутрішній, зовнішній
Кількість таймерів:	3
Периферія:	ADC, Comparator, ШИМ, RTC, таймер
Інтерфейс:	SPI, USART
Кількість каналів ШИМ:	3

Продовження таблиці 2.4

Корпус:	DIP32
Діапазон напруг живлення:	2.7 В до 5.5 В
Робочий діапазон температур:	-40°C до +85°C
Кількість виводів:	32

Налаштування. Як правило, пристрій запускається відразу. Але оскільки первинний ємнісний перетворювач виготовляється ручним методом, то можливі деякі відхилення номінальних його параметрів, тобто щоб значення первинного ємнісного перетворювача відповідає точному значенню, потрібна його калібровка. Адже при включенні приладу, до внесення в поле первинного ємнісного перетворювача, значення частоти на виходах повинно мати однакове значення.

Зведемо в таблицю 2.5 дані для всіх радіодеталей, встановлених на друкованих платах, і попередньо розрахуємо їх монтажну площу.

Площа кріплення компонентів, розташованих на друкованій платі, розраховується наступним чином.

Якщо компонент має круглий поперечний переріз (для конденсаторів, транзисторів, вертикально встановлених резисторів тощо), то використовуйте наступну формулу для обчислення площі

$$S = \pi R^2 [\text{мм}^2], \quad (2.3)$$

де d – це діаметр компонента.

Коли елемент розміщений на платі горизонтально, тоді установочна площа

$$S = a \cdot b, \quad (2.4)$$

де a, b – відповідно ширина і довжина установки.

Обчисливши за формулами (2.3–2.4) установочні площі для усіх елементів, заносимо дані в таблицю 2.7. У ній також подана інша інформація про радіоелементи: їх масу, висоту, діаметр виводів, максимальну робочу температуру та частоту вібрації.

Таблиця 2.5 – Характеристики елементів конструктивно-експлуатаційні

Назва елемента	Кіл. шт.	Конструктивні параметри				Допустимі умови експлуатації	
		Маса, г	Площа встанов. мм ²	Висота, мм	Діаметр виводу, мм	Макс. темп. °С	Частота вібрації Гц
Конденсатори							
TKR100M	1	1	40	14	0,6	+155	15...200
NPO	3	0,5	20	12	0	+15	15...2
Мікросхеми							
Atmega8a-	1	2,2	552	8	0,45	+85	5...600
LF147	1	1	147	10	0,5	+70	5...600
РК-індикатор							
WC1601A0	1	10	2880	22	0,6	+85	10...600
Резистори							
C2-23-	5	0,1	20	4	0	+30	10...2
Вимикач							
KCD6	1	5	200	10	0,6	+85	10...600
Кнопки							
TS102 H7	12	0,1	39	7	0,5	+85	10...600
Світлодіод							
FL-5MMB	1	0,1	29	27	0,6	+85	10...600
Роз'єми							
DB-09F	1	5	144	12	0,6	+70	1...1000
Кварц							
HC-49U	1	0,3	10	10	0,6	+70	1...1000

2.3 Загальне компонування приладу

Для компонування компонентів друкованої плати я вибрав ручний спосіб компонування. Це пояснюється тим, що при автоматичному компонуванні компонентів у програмному середовищі OrCAD розміщення компонентів обумовлюється в програмі відповідно до принципу розумного розміщення. компоненти. А оскільки моє рішення працює на високих частотах 10-100 МГц, то при автоматичному компонуванні кількість трас збільшується за рахунок групового розміщення однакових компонентів, а паразитні значення ємності та індуктивності збільшуються через надмірну довжину траси, Компоненти слід розташувати так, щоб довжини слідів для входів і виходів схеми були однаковими. Під час ручного процесу верстки я використовував наступний алгоритм:

- Діаграма аналізу;
- Складено варіант принципової схеми, в якому уточнено типові розміри EPE;
- Встановлення потенціалу ланцюга або налаштування потенціалу окремих ланцюгів ланцюга;
- Розрахувати потужність тепловтрат EPE (при необхідності побудувати теплову карту);
- Групування елементів у вигляді компоновочних ескізів з урахуванням потенціальних і теплових діаграм ERU і різних варіантів розміщення кожної функціональної групи відносно один одного;
- Розроблено принципову схему на функціональні групи та підготувати таблиці зв'язків.

Під час верстки мені потрібно:

- Основні елементи з найбільшою кількістю вузлів комутації в раціональному компоновковому плані;
- Розмістити ERE паралельно стороні DP;
- Розташувати мікросхеми рядами;
- Забезпечити розумне взаємне розміщення та мінімальну довжину з'єднань;

- Центри всіх монтажних отворів для кріплення клем ЕРЕ, контактних штирів і всіх технічних і кріпильних отворів розмістити у вузлах координатної сітки;
- Правильне розміщення зовнішніх комутаційних компонентів.

Серед усіх груп елементів виберіть групу з найбільшим числом

Кількість зовнішніх з'єднань і їх розміщення біля роз'ємів. в

З решти виберіть другу групу, яка має найбільшу кількість підключень до

Після розміщення останньої групи роз'ємів і першої групи тощо.

При необхідності внесіть коригування, особливо розташувавши теплонавантажувальний елемент біля краю пластини поруч із тепловідвідною шиною.

Мікросхема розміщена на ДП так, щоб її вихід збігався з вузлом сітки. Якщо відстань між висновками ЕРЕ не кратна 2,5 або 1,25 мм, перемістіть ЕРЕ так, щоб один або кілька висновків збігалися з вузлами координатної сітки. Компонування мікросхеми з планарним виходом визначається її маркуванням на друкованій платі. При монтажі ІМС на ДП перший висновок повинен бути суміщений з першою контактною площадкою в місці встановлення групи, на якій нанесений ключ у вигляді «вусика», квадрата або цифри «1».

Відстань між корпусом елемента та краєм друкованої плати має бути не меншою 1,0 мм, відстань між корпусами елементів – не меншою 0,5 мм, між корпусами ІМС – не меншою 1,5 мм в одному напрямку установа.

2.4 Конструкторські розрахунки пристрою

2.4.1 Розробка конструкції друкованої плати

Розрахунок площі і габаритів плати

На друкованій платі оптичного спектроаналізатора, що проектується, встановлено 28 елементів.

Для резисторів типу С2-23-0,125 площа встановлення 20 мм². Отже площа, що займають постійні резистори на друкованій платі

$$S_R = 5 \cdot 20 = 100 \text{ мм}^2. \quad (2.5)$$

Для конденсаторів типу NPO площа встановлення складає 20 мм^2 . Тому площу, яку займають конденсатори

$$S_{C1} = 3 \cdot 20 = 60 \text{ мм}^2. \quad (2.6)$$

Для конденсаторів типу TKR100M1ED11 площа встановлення складає 40 мм^2 . Отже площа, яку займають конденсатори

$$S_{C2} = 1 \cdot 40 = 40 \text{ мм}^2. \quad (2.7)$$

Для мікроконтролера ATmega8a-ри площа встановлення складає 552 мм^2 . Отже площа, яку займає мікроконтролер

$$S_{M1} = 1 \cdot 552 = 552 \text{ мм}^2. \quad (2.8)$$

Для мікросхеми типу LF147 повна площа встановлення

$$S_{M2} = 1 \cdot 147 = 147 \text{ мм}^2. \quad (2.9)$$

Для РК-індикатора типу WC1601A0 повна площа встановлення

$$S_{HC} = 1 \cdot 2880 = 2880 \text{ мм}^2. \quad (2.10)$$

Для вимикача KCD6 повна площа встановлення

$$S_{BA} = 1 \cdot 200 = 200 \text{ мм}^2. \quad (2.11)$$

Для кварцового резонатора HC-49U повна площа встановлення

$$S_{QW} = 1 \cdot 10 = 10 \text{ мм}^2. \quad (2.12)$$

Для тактових кнопок типу TS102 H7 повна площа встановлення

$$S_{TA} = 12 \cdot 39 = 468 \text{ мм}^2. \quad (2.13)$$

Для діода типу FL-5MMB повна площа встановлення

$$S_{DL} = 1 \cdot 29 = 29 \text{ мм}^2. \quad (2.14)$$

Для роз'єму типу DB-09F повна площа встановлення

$$S_{Д1} = 1 \cdot 144 = 144 \text{ мм}^2. \quad (2.15)$$

Загальна площа елементів складає: 4630 мм^2

Отже загальна площа друкованої плати буде дорівнювати

$$S_{ДП} = (2 \div 5) \cdot \sum S_{\text{елем.}} = 3 \cdot 4630 = 13890 \text{ мм}^2.$$

Оскільки плата двостороння і має мікроконтролер і РК-індикатор на одній стороні плати, її орієнтовний розмір буде 18520. З огляду на відстань між компонентами та провідниками, а також відстань між кожним блоком матриці має бути невеликим, щоб вхідний сигнал одного блоку не перешкоджав вихідному сигналу іншого блоку, а також друкована плата відповідно до з ГОСТ 10317-79 Конструктивні особливості вибираємо геометричні розміри дошки: 140×90. Тоді площа однієї сторони друкованої плати буде 12600 мм^2 , а всієї плати – 25200 мм^2 .

Висновок: такі геометричні розміри задовольняють розрахунковим значенням, що проведені для друкованої плати.

2.4.2 Розробка топології та компоновання друкованої плати

Розміщення друкованих провідників, їх ширина та відстань між ними виконуються в межах заданих допусків і визначаються згідно з нормативними документами з урахуванням таких практичних рекомендацій.

Провідники заземлення та живлення мають максимальну ширину, оскільки вони несуть великий струм, який може викликати зворотний зв'язок.

При трасуванні плануйте зробити провідники горизонтально з одного боку дошки і вертикально з іншого. Перехід від однієї сторони до іншої відбувається за допомогою перехідних отворів. Це дає можливість отримати провідники мінімальної довжини, але погіршує технічні та якісні характеристики ДП.

За допомогою екранованого провідника підключіть первинний конденсатор, що несе перетворювач, до відповідного отвору на DP. Чим ближче площа заземлення до провідника і чим вужчий сам провідник, тим ефективнішим буде екранування.

Провідники, що закінчуються металізованим отвором для кріплення ERE, мають контактну площадку навколо розширювального отвору, яка може бути круглої або будь-якої форми.

Розміщуючи його з обох сторін, друковані дроти не торкаються корпусу ERE на DP.

Контактні площадки для ІМС з плоскими висновками рекомендуються у вигляді прямокутних провідників.

На одно- і двосторонніх панелях відстань між кромками провідників, контактними площадками і екранами повинна бути дотримана на всіх шарах ДП, включаючи кромки неметалізованих отворів. По краю ДП слід передбачити технічну зону не менше 1,5-2 мм.

При необхідності прокладки провідників шириною 0,3-0,4 мм рекомендується через кожні 26-30 мм, але на при цьому зберігають площу.

Через складність відстеження вибираємо розмір кроку координатної сітки 1,25 мм □ Розміщуємо координатну сітку в початку координат згідно ГОСТ

2□417-78□ Далі використовуємо автоматизоване проектування для автоматичного виконання всіх операційних систем OrCAD 16.3.

Ми почали розробку друкованої плати, завантаживши OrCAD Layout і вибравши опцію File/New.

Спочатку в робочу папку вводимо назву технічного шаблону - default.tch (відноситься до стандартного набору OrCAD).

Далі виберіть у робочому каталозі файл списку підключень sensor.mnl, який у табличній формі описує електричні з'єднання між усіма компонентами, що використовуються для відстеження.

Після цього вказуємо ім'я файлу плати, яку ми будемо створювати - він буде мати розширення *.max, для простоти назвемо його sensor.max.

Коли список з'єднань завантажується, для кожного символу схеми в бібліотеці реєстрів компонентів *.LLB (бібліотеці відбитків) вибирається відповідний реєстр (керується властивостями відбитка друкованої плати або файлом System.prt).

Відкривши діалогове вікно, клацнувши на панелі «Підключити існуючий посадковий відбиток до компонента», ми вибрали ім'я та реєстр бібліотеки, зображення якої відповідають реле, оскільки для них не було зарезервовано посадочні позиції. Після завершення завантаження списку з'єднань робочий екран OrCAD Layout отримує корпус компонента з електричними з'єднаннями для проекту.

Ми встановили сітку міліметрового поля в меню «Параметри/Параметри системи», що значно полегшить малювання та розміщення компонентів.

Виберіть команду Інструменти/Перешкоди/Новий і намалюйте межу для розміщення компонентів і відстеження. Для дошки вибираємо прямокутний контур.

Далі розміщуємо на платі компоненти, які повинні мати кріплення. Це роз'єми. Ми робимо це за допомогою команди Інструменти/Компоненти/Інструмент виділення — розміщуємо компоненти на місце один

за одним і обов'язково фіксуємо їх, щоб вони не рухалися після автоматичного розміщення.

Потім за допомогою команди *Auto/Place/Board* ми наказуємо програмі розмістити решту компонентів у вільній призначеній області.

Тепер ми встановлюємо ширину провідників тощо у вкладках, щоб продовжити пряме трасування плати.

За допомогою команди *Options > Routing Strategy > Routing Layers* у таблиці маршрутизації вимкніть два «зайвих» шари — оскільки плата має бути двосторонньою. Після цього скористайтеся командою «Параметри» > «Колір», щоб зберегти лише чотири видимі шари: *Global*, *TOP*, *SSTOP*, *SSVOTTOM*. Спочатку малюються розміри друкованої плати (іноді збігаються з відкресленими межами), потім шари, які потрібно відстежити, і третім кроком є вписування плати та малювання компонентів.

Використовуйте команду *Auto / Autoroute / Board*, щоб запустити програму автоматичного відстеження борту. Глобальні параметри політики автоматичної маршрутизації встановлюються в діалоговому вікні, відкритому за допомогою команди «Параметри» > «Маршрутизація» > «Налаштування». Усі інші параметри вказуються в діалоговому вікні, яке відкривається командою *Параметри > Політика маршрутизації*.

По закінченню трасування здійснюємо редагування позначень елементів на платі за допомогою команди *Tool / Text / Select Tool*, та оформляємо креслення згідно з вимогами ДЕСТУ.

Топологічне креслення, компонування друкованої плати зображено на кресленні друкованої плати додатках.

2.4.3 Технологія виготовлення друкованих плат

Усі процеси виготовлення друкованих плат можна розділити на: субтрактивний метод, адитивний метод і напівадитивний метод.

Субтрактивний процес - отримання провідного візерунка передбачає вибіркове видалення провідних ділянок фольги методами травлення.

Адитивні процеси включають вибіркове осадження провідних матеріалів на основу друкованої плати.

Напіваадитивний процес – передбачає попереднє нанесення тонкого електропровідного покриття з подальшим його видаленням з місць, де є прогалини.

Відповідно до ГОСТ 2375-86 конструкція друкованих плат враховує такі способи виготовлення:

- Хімічний - для двосторонніх друкованих плат;
- Позитивна комбінація - для використання на двосторонніх друкованих платах з металізованими монтажними отворами.

Як правило, двосторонні друковані плати виготовляються методом комбінування позитивної плівки, який полягає в експонуванні малюнка друкованих елементів із фоточутливої позитивної плівки. Технологічний процес виготовлення друкованих плат за цим методом дуже розвинений, а технологічне обладнання добре оснащене.

Комбінований метод — це поєднання хімічних і електрохімічних методів. Вихідним матеріалом є фольгований діелектрик з обох сторін, тому провідний малюнок виходить травленням міді, а металізація отворів досягається безгальванічним мідненням і подальшим електрохімічним осадженням шару міді. Пайка клем ERE виконується шляхом заповнення припоєм отворів у платі. Комбінований спосіб складається з наступних основних операцій: вирізування заготовки та хіміко-механічна обробка поверхні, отримання захисного малюнка, нанесення захисної лакофарбової плівки, свердління та зенкерування, безгальванічного міднення та зняття лакофарбової плівки, гальванопластика міді в два прийоми. . Цей спосіб характеризується високою трудомісткістю та передбачає виконання великої кількості ручних операцій [11, 13].

Підготовка поверхні перед нанесенням фоторезисту включає хімічне знежирення в розчині тринатрійфосфату. Температура розчину 40-60°C, час обробки 2-5 хв.

В якості техпроцесу виготовлення даної деталі ми виберемо фотохімічний метод, розроблений відповідно до рекомендацій.

Процес складається з наступних операцій:

1. Виготовити фольговані склотканинні заготовки з листів розміром 1020x1220 мм шляхом розрізання листів склотканини дисковою фрезою діаметром $D=100$ мм і товщиною $b=3$ мм.

Спосіб різання: швидкість різання $v=100-200$ м/хв, подача $s=0,4-0,5$ мм/об.

2. Просвердлити базовий отвір діаметром $d=4+0,025$ мм.

Спосіб різання: швидкість різання $v=100-120$ м/хв, подача $s=0,05-0,1$ мм/об), довговічність свердла зі сталі Р9 або Р18 12-13 хв.

3. Підготуйте поверхню фольгованого склотекстоліту перед нанесенням фоторезисту.

Процес полягає в механічній і хімічній зачистці фольги мокрим наждачним порошком, обробці фольги 5-7% розчином соляної кислоти протягом 30 секунд;

Фоторезист на основі полівінілового спирту розпилювали на поверхню фольги, центрифугували та висушити.

Режими нанесення світлочутливого шару :

Швидкість обертання центрифуги $n=80-100$ об/хв;

температура сушки $T=35-40^{\circ}\text{C}$.

1. Експонування. Фотоекспонування захисного зображення друкованих провідників роблять в копіювальній рамці протягом 6–9 хв.

2. Прояв позитивного захисного малюнка друкованих провідників здійснюють теплою водою ($T=40-50^{\circ}\text{C}$) ванні з ультразвуковими коливаннями.

3. Задублювання захисного шару роблять шляхом хімічного (у розчині 3% хромового ангідриду) і термічного (при температурі $T=60^{\circ}\text{C}$) дублювання позитивного захисного малюнка друкованих провідників.

4. Травлення. Видалення міді з незахищених ділянок фольги здійснюють в травильному агрегаті типу КТ-3 протягом 15–18 хв. обробкою плати водним розчином хлорного заліза з наступним промиванням в проточній воді.

5. Обробити друковану плату в 5% розчині соляної кислоти протягом 10-15 хвилин, промити проточною водою і просушити в термостаті при $T=40^{\circ}\text{C}$ для видалення повторних шарів.

6. Покрийте провідник рожевим сплавом (32% Pb, 16% Sn, 52% Bi).

7. Просвердліть монтажні отвори діаметром $d_1=0,8+0,12$ мм і $d_2=3,4+0,12$ мм.

4. Метод різання: швидкість різання $v=100\sim 120\text{м/хв}$, кількість подачі $s=0,05\sim 0,1\text{мм/об}$.

2.5 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Розрахунок діаметрів контактних площадок здійснено залежно від діаметрів отворів по формулі

$$D_{\text{КП}} = d_{\text{отв}} + \Delta d_{\text{отв}} + 2 \cdot e + \Delta t_{\text{в}} + \Delta t_{\text{тр}} + \sqrt{T_d^2 + T_D^2 + t_{\text{нв}}^2}, \quad (2.16)$$

де $d_{\text{отв}}$ – це діаметр отвору; $\Delta d_{\text{отв}}$ – це верхній допуск на діаметр отвору; e – це ширина гарантійного пояса; $\Delta t_{\text{в}}$ – це верхній допуск на ширину провідника; $\Delta t_{\text{тр}}$ – це допуск на підтравлювання діелектрика в отворі; T_d – це позиційний допуск розміщення отворів; T_D – це позиційний допуск розміщення центрів контактних площадок; $\Delta t_{\text{нв}}$ – це нижній допуск на ширину провідника.

Значення параметрів для двосторонньої плати третього класу такі

$$\Delta d_{\text{отв}} = 0 \text{ мм}; \quad e = 0,1 \text{ мм}; \quad \Delta t_{\text{в}} = 0,1 \text{ мм}; \quad \Delta t_{\text{тр}} = 0; \quad T_d = 0,08 \text{ мм}; \quad T_D = 0,15 \text{ мм}; \\ \Delta t_{\text{нв}} = 0,1 \text{ мм}.$$

Визначено загальний допуск

$$\Delta D_{\text{КП}} = 0 + 2 \cdot 0,1 + 0,1 + 0 + \sqrt{0,08^2 + 0,15^2 + 0,1^2} = 0,5 \text{ (мм)}.$$

Діаметри отворів розраховуються по формулі

$$d = d_{\text{вив}} + (0,2 \dots 0,4),$$

$d_{\text{вив}}$ – це діаметри виводів радіоелементів.

Для даного пристрою елементи мають такі діаметри виводів (див табл. 2.5):

$$0,6; 0,6; 0,4 \text{ мм.}$$

Здійснено оптимізацію діаметрів отворів?

$$d_1 = 0,6 + 0,6 = 1,2 \text{ мм;}$$

$$d_2 = 0,6 + 0,6 = 1,2 \text{ мм;}$$

$$d_3 = 0,4 + 0,3 = 0,7 \text{ мм.}$$

Два діаметри отворів

$$d_1 = 1,2 \text{ мм;}$$

$$d_2 = 0,7 \text{ мм.}$$

Обчислюємо діаметри контактних площадок

$$D_1 = 0,7 + 0,5 = 1,2 \text{ мм;}$$

$$D_2 = 1,2 + 0,5 = 1,7 \text{ мм.}$$

Діаметри контактних площадок, що розраховані, 1,2 та 1,7 мм.

2.6 Розрахунок ширини провідників

Здійснимо обчислення ширини провідників шини живлення та інформаційних провідників.

Шини живлення

$$B_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{дон}} \cdot t} [\text{мм}], \quad (2.17)$$

де $j_{\text{дон}}$ – це допустима густина струму $j_{\text{дон}} = 48 \text{ А/мм}^2$, (табл. 2.6) для двосторонньої плати, що виготовлена комбінованим методом ; $t = 35 \text{ мкм}$ – це товщина провідника (фольги), (з табл. 2.6); $I_{\max}$ – це максимальний постійний струм, що протікає крізь провідник, $I_{\max} = 0,1 \text{ А}$.

Таблиця 2.6 – Допустима густина струму залежно від методу виготовлення

Метод виготовлення	Товщина фольги, мкм	Допустима густина струму, А/мм ²	Питомий опір, Ом · мм ² / м
Комбінований позитивний	20	75	0,0175
	35	48	
	50	38	

Результат обчислення

$$B_{\min} = \frac{0,1}{48 \cdot 0,035} = 0,060 \text{ мм} = 60 \text{ мкм} (< 250 \text{ мкм}).$$

З умови допустимого падіння напруги визначена мінімальна ширина провідника

$$b_{\min} = \frac{I_{\max} \cdot \rho \cdot l_{\max}}{\Delta U_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (2.18)$$

де ρ – це питомий опір провідників ($\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ з табл. 2.6); $I_{\max}$ – ще струм, що протікає по провіднику ($I_{\max} = 0,1 \text{ А}$); $l_{\max}$ – це максимальна довжина провідника ($l_{\max} = 0,042 \text{ м}$); $U_{\text{доп}}$ – це допустиме падіння напруги (становить 5% від напруги живлення $U_{\text{доп}} = 5 \cdot 0,05 = 0,25 \text{ В}$); t – це товщина провідника.

$$b_{\min} = \frac{0,1 \cdot 0,0175 \cdot 0,042}{0,25 \cdot 0,035} = 0,0084 \text{ мм} = 8,4 \text{ мкм} (< 250 \text{ мкм}).$$

Обчислені значення ширини провідників не перевищують обраних для третього класу точності.

2.7 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованої плати

Зі збільшенням швидкості рішень питання високочастотних зв'язків між компонентами стає все більш актуальним. При цьому необхідно не тільки визначити параметри тієї чи іншої лінії зв'язку (опір, ємність, індуктивність тощо), а й виміряти їх взаємовплив (паразитну ємність, взаємну індуктивність тощо). Це особливо важливо в мікроелектроніці, де час перемикання компонентів вимірюється наносекундами, а щільність розміщення мікросхем досить висока.

Електричні параметри компонентів друкованих плат залежать від ряду факторів, які певною мірою впливають на зміну розрахункових значень: режим роботи схеми, матеріал захисного покриття, технологія виготовлення тощо. Врахувати всі ці фактори досить складно і тому непрактично на етапі проектування друкованої плати. Тут необхідні приблизні розрахунки з достатньою точністю, які перевіряються та уточнюються після виготовлення та дослідження перших друкованих плат.

Метою розрахунку електромагнітної сумісності є визначення працездатності обладнання під впливом перехресних перешкод від ліній зв'язку та впливу зовнішніх електромагнітних полів [13].

1. Діелектрична проникність середовища між провідниками, що розташовані на зовнішній поверхні плати, яка покрита лаком, дорівнює

$$\varepsilon_r = 0,5(\varepsilon_{\pi} + \varepsilon_{\text{л}}), \quad (2.19)$$

де $\varepsilon_{\pi} = 6$ – це є діелектрична проникність склотекстоліту; $\varepsilon_{\text{л}} = 4$ – це є діелектрична проникність лаку УР-231;

$$\varepsilon_r = 0,5 (6+4) = 5.$$

2. Обчислимо взаємну індуктивність та ємність провідників, що розташовані на одній поверхні друкованої плати

$$C = \frac{1,06 \cdot \varepsilon_r}{\lg\left(\frac{2 \cdot \delta}{W + b}\right)} [\text{пФ}], \quad (2.20)$$

де $\delta = 5 \cdot 10^{-4}$ – це найменша відстань між двома провідниками, м; $W = 3 \cdot 10^{-5}$ – це товщина провідного шару міді, м; $b = 2,5 \cdot 10^{-4}$ – це ширина провідників для третього класу точності, м;

$$C = \frac{1,06 \cdot 5}{\lg\left(\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^{-5} + 2,5 \cdot 10^{-4}}\right)} = 8,958 (\text{пФ}).$$

Паразитна взаємна індукція між двома друкованими провідниками M , нГн, визначена по формулі

$$M = 2 \cdot l_2 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_2}{S + 0,5 \cdot (t_1 + t_2)} - 1 \right) [\text{нГн}], \quad (2.21)$$

де S – це відстань між провідниками, $S = 0,025$ см; l_2 – це довжина взаємного перекриття провідників, $l_2 = 8$ см; t_1, t_2 – це ширина провідників, $t_1 = 0,045$ $t_2 = 0,025$ см.

Маємо

$$M = 2 \cdot 8 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 8}{0,05 + 0,5 \cdot (0,045 + 0,025)} - 1 \right) = 67,8 \text{ (нГн)}.$$

Із запропонованих розрахунків паразитних індуктивностей та ємностей слідує, що їх параметри перебувають у межах норми і не потрібно додаткових засобів по їх зменшенню.

2.8 Розрахунок плати на вібростійкість

Частота власних коливань обчислено по формулі

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot a^2} \left(1 + \frac{a^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{M}} ab, \quad (2.22)$$

де a, b – це довжина і ширина плати: $a=140$ мм, $b=90$ мм; D – це циліндрична жорсткість

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}, \quad (2.23)$$

де E – це модуль пружності, для фольгованого склотекстоліту з друкованою схемою $E = 3,2 \cdot 10^{10}$ Н/м²; h – це товщина плати, $h = 1,5$ мм; ν – це коефіцієнт

Пуассона, $\nu = 0,22$; M – це маса плати з радіoeлементами; ρ – це густина скло-текстоліту, $\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$; M_{el} – це сумарна маса елементів,

$$M = \rho a \cdot b \cdot h + M_{el} = 1,4 \cdot 14 \cdot 9 \cdot 0,15 + 29 = 55,46 \text{ г.}$$

$$D = \frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^3}{12(1 - 0,22^2)} (1 - 0,22^2) = 9,45;$$

$$f_0 = \frac{3,14}{2 \cdot 0,14^2} \left(1 + \frac{0,14^2}{0,09^2}\right) \sqrt{\frac{9,45}{0,05546} 0,14 \cdot 0,09} = 398 \text{ Гц.}$$

$$f_0 \neq f_p$$

$$398 \text{ Гц} \neq 80 \text{ Гц.}$$

Таким чином, частота власних коливань не співпадає з резонансною частотою, тому співвідношення розмірів друкованої плати задовольняють вимогам вібростійкості.

Коефіцієнт динамічності визначено по формулі

$$K_{дин} = \frac{\sqrt{(1 + [K_1(x)K_1(y) - 1]\eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \eta_{11}^2}}{\sqrt{(1 - \eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \eta_{11}^2}}, \quad (2.24)$$

де $K(x)$, $K(y)$ – це залежність коефіцієнта від коливань. Якщо обидва краї закріплені, тоді $K(x) = K(y) = 1,3$; η – це коефіцієнт розстроювання

$$\eta = f_p/f_0 = 80/398 = 0,201;$$

ε – це показник затухання $\varepsilon = \lambda/\pi \approx 0,01$; λ – це декремент затухання $\lambda = (2 \dots 10) \cdot 10^{-2}$.

Матимемо

$$K_{дин} = \sqrt{\frac{(1 + [1,3 \cdot 1,3 - 1] \cdot 0,201^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,201^2}{(1 - 0,201^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,201^2}} = 1,026.$$

Віброміщення визначена по формулі

$$S_B = \xi_0 \cdot K_{дин}, \quad (2.25)$$

$$\xi_0 = \frac{a_0}{4\pi^2(f_p)^2}$$

де a_0 – це віброприскорення згідно технічного завдання, $a_0 = 2g = 19,6 \frac{м}{с^2}$,

$$\xi_0 = \frac{19,6}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 398^2} = 3,1 \cdot 10^{-6} (мм),$$

$$S_B = 3,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1,026 = 3,18 \cdot 10^{-6} (м).$$

Величина віброприскорення

$$a_B = a_{0\max} = a_0 \cdot K_{дин} = 19,6 \cdot 1,026 = 20,1 (м / с^2).$$

Прогин друкованої плати визначено по формулі

$$\delta_{прог} = S_B - \xi_0 = 3,18 \cdot 10^{-6} - 3,1 \cdot 10^{-6} = 0,08 \cdot 10^{-6} (мм),$$

$$\delta_{гран} = \delta_{дон} \cdot l^2 = 0,011 \cdot 0,13^2 = 1,85 \cdot 10^{-4} (мм).$$

Як слідує з розрахунків, прогин друкованої плати не перевищує допустимого значення, можна сказати, що вібраційні навантаження не вплинуть на роботу пристрою [14, 15].

Таблиця 2.7 – Допустимий прогин фольгованих матеріалів

Товщина листа, мм	Допустима стріла прогину
	Двостороннє фольгування
	Склотекстоліт
1,5	11

Перевіряємо виконання умов вібростійкості. Оцінювання вібростійкості виконується за такими критеріями:

1) для ІС, транзисторів, резисторів і інших ЕРЕ амплітуда віброприскорення повинна бути меншою допустимих прискорень, тобто

$$a_{0\max} < a_{\text{дон}}; \text{ значення } a_{\text{дон}} \text{ визначається в процесі аналізу елементної бази};$$

$$20,1 \text{ м/с}^2 < 19,6 \text{ м/с}^2$$

2) для плати стріла прогину не повинна перевищувати величини $\delta_{\text{гран}}$, що розраховується за формулою $\delta_{\text{гран}} = \delta_{\text{дон}} \cdot l$, де $\delta_{\text{дон}}$ – це допустимий розмір прогину на довжині 1м, l – це довжина плати в м;

$$\delta_{\text{прог}} = 0,08 \cdot 10^{-6} (\text{мм}),$$

$$\delta_{\text{гран}} = 1,85 \cdot 10^{-4} (\text{мм})$$

Як бачимо з отриманих розрахунків, умови вібростійкості виконуюються, відповідно ніяких заходів щодо зміни конструкції РЕА, збільшення жорсткості несучих елементів чи застосування амортизації, проводити не потрібно.

2.9 Розрахунок ефектів впливу від дії удару

Цей розрахунок робиться для перевірки міцності при транспортуванні (упаковці).

Прилад повинен витримувати ударні імпульси тривалістю 5-10 мілісекунд і пікове прискорення до 5g. Як і у випадку з розрахунком впливу вібрації,

вплив удару також розраховується для друкованої плати. Враховуючи, що максимальний ефект дає прямокутний імпульс, немає необхідності перевіряти умови ударостійкості цього імпульсу.

Умовна частота ударного імпульсу

$$\omega = \pi / \tau, \quad (2.26)$$

де ω – це тривалість ударного імпульсу τ мс.

$$\omega = 628 \text{ с}^{-1}$$

Коефіцієнт передачі при ударі

$$K_y = 2 \sin(\pi / 2V), \quad (2.27)$$

де V – це коефіцієнт розстроювання, $V = \omega / 2\pi f = 0,2$;

$$K_y = 0,87.$$

Ударне прискорення

$$a_y = H_y \cdot K_y, \quad (2.28)$$

де H_y – це амплітуда прискорення ударного імпульсу, $H_y = 49$ мс.

$$a_y = 0,042.$$

Максимальне відносне переміщення

$$Z_{\max} = H_y / 2\pi f_0 \sin(\pi/2V) = 2,9 \cdot 10^{-5}. \quad (2.29)$$

Для плати повинна виконуватись умова:

$$Z_{\max} < 0,003b;$$

$$Z_{\max} = 2,9 \cdot 10^{-5} < 3,46 \cdot 10^{-4}.$$

Удар при падінні пристрою є окремим випадком ударної дії. Навантаження, що діє при цьому, становитиме:

$$V_o = V_y + V_b, \quad (2.30)$$

де $V_y = \sqrt{2gH}$ – швидкість пристрою у момент удару; $V_b = V_y \cdot K_b$ – швидкість відскакування; H – висота падіння пристрою, м; K_b – коефіцієнт відновлення швидкості (таблиця 2.9)

Після цього знаходимо прискорення, яке діє на пристрій

$$a_n = V_o 2\pi f_0, \quad (2.31)$$

Розрахуємо швидкість пристрою у момент удару, при цьому висоту падіння виберемо 70 см, що відповідає рівню на якому людина сидить при роботі:

$$V_y = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,7} = 3,7.$$

Розрахуємо швидкість відскакування, коефіцієнт відновлення швидкості оберемо з табл. 2.8, для сталь-бетон $K_b=0,9$:

$$V_b = 3,7 \cdot 0,9 = 3,33.$$

Навантаження, яке діє при падінні пристрою

$$V_o = 3,7 + 3,33 = 7,03.$$

Знаходимо прискорення, яке діє на пристрій

$$a_n = 7,03 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,647 = 28,32 (м / с^2).$$

Це прискорення менше допустимого прискорення падіння за технічним завданням.

Таблиця 2.8 – Коефіцієнт відновлення швидкості

Матеріали тіл, що ударяються	K_b
Сталь – сталь	0,94
Сталь – бетон	0,9
Сталь – земля	0,68
Сталь – пінопласт	0,55

Аналізуючи отримані дані, ми дійшли висновку, що обраний спосіб кріплення друкованої плати (чотири отвори по краю плати) та її товщина забезпечують найменшу частоту автоколивань, максимальне вібропереміщення під дією ударної вібрації та мінімальне прискорення удару. Цей вибір також був зроблений тому, що вібрація виникає лише під час транспортування обладнання.

2.10 Тепловий розрахунок пристрою

Під час виробництва, зберігання та експлуатації обладнання піддається впливу широкого діапазону температур. Сам прилад є джерелом тепла, так як мікросхема має ККД 50...60%, тому у вигляді тепла виділяється велика кількість енергії. Якщо ця енергія не розсіюється, температура пристрою підвищується, а інтенсивність відмови зростає.

Визначимо тепловий стан і виберемо систему охолодження за методикою. Вихідні дані для розрахунку наступні:

а) внутрішні розміри пристрою: $0,14 \times 0,09 \times 0,025$ м;

б) внутрішній об'єм пристрою $V = 3,1 \cdot 10^{-4}$ м³;

в) потужність споживання:

$$P = P_{\text{рез}} + P_{\text{МС}} + P_{\text{кноп}} + P_{\text{конд}} + P_{\text{розе}} + P_{\text{діод}} + P_{\text{РК}} \approx 3,3 + 4,5 = 12,4 \text{ (Вт)};$$

де $P_{\text{рез}}$ – потужність споживання резисторів, $P_{\text{ОП}}$ – операційних підсилювачів.

г) коефіцієнт заповнення $K_{\text{ЗАП}} = 0,5$;

д) максимальна температура навколишнього середовища (обирається за найменшою температурою з переліку гранично допустимих температур для всіх елементів) $T_{\text{мах}} = +85 \text{ }^{\circ}\text{C} = 358 \text{ K}$;

е) гранично допустиме перегрівання повітря в пристрої (обирається за максимальної температури повітря $T_{\text{пов}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} = 313 \text{ K}$):

$$\theta_{\text{в.дон}} = 358 - 313 = 45(\text{K}).$$

Визначаємо коефіцієнт форми пристрою

$$K_0 = \frac{H}{\sqrt[3]{V}}, \quad (2.32)$$

де H – це висота блоку, м;

V – це внутрішній об'єм пристрою, м³;

$$K_0 = \frac{0,025}{\sqrt[3]{3,1 \cdot 10^{-4}}} = 0,396.$$

Площа поверхні відведення тепла визначена по формулі

$$S_3 = \sqrt[3]{V^2} \cdot \left(\frac{2}{K_0} + 4 \cdot K_{3\text{ЛП}} \cdot \sqrt{K_0} \right), \quad (2.33)$$

отримаємо

$$S_3 = \sqrt[3]{(3,1 \cdot 10^{-4})^2} \cdot \left(\frac{2}{0,396} + 4 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{0,396} \right) = 0,029 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Питомий тепловий потік нагрітої зони визначено по формулі

$$q_3 = \frac{\Phi}{S_3} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right], \quad (2.34)$$

де Φ – це потужність розсіювання, що становить 40% від споживаної потужності

$$\Phi = 0,4 \cdot 12,4 = 4,96 \text{ (Вт)};$$

$$q_3 = \frac{0,0031}{0,037} = 8,3 \text{ (кВт / м}^2\text{)}.$$

Перегрівання для апаратури з природною конвекцією

$$M[\theta_B] = 38 \text{ K}.$$

Порівнюємо значення $\theta_{\text{в.дон}} = 50\text{K}$ і отримане значення

$$\theta_{\text{в.дон}} > M[\theta_B].$$

Таким чином, забезпечено умови нормального теплового режиму. А тому природної конвекції буде достатньо.

2.11 Розрахунок надійності по раптовій відмови

Надійність є одним з основних параметрів виробу. Після розрахунку можна зробити висновок про надійність обраного рішення та конструкції виробу. Надійність пристрою залежить від надійності і кількості використовуваних компонентів, кількості з'єднань між компонентами, способу кріплення компонентів і типу їх з'єднання, а також від зовнішніх факторів, теплових і електричних навантажень на компоненти. пристрій.

Розрахунок надійності пристрою полягає у визначенні показника надійності виробу на основі відомих характеристик надійності та умов експлуатації складових частин. Вихідним показником для розрахунків надійності є інтенсивність відмов радіодеталей за нормальних умов.

Використаємо методику розрахунку експлуатаційної надійності з використанням математичних моделей згідно з [18].

Взагалі кажучи, математична модель має форму

$$\lambda_e = \lambda_0 \cdot \prod_i k_i, \quad (2.35)$$

де λ_e – це експлуатаційна інтенсивність відмов, с^{-1} ; λ_0 – це інтенсивність відмов за нормальних умов і номінального електричного навантаження, с^{-1} ; K_i – це складові коефіцієнти математичної моделі.

Для електронної апаратури сумарна інтенсивність відмов

$$\lambda_{EA} = K_{AM} \cdot K_{ОБСЛ} \cdot \sum_{i=1}^N \lambda_{ei}, \quad (2.36)$$

де K_{AM} – це коефіцієнт, щой залежить від амортизації електронної апаратури; за відсутності системи амортизації у виробі (як у нашому випадку) $K_{AM} = 1$; $K_{ОБСЛ}$ – це коефіцієнт, що залежить від якості технічного обслуговування електронної апаратури; для побутових виробів $K_{ОБСЛ} = 1$; λ_{ei} – це експлуатаційна інтенсивність i -го типу електронної апаратури; n – це кількість типів електронних елементів у пристрої.

Оскільки пристрій – стаціонарний, використовується в лабораторних умовах, то коефіцієнт умов експлуатації $K_e = 1$ [14], запишемо математичні мо-

делі для кожного з елементів конструкції і обчислимо значення інтенсивностей відмов.

Для конденсаторів

$$\lambda_E = \lambda_{0CG} \cdot K_P \cdot K_C \cdot K_e, \quad (2.37)$$

де K_P – це коефіцієнт навантаження, що визначається з таблиці 2.6 [14]; K_C – це коефіцієнт, який залежить від ємності конденсатора, з табл. 2.8 [14].

Оскільки на конденсаторі максимальна напруга падає лише тоді, коли вона рівна напрузі живлення, тому відношення U/U_H

$$\frac{U}{U_H} = \frac{2,5}{5} = 0,5,$$

звідки $K_P = 0,15$, а $K_C = 0,8$ (в середньому), тоді маємо

$$\lambda_E = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,0012 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для мікросхем:

$$\lambda_E = \lambda_H \cdot K_e, \quad (2.38)$$

матимемо:

$$\lambda_E = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,1 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для резисторів

$$\lambda_E = \lambda_{0CG} \cdot K_P \cdot K_e \cdot K_R, \quad (2.39)$$

де K_P – це коефіцієнт навантаження, що визначається з табл. 2.8 [14]; $K_P = 0,57$; K_R – це коефіцієнт, який залежить від опорів резистора, з табл. 2.9 [14], $K_R = 0,7$ (для резисторів опором $1 \dots 100$ кОм). Матимемо:

$$\lambda_E = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,004 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для роз'ємів, вимикачів та кнопок:

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (2.33)$$

маємо:

$$\lambda_{E1(\text{роз})} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 2 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}),$$

$$\lambda_{E3(\text{кн})} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 5 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}),$$

Для РК-індикатора:

$$\lambda_E = \lambda_{0CT} \cdot K_P \cdot K_\Phi \cdot K_{S1} \cdot K_e, \quad (2.34)$$

де K_P – це коефіцієнт навантаження, що визначається з таблиці 3.9 [14]; $K_P = 0,36$ (при коефіцієнті навантаження 0,7); K_Φ – це коефіцієнт, який залежить від функціонального режиму роботи, з табл. 2.8 [14], $K_\Phi = 1$; K_{S1} – це коефіцієнт, який залежить від навантаження по напрузі, згідно табл. 2.8 [14] $K_{S1} = 1,0$.

Матимемо:

$$\lambda_E = 0,29 \cdot 10^{-6} \cdot 0,36 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1 = 0,052 \cdot 10^{-6} (c^{-1}).$$

Занесемо результати обчислень до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Експлуатаційні інтенсивності відмов елементів пристрою

Елемент	Експлуатаційна інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	Кількість елементів	Сумарна інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$
Конденсатори	0,0012	4	0,0048
Мікросхеми	0,1000	2	0,2
Кварц	0,1000	2	0,2
Резистори	0,0040	5	0,02
Роз'єми	2,0000	1	2
Кнопки	2,0000	12	24
Вимикач	2,0000	1	2
РК-індикатор	0,0520	3	0,156
Пайка	0,0100	146	1,46
Плата	0,5000	1	0,5
$\lambda_\Sigma, \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$			$\approx 30,56$

Сумарна інтенсивність відмов:

$$\sum \lambda_{\Sigma} = 30,56 \cdot 10^{-6} (\text{год}).$$

Надійність пристрою характеризується напрацюванням на відмову, яка обчислюється по формулі

$$T = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} (\text{год}). \quad (2.40)$$

Підставивши дані отримаємо

$$T_1 = \frac{1}{32,34 \cdot 10^{-6}} = 32722 (\text{год}).$$

Середній час напрацювання на відмову складає $T = 32722$ год.

Імовірність безвідмовної роботи приладу протягом $t_1 = 1000$ годин буде дорівнювати:

$$P(t_i) = \exp(-\lambda \cdot t_1) \quad (2.41)$$

$$P(t_i) = e^{-30,56 \cdot 0,000001 \cdot 1000} = 0,97.$$

Надійність пристрою є досить високою, що підтверджує його оптимальну компоновку, та задовольняє вимогам індивідуального завдання.

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИНИ З ЧАСТОТНОМОДУЛЬОВАНИМ ІНФОРМАЦІЙНИМ СИГНАЛОМ

3.1 Комп'ютерне схемотехнічне моделювання автогенераторного перетворювача вологості деревини

Для перевірки адекватності роботи запропонованого пристрою для контролю вологості деревини виконаймо комп'ютерне моделювання в пакеті програм OrCAD PSpice.

Для цього в Capture намалюємо схему , що показана на рис. 3.1.

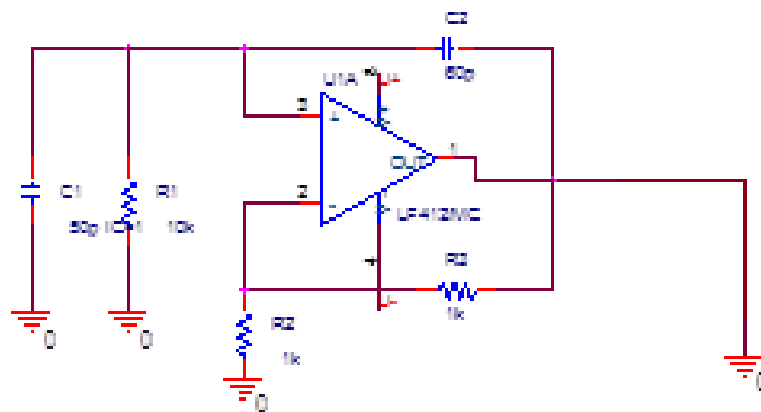


Рисунок 3.1 – Схема електрична принципова автогенераторного перетворювача вологості деревини

Створюємо новий профіль моделювання. Для аналізу схеми обираємо Transient тип.

Дослідимо роботу каналу автогенераторного вимірювального перетворювача з «вологою деревиною» (C1) Вихідний сигнал знімаємо з виходу операційного підсилювача U1A.

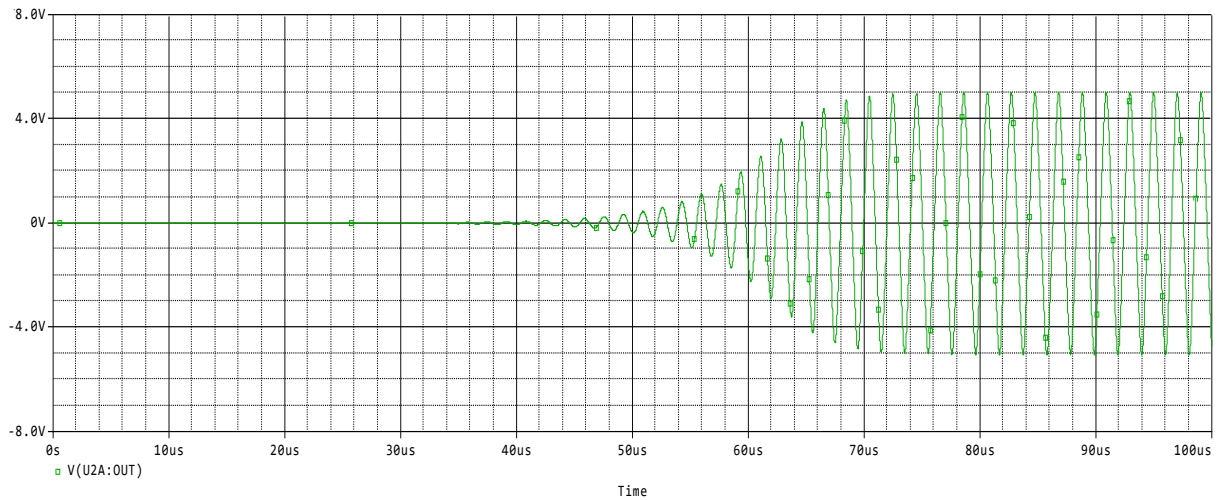


Рисунок 3.2 – Вихідний вимірювальний сигнал для вологості деревини С1

Частота сигналу пристрою датчик вологості деревини буде становити

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,95} = 504,321$$

Замінемо «вологу деревину» (С1) на іншу і повторимо дослід ще раз

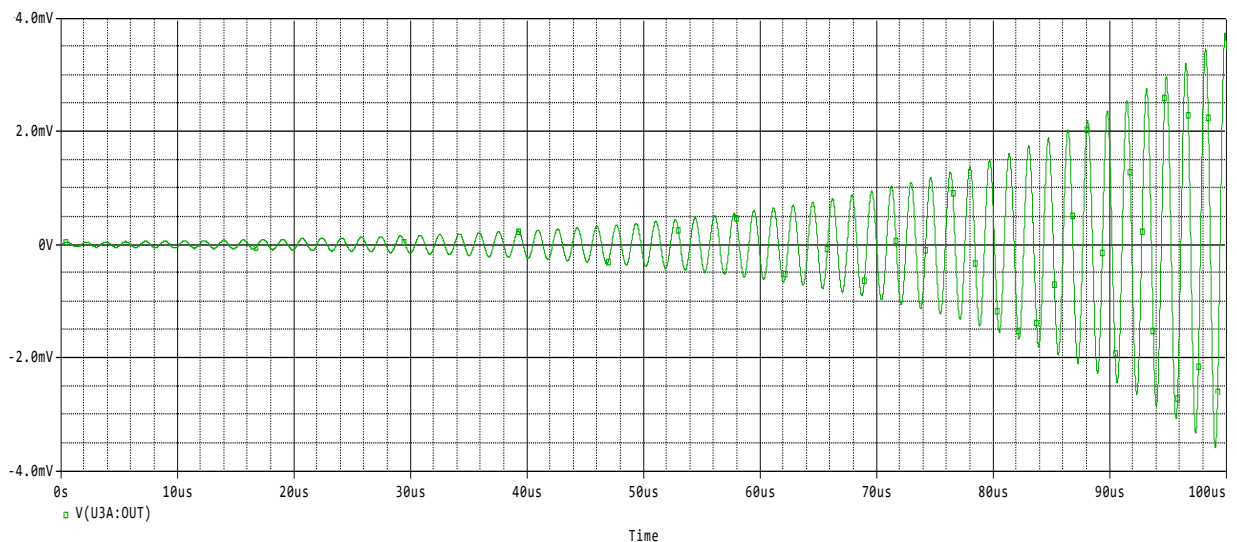


Рисунок 3.3 – Вихідний сигнал для вологості деревини С2

Частота сигналу пристрою буде становити

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,24} = 372,321$$

З аналізу досліджених синусоїд ми бачимо, що частота сигналу другого досліду менша ніж перша, отже, можна зробити висновок, що у другому досліді деревина більш суха ніж у першому досліді.

Проведене моделювання в програмі OrCAD PSpice підтвердило правильну роботу схеми пристрою датчик вологості деревини.

На виході вимірювального перетворювача є різна частота сигналу, що становить 384,615 кГц; 507,614 кГц. Ця частота визначається вологістю деревини в вимірювальному ємнісному перетворювачі. Ця частота подається на мікроконтролер де він проходить обробку, після чого оброблена інформація передається на екран та висвічується там і вказує нам на скільки волога деревина.

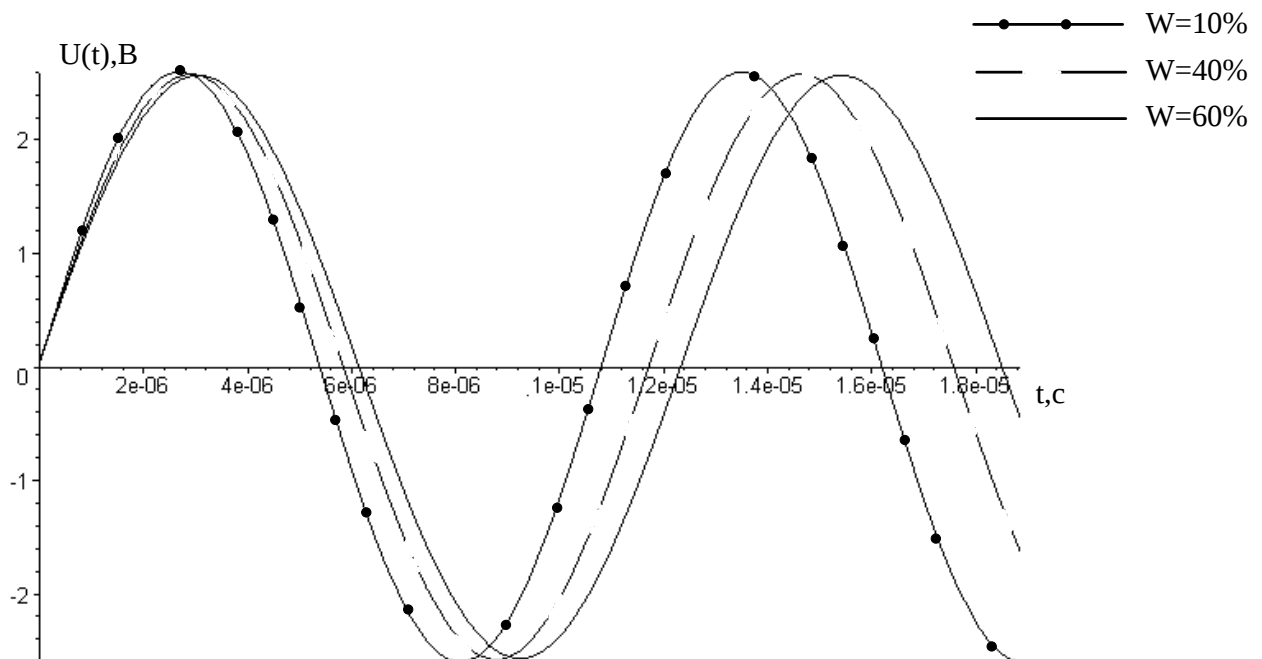


Рисунок 3.3 – Часові діаграми інформаційно-вимірювальних сигналів радіоелектронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом при трьох різних значеннях вологості деревини

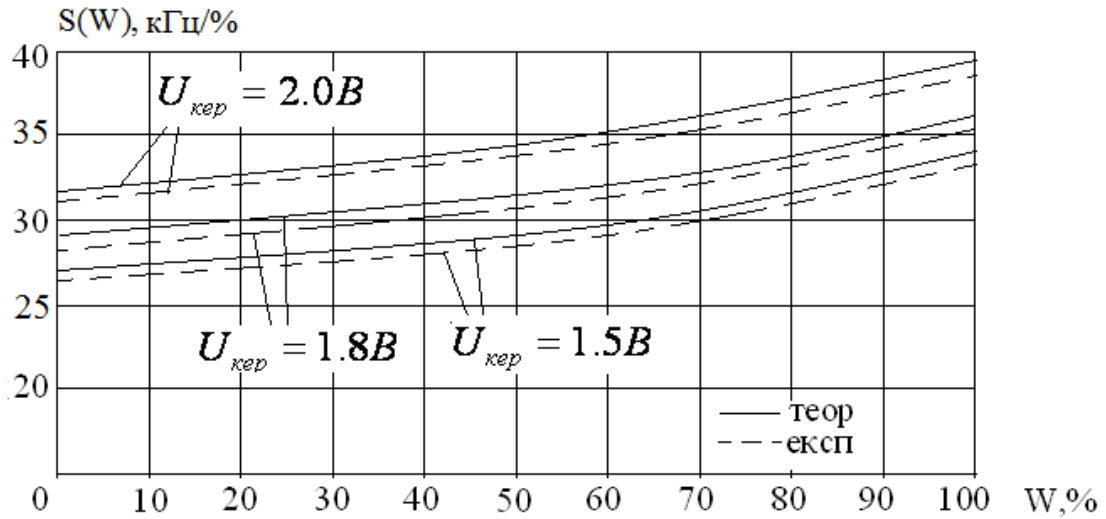


Рисунок 3.4 – Графік чутливості автогенераторного перетворювача вологості деревини

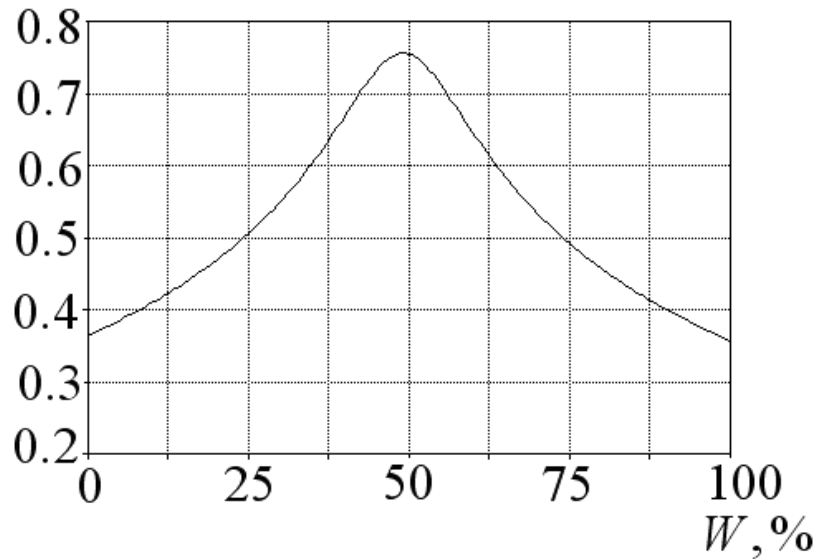


Рисунок 3.4 – Графік нормованої чутливості автогенераторного перетворювача вологості деревини

3.2 Математичне моделювання статистичних характеристик автогенераторного перетворювача вологості деревини

Вимірявши розробленим приладом вологість сирої деревини, ми побудували гістограму значень вологості деревини $W = 10\%$ на рис. 3.5. Тут W і ΔW - інтервали значень вологості деревини та похибки вимірювання, i - відносні час-

тоти значень вологості нафти та похибки вимірювання, які знаходяться в межах даного інтервалу.

Достовірність вимірювання вологості нафтопродуктів відображає ступінь об'єктивності отриманих результатів вимірювання в порівнянні з істинним значенням вимірюваної величини. Інструментальна достовірність контролю становить

$$D_I = 1 - \alpha - \beta, \quad (3.1)$$

де α - похибка першого типу; β - похибка другого типу.

За наявності похибки першого типу вологість деревини вважається такою, що не відповідає допустимим межам значення вологості, хоча фактично вологість деревини відповідає вимогам (ризик виробника). При наявності помилки другого типу вологість деревини вважається такою, що відповідає допустимим межам значення вологості, хоча фактично вологість деревини не відповідає вимогам (ризик споживача).

Значення вологості деревини та похибки вимірювання розподілені за нормальним законом і описуються рівняннями

$$f(W) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_W} \cdot e^{-\frac{(W-\bar{W})^2}{2\sigma_W^2}}, \quad (3.2)$$

$$y(\Delta W) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Delta W}} \cdot e^{-\frac{(\Delta W - \bar{\Delta W})^2}{2\sigma_{\Delta W}^2}}, \quad (3.3)$$

де σ_W і $\sigma_{\Delta W}$ це стандарте середньоквадратичне відхилення вологості деревини та похибки вимірювання.

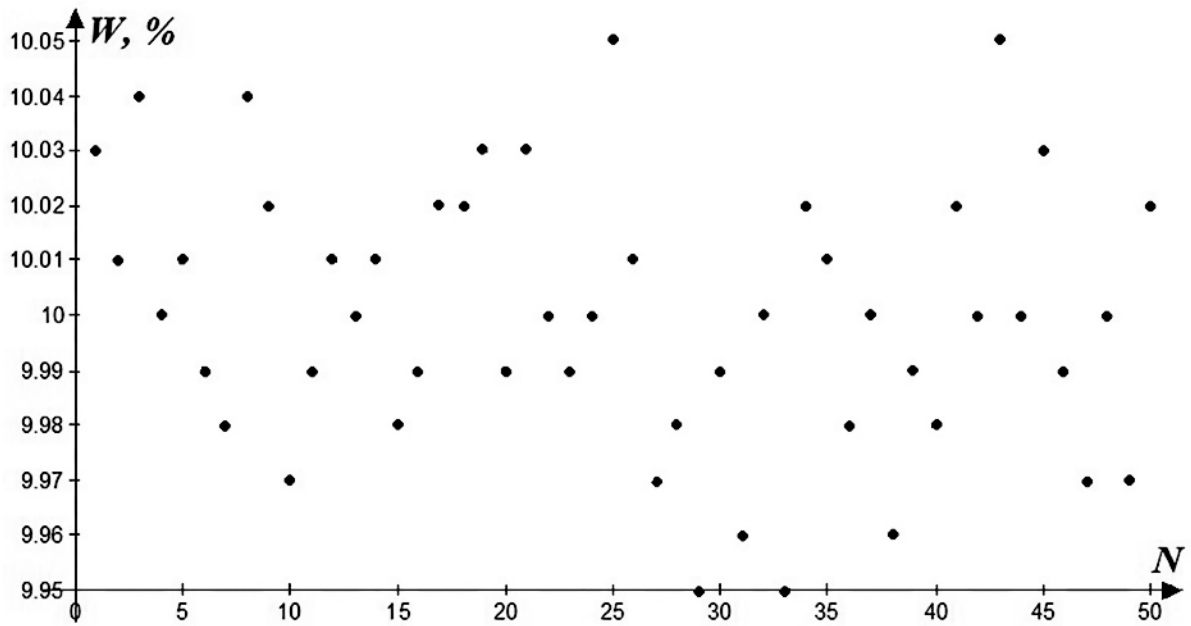


Рисунок 3.5 – Графік виміряного значення вологості деревини

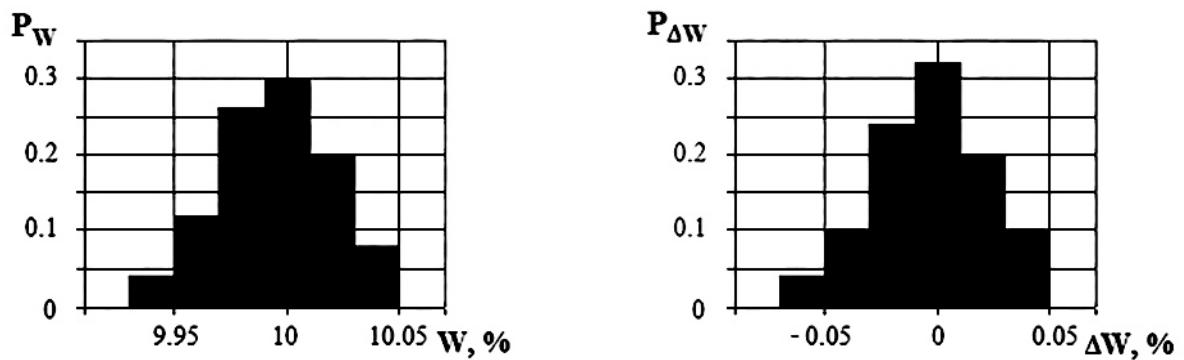


Рисунок 3.6 – Частотні гістограми: а) ймовірності значень вологості деревини, б) ймовірності значень похибки вимірювання

Те, що значення вологості деревини та похибки вимірювання дійсно розподілені за нормальним законом, було перевірено за допомогою критерію Пірсона χ^2 . Відповідно, похибки першого та другого роду визначаються з рівнянь

$$\alpha = \int_{W_A}^{W_B} f(W) \left(\int_{W_A - \Delta W}^{W_A} y(\Delta W) d\Delta W + \int_{W_B}^{W_B + \Delta W} y(\Delta W) d\Delta W + \right) dW, \quad (3.4)$$

$$\beta = \int_{W_B}^{W_B + \Delta W} f(W) \left[\int_{W_B - \Delta W}^{W_B} y(\Delta W) d\Delta W \right] dW + \int_{W_A - \Delta W}^{W_A} f(W) \left[\int_{W_B - \Delta W}^{W_B} y(\Delta W) d\Delta W \right] dW, \quad (3.5)$$

де W_A і W_B - граничні значення вимірювання вологості деревини.

Встановлюємо межі допуску вологості деревини на 0,5%, а відхилення від фактичного значення вологості ($W = 10\%$) на $W_A = 9,5\%$, $W_B = 10,5\%$. Підставивши отримані значення в рівняння (4) і (5), отримаємо значення $\alpha = 0,0283$ і $\beta = 0,0126$. Згідно з виразом (1), отримано інструментальну ймовірність контролю $D_I = 0,9591$.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Дослідження радіоелектронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом відбувалося в приміщенні, яке обладнане робочими місцями з ПК. На дослідника могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; недостатня освітленість робочої зони; відсутність чи нестача природного освітлення.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження; розумове перевантаження; емоційні перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Конструкція робочого місця та взаємне розташування усіх її елементів має відповідати антропометричним, фізичним і неординарним психологічним вимогам.

Більшість сучасних комп'ютерних стільців оснащені коліщатами і шарнірами, що дозволяє вільно переміщатися по всій площі службового приміщення. Крім того, такі стільці обладнані спинками, що дозволяє запобігти надмірному навантаженню на шию і спину. Для вибору стільця слід звернути увагу на наступні характеристики: наявність регульованого по висоті сидіння; наявність спинки, регульованої як по висоті, так і в поперечному напрямі; наявність достатньої глибини сидіння; належна стійкість; наявність коліщаток, відповідних покриттю підлоги у приміщенні.

При регулюванні стільця необхідно враховувати як розміри тіла, так і висоту робочої поверхні столу, якщо вона не регулюється. Висоту сидіння треба відрегулювати так, щоб можна було зручно розташуватися на ньому; при цьому ступні ніг повинні опиратися на підлогу, а зазор між передньою частиною стільця і ногами дослідника повинен складати 5 сантиметрів. Після цього слід відрегулювати спинку як у вертикальному, так і в поперечному напрямках, щоб не напружувався поперек.

Щодня перед початком роботи працівник повинен:

- оглянути своє робоче місце; про виявлення ознак пошкодження обладнання інформувати свого безпосереднього керівника;
- відрегулювати освітленість на робочому місці, переконатися в відсутності відблисків на екрані комп'ютера, відсутності зустрічного світла;
- перевірити правильність підключення обладнання ПК до електромережі;
- очистити екран комп'ютера від пилу та інших забруднень;
- перевірити правильність організації робочого місця й за необхідності провести відповідні коригування.

Працівник під час роботи зобов'язаний:

- виконувати тільки ту роботу, яку йому було доручено;
- підтримувати порядок і чистоту на робочому місці;
- тримати відкритими всі вентиляційні отвори обладнання;
- коректно закрити всі активні завдання у разі припинення роботи з комп'ютером;
- негайно відключити комп'ютером від електричної мережі у разі виникнення аварійної ситуації.

У ході виконання робіт працівник повинен:

- витримувати відстань від очей до екрана комп'ютером в межах 60 - 70см;
- дотримуватися внутрішньозмінного режиму праці та відпочинку, регламентованих перерв у роботі;

Під час регламентованих перерв рекомендується виконувати комплекси вправ для очей, рук, хребта, поліпшення мозкового кровообігу тощо. Про виявлення несправності обладнання або інших факторів, які створюють загрозу для життя або здоров'я працівників, необхідно негайно інформувати свого безпосереднього керівника.

Не допускається:

- виконання ремонту та налагодження комп'ютерної техніки безпосередньо на робочому місці оператора;
- зберігання біля комп'ютера паперу, дискет, інших носіїв інформації, запасних блоків, деталей тощо, якщо вони не використовуються для поточної роботи;
- відключення захисних пристроїв, самочинні зміни в конструкції комп'ютера;
- використання комп'ютерів, на екранах яких під час роботи з'являються нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані тощо;
- доторкання до задньої панелі системного блоку при включеному живленні;
- вимикання живлення під час виконання активного завдання;
- попадання вологи на поверхню системного блоку, монітора, клавіатури, дисководів, принтерів та інших пристроїв;
- приймання напоїв та їжі на робочому місці.

Після закінчення роботи з використанням необхідно дотримуватися такої послідовності вимикання обладнання:

- закрити всі активні завдання;
- використавши опцію «Завершення роботи» у меню «Пуск», вимкнути живлення системного блоку;
- вимкнути живлення всіх комп'ютерів;
- вимкнути блок аварійного живлення (за наявності);

– відключити комп'ютер від електромережі, при цьому забороняється тягнути штепсельну вилку за дріт.

Приміщення, де здійснювалося дослідження радіоелектронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом використовується чотири провідна трифазна електромережа з заземленим нульовим проводом. Величина напруги цієї мережі становить 380 х 220В (фазна напруга (фаза – «0») – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов з небезпеки електротравматизму – без підвищеної небезпеки, оскільки чинники підвищеної небезпеки (підвищена температура повітря (більша за 35°C), вологість (більша 75%), струмопровідна підлога, струмопровідний пил, можливість одночасного дотику обслуговуючого персоналу до металевого корпусу споживача електроенергії та металоконструкцій, що мають зв'язок із землею) та особливої небезпеки (вологість повітря в приміщеннях близька до насичення, конденсація вологи на поверхні устаткування та будівельних конструкціях (100%); хімічно активне середовище, що призводить до руйнування ізоляції, чи біологічне середовище, що у вигляді плісняви утворюється на обладнанні та струмовідних елементах) відсутні.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Життєдіяльність людини завжди протікає у певних метеорологічних умовах, що визначаються поєднанням температури повітря, швидкості його руху і відносної вологості, барометричним тиском та інтенсивністю теплового випромінювання. Ці показники в сукупності (за винятком барометричного тиску) характеризують метеорологічні умови середовища (мікроклімат) виробничого приміщення. Якщо робота виконується на відкритих майданчиках, то метеорологічні умови визначаються кліматичним поясом і сезоном року. Проте і в цьому випадку в робочій зоні створюється певний мікроклімат.

Параметри мікроклімату закритих приміщень нормують санітарні норми ДСН 3.3.6.042-99 [42]. Робота з дослідження радіоелектронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом за енерговитратами відноситься до категорії I а (енерговитрати до 139Дж/с) [43]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл. 4.2.1.

Таблиця 4.2.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення вказаних параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено використання централізованої парової системи опалення, системи механічної вентиляції, систематичного провітрювання та вологого прибирання (раз за зміну).

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Повітря робочої зони залежно від хімічного складу, фізичних властивостей, наявності забруднюючих чинників може бути сприятливим, несприятливим або навіть небезпечним. Сприятливим повітряне середовище в робочій зоні буває тоді, коли воно має відповідну чистоту, нормальні хімічні показники та нормальний мікроклімат.

В приміщенні, де здійснюється дослідження радіоелектронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом у повітрі можуть бути наявні підвищені концентрації пилу та озону. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.2.

Таблиця 4.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Середньо добова	Клас небезпечності
	Максимально разова		
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1
Вуглекислий газ	3	1	4

Для забезпечення у виробничих приміщеннях оптимальних параметрів мікроклімату та належної чистоти повітря (граничнодопустимих концентрацій шкідливих речовин) використовують вентилявання приміщень, яке здійснюють за допомогою сукупності пристроїв для транспортування, подання та видалення повітря.

4.2.3 Виробниче освітлення

Недостатність освітлення призводить до напруги зору, послаблює увагу, призводить до подальшої передчасної стомлюваності. Надмірно яскраве освітлення викликає осліплення, роздратування і різь в очах. Неправильний напрям світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, дезорієнтувати працюючого. Всі ці причини можуть призвести до професійних захворювань, тому надзвичайно важливе значення має забезпечення оптимальної освітленості на робочому місці.

Згідно ДБН В.2.5-28-2018 [44] в приміщеннях, де здійснюється дослідження радіоелектронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом на ПК необхідно застосувати систему комбінованого освітлення.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 4.2.4.

Таблиця 4.2.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, Лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для нормалізації освітленості в приміщенні слід передбачити обмеження прямої блискості від джерел природного та штучного освітлення. При цьому яскравість світлих поверхонь (вікна, джерела штучного освітлення), що розташовані в полі зору повинна бути не більше ніж 200 кд/м^2 . Необхідно обмежувати відбиту блискість на робочих поверхнях відносно джерел природного і штучного освітлення. При цьому яскравість відблисків на екрані ВДТ має не перевищувати 40 кд/м^2 , а яскравість стелі в разі застосування системи відбитого освітлення – 200 кд/м^2 .

4.2.4 Виробничий шум

Шум - безладне сполучення різних по силі і частоті звуків; здатний здійснювати несприятливу дію на організм працівника. Джерелом шуму є будь-який процес, що викликає місцеву зміну тиску або механічні коливання в жорс-

тих, водянистих або газоподібних середовищах. Джерелами шуму можуть бути двигуни, насоси, компресори, турбіни, пневматичні та електричні інструменти, молоти, долота, верстати, центрифуги, бункери та інші установки.

Реакція людини на шум різна. Деякі люди досить терплячі до шуму, у інших він викликає роздратування. Психологічна оцінка шуму в основному базується на понятті сприйняття, причому велике значення має внутрішнє налаштування до джерела шуму. Воно визначає, чи буде шум сприйматися як перешкода робочому процесу. Часто шум, який здійснюється самим працівником, не турбує його, в той час як невеликий шум, викликаний сусідами або іншим джерелом, має значний подразнюючий ефект.

Допустимі рівні звукового тиску у октавних смугах частот, еквівалентні рівні звуку на місцях праці встановлені санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99 [45], витяг з яких подано в табл. 4.2.5

Таблиця 4.2.5 – Допустимі еквівалентні рівні шуму на робочих місцях

Вид професійної діяльності, місце праці	Еквівалентні рівні шуму, дБ
Творча діяльність, керівна робота з підвищеними вимогами, наукова діяльність, конструювання та проектування, програмування, викладання та навчання, лікарська діяльність; місця праці у приміщеннях – дирекції, проектно-конструкторських бюро, програмістів обчислювальних машин, у лабораторіях для теоретичних робіт та опрацювання даних, прийому хворих у медпунктах	50
Висококваліфікована робота, що вимагає зосередження, адміністративно-керівна діяльність, вимірювальні та аналітичні роботи у лабораторії; місця праці в приміщеннях цехового керівного апарату, контор, лабораторій	60

Для забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно використовувати комп'ютери з пасивним охолодженням та встановити пластикові вікна, які мають достатню звукоізоляцію.

4.2.5 Виробничі випромінювання

Електромагнітні поля негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання, а також на населення, яке мешкає поблизу джерел випромінювання.

В будь-якій точці ПК промислової частоти енергія магнітної складової поля, яка поглинається тілом людини, майже в 50 разів менша від енергії електричної складової цього поля, що поглинається тілом. Це дає змогу зробити висновок, що в діапазоні промислових частот дією магнітної складової поля на біологічний об'єкт можна знехтувати, а негативний вплив на організм обумовлений електричною складовою поля.

Вимоги до рівня неіонізуючих електромагнітних випромінювань, електростатичних та магнітних полів наведені у табл. 4.2.6.

Таблиця 4.2.6 – Допустимі параметри електромагнітних неіонізуючих випромінювань і електростатичного поля

Види поля	Допустимі параметри поля		Допустима поверхнева щільність потоку енергії (інтенсивність потоку енергії), Вт/кв.м
	за електричною складовою (Е), В/м	за магнітною складовою (Н), А/м	
60 кГц до 3 мГц	50	5	
3 кГц до 30 мГц	20	-	
30 кГц до 50 мГц	10	0,3	
30 кГц до 300 мГц	5	-	
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру			
УФ-С (220 - 280 мм)			0,001

УФ-В (280 - 320 мм)			0,01
УФ-А (320 - 400 мм)			10,0
в видимій частині спектру 400 - 760 мм			10,0
0,76 - 10,0 мкм			35,0-70,0
Напруженість електричного поля ВДТ			20 кВ/м

Для зниження дії цих видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання, встановлювати захисні екрани, а також дотримуватися регламентованих режимів праці та відпочинку.

4.3 Пожежна безпека

Будівлі та приміщення, в яких експлуатуються ПК та виконуються їх обслуговування, налагодження і ремонт повинні відповідати вимогам з пожежної безпеки. Неприпустимим є розташування приміщень категорій А і Б, а також виробництв з мокрими технологічними процесами поряд з приміщеннями, де розташовуються ПК, виконується їх обслуговування, налагодження і ремонт, а також над такими приміщеннями або під ними.

В приміщенні, де здійснювалося дослідження радіоелектронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом використовуються тільки негорючі речовини та матеріали у холодному стані, тому за ступенем вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення відноситься до категорії «Д». Пожежну небезпеку несуть у собі лише кабельні електропроводки до обладнання, що є припустимим для даної категорії приміщень.

За вогнестійкістю приміщення відноситься до другої категорії [7]. Робоча зона працівника відноситься до класу вибухонебезпечності В-Па та пожежо-небезпечності П-Па, оскільки вибухонебезпечна концентрація пилу і волокон може утворюватися лише внаслідок аварії або несправності.

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Можливі причини виникнення пожежі у приміщенні, де здійснювалося дослідження підвищення ефективності систем синхронізації в цифрових засобах зв'язку такі:

- несправна електропроводка (іскріння, перегрів провідників, пересихання електроізоляційних матеріалів);
- використання електропобутових пристроїв (електрочайники, обігрівачі); попадання вологи на працююче електрообладнання;
- залишення без нагляду увімкнутих комп'ютерів, обчислювальної техніки та інших електроприладів.

Для запобігання виникнення пожежі доцільні такі заходи:

- призначення осіб, що відповідальні за пожежну безпеку приміщення;
- щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту;
- своєчасне інформування про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання тощо.

4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Переважає більшість пожеж починається із невеличкого вогнища. Тому його своєчасну ліквідацію розглядаємо як профілактичний захід щодо недопущення його розширення до масштабів пожежі. Ліквідувати вогнище можна, усунувши одну із трьох умов виникнення горіння. Видалити горючу речовину із вогнища не завжди можна, а припинити доступ кисню до неї або/і понизити її температуру можна завжди, якщо своєчасно використати первинні засоби гасіння пожеж: воду, пісок або вогнегасники.

У приміщені на випадок виникнення пожежі для обмеження її розповсюдження знаходиться переносний вуглекислотний вогнегасник типу ОУ-5, що відповідає нормам [10]. Підходи до засобів первинного пожежогасіння та відключення електросхем устаткування вільні.

У коридорі приміщення розташована схема евакуації людей при пожежі. Шляхи евакуації з відділу відповідають правилам пожежної безпеки. У будинку є два виходи, ширина коридору – 2-3 метри, ширина дверей – 0,8 м., двері відкриваються по ходу руху людей у випадку евакуації.

В цілому приміщення по категорії вибухо- і пожежонебезпечності та ступеню вогнестійкості відповідає нормам.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській дипломній роботі розроблений та досліджений радіоелектронний сенсор вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом.

У першому розділі було проаналізовано та розглянуто давачі визначення вологості деревини та прийшов до висновку що ці прилади у наш час є доцільними, економічними, у використанні, вони заощаджують людський час, силу та здоров'я, тому вони відіграють значну роль як на великих так і на малих виробництвах.

В другому розділі було розраховано оптимальні габарити друкованої плати, при яких, пристрій мав мінімальні розміри, але щоб мінімальні розміри пристрою не впливали на його функціональність. Виходячи із розрахунків, було обрано розміри плати 140×90 . В якості матеріалу матеріал для друкованої плати було обрано склотекстоліт фольгований односторонній марки СФ-2-35-1,5, що має товщину фольги 35 мкм і товщину матеріалу з фольгою 1,5 мм. Щоб полегшити трасування, було обрано двосторонню плату – це дозволило уникнути зайвих перемичок та спростило трасування у пакеті OrCAD Layout. З огляду, що крок координатної сітки становить 1,25 мм, і трасування ускладнене, тому був обраний 3-й клас точності друкованої плати. Під час розрахунку ширини друкованих провідників, розраховані значення не перевищили обраних для третього класу точності. При розрахунку електромагнітної сумісності, розраховані значення ємностей та індуктивностей знаходяться в межах норми, тому в процесі розробки приладу не були застосовані заходи, що до їх зниження. При розрахунку на вібростійкість, отримані значення свідчать про те, що умови віброміцності виконуються, а тому ніяких заходів щодо зміни конструкції РЕА та збільшення жорсткості несучих елементів чи застосування амортизації, проводити не потрібно. Під час аналізу розрахунків на дію удару, був зроблений висновок, що обраний спосіб кріплення друкованої плати (чотири отвори по краях плати) та її товщина забезпечують найменшу частоту власних коливань, найбі-

льше віброзміщення при дії вібрації і найменше ударне прискорення при дії ударів. Цей вибір обумовлюється тим, що дія вібрації відбувається лише під час транспортування приладу. Тепловий розрахунок засвідчив, що забезпечено умови нормального теплового режиму, і природної конвекції для цього достатньо. Імовірність безвідмовної роботи пристрою протягом $t_1 = 1000$ годин має значення 0,97, а тому надійність пристрою є досить високою, що підтверджує його оптимальне компонування та задовольняє вимогам індивідуального завдання.

Усі виконані розрахунки свідчать про те, що виріб, що розробляється, має досить високі показники, що забезпечують економічний ефект від його виготовлення, а також пристрій задовольняє всі техніко-технологічні характеристики, функціонально завершений та може бути введений у використання.

У третьому розділі було промодельована схема радіоелектронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом та проаналізовано данні які були отримані з комп'ютерного моделювання.

В четвертому розділі було проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів у виробничому приміщенні, описано та класифіковано потенційно небезпечні та шкідливі фактори, вказано можливі причини виникнення цих факторів і описано їх дію на організм людини. Описано технічні рішення системи протипожежного захисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wiederhold, P.R. (1997). Water Vapor Measurement: Methods and Instrumentation (1st ed.). CRC Press.
2. Kolpakov, S. A., Gordon, N. T., Mou, C., & Zhou, K. (2014). Toward a new generation of photonic humidity sensors. *Sensors*, 14(3), 3986-4013.
3. Sikarwar, S., & Yadav, B. C. (2015). Opto-electronic humidity sensor: A review. *Sensors and Actuators A: Physical*, 233, 54-70.
4. Fan, L., & Bao, Y. (2021). Review of fiber optic sensors for corrosion monitoring in reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 120, 104029.
5. Rianjanu, A., Julian, T., Hidayat, S. N., Yulianto, N., Majid, N., Syamsu, I., ... & Triyana, K. (2020). Quartz crystal microbalance humidity sensors integrated with hydrophilic polyethyleneimine-grafted polyacrylonitrile nanofibers. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 319, 128286.
6. Fauzi, F., Rianjanu, A., Santoso, I., & Triyana, K. (2021). Gas and humidity sensing with quartz crystal microbalance (QCM) coated with graphene-based materials—A mini review. *Sensors and Actuators A: Physical*, 330, 112837.
7. Hammouche, H., Achour, H., Makhoul, S., Chaouchi, A., & Laghrouche, M. (2021). A comparative study of capacitive humidity sensor based on keratin film, keratin/graphene oxide, and keratin/carbon fibers. *Sensors and Actuators A: Physical*, 329, 112805.
8. Najeeb, M. A., Ahmad, Z., & Shakoob, R. A. (2018). Organic thin-film capacitive and resistive humidity sensors: a focus review. *Advanced Materials Interfaces*, 5(21), 1800969.
9. Ascorbe, J., Corres, J. M., Arregui, F. J., & Matias, I. R. (2017). Recent Developments in Fiber Optics Humidity Sensors. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 17(4), 893. <https://doi.org/10.3390/s17040893>

10. Chen, G. Y., Lancaster, D. G., & Monroe, T. M. (2017). Optical microfiber technology for current, temperature, acceleration, acoustic, humidity and ultraviolet light sensing. *Sensors*, 18(1), 72.
11. Schindelholz, E., Risteen, B. E., & Kelly, R. G. (2014). Effect of relative humidity on corrosion of steel under sea salt aerosol proxies: I. NaCl. *Journal of The Electrochemical Society*, 161(10), C450.
12. Tian, E., Wang, J., Zheng, Y., Song, Y., Jiang, L., & Zhu, D. (2008). Colorful humidity sensitive photonic crystal hydrogel. *Journal of Materials Chemistry*, 18(10), 1116-1122.
13. Wang, Z., Zhang, J., Xie, J., Li, C., Li, Y., Liang, S., ... & Yang, B. (2010). Bioinspired water-vapor-responsive organic/inorganic hybrid one-dimensional photonic crystals with tunable full-color stop band. *Advanced Functional Materials*, 20(21), 3784-3790.
14. Hawkeye, M. M., & Brett, M. J. (2011). Optimized colorimetric photonic-crystal humidity sensor fabricated using glancing angle deposition. *Advanced Functional Materials*, 21(19), 3652-3658.
15. Chi, H., Liu, Y. J., Wang, F., & He, C. (2015). Highly sensitive and fast response colorimetric humidity sensors based on graphene oxide film. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 7(36), 19882-19886.
16. Mills, A., Hawthorne, D., Burns, L., & Hazafy, D. (2017). Novel temperature-activated humidity-sensitive optical sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 240, 1009-1015.
17. Bumbudsanpharoke, N., Kwon, S., Lee, W., & Ko, S. (2019). Optical response of photonic cellulose nanocrystal film for a novel humidity indicator. *International journal of biological macromolecules*, 140, 91-97.
18. Lazarova, K., Bozhilova, S., Novakov, C., Christova, D., & Babeva, T. (2020). Amphiphilic Poly (vinyl Alcohol) copolymers designed for optical sensor applications—synthesis and properties. *Coatings*, 10(5), 460.

19. Mathew, J., Semenova, Y., Rajan, G., Wang, P., & Farrell, G. (2011). Improving the sensitivity of a humidity sensor based on fiber bend coated with a hygroscopic coating. *Optics & Laser Technology*, 43(7), 1301-1305.
20. Feng, J., Peng, L., Wu, C., Sun, X., Hu, S., Lin, C., ... & Xie, Y. (2012). Giant moisture responsiveness of VS₂ ultrathin nanosheets for novel touchless positioning interface. *Advanced materials*, 24(15), 1969-1974.
21. Szendrei, K., Ganter, P., Sánchez-Sobrado, O., Eger, R., Kuhn, A., & Lotsch, B. V. (2015). Touchless optical finger motion tracking based on 2D nanosheets with giant moisture responsiveness. *Advanced Materials*, 27(41), 6341-6348.
22. Yu, L., Xu, H., Monro, T. M., Lancaster, D. G., Xie, Y., Zeng, H., ... & Liu, X. (2017). Ultrafast colorimetric humidity-sensitive polyelectrolyte coating for touchless control. *Materials Horizons*, 4(1), 72-82.
23. Posch, H. E., & Wolfbeis, O. S. (1988). Optical sensors, 13: fibre-optic humidity sensor based on fluorescence quenching. *Sensors and Actuators*, 15(1), 77-83.
24. Lukosz, W., & Stamm, C. (1990). Integrated optical interferometer as relative humidity sensor and differential refractometer. *Sensors and Actuators A: Physical*, 25(1-3), 185-188.
25. Sadaoka, Y., Matsuguchi, M., Sakai, Y., & Murata, Y. U. (1992). Optical humidity sensing characteristics of Nafion—dyes composite thin films. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 7(1-3), 443-446.
26. Ando, M., Kobayashi, T., & Haruta, M. (1996). Humidity-sensitive optical absorption of Co₃O₄ film. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 32(2), 157-160.
27. Arregui, F. J., Liu, Y., Matias, I. R., & Claus, R. O. (1999). Optical fiber humidity sensor using a nano Fabry–Perot cavity formed by the ionic self-assembly method. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 59(1), 54-59.
28. Barriain, C., Matías, I. R., Arregui, F. J., & Lopez-Amo, M. (2000). Optical fiber humidity sensor based on a tapered fiber coated with agarose gel. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 69(1-2), 127-131.

29. Arregui, F. J., Cooper, K. L., Liu, Y., MATIAS, I. R., & CLAUS, R. O. (2000). Optical fiber humidity sensor with a fast response time using the ionic self-assembly method. *IEICE Transactions on electronics*, 83(3), 360-365.
30. Kronenberg, P., Rastogi, P. K., Giaccari, P., & Limberger, H. G. (2002). Relative humidity sensor with optical fiber Bragg gratings. *Optics letters*, 27(16), 1385-1387.
31. Jindal, R., Tao, S., Singh, J. P., & Gaikwad, P. (2002). High dynamic range fiber optic relative humidity sensor. *Optical Engineering*, 41(5), 1093-1096.
32. Gaston, A., Lozano, I., Perez, F., Auza, F., & Sevilla, J. (2003). Evanescent wave optical-fiber sensing (temperature, relative humidity, and pH sensors). *IEEE Sensors Journal*, 3(6), 806-811.
33. Muto, S., Suzuki, O., Amano, T., & Morisawa, M. (2003). A plastic optical fibre sensor for real-time humidity monitoring. *Measurement Science and Technology*, 14(6), 746.
34. Gastón, A., Pérez, F., & Sevilla, J. (2004). Optical fiber relative-humidity sensor with polyvinyl alcohol film. *Applied optics*, 43(21), 4127-4132.
35. Alvarez-Herrero, A., Guerrero, H., & Levy, D. (2004). High-sensitivity sensor of low relative humidity based on overlay on side-polished fibers. *IEEE Sensors Journal*, 4(1), 52-56.
36. Xu, L., Fanguy, J. C., Soni, K., & Tao, S. (2004). Optical fiber humidity sensor based on evanescent-wave scattering. *Optics letters*, 29(11), 1191-1193.
37. Shukla, S. K., Parashar, G. K., Mishra, A. P., Misra, P., Yadav, B. C., Shukla, R. K. (2004). Nano-like magnesium oxide films and its significance in optical fiber humidity sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 98(1), 5-11.
38. Tan, K. M., Tay, C. M., Tjin, S. C., Chan, C. C., & Rahardjo, H. (2005). High relative humidity measurements using gelatin coated long-period gratings sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 110(2), 335-341.
39. Zanjanchi, M. A., & Sohrabnezhad, S. (2005). Evaluation of methylene blue incorporated in zeolite for construction of an optical humidity sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 105(2), 502-507.

40. Yeo, T. L., Sun, T., Grattan, K. T. V., Parry, D., Lade, R., & Powell, B.D. (2005). Characterisation of a polymer-coated fibre Bragg gratings sensor for relative humidity sensing. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 110(1), 148-156.

41. ДСТУ ОHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог ОHSAS 18001:2007 (ОHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с

42. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_праор_0_00-7_15-18_01_ua.php

43. ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. : Мінбуд України, 2006. 154 с

44. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

45. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>

46. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

47. ДСНіПЗ.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>

48. Директива № 90/270/ЄЕС «Про мінімум вимог безпеки і гігієни праці при роботі з екранними пристроями - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/provisions-on-workload-ergonomical-and-psychosocial-risks/osh-directives/5>

49. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI

50. НАПБА.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

51. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

52. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-200

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

РАДІОЕЛЕКТРОННИЙ СЕНСОР ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИНИ З ЧАСТОТНОМОДУЛЬОВАНИМ ІНФОРМАЦІЙНИМ СИГНАЛОМ

Виконав: студент 4-го курсу, групи ТКР-206
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Озимий І.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ІРТС

Савицький А.Ю.

(прізвище та ініціали)

«14» 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

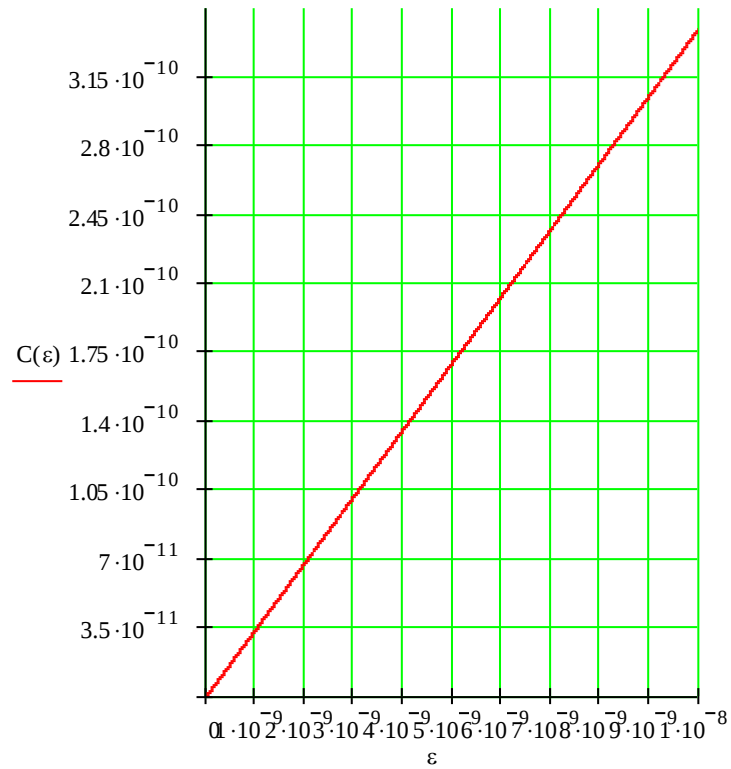


Рисунок 1 – Статична характеристика вологоміру

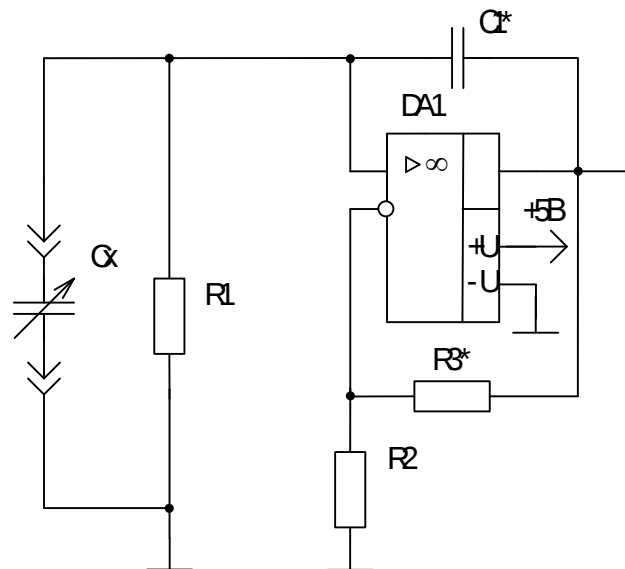


Рисунок 2 – Електрична схема пропонованого автогенератора для частотного перетворювача вологості

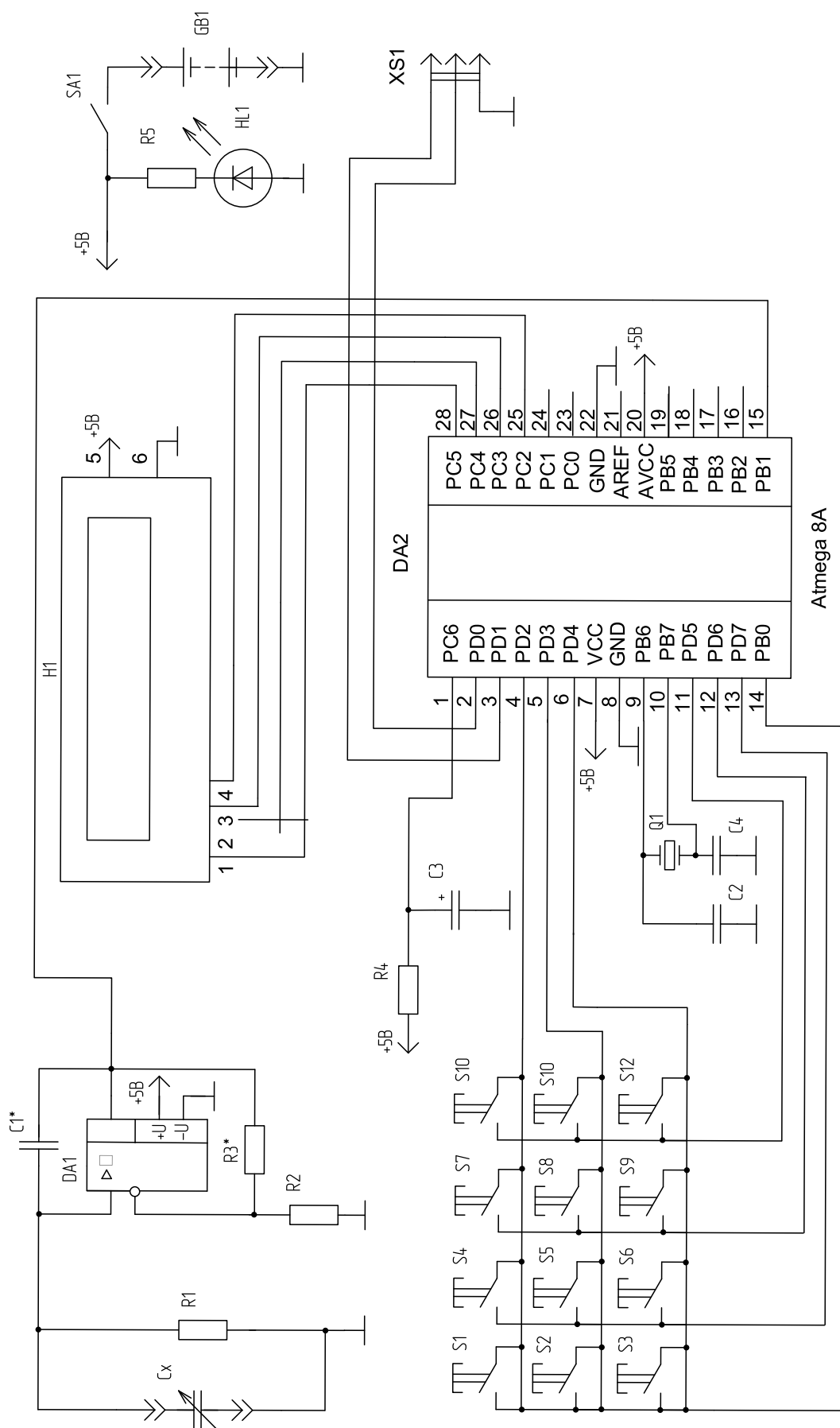


Рисунок 3 – Схема електрична принципова пристрою

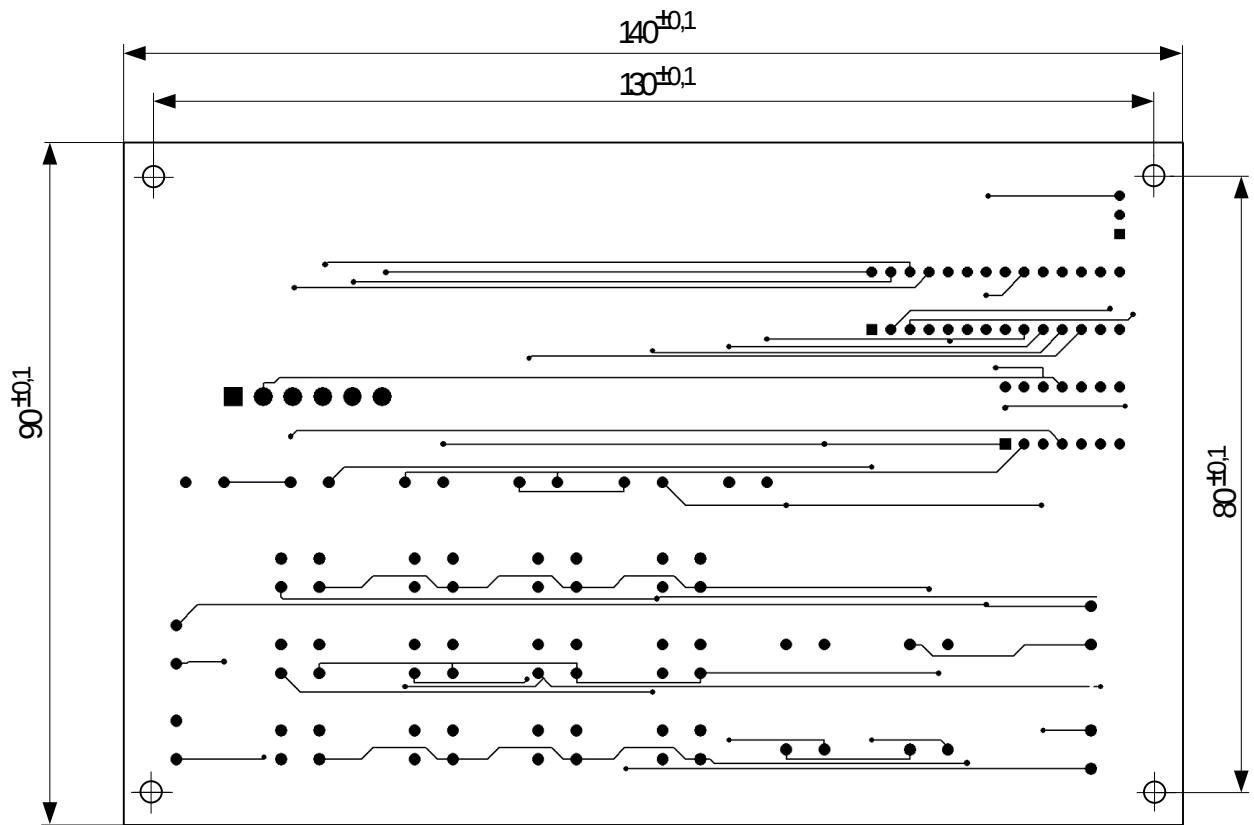


Рисунок 4 – Топологія друкованої плати пристрою (вигляд згори)

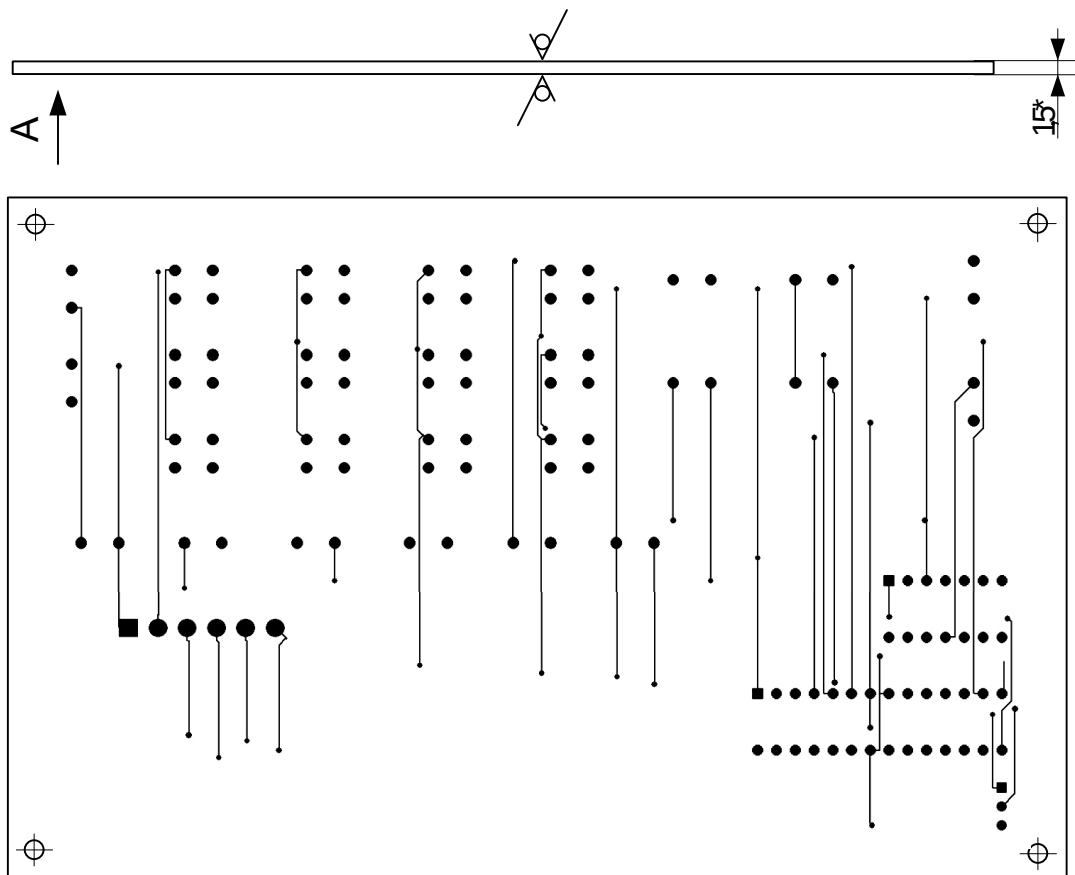


Рисунок 5 – Топологія друкованої плати пристрою (вигляд знизу)

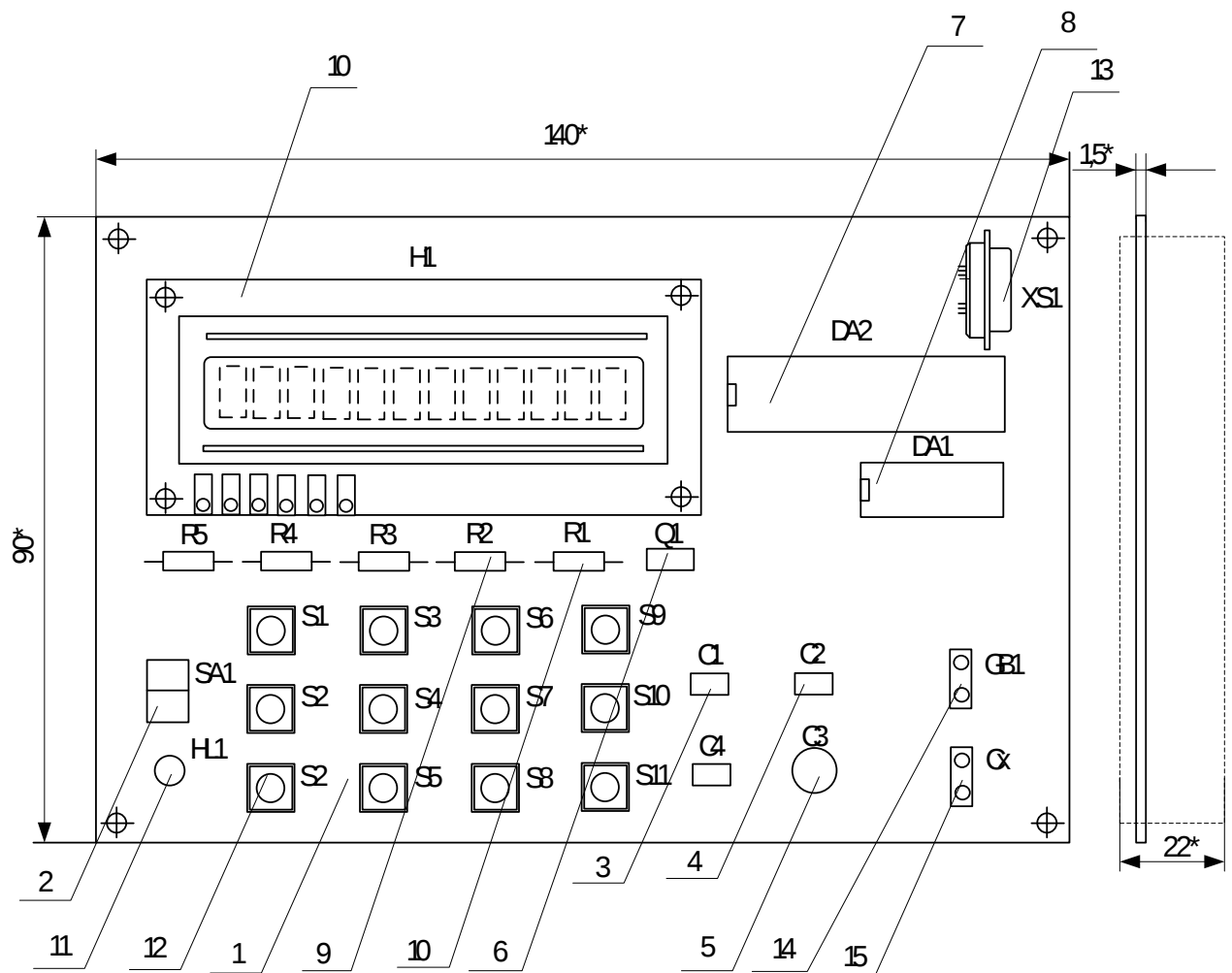


Рисунок 6 – Встановлення елементів на друкованій платі

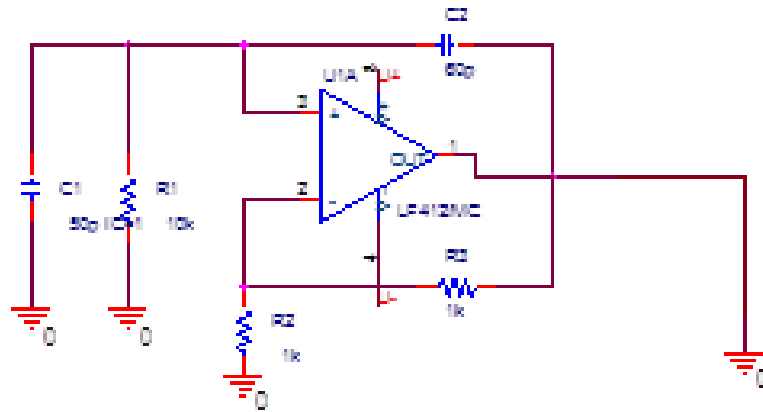


Рисунок 7 – Електрична схема автогенераторного перетворювача вологості деревини в пакеті програм OrCAD PSpice

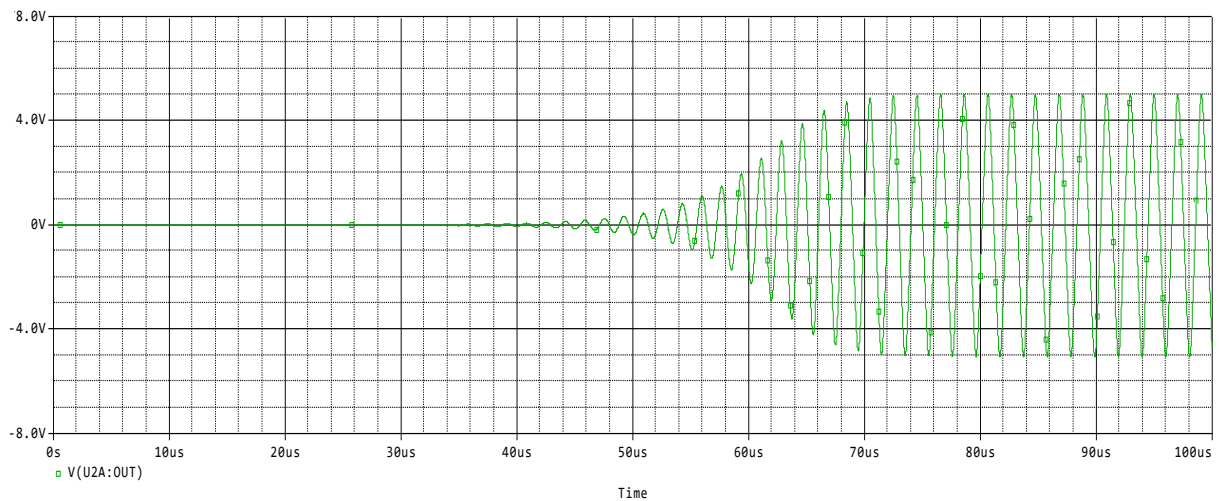


Рисунок 8 – Вихідний вимірювальний сигнал для вологості деревини C1

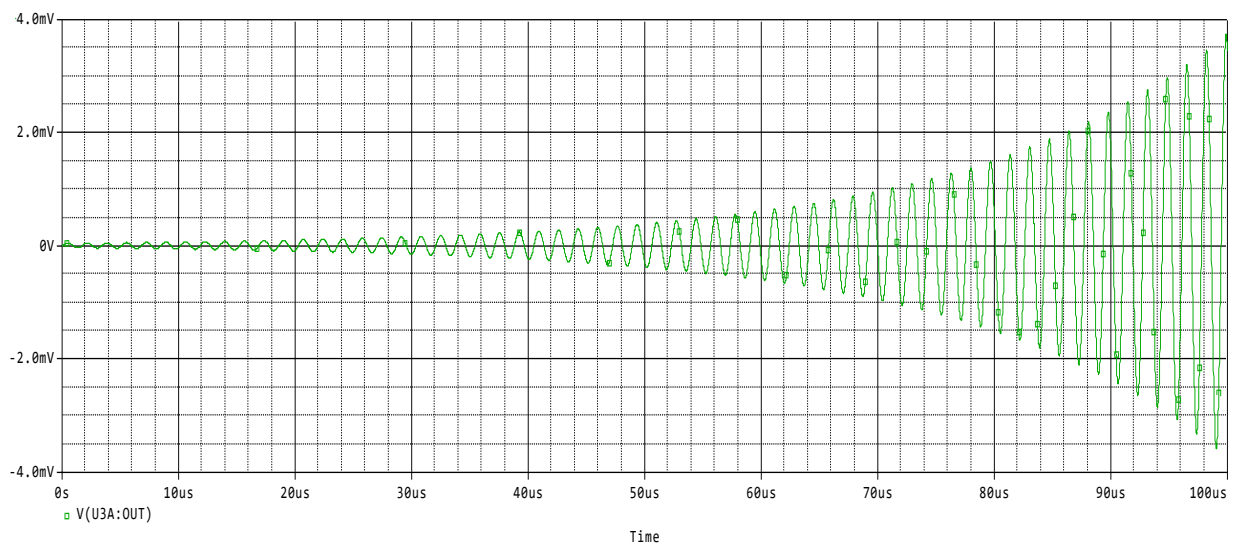


Рисунок 9 – Вихідний сигнал для вологості деревини C2

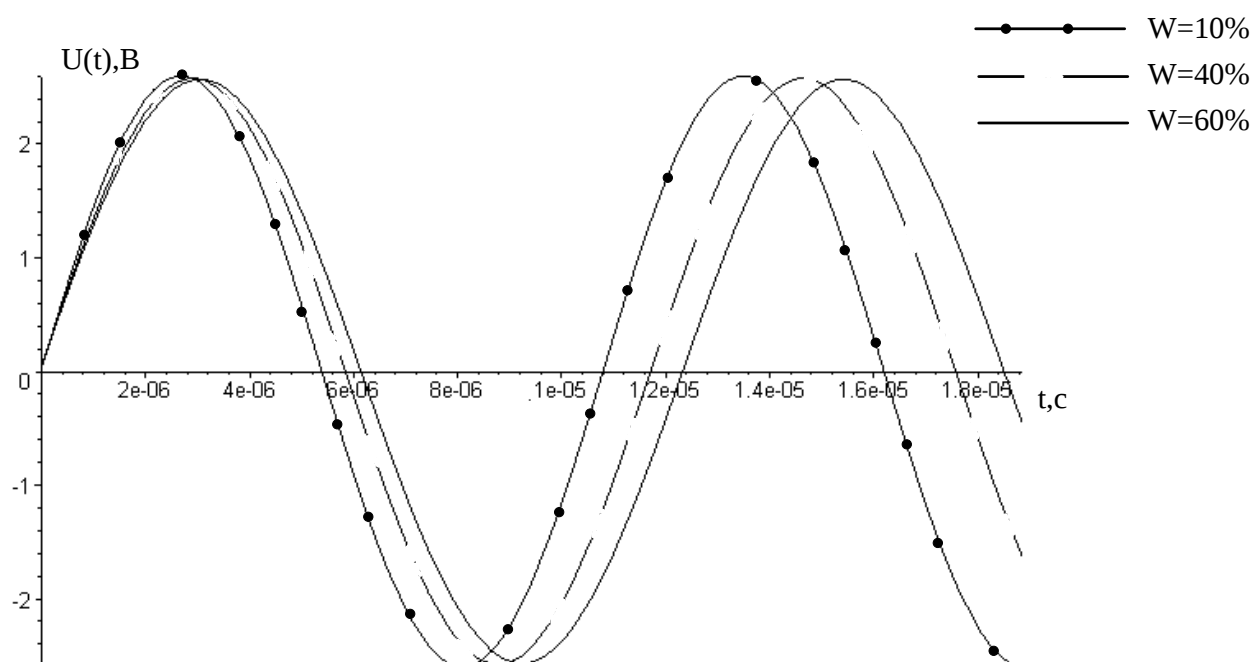


Рисунок 10 – Часові діаграми інформаційно-вимірювальних сигналів радіоелектронного сенсора вологості деревини з частотномодульованим інформаційним сигналом при трьох різних значеннях вологості деревини

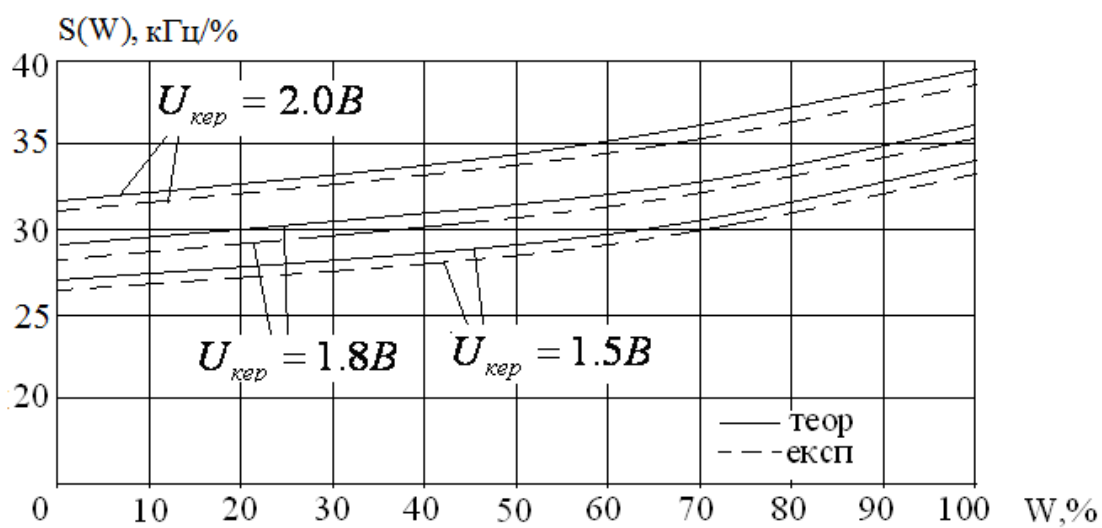


Рисунок 11 – Графік чутливості автогенераторного перетворювача вологості деревини

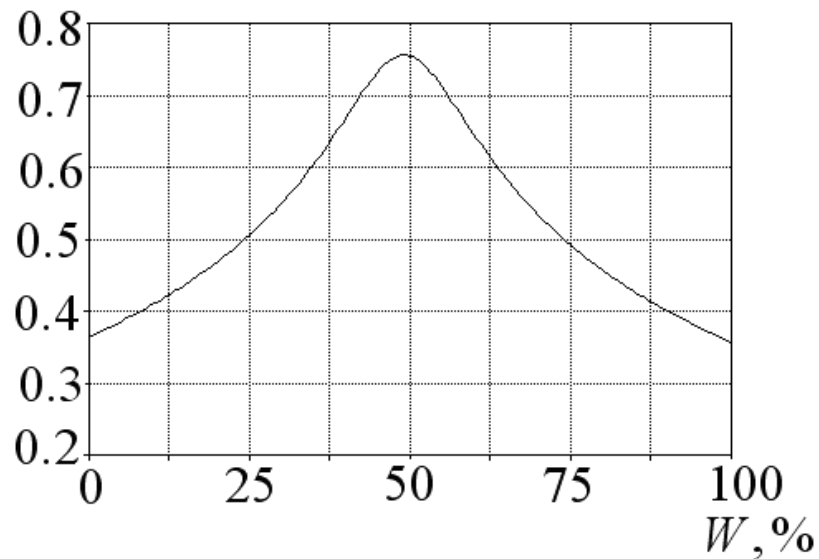


Рисунок 12 – Графік нормованої чутливості автогенераторного перетворювача вологості деревини

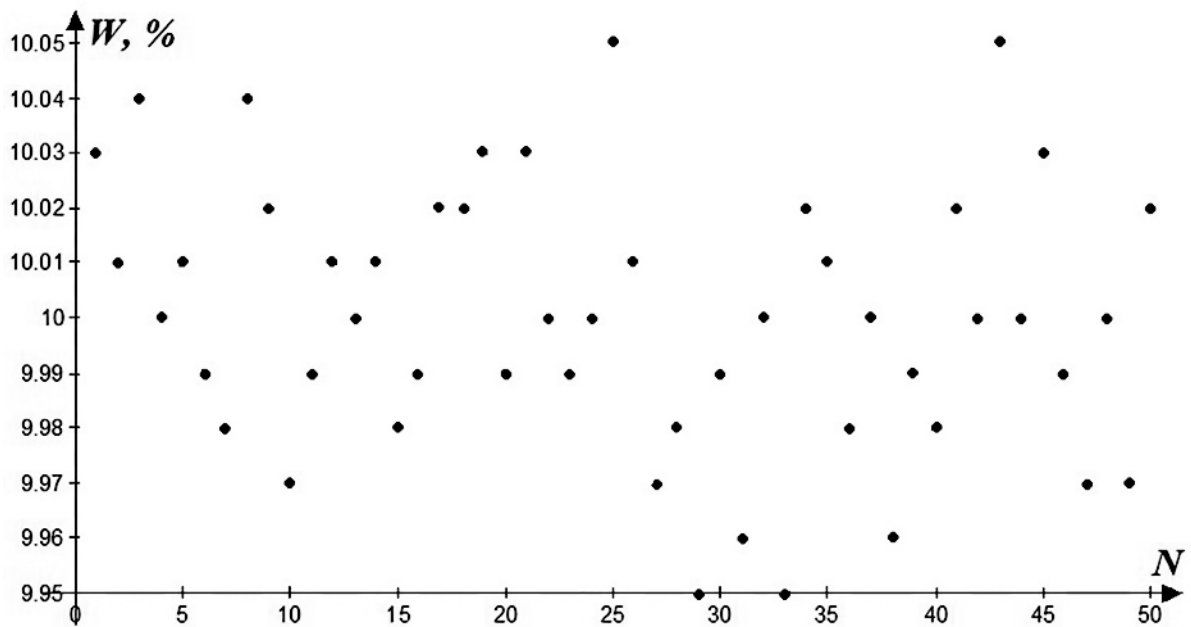


Рисунок 13 – Графік вимірюваного значення вологості деревини

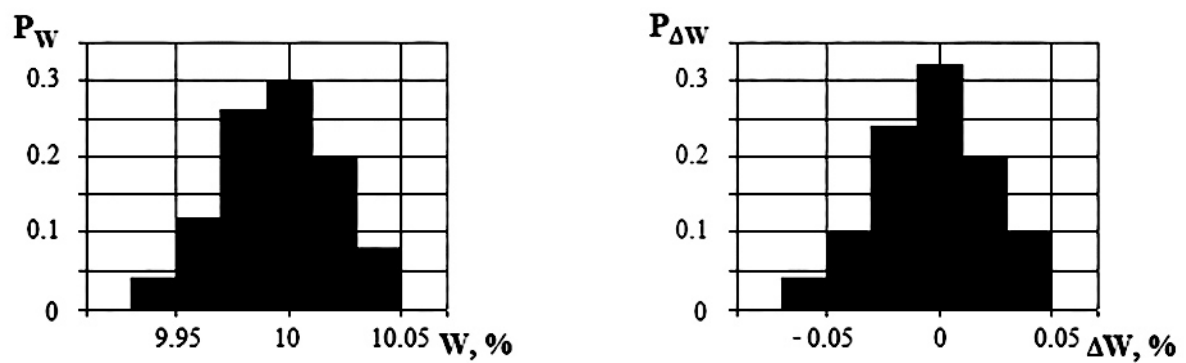


Рисунок 14 – Частотні гістограми: а) ймовірності значень вологості деревини, б) ймовірності значень похибки вимірювання

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**РАДІОЕЛЕКТРОННИЙ СЕНСОР ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИНИ З
ЧАСТОТНОМОДУЛЬОВАНИМ ІНФОРМАЦІЙНИМ СИГНАЛОМ**

**ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: «Радіоелектронний сенсор вологості деревини з частотно-модульованим інформаційним сигналом»

Тип роботи: БДР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

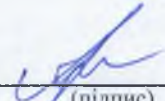
Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 77,7% Схожість 22,3%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

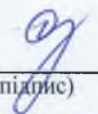
Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Олександр ЗВЯГІН
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Іван ОЗИМИЙ
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Антон САВИЦЬКИЙ
(прізвище, ініціали)