

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

Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ІВТ

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2020 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

«Інформаційні вимірювальні технології та системи»

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

на тему: Система вимірювання вологості деревинно-стружкової плити

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи ВМ-61-2

_____ Мостепан Катерина Михайлівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник

_____ доцент, д.т.н., проф. Шевченко Костянтин Леонідович

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

_____ (підпис)

Консультант

_____ (назва розділу)

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

_____ (підпис)

Рецензент

_____ доцент, к.т.н., доц. Павлишин Микола Миколайович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище ім'я по батькові)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____ (підпис)

Київ – 2020 року

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті розроблена система вимірювання вологості деревинно-стружкових плит та проведений розрахунок принципової схеми.

Розглянуто надвисокочастотний метод виміру вологості, який заснований на залежності параметрів електромагнітної хвилі, яка взаємодіє з контрольованим матеріалом, від його діелектричних характеристик. Найбільш поширеним НВЧ-методом є резонансний, який має максимальну чутливість при вимірюванні вологості. Наведена структурна схема реалізації резонаторного вологоміра.

В проєкті розроблена структурна, функціональна, а також принципова схема резонаторного вологоміра.

Проведений розрахунок відносних похибок складових низькочастотної частини та сумарна відносна похибка. Розглянуті заходи щодо забезпечення техніки безпеки.

ANNOTATION

In the diploma project the system of measurement of humidity of chipboards is developed and the calculation of the basic scheme is carried out.

The microwave method of humidity measurement is considered, which is based on the dependence of the parameters of the electromagnetic wave that interacts with the controlled material on its dielectric characteristics. The most common microwave method is resonance, which has the maximum sensitivity when measuring humidity. The structural scheme of realization of a resonator moisture meter is resulted.

The project develops a structural, functional, as well as a schematic diagram of the resonator moisture meter.

The calculation of the relative errors of the components of the low-frequency part and the total relative error. Measures to ensure safety are considered.

ЗМІСТ

ВСТУП	2
1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ КОНТРОЛЯ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ	8
1.1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ КОНТРОЛЯ	8
1.1.1 ВЛАСТИВОСТІ ДСП ПЛИТ	8
1.1.2 ЩІЛЬНІСТЬ	9
1.1.3 ВОЛОГОСТІЙКІСТЬ	9
1.2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ	10
1.2.1 ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧНИЙ МЕТОД	11
1.2.2 ДИСТИЛЯЦІЙНИЙ МЕТОД	11
1.2.3 ЕКСТРАКЦІЙНИЙ МЕТОД	11
1.2.4 КОНДУКТОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД	12
1.2.5. ДІЕЛЬКОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД	12
1.2.6 НАДВИСОКОЧАСТОТНІ (НВЧ) МЕТОДИ	13
1.2.7 РЕНТГЕНІВСЬКИЙ МЕТОД	13
1.3 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПРИЛАДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ	14
1.4 НВЧ-ВОЛОГОМІРИ	17
1.5 ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕРЕВИНИ ЯК ДІЕЛЕКТРИКА (ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОГИХ МАТЕРІАЛІВ)	20
1.6 ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ВОЛОГИХ МАТЕРІАЛІВ НА ВИМІРЮВАНІ ПАРАМЕТРИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ХВИЛІ НВЧ	23
1.7 ВИМІРЮВАННЯ В РЕЗОНАТОРАХ	24
1.8 ОЦІНКА РІЗНИЦІ РЕЗОНАНСНИХ ЧАСТОТ ОБ'ЄМНИХ РЕЗОНАТОРІВ	26
2. ТЕХНІЧНИЙ ОПИС	28
2.1 СТРУКТУРНА СХЕМА	28
2.1.1 ОПИС СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ	29
2.2.1 ОПИС ФУНКЦІЙНОЇ СХЕМИ	30

					ВМ61.050004.001 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата				
<i>Розроб.</i>		<i>Мостепан К.М.</i>			Система вимірювання вологості деревинно-стружкової плити Пояснювальна записка	Литера	Лист	Листов
<i>Перев.</i>		<i>Шевченко К.Л.</i>				у	2	57
<i>Тех.контр.</i>		<i>Шевченко К.Л.</i>				НТТУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, гр. ВМ-61-2		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Богомазов С.А.</i>						
<i>Затвердж.</i>		<i>Єременко В.С.</i>						

виконанням всіх умов державних стандартів, в тому числі і дотримання допустимих границь вологості матеріалів.

Найчастіше у багатьох людей з'являється потреба визначити вологу використаного матеріалу. Для цього застосовуються спеціальні прилади, що називаються вологомірами. Вони можуть різнитися відповідно до принципу діяльності, але крім того типами.

Кількісний вміст вологості, встановлений стандартами, обумовлюється найрізноманітнішими способами, які знаходяться в залежності з якостей регульованих використаних матеріалів. У наш час вивчаються і використовуються десятки різних способів встановлення вологи різних твердих тіл, рідин та газів. Багато із них увійшли до стандартів як обов'язкові при прийманні і контролі якості продукції; інші з успіхом використовуються при створенні експресних лабораторних і автоматичних промислових приладів – вологомірів.

Таким чином, вологомір для деревини має можливість бути корисний людям, які збираються збудувати дерев'яний будинок. Адже деревина, в якій буде дуже велика кількість вологості або, навпаки, досить сухе дерево, має можливість деформуватися через декілька років. Абсолютно, це призведе до деформації всієї споруди. Крім такого вологомір для дерева застосовується в меблевій промисловості, наприклад правильно висушене дерево вважається запорукою того, що меблі не зіпсуються через декілька років.

					<i>ВМ61.050004.001 ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

І в залежності від технології і якості виготовлення, такий параметр як ступінь набухання у воді може знаходитися в досить широкому діапазоні - від 5 до 30%.

На стійкість до вологи впливає те, який матеріал використовується для облицювання ДСП - наприклад, папір, пластик, шпон або плівка полімерна.

Найкращі властивості у вологих приміщеннях будуть у ДСП, облицюваного пластиком. Цей матеріал надає плитам додаткову жорсткість і краще захищає від вологи, ніж, наприклад, шпон і тим більше папір. Саме тому з давніх часів для кухонних меблів найбільш часто використовувалися листи ДСП, покриті пластиком[5].

1.2 Аналіз методів вимірювання вологості

Способи вимірювання вологи твердих матеріалів, рідин і газів, що базуються на перетворенні вологості в іншу фізичну величину з впровадженням сучасної вимірювальної техніки, нараховують усього кілька десятків років, деякі з них були розроблені в останні роки.

Способи вимірювання вологи поділяються на прямі і опосередковані. У прямих методах проводиться безпосереднє розділення матеріалу на суху речовину і вологу. А в опосередкованих методах вимірюється величина, функціонально пов'язана з вологістю матеріалу. Класифікація методів виміру вологості приведена на рисунку 1.2.

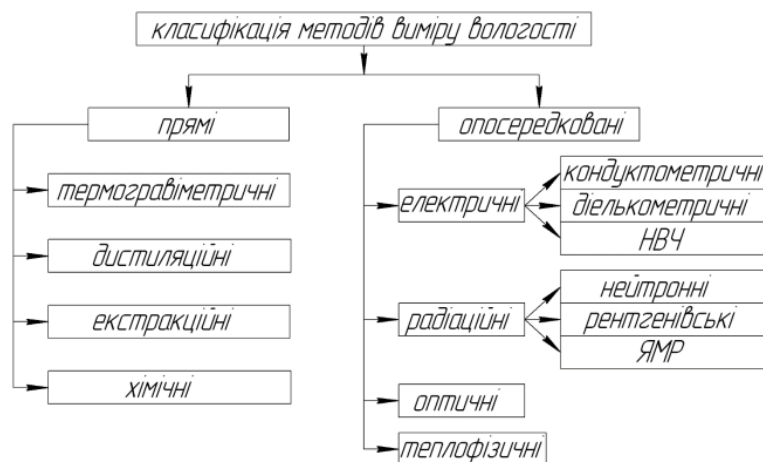


Рисунок 1.2 – Класифікація методів виміру вологості

1.2.1 Термогравіметричний метод

Термогравіметричний метод застосовується для визначення вологості різних матеріалів і являється найбільше розповсюдженим методом. Він полягає в тому, що для визначення вологості матеріалу попередньо відбирають невеликий зразок і зважують його. Потім за допомогою повітряного чи теплового сушіння видаляють вологу, знову зважують зразок після сушіння і за різницею маси вологого і сухого зразка визначають вологість матеріалу.

Перевага методу: має високу точність, тому він використовується для метрологічного забезпечення нових типів вологомірів.

Недолік методу: тривалість виміру[6].

1.2.2 Дистиляційний метод

Дистиляційний метод полягає в тому, що зразок, який досліджується, потрібно підігріти в посудині з певною кількістю рідини. Цю рідину не можна змішувати з водою. Дистиляційні методи були розроблені для різних матеріалів.

Перевага методу: абсолютна похибка 1%.

Недолік методу: апаратне оснащення громіздке і незручне у використанні.

1.2.3 Екстракційний метод

Екстракційні методи засновані на добуванні вологи з досліджуваного зразка твердого матеріалу і визначенні характеристик рідкого екстракту, що залежать від його вмісту вологи - щільності, показники заломлення, температури кипіння або замерзання.

У непрямих методах вимірювання оцінка вологості матеріалу проводиться по зміні різних його властивостей.

Недоліком цього методу є необхідність у додатковій інформації про щільність матеріалу; крім того, на результат вимірювання впливає вміст в матеріалі повітря і водорозчинних компонентів (солі і т.д.). [7].

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

BM61.050004.001 ПЗ

Аркуш

9

1.2.4 Кондуктометричний метод

Вимірювання електричної провідності матеріалу на постійному струмі і змінному струмі промислової або звукової частоти здійснюється в кондуктометричних вологомірах.

Електропровідність твердого матеріалу визначається електролітами, розчиненими у воді ці електроліти містяться головним чином в самому матеріалі. При цьому характер залежності питомої електропровідності матеріалу від вмісту вологи визначається розподілом вологи в нім, залежним у свою чергу від пористої структури матеріалу, форми пор, їх розмірів і характеру розподілу.

Перевага: простота схеми і конструкції вимірювального приладу.

Недолік: вплив на результат вимірювання хімічного складу досліджуваної речовини, температури, щільності, а також вузький діапазон виміру обмежує сферу використання цього методу.

1.2.5 Діелькометричний метод

Для діелькометричних методів характерний вимір діелектричних властивостей (комплексної діелектричної проникності та її складових) матеріалу в широкому діапазоні частот - від звукових до надвисоких; вимірювання на НВЧ мають ряд особливостей, через що вони виділені в самостійну підгрупу.

У діелькометричному методі найчастіше використовуються середньохвильовий і короткохвильовий ($f = 0,1-30$ МГц) діапазони частот або надвисокі частоти (НВЧ). Практично існує також проміжна область частот. Граничною частотою для систем із зосередженими параметрами можна вважати 100 МГц.

Перевага: менша чутливість до щільності і температури матеріалу, швидкодія і висока точність, похибка 0,5%.

Недолік: при використанні цього методу на вологісних, частотних і температурних характеристиках сильно дається взнаки щільність матеріалу в первинному перетворювачі та гранулометричний склад матеріалу[8].

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ВМ61.050004.001 ПЗ

Аркуш

10

1.2.9 Оптичний метод

Оптичні методи засновані на залежності оптичних властивостей матеріалів від їх вологоутримання.

Для твердих матеріалів використовується інфрачервона і видима області спектру.

1.3 Огляд існуючих приладів вимірювання вологості

При виборі вимірника вологості деревини потрібно звертати увагу на такі характеристики як діапазон вимірювання вологості, похибка вимірювань, діапазон виміру температури (якщо прилад оснащений такою функцією), глибину сканування (для безконтактних приладів), а також на список порід дерева, які можна вимірювати даними приладом. Вимірювачі вологості деревини, також як і багато інших приладів, можуть бути виконані у вигляді стаціонарних або портативних пристроїв. Вибір типу виконання вологоміра визначається умовами, в яких буде вимірюватися вологість.

Наприклад, при вимірах вологості продукції деревообробних заводів, пиломатеріалів, ламінованого бруса і т.д. краще підійдуть стаціонарні прилади, які можна встановити на декількох етапах виробництва.

Для меблевих фабрик, особливо там, де збирання меблів проводиться вручну, краще використовувати портативний прилад. При складанні меблів дуже важливо перевіряти всі складові частини на однаковий рівень вмісту вологи, так як це гарантія довгострокової цілісності кінцевого виробу.

Портативні вологоміри використовуються при виробництві вікон і дверей, паркету, панельних меблів, погонажних виробів і багатьох інших виробів з дерева.

Вологоміри призначені для майже миттєвого визначення вологості матеріалу. Принцип роботи приладів заснований на вимірюванні питомого електричного опору дерева. Цей параметр змінюється в залежності від кількості води в структурі матеріалу, на що і реагує пристрій. Вимірювачі розраховують ступінь вологості з похибкою від 0,5 до 4% за кількома параметрами:

					<i>ВМ61.050004.001 ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

Дієлькометричний або безконтактний вологомір створений на основі генератора радіочастот, який і дозволяє отримати досить точний результат. Перед роботою з приладом на ньому слід встановити вид деревини, що значно спрощує завдання тому, хто виробляє виміри. Після того, як необхідна інформація встановлена, прилад досить просто притулити до матеріалу і натиснути кнопку.

Одна з переваг - простота роботи. Так як для роботи з вологоміром не потрібно докладати ніяких фізичних зусиль, впорається з ним будь-яка людина. Ну а друга перевага - дбайливе ставлення до матеріалу. Після вимірювання вологості на деревині або готовому дерев'яному виробі не залишається ніяких слідів[11].

Вологомір будівельних матеріалів ВСМ-1 - універсальний інструмент для визначення рівня водонасичення в дереві, камені, бетоні в процесі будівництва і при ремонтних роботах. У прилад можна занести 25 градууювальних залежностей, що знизить величину похибки результату. Пристрій широко застосовується в лабораторних дослідженнях. Технічні характеристики:

1. Товщина контрольованого матеріалу - не менше 50 мм
2. Час одного виміру - не більше 1,5 сек.
3. Основна абсолютна похибка вимірювання вологості:
в діапазоні 0,5 ... 2,0% $\pm 0,3\%$
в діапазоні 2,0 ... 10,0% $\pm 0,8\%$
в діапазоні 10,0 ... 20,0% $\pm 1,0\%$
в діапазоні 10,0 ... 20,0% $\pm 1,5\%$
в діапазоні 30,0 ... 40,0% $\pm 2,0\%$ [12]

Безконтактний вологомір hydro condtrol easy - прилад вітчизняного складання. Призначений для швидкого вимірювання вологості в пиломатеріалах, брусів по всій довжині. Працює з 7 групами порід дерева. Технічні характеристики вологоміра Easy Hydro CONDROL:

1. Діапазон вимірювання вологості: деревина 2-60%;
2. Основна абсолютна похибка вимірювання вологості в діапазоні 2 ... 10%: менше 0,8;

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

BM61.050004.001 ПЗ

Аркуш

14

3. Основна абсолютна похибка вимірювання вологості в діапазоні 10 ... 20%: менше 1;
4. Основна абсолютна похибка вимірювання вологості в діапазоні 20 ... 30%: менше 1,5;
5. Основна абсолютна похибка вимірювання вологості в діапазоні 30 ... 45%: менше 2;
6. Основна абсолютна похибка вимірювання вологості в діапазоні вище 45%: не нормується.

Прилад оснащений 13 градуувальними залежностями твердих матеріалів з каменю різної щільності і 15 алгоритмами на деревину[13].

Вологоміри відрізняються основними параметрами: точністю визначення, наявністю ідентифікації різних порід дерев, глибиною пропускання вимірювальних імпульсів. Має значення і розмір похибки: для виробництва відповідальних виробів необхідне отримання точних і достовірних даних. З іншого боку, на виробництві прилад стане в нагоді і для вимірювання вологості стовбура - сировини, і стан готової дошки після сушки. У всіх випадках потрібні різні характеристики вологоміра.

1.4 НВЧ-вологоміри

Існують вологоміри, засновані на принципі зміни хвильових характеристик відображеної електромагнітної хвилі при зміні вологості матеріалу. Принципова схема одного з них дана на рис.1.4.

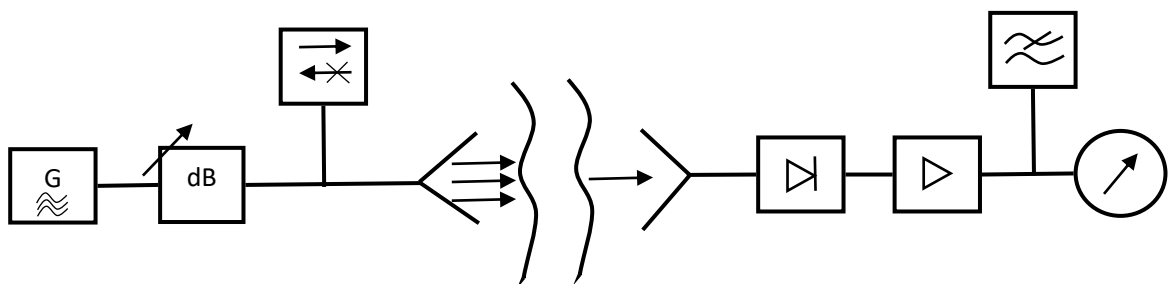


Рисунок 1.4 – Структурна схема амплітудно-фазового НВЧ-вологоміра

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

На рисунку наведена структурна схема амплітудних вологомірів НВЧ, яка основана на принципі ослаблення. У неавтоматичних вологомірах використовують одноканальну схему по методам заміщення (відлік за шкалою атенюатора). Установка складається з двох частин: приймально-вимірювального тракту(приймальна антена, детектор, підсилювальний блок, вимірювальний пристрій) і передавального тракту(передавальна антена, вимірювальний атенюатор, вентиль, генератор надвисоких частот).

Структурна схема вологоміра для вимірювання вологості тонколистових матеріалів зображена на рис. 1.5[14].

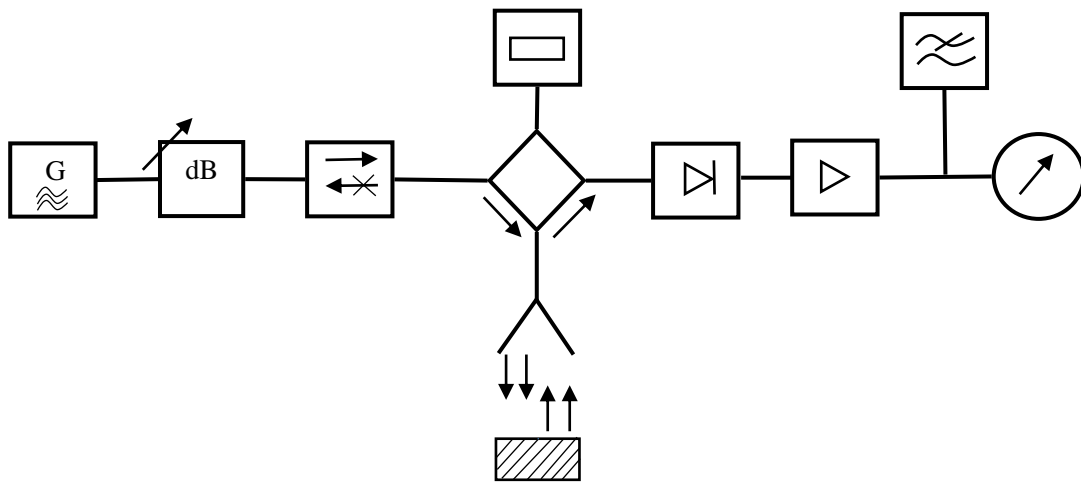


Рисунок 1.5 – Структурна схема НВЧ-вологоміра для вимірювання вологості тонколистових матеріалів

Такий вологомір має високу чутливість, так як в ньому використовується мостова схема - подвійний хвилеводний трійник , в плече якого включений НВЧ-генератор через вентиль і змінний атенюатор з короткозамикачем. Сигнал антени, відбитий від передньої межі, а в разі тонкого матеріалу і від задньої границі зразка, порівнюється в трійнику по амплітуді і по фазі з сигналом від атенюатора з короткозамикачем.

У разі рівності цих сигналів по амплітуді і по фазі сигнал в плечі відсутній і показання індикатора, підключеного через підсилювач до детектора, рівні 0.

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ВМ61.050004.001 ПЗ

Аркуш

16

Великою перевагою пристроїв, що працюють по методу відбитої хвилі, є одностороннє розташування приймально-передавальних антен, недолік - відсутність інтегральної оцінки вологості для матеріалів великої товщини або в разі великих втрат (не вся товщина матеріалу взаємодіє з хвилею)[15].

Важливе місце серед НВЧ методів вологометрії займають резонаторні методи. Перш за все ці методи почали застосовуватися для контролю вологості повітря. НВЧ сигнал від генератора коливачої частоти надходить на обидва резонатора, які мають однакові початкові резонансні частоти. Сигнали з обох резонаторів детектуються і подаються з формувача імпульсів, які запускають тригер. При заповненні вимірювального резонатора вологим матеріалом, його резонансна частота зменшується і він буде резонувати в різний час по відношенню до опорного резонатора. Тому на виході формувачів імпульси будуть зрушені один щодо одного, а тривалість імпульсу на виході тригера може служити мірою вологості. З використанням даного принципу було розроблено вологомір для паперу з широким діапазоном вимірювання вмісту води. Нерідко застосовуються резонаторні вологоміри у яких вимірюється параметром є добротність резонатора або фазовий зсув. Але контроль вологості твердих матеріалів цими методами вимагає, як правило, контакту з матеріалом. Тому, з точки зору безконтактності контролю, цікавий метод контролю із застосуванням резонатора біжучої хвилі[16].

Резонансна довжина хвилі або частота визначається довжиною хвилі в сегменті хвилевода і кількістю півхвиль, складених по його довжині. Ці ж фактори також характеризують розподіл електромагнітного поля в об'ємному резонаторі. Резонатори розглянутого типу називаються хвилеводами. Вони можуть бути виконані з прямокутних, круглих, коаксіальних ліній передачі та інших хвилеводів. Зменшив лінії електропередачі в кільце можна отримати кільцевий резонатор, де умовою резонансу є рівність фаз вихідної хвилі і хвилі, яка оточувала резонатор в кільці. Описані вище резонатори мають закриту металеву оболонку, всередині якої зосереджено електромагнітне поле. Тому резонатори такого типу називаються замкнутими. Зміна електропровідності середовища викликає зміну втрат і, відповідно, зміна власної добротності

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ВМ61.050004.001 ПЗ

Аркуш

17

електричного поля невелика кількість вільних електричних зарядів створює незначний струм провідності, а основні заряди зміщуються. Позитивні заряди зміщуються в напрямку зовнішнього поля, а електрони - в протилежному напрямку.

Вологий матеріал є гетерогенним середовищем, що складається з скелета і пов'язаної речовини в різному фазовому стані. У таких тілах мають місце всі види поляризації, характерні для напівпровідників. Крім того, вільні електрони і іони, починають переміщатися в межах кожного включення, яке набуває дипольний момент і поводить себе подібно до гігантської поляризованої молекули.

При іонному характері провідності цих включень час релаксації структурної поляризації складає 10^{-3} - 10^{-8} сек. Крім того, у вологих матеріалах містяться електроліти. При постійному струмі спостерігається явище електролізу, пов'язане з переміщенням дисоційованих іонів - позитивних до негативного електроду, а негативних - до позитивного. У дво- і трифазних системах це явище супроводжується електроосмосом, тобто переміщенням рідини, що має заряд одного знака, до електроду протилежних полярностей.

У діелектрику поворот диполів і їх коливання під дією зовнішнього електричного поля пов'язані з виділенням тепла. Таким чином, енергія, що витрачається на поляризацію діелектрика, генерується у вигляді тепла.

Основними характеристиками деревини при високочастотному нагріванні в електричному полі високої частоти, як і для будь-якого іншого діелектрика, є діелектрична проникність ϵ і тангенс кута втрат $\operatorname{tg} \delta$. Так як деревина являє неоднорідний діелектрик, то її характеристики сильно змінюються при зміні вологості деревини. Так, відносна діелектрична проникність сухої деревини $\epsilon_{\text{відн}} = 2 \div 4$ (при вимірах на постійному струмі), а відносна діелектрична проникність води $\epsilon_{\text{відн}} = 81$ од. Якщо уявити такий випадок, коли вологість деревини змінюється від 0% до 100%, то, очевидно, діелектрична проникність її може зрости від 2-4 до 81 одиниці.

Як видно з рисунка 1.6 тангенс кута втрат при сталій частоті струму з ростом вологості деревини зростає, доходить до максимуму і падає.

										Аркуш
										19
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата						

BM61.050004.001 ПЗ

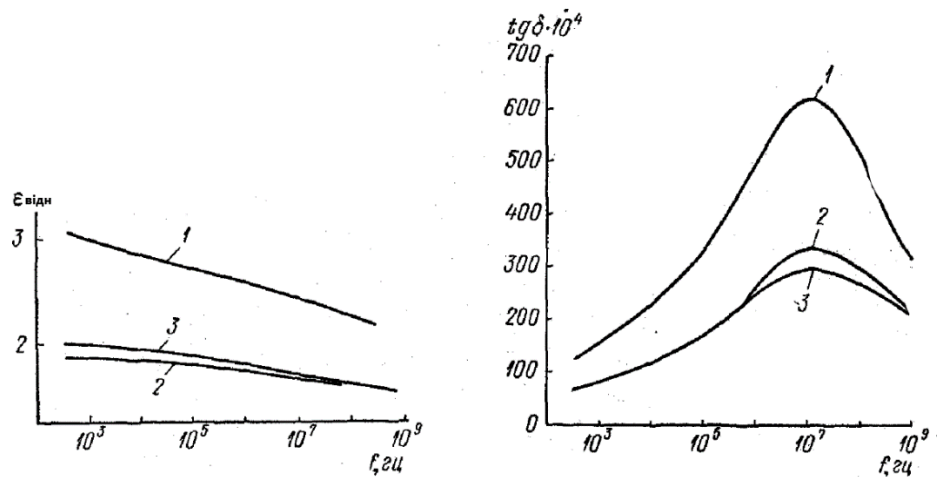


Рисунок 1.6 – Залежність $\epsilon_{\text{відн}}$ і $\text{tg } \delta$ деревини у висушеному стані від частоти струму при $T=20^\circ\text{C}$

Такий характер зміни $\text{tg } \delta$ пояснюється зростанням питомої електропровідності при збільшенні вологості, з одного боку, і діелектричної проникності - з іншого. Крім неоднорідності, деревина ще і анізотропна, тобто властивості її в різних напрямках неоднакові. Тому характеристики, виміряні в різних напрямках, мають неоднакові значення.

На рисунку 1.7 показано розташування осей x , y , z на дереві, за якими прямував вектор напруженості електричного поля E при визначенні характеристик деревини. Вісь x спрямована паралельно осі стовбура, вісь y по радіусу, тобто перпендикулярно річним кільцям і вісь z по дотичній до річних кілець.

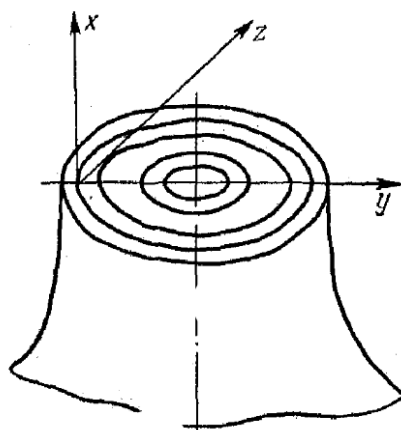


Рисунок 1.7 – Основні напрямки орієнтації електричного поля деревини

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ВМ61.050004.001 ПЗ

Аркуш

20

1.6 Вплив температури вологих матеріалів на вимірювані параметри електромагнітної хвилі нвч

У зоні контролю вологості постійно змінюються параметри як самого досліджуваного матеріалу, так і навколишнього середовища. Такими параметрами є вологість навколишнього середовища, товщина досліджуваного матеріалу, температура матеріалу і навколишнього середовища. Постає питання про ступінь впливу перерахованих параметрів на результати вимірювання.

Температурні показники відбивають ту обставину, що у вологовмістких матеріалів температура є другою (після вологості) величиною за ступенем впливу на електричні властивості.

Вимірювання діелектричних властивостей води з температурою обумовлено особливостями атомно-молекулярної будови молекул H_2O і в першу чергу наявністю дипольної релаксації в діапазоні надвисоких частот. Як видно з рисунків 1.8 з ростом температури дійсна частина електричної проникності ϵ' монотонно спадає в низькочастотну частину НВЧ-діапазона, потім проходить через широкий максимум і монотонно зростає в високочастотну частину спектра.

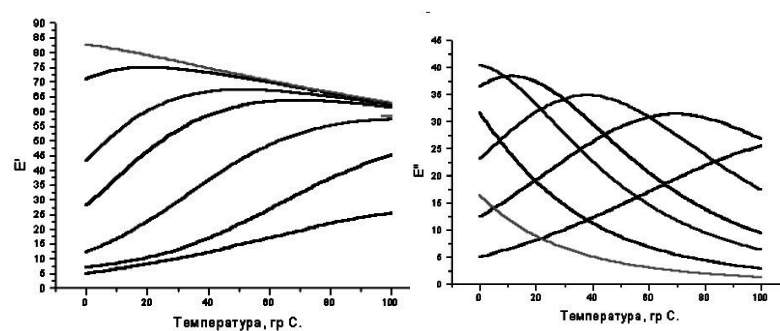


Рисунок 1.8 – Залежність ϵ' та ϵ'' води від температури

З ростом температури спостерігається зменшення ϵ'' , а в міру зростання частоти електромагнітних коливань значення ϵ'' проходить через максимум, обумовлений дисперсією молекул води в цьому діапазоні. Загасання експоненційно убуває з ростом температури води.

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ВМ61.050004.001 ПЗ

Аркуш

21

$$\varepsilon' = 1 + 0,539 \left(\frac{R}{r}\right)^2 \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0},$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{0,269}{\varepsilon'} \left(\frac{R}{r}\right)^2 \left(\frac{1}{Q} - \frac{1}{Q_0}\right),$$

де λ_0 - резонансна довжина хвилі резонатора без матеріалу;

$\Delta\lambda$ - збільшення довжини хвилі при внесенні матеріалу;

Q_0 - добротність резонатора без матеріалу;

Q - добротність резонатора з матеріалом.

Для матеріалів з великою вологістю застосовуються резонатори з коливаннями типу H_{011} . В цьому випадку визначаються по формулах:

$$\varepsilon' = \frac{R^2 \beta_1^2 + 10,6}{R^2 \beta_0^2 + 10,6},$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{p(2l_0 - s) - 1/\varepsilon[2(l_2 - l_1) - q]}{p(2l_1 - s)} \left(\frac{1}{Q} - \frac{1}{Q_0}\right),$$

де $\beta_1 = 2\pi/\lambda$; $\beta_0 = 2\pi/\lambda_0$;

R – радіус циліндра;

λ і λ_0 – довжина хвилі в резонаторі з матеріалом і без нього;

p, q, s – коефіцієнти:

$$p = \frac{\sin^2 \beta_0 (l_2 - l_1)}{\sin^2 \beta_1 l_1}; \quad q = \frac{\sin^2 \beta_0 (l_2 - l_1)}{\beta_0}; \quad s = \frac{\sin 2 \beta_1 l_1}{\beta_1},$$

l_1 - товщина зразка матеріалу;

l_0 – довжина резонатора;

$l_1 = l_0 - l_2$.

При вимірюванні вологості різних матеріалів у відкритому резонаторі його добротність розраховують за формулою (ненавантажений резонатор):

$$Q = 2\pi d/\lambda(1 - k),$$

де d – відстань між дзеркалами;

k - сумарний еквівалентний коефіцієнт відбиття за один прохід.

Прямокутний резонатор являє собою замкнутий з обох кінців відрізок прямокутного хвилеводу. При вимірах вологості матеріалів експериментально встановлюють залежність між змістом води W і параметрами резонатора - частотою F і добротністю Q .

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

1.8 Оцінка різниці резонансних частот об'ємних резонаторів

Спосіб визначення різниці резонансних частот датчиків (Д) полягає в наступному. Високочастотні коливання порушують два резонансних Д, виділяються огинаючі напруги (ОГН), після чого формують два тимчасові інтервали і визначають частоту розладу Д. Ціль досягається тим, що виділені ОГН диференціюють, після чого одержують знакозмінну криву напруги з двома екстремальними точками, відповідними точкам максимальної кривизни резонансної кривої, формування тимчасових інтервалів проводять по цих точках, і, вимірявши напівсуму цих інтервалів, визначають частоту розладу Д незалежно від їх добротності. Спосіб дозволяє істотно зменшити погрішність вимірювання малих значень частоти розладу завдяки виключенню впливу мертвої зони спрацьовування тригера при близьких за часом запускаючих імпульсів і асиметрії рівнів обмеження в підсилювачах-формуєвачах імпульсів.

Високочастотні коливання з частотою, що лінійно змінюється, порушують два резонансні датчики. При попаданні частоти коливань в смугу пропускання датчика на виході амплітудного детектора виділяється огинаюча, повторююча форму резонансної кривої резонансного датчика (рис. 1.8, а). При подальшому розгортанні частоти коливання потрапляють в смугу пропускання іншого резонансного датчика і на виході амплітудного детектора виділяється огинаюча, повторююча форму резонансної кривої цього датчика (рис. 1.8, б).

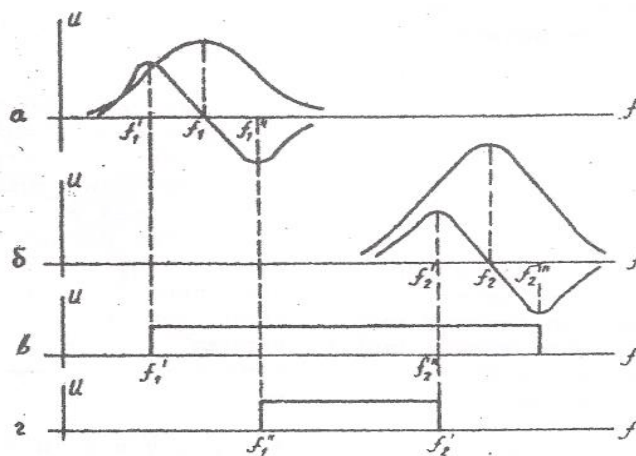


Рисунок 1.8 – Часові діаграми способу визначення різниці резонансних частот датчиків

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

Після диференціювання напруги огинаючої одержуємо знаковмінну криву напруги з двома екстремальними точками, відповідними точкам максимальної кривизни резонансної кривої (рис. 1.8, б).

По значеннях частот, відповідним екстремальним значенням кривої після диференціювання, формують два тимчасові інтервали. Перший часовий інтервал формують між частотами, відповідними максимуму огинаючої, що продиференціювала, напруги першого резонансного датчика і мінімуму огинаючої, що продиференціювала, другого резонансного датчика.

Вимірявши напівсуму першого і другого тимчасових інтервалів, можна визначити частоту розладу двох резонансних датчиків незалежно від їх добротності.

Безконтактність методу виключає спотворення температурних, вологісних і інших полів в масі. Вимірювання діелектричних параметрів НВЧ-вологомірами дозволяє отримати інформацію не тільки про вологість, але і про процеси, пов'язаних з фазовими і хімічними перетвореннями, про зміну структури, фазовий склад зв'язаної води в продукті і т.д.

НВЧ-метод можна застосовувати і при визначенні вмісту сухої речовини у водних емульсіях, суспензіях і розчинах.

Точність методу обмежується в основному макроскопічної неоднорідністю матеріалу.

Важливими плюсами вологомірів НВЧ вважаються: можливість безконтактних вимірювань (у вільному просторі), висока чутливість, необмежена верхня межа вимірювань, маленький вплив на результати вимірювань хімічного складу матеріалу.

					<i>ВМ61.050004.001 ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		25

2 ТЕХНІЧНИЙ ОПИС

2.1 Структурна схема

Аналіз, наведений в першому розділі показав необхідність розробки системи резонансного вологоміра, яка дозволить вимірювати вологість ДСП.

Структурна схема зображена на рисунку 2.1.

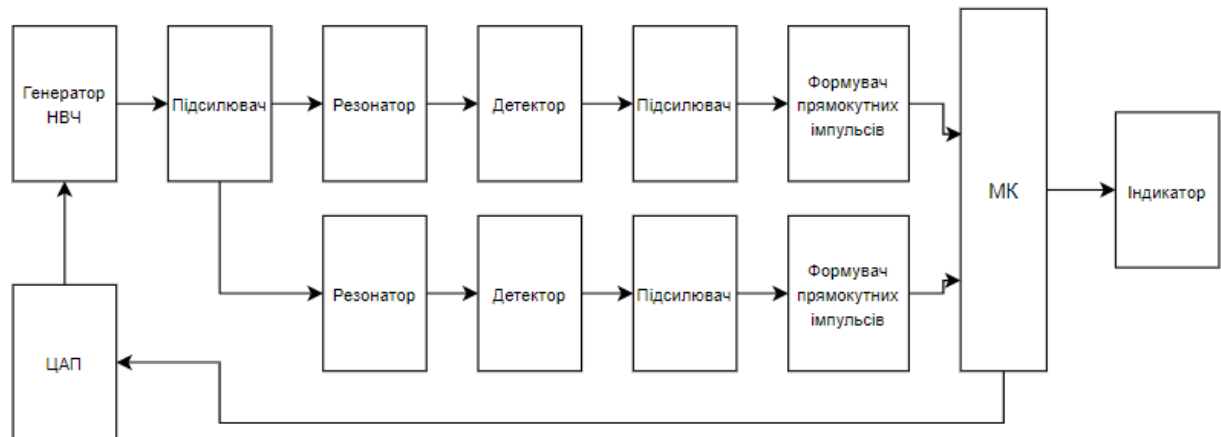


Рисунок 2.1 – Структурна схема резонансного вологоміра для вимірювання вологості ДСП

До складу структурної схеми входять:

Надвисокочастотний генератор;

Підсилювач;

Резонатор;

Детектор;

Формувач прямокутних імпульсів;

МК - мікроконтролер;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;

Індикатор.

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ВМ61.050004.001 ПЗ

Аркуш

26

чином, на виході схеми збігу формуються пакети імпульсів, кількість імпульсів в яких пропорційна вологості матеріалу. Імпульси рахуються лічильником, а відповідний код подається на цифровий індикатор, проградуєований в одиницях вологості.

2.2 Функціональна схема розроблюваної системи резонансного вологоміра для вимірювання вологості ДСП

Відповідно до структурної схеми, представлені вище, була розроблена наступна функціональна схема пристрою, яка приведена на рисунку 2.2.

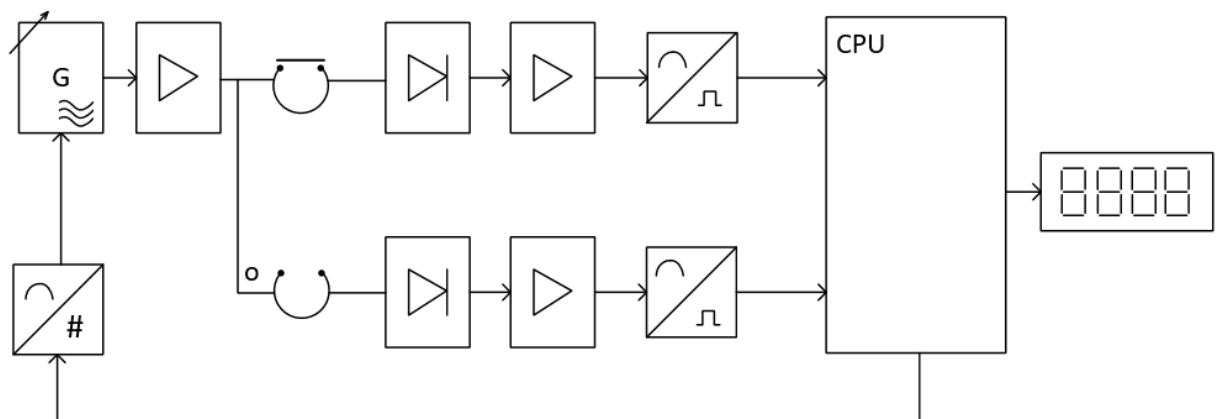


Рис 2.2 – Функціональна схема резонансного вологоміра для вимірювання вологості ДСП

2.2.1 Опис функціональної схеми

Робота схеми здійснюється таким чином.

Частота НВЧ - коливань генератора під дією напруги генератора, змінюється по лінійному закону від мінімального до максимального значення частоти. При попаданні частоти коливань НВЧ - генератора в смугу пропускання резонаторів і на виходах першого і другого НВЧ - детекторів з'являються дзвіноподібні імпульси, що повторюють форму резонансних кривих НВЧ - резонаторів (рис. 2.3, а і б).

Дзвіноподібні імпульси підсилюються за допомогою підсилювачів і поступають на входи підсилювачів-формуваців (рис. 2.3, в і г). З виходів

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

підсилювачів-формуваців позитивних і негативних імпульсів, прив'язаних до екстремальних значень кривих напруги (рис. 2.3, д, е), поступають на входи мікроконтролера.

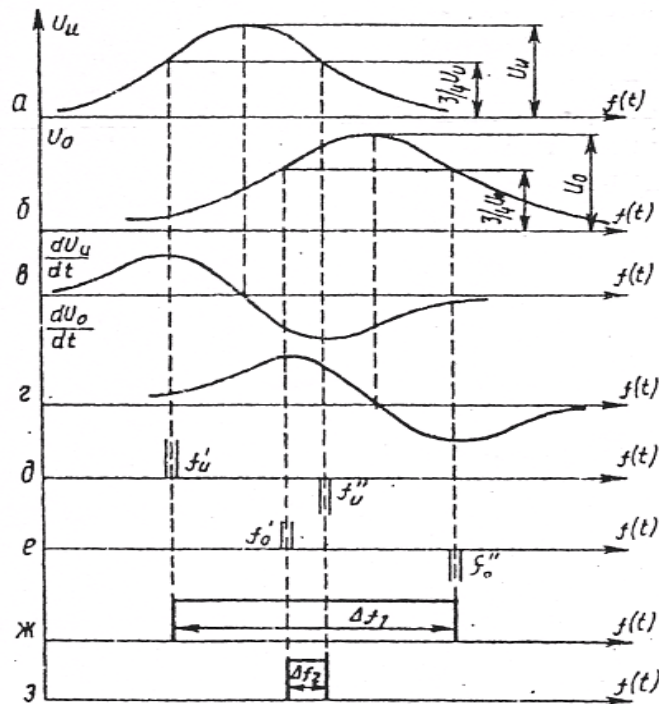


Рис. 2.3 – Часові діаграми напруги для різних елементів схеми

Мікроконтролер CPU з тактових імпульсів формує імпульсний сигнал частотою F_p , що надходить на цифро аналоговий перетворювач (ЦАП). На виході ЦАП при цьому циклічно формується напруга, що східчасто змінюється. При використанні ЦАП високої розрядності (більше 10) зміну напруги в кожному циклі можна вважати лінійною (пилкоподібною). Напруга з виходу ЦАП надходить на елемент завдання частоти керованого НВЧ генератора. В якості такого елемента як правило використовують напівпровідникові варикапи, ємність яких залежить від прикладеної напруги. При цьому вихідна частота генератора лінійно змінюється від f_{min} до f_{max} . Через розв'язуючі підсилювачі НВЧ напруга змінної частоти надходить на опорний і вимірювальний резонатори.

При влученні частоти коливань у смугу пропущення резонатора амплітуда збуджених в їх порожнині коливань багаторазово зростає, в залежності від добротності резонансного перетворювача кратність може досягати 1000 разів і

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

випадку запуск таймера здійснюється імпульсом опорного каналу, а зупинка - інвертованим негативним імпульсом вимірювального каналу.

Часовий інтервал у цьому випадку складе:

$$\Delta t_2 = m(f_{O+} - f_{B-}) = m\Delta f_2,$$

Протягом першого і другого часових інтервалів у внутрішньому лічильнику мікроконтролера здійснюється підрахунок імпульсів, утворених діленням на визначений коефіцієнт тактових імпульсів мікроконтролера.

Нехай співвідношення частот заповнення лічильника F_3 , керування ЦАП F_P і тактової частоти F_T мікроконтролера визначається залежністю:

$$F_P = k_P F_3 = k_P k_3 F_T,$$

де k_P й k_3 - коефіцієнти ділення тактової частоти.

Тоді часовий масштаб m :

$$m = \frac{T}{f_{\max} - f_{\min}} = \frac{k_P}{F_T (f_{\max} - f_{\min})},$$

де T - період розгортки частоти НВЧ генератора.

З урахуванням цього, кількість імпульсів N_1 , отриманих у першому такті вимірювань

$$N_1 = F_T \Delta t_1 = F_T m (f_{B+} - f_{O-}).$$

Або після підстановки значень

$$N_1 = \frac{K_P}{f_{\max} - f_{\min}} \left[f_B \left(1 + \frac{1}{2Q_B \sqrt{3}} \right) - f_O \left(1 - \frac{1}{2Q_O \sqrt{3}} \right) \right].$$

Аналогічним образом можна виразити кількість імпульсів N_2 , отриманих у другому такті вимірювань

$$N_2 = \frac{K_P}{f_{\max} - f_{\min}} \left[f_O \left(1 + \frac{1}{2Q_O \sqrt{3}} \right) - f_B \left(1 - \frac{1}{2Q_B \sqrt{3}} \right) \right].$$

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

Обчислення різниці імпульсів, отриманих у першому і другому тактах, дозволяє одержати результат, пропорційний різниці резонансних частот резонаторів:

$$N = N_1 - N_2 = \frac{2K_p(f_B - f_O)}{f_{\max} - f_{\min}}. \quad (2.1)$$

З отриманого результату (2.13) видно, що кількість імпульсів пропорційна різниці резонансних частот резонаторів і не залежить від нестабільності частоти тактового генератора, значень добротності опорного і вимірювального резонаторів. Завдяки цьому забезпечується можливість точного виміру різниці частот низькодобротних резонаторів.

					<i>BM61.050004.001 ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		32

габаритних розмірів генератора та мінімізації взаємного впливу елементів, всі компоненти генератори вибрані у СМД виконанні.

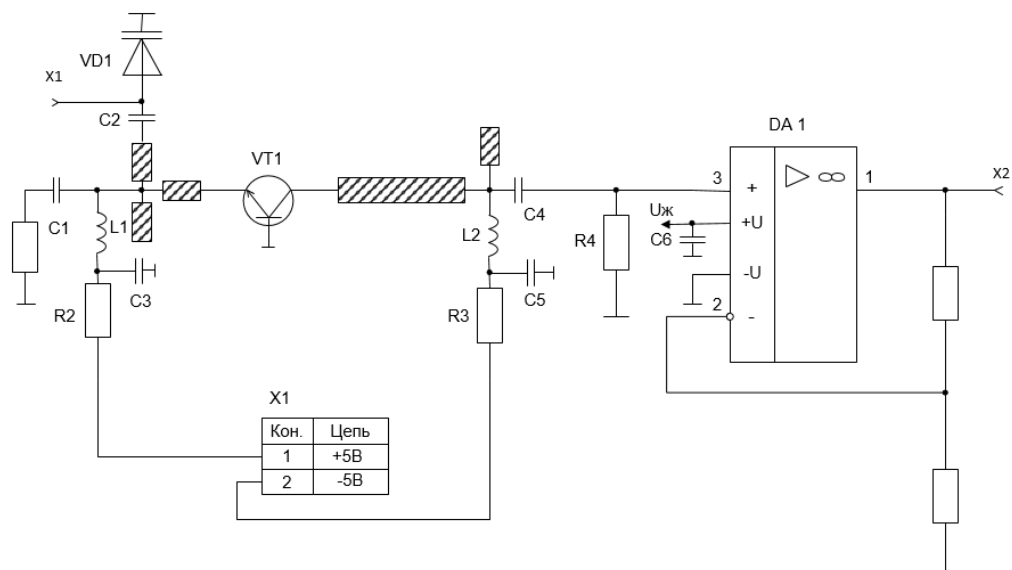


Рисунок 3.1 – Фрагмент схеми з НВЧ-генератором та підсилювачем

Оскільки генератор працює на два різних навантаження, в якості яких виступають опорний та вимірювальний НВЧ резонатори, необхідно забезпечити виключення взаємного впливу резонаторів на вихідний сигнал генератора. Для цього доцільно використати буферний каскад, що забезпечує коефіцієнт підсилення на рівні одиниці, але має низький вихідний опір. В якості буферного каскаду можна використати підсилювач на транзисторі КТ3120, аналогічному використаному в НВЧ генераторі. Але, використання транзисторного підсилювача потребує додаткового використання резисторів, конденсаторів та інших елементів, що ускладнюють схему. В той же час, аналіз сучасної елементної бази НВЧ інтегральної електроніки показав наявність широкосмугових малопотужних підсилювачів, що можуть бути використані замість транзисторних. Так, наприклад, фірма Analog Device's випускає підсилювач ADL5610, що забезпечує підсилення сигналів в діапазоні від 300 МГц до 6 ГГц при напрузі живлення 5 В. Цей підсилювач має вхідний та вихідний опори 50 Ом, що забезпечує його узгодженість як з генератором, так и з резонаторами.

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

3.2 Опис низькочастотної частини

Далі вихідний сигнал НВЧ генератора підсилившись, розділяється на дві ідентичні складові(рис 3.2). Перша подається на коло збудження вимірювального резонатора, друга – опорного.

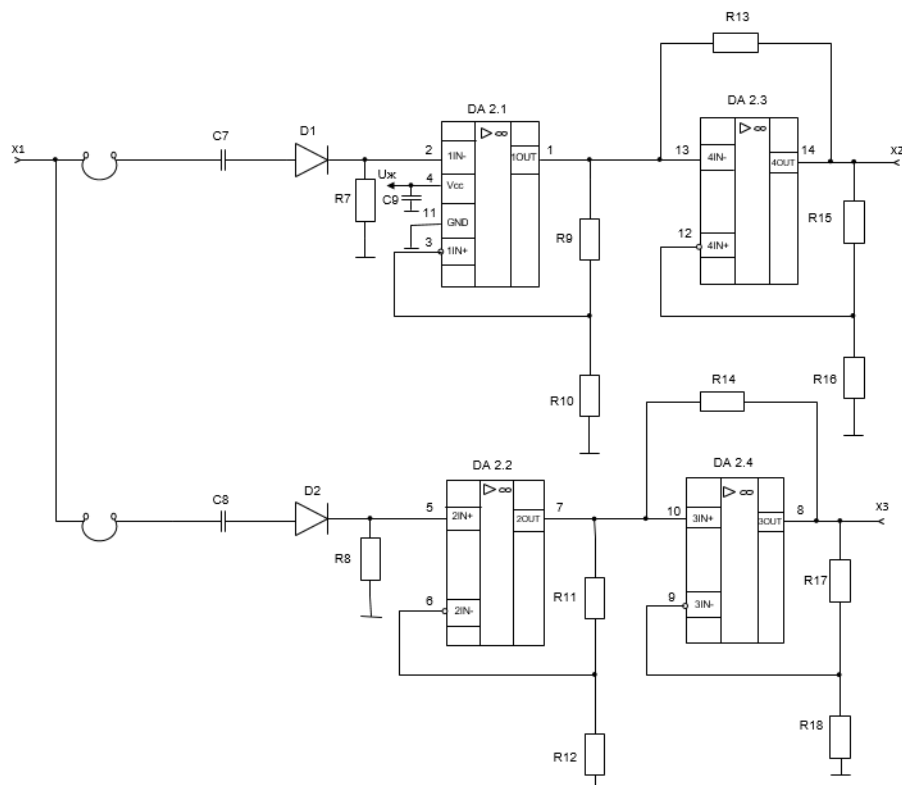


Рисунок 3.2 – Фрагмент принципової схеми

За допомогою детекторних діодів D1, D2, які послідовно з'єднані з конденсаторами C7, C8 знімаються огинаючі резонансних кривих, які підсилюються. За допомогою однополярного компаратора DA2.3, DA2.4 сигнали перетворюються у короткі прямокутні імпульси. Якщо вхідний сигнал буде змінюватися дуже повільно, то при досягненні рівня вхідного сигналу опорного, вихід компаратора може багаторазово з великою частотою змінювати свій стан під дією незначних перешкод. Для усунення цього явища в схему компаратора вводимо резистори R15, R16, R17, R18, які забезпечують характеристиці компаратора невеликий гістерезис, тобто невелику різницю між вхідними напругою включення і відключення компаратора.

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

3.3 Опис мікросхеми К572ПА

Мікросхема К572ПА містить понад тисячу елементів і розміщуються відповідно в герметичних металокерамічних плоских корпусах типу 4134.48-2 і пластмасових корпусах типу 2123.40-2 з вертикальним розташуванням виводів.

Схема підключення мікросхеми ЦАП зображено на рисунку 3.3 в режимі з однополярною вихідною напругою. В даній схемі ланцюг зворотного зв'язку зовнішнього ОП(ДА6) забезпечує роботу ЦАП з виходом по напрузі в діапазоні від 0 до 10 В.

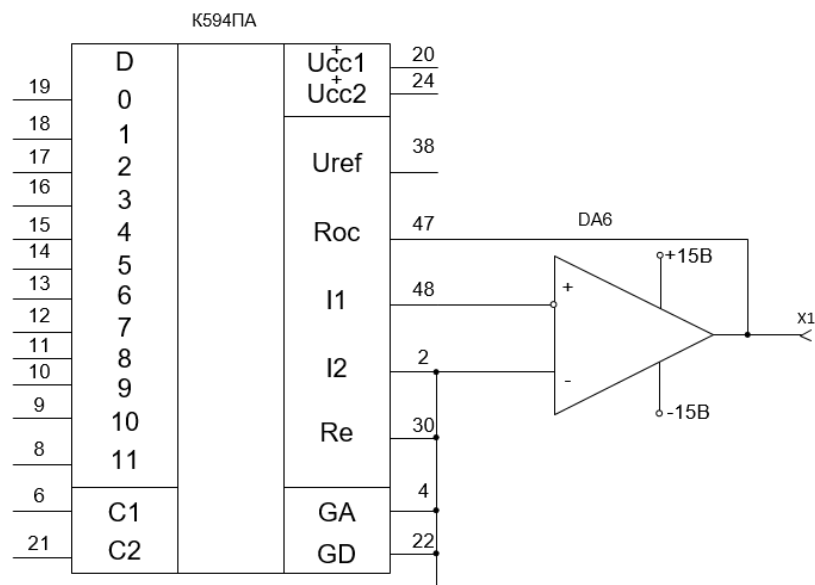


Рисунок 3.3 – Схема підключення ЦАП К572ПА

Рекомендації щодо застосування

1. При експлуатації рекомендується подавати напруги на мікросхему в наступній послідовності: потенціал загальної шини, напруга живлення $U_{п2}$; напруга живлення $U_{п1}$; опорна напруга, напруга на цифрові входи. Порядок зняття напружень зворотний.

2. Опорна напруга може бути задана будь-якої полярності і форми.

3. Незадіяні цифрові входи повинні бути з'єднані з загальною шиною.

4. Монтаж мікросхеми на плату допускається тільки один раз.

5. Ультразвукове очищення не допускається.

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

23 порта вводу / виводу, об'єднаних в 3 групи:

1. Порт В (PB0 - PB7): Два виведення (PB6 і PB7) використовуються для підключення кварцового резонатора. Висновки PB2 - PB5 зарезервовані для внутрисхемного програмування. Таким чином, для загального застосування залишаються порти PB0 і PB1.

2. Порт С (PC0 - PC6: 7 висновків): Порти PC0 - PC5 можна використовувати в якості аналогових входів. PC6 зазвичай використовується для скидання.

3. Порт D (PD0 - PD7: 8 висновків): Ці порти можна використовувати для загального застосування.

Опис виводів мікроконтролера ATmega8 наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Живлення

№	Назва	Тип	Опис
7	VCC	вхід	напруга живлення від +4.5 до +5.5 В
8,22	GND	вхід	загальний (земля)
20	AVcc	вхід	напруга живлення + 5 В для модуля АЦП
21	AREf	вхід	вхід опорної напруги для АЦП

Генератор тактової частоти

Даний МК має вбудований тактовий RC-генератор, тактова частота якого - 1 МГц. Вбудований RC-генератор має температурний дрейф в межах 7,3 - 8,1 МГц. Може виникнути питання: якщо частота вбудованого тактового генератора 7,3 - 8,1 МГц. Справа в тому, що тактовий сигнал потрапляє в схеми мікроконтролера через програмований дільник частоти.

В даному мікроконтролері він має кілька коефіцієнтів розподілу: 1, 2, 4 і 8. При виборі першого ми отримаємо частоту самого тактового генератора, при включенні останнього - в 8 разів менше, тобто, $8/8 = 1$ МГц. З урахуванням вищесказаного отримуємо, що тактова частота даного мікроконтролера при включеному дільнику з коефіцієнтом 8 буде в межах від $7,3 / 8 = 0,9125$ МГц (9125 КГц) до $8,1 / 8 = 1,0125$ МГц.

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

3.5 Опис семисегментного індикатора

Семисегментні індикатори широко використовуються в цифровій техніці: в домашніх пристроях, вимірювальній техніці, в промислових пристроях. У порівнянні з рідкокристалічними індикаторами, світлодіодні мають свої переваги, це контрастність відображення інформації, маленьке споживання енергії. Семисегментний індикатор являє собою матрицю з 7 світлодіодів, розміщених таким чином, щоб запалюючи їх в різноманітних поєднаннях, можливо було б відобразити будь-яку десяткову цифру, а також спеціальні знаки. Крім цього індикатор доповнюється ще одним сектором, який спеціалізований для відображення десяткового дробу. На рисунку 3.4 зображено зовнішній вигляд індикатора. Прийнято кожен сегмент індикатора позначати латинською буквою: a, b, c, d, e, f, g. Точка позначається буквою h.

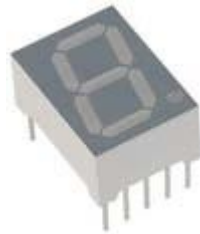


Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд індикатора

Для підключення індикатора до мікроконтролера (рис. 3.5) достатньо сегменти індикатора підключити до порту мікроконтролера через струмообмежувальні резистори по 150 Ом. Загальний вивід підключити до лінії іншого порту мікроконтролера. Залежно від того яку цифру треба вивести, в порт виводимо двійковий код цієї цифри, посилаючись на тип підключеного індикатора (із загальним анодом або катодом) на загальний провід подаємо плюс або мінус. Для зручності можна зробити таблицю кодів для індикатора. Якщо підключення таке: PD7-h, PD6-g, PD5-f, PD4-e, PD3-d, PD2-c, PD1-b, PD0-a, то для відображення цифри 1 в порт D потрібно вивести такий двійковий код: 0b00000110.

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

BM61.050004.001 ПЗ

Аркуш

40

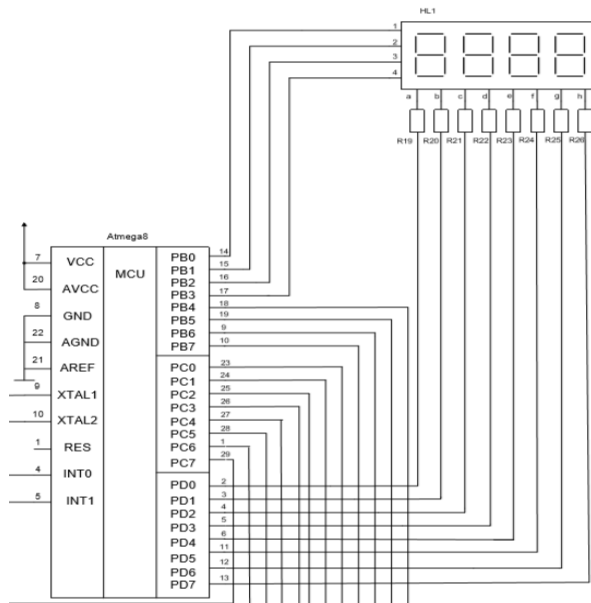


Рисунок 3.5 – Підключення індикатора до мікросхеми

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

BM61.050004.001 ПЗ

Аркуш

41

4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок елементів принципової схеми

Компаратор з позитивним зворотним зв'язком призначений для формування прямокутних імпульсів фіксованої амплітуди з вихідного сигналу підсилювача-обмежувача. Схема компаратора наведена на рисунку 4.1. В даній схемі вихідні рівні DA2 мають напругу насичення ОП, яке близьке до напруги живлення $\pm U_{ж.і}$ може змінюватися.

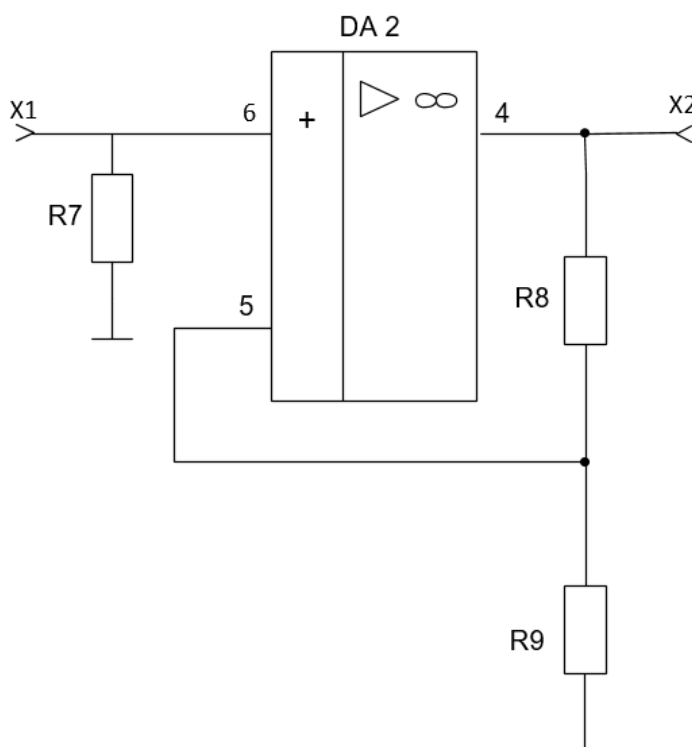


Рисунок 4.1 – Компаратор

Для даної схеми поріг перемикання компаратора визначається за формулою:

$$U_{\text{пор}} = \frac{U_{\text{вих.оп}}}{R_9 + R_8} \cdot R_9 \approx \frac{U_{\text{ж.оп}}}{R_9 + R_8} \cdot R_9, \quad (4.1)$$

З урахуванням того, що напруга живлення ОП $\pm 15\text{В}$, а значення необхідного порога перемикання лежить в межах $\pm 100\text{-}300\text{мВ}$, то буде виконуватися умова $R_8 \gg R_9$ і опором резистора R_9 в знаменнику можна знехтувати. Тоді формула 4.1 набуде вигляду:

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

$$U_{\text{пор}} = \frac{U_{\text{вих.оп}}}{R_9 + R_8} \cdot R_9 \approx \frac{U_{\text{ж.оп}}}{R_8} \cdot R_9.$$

Поріг перемикання $U_{\text{пор}} = 200 \text{ мВ}$;

Значення резистора $R_9 = 1 \text{ кОм}$ і розраховуємо за формулою (4.2) значення резистора R_8

$$R_8 = \frac{U_{\text{ж.оп}} \cdot R_9}{U_{\text{пор}}} = \frac{15 \cdot 1000}{200 \cdot 10^{-3}} = 75 \text{ кОм}. \quad (4.2)$$

Для розрахунку формувача вихідного сигналу вихідними даними є вихідна напруга цифро-аналогового перетворювача. Використовуємо 12-ти розрядний ЦАП, схема зображена на рисунку 4.2.

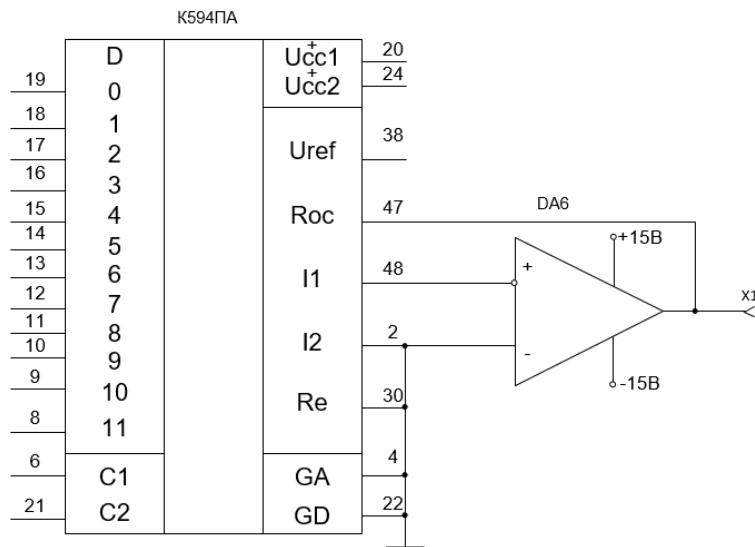


Рисунок 4.2 – Схема ЦАП

$$U_{\text{ЦАП}} = U_{\text{оп}} \frac{N_{\text{вих}}}{2^n - 1} = 10,24 \frac{4000}{2^{12} - 1} = 10 \text{ В},$$

де $N_{\text{вих}}$ - вихідний код;

n - розрядність використовуваного ЦАП;

$U_{\text{оп}}$ - значення опорного напруги, що подається на вхід.

Вихідна напруга $+5 \pm 0,002 \text{ В}$.

Максимальний вихідний струм 30 мА .

Коефіцієнт стабілізації 40000 .

Струм холостого ходу 0,045 мА.

Температурний коефіцієнт нестабільності(ТКН) 0,000005%.

4.2 Розрахунок метрологічних характеристик системи вимірювання вологості ДСП

Систематичні похибки залежать від впливу зовнішніх факторів (температури навколишнього середовища, напруги живлення, часу роботи) на сигнал як опорного, так і вимірювального каналу, а також від діапазону вимірювання і коефіцієнта зворотного зв'язку пристрою. Системна похибка низькочастотної системи буде визначатися за рівнянням :

$$\delta P = \delta_{\text{ЦАП}} + \delta_{\text{п}} + \delta_{\text{пі}} + \delta_{\text{д}}, \quad (4.3)$$

де $\delta_{\text{ЦАП}}$ - відносна похибка ЦАП;

$\delta_{\text{п}}$ - відносна похибка підсилювача;

$\delta_{\text{пі}}$ - відносна похибка формувача прямокутних імпульсів;

$\delta_{\text{д}}$ - відносна похибка детектор.

4.2.1 Похибка ЦАП

Загальна похибка цифро-аналогового перетворювача складається з похибки квантування та похибки нелінійності. Похибка від квантування визначається за формулою:

$$\gamma_{\text{кв}} = \frac{1}{2^N},$$

де N – число розрядів ЦАП;

Максимальну відносну похибку ЦАП ($\delta_{\text{ЦАП}}$) можна розрахувати за наступною формулою:

$$\delta_{\text{ЦАП}} = \Delta_{\text{ЦАП}} \cdot \frac{1}{2 \cdot 2^N}, \quad (4.4)$$

де N - число розрядів ЦАП;

$\Delta_{\text{ЦАП}}$ - сумарна абсолютна похибка ЦАП.

Сумарна абсолютна похибка ЦАП включає наступні складові:

$$\Delta_{\text{ЦАП max}} = \Delta_{\text{інт.нел}} + \Delta_{\text{диф.нел}}, \quad (4.5)$$

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ВМ61.050004.001 ПЗ

Аркуш

44

де $\Delta_{\text{інт.нел}}$ - інтегральна нелінійність;

$\Delta_{\text{диф.нел}}$ - похибка диференціальної нелінійності.

Значення цих похибок візьмемо з технічної документації:

$$\Delta_{\text{інт.нел}} = \pm 0,5 ;$$

$$\Delta_{\text{диф.нел}} = \pm 1.$$

Підставимо значення в формулу (4.5) і отримаємо:

$$\Delta_{\text{ЦАП max}} = 0,5 + 1 = 1,5 \text{ LSB.}$$

Отже, підставивши значення в формулу (4.4), максимальна відносна похибка ЦАП дорівнює:

$$\delta_{\text{ЦАП}} = 1,5 \cdot \frac{1}{2 \cdot 2^{12}} = 1,5 \cdot \frac{1}{8192} = 0,0002\%.$$

4.2.2 Похибка підсилювача

Похибка підсилювача визначається за формулою сумування випадкових складових похибок:

$$\delta_{\Pi} = k \sqrt{\sigma(\delta_{R1})^2 + \sigma(\delta_{R2})^2}, \quad (4.6)$$

де $\sigma(\delta_{R1})$ та $\sigma(\delta_{R2})$ - випадкові складові мультиплікативної похибки резисторів R1 та R2;

k - коефіцієнт, що розраховує вид розподілу нормальних похибок;

$$\delta_{R1} = \delta_{R2} = 0,1\%;$$

k=3 (для нормального розподілу $P_{\text{дов}}=0,997$).

Розрахуємо значення середньо квадратичного відхилення:

$$\sigma(\delta_{R1}) = \sigma(\delta_{R2}) = \frac{\delta_{R1}}{k} = \frac{0,1}{3} = 0,033\%,$$

Підставимо числові значення в рівняння (4.6) і отримаємо:

$$\delta_{\Pi} = 3 \sqrt{0,033^2 + 0,033^2} = 0,14 \%.$$

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

4.2.3 Похибка формувача прямокутних імпульсів

Розрахуємо відносну похибку спрацювання пристрою, вона визначається за формулою:

$$\delta_{\text{пі}} = 2 \cdot \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{U_{\text{оп}}} \cdot 100\% , \quad (4.7)$$

де $\Delta U_{\text{вх}}$ - роздільна здатність;

$U_{\text{оп}} = 5\text{В}$ - опорна напруга.

Роздільна здатність визначається за формулою:

$$\Delta U_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вих}}}{k} ,$$

де $U_{\text{вих}} = 10\text{В}$ - вихідна напруга;

$k = 10000$ - коефіцієнт підсилення.

Розрахуємо значення роздільної здатності:

$$\Delta U_{\text{вх}} = \frac{10}{10000} = 0,001 \text{ В.}$$

Підставимо числові значення в рівняння (4.7) і отримаємо:

$$\delta_{\text{пі}} = 2 \cdot \frac{0,001}{5} \cdot 100\% = 0,04\%.$$

Згідно паспортних даних відносна похибка детектора 0.1%.

Отже, підставимо числові значення в рівняння (4.3) та отримаємо:

$$\delta_{\text{Р}} = 0,0002 + 0,14 + 0,04 + 0,1 = 0,28 \%.$$

Висновки по розділу

- системна похибка системи вимірювання вологості - 0,28 % ;
- з розрахованої системної похибки видно, що максимальна системна похибка вимірювання вологості буде в більшій мірі залежати від похибки підсилювача.

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ВМ61.050004.001 ПЗ

Аркуш

46

При електричному ударі, коли струм протікає крізь тіло людини, у більшості випадків на початку порушується дихання, а серце продовжує працювати з порушенням власного ритму, після чого може трапитись його зупинка, а слідом за тим смерть.

Електричні опіки тіла можуть бути отримані як при проходженні електричного струму через тіло людини, так і від іскор вольтової дуги при умовах короткого замикання, наприклад, при заміні зіпсованих електрозапобіжників, при випадковому замиканні всіляких електричних фаз металевими предметами або у разі несправної ізоляції живлячих проводів та інше. При цьому опік має можливість виявлятися почервонінням шкіри та утворення на ній пухирів, а іноді може викликати глибоке пошкодження тканин і навіть обвуглення кісток.

Щоб уникнути ураження електричним струмом при користуванні побутовими та промисловими електроприводами (далі електроспоживачами) на виробництві (холодильники, телевізори, комп'ютери, обігрівачі, кондиціонери, праски, електропідігрівачі води) слід дотримуватись таких правил:

- Використовувати електроспоживачі, в яких шнури мають триполюсну вилку з попереджуючим включенням заземлюючого проводу.
- Не вмикати в електромережу електроспоживачі, шнури живлення яких мають пошкоджену ізоляцію.
- Не вмикати в електромережу електроспоживачі, які мають пошкодження або ненадійно з'єднані з електрошнуром живлення, вилками, розетками та подовжувачами.
- Не вмикати електроспоживачі в розетки, які не мають захисних направляючих.
- Не використовувати пошкоджені розетки, відгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншою електроарматурою, а також електролампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.
- Не користуватися саморобними подовжувачами, які не відповідають вимогам ПУЕ, що пред'являються до переносних електропроводок.

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ВМ61.050004.001 ПЗ

Аркуш

48

4. При рідкому та судорожному диханні потерпілого, слід робити йому штучне дихання.

5. Штучне дихання – це лікарський засіб, метою якого є відновлення природного дихання потерпілого.

Засіб штучного дихання являє собою механічний, ритмічний вплив на грудну клітину та дихальні м'язи потерпілого. При цьому створюється газообмін у легенях і поступово може відновитися природне дихання.

Допомогу потерпілому повинні надавати дві особи:

- Одна з них накладає долоню на нижню третину грудей і створює поштовхи на груди з частотою приблизно 50-ти поштовхів на хвилину.

Стискання серця між грудьми та хребтом призводить до виштовхування крові із серця в судини і сприяє відновленню кровотоку.

- Друга, щільно притуливши свої губи до рота потерпілого, вдуває в його легені повітря. При цьому грудна клітина розширюється і утворюється пасивний вдих. Коли надаючий допомогу відстороняється, грудна клітина потерпілого спадає, і в нього утворюється пасивний вдих.

Надання допомоги потерпілому продовжувати до прибуття кваліфікованої медичної допомоги.

При отриманні потерпілим опіків, потрібно, не торкаючись руками обпечених місць, обережно накласти на пошкоджені місця стерильну пов'язку і відвести потерпілого до медичного закладу.

					<i>ВМ61.050004.001 ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50

ІНСТРУКЦІЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ДСП

Вимірювач вологості призначений для визначення рівня вологості деревини. Являє собою мікропроцесорний електронний прилад, що забезпечує безпосередній вивід процентного вмісту вологи на електронний цифровий дисплей.

6.1 Принцип дії

Метод є експресним і автоматичним. Він відрізняється швидкістю вимірювань, можливістю вимірювання вологості на великих площах і при абсолютній вологості, використання сигналу від приладу для регулювання технологічних процесів. При взаємодії з ДСП перетворювач виробляє сигнал пропорційний діелектричній проникності, який реєструється вимірювальним блоком і перетворюється в значення вологості. Зміст вологи в вимірюваній масі відображається на дисплеї у відсотках.

Процес вимірювання відбувається таким чином:

- готується ДСП;
- включається вологомір;
- вологомір підноситься так, щоб деревина знаходилась між хвилеводним відкритим резонатором;
- на дисплеї з'являються результати вимірювань.

Характеристики наведені в табл. 6.1.

Табл.6.1 – Основні характеристики вологоміра

Час одиничного вимірювання, не більше:	50с
Електроживлення	до 9В
Робочі умови експлуатації	від +5 до +60 °С

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

BM61.050004.001 ПЗ

Аркуш

51

ВИСНОВОК

Завданням дипломного проєкту є розробка системи, що дозволяє вимірювати вологість деревинно-стружкової плити. Аналіз літератури в області вологометрії показав перспективність використання для вимірювання вологості деревинних матеріалів резонансних НВЧ методів. Принцип їх дії заснований на вимірюванні параметрів резонатора при внесенні в нього досліджуваного матеріалу.

В процесі роботи була розроблена структурна, функціональна схеми вимірювання вологості ДСП та розроблена і розрахована принципова схема НВЧ резонансного вологоміру.

Проведений розрахунок відносних похибок складових низькочастотної частини схеми та визначена сумарна відносна похибка. Наведені основні заходи щодо техніки безпеки.

Розроблена система вимірювання вологості забезпечує швидке і точне вимірювання вологості деревинно-стружкових плит.

					<i>ВМ61.050004.001 ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		52

17. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Феклистов В.Б., Вениг С.Б. Измерение параметров полупроводников, микро- и наноструктур на СВЧ (учебное пособие)– Саратов: Электронное издание Саратов. ун-та, 2012. – 55 с.

18. Гринвальд и экспериментальные исследования СВЧ-методов измерения влажности материалов. Ташкент: Фан, 1982. 84 с.

19. Лисовский слоистой модели влажного зерна в приближении геометрической оптики //Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания «Влагометрия промышленных материалов и сельскохозяйственной продукции». М., 1998. С

					<i>BM61.050004.001 ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		54

ДОДАТОК А

Оскільки контролер формує керуючу напругу для генератора, розглянемо як приклад цей фрагмент програми на мові "C++":

```
//напруга живлення становить 5 вольт
#define vcc 5.0
// Функціональні прототипи
uint8_t reverse(uint8_t in); // зворотний порядок бітів у
байтах
void DAC_SetVoltage(double voltage); //встановити напругу
на ЦАП
// Функція
void DAC_SetVoltage(double voltage)
{
uint16_t dacVlue = 4096 * voltage / vcc; // обчислити
значення ЦАП від необхідної напруги
//split onto 2 bytes
uint8_t LSB = dacVlue;
uint8_t MSB = dacValue >> 8;

PORTC = reverse(LSB); // запис 8 бітів LSB в ЦАП (PC0 ...
PC7) на 4 ... 11 штифти ЦАП
PORTB = (reverse(MSB) & 0b11110000) | (PORTB & 0b00001111);
// запис 4 бітів MSB в ЦАП (PB4 ... PB7) до 0 ... 3
штифта ЦАП, зберігаючи інші (PB0 ... PB3) штифти без змін
}

uint8_t reverse(uint8_t in)
{
uint8_t out;
out = 0;
for (uint8_t i = 0; i < 8; i++) {
out <<= 1;
if (in & 1)
out |= 1;
in >>= 1;
}
return out;
}
```

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) _____ *приладобудівний факультет* _____
(повна назва)

Кафедра _____ *інформаційно-вимірювальних технологій* _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітньо-професійна програма
«Інформаційні вимірювальні технології та системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

« ___ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Мостепан Катерини Михайлівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Система вимірювання вологості деревинно-стружкової плити

керівник проєкту (роботи) Шевченко Костянтин Леонідович, д.т.н., проф. ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ___ » _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Система повинна складатися з: генератора НВЧ; підсилювачів; резонаторів; детекторів; формувачів прямокутних імпульсів; мікроконтролера; цифро-аналогового перетворювача та індикатора.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Вступ. Дослідження методів вимірювання вологості. Аналіз об'єкта контролю. Розробка структурної та функціональної схем. Розробка принципової схеми. Розрахунок похибок. Техніка безпеки та інструкція з експлуатації.

5. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів тощо) Схема структурна. Схема функціональна. Схема принципова.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 11 лютого 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	22.02.2020 р.	
2.	Огляд і аналіз існуючих технічних рішень	05.03.2020 р.	
3.	Проектування структурної схеми	13.03.2020 р.	
4.	Проектування функційної схеми	02.04.2020 р.	
5.	Проектування схеми електричної принципової вимірювальних каналів системи	14.04.2020 р.	
6.	Аналіз похибок вимірювальних каналів	14.05.2020 р.	
7.	Оформлення графічних матеріалів	01.06.2020 р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки	01.06.2020 р.	
9.	Попередній захист дипломного проекту	07.06.2020 р.	
10.	Рецензування дипломного проекту	до 10.06.2020 р.	
11.	Захист дипломного проекту	до 20.06.2020 р.	

Студент _____
(підпис)

Катерина МОСТЕПАН
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту _____
(підпис)

Костянтин ШЕВЧЕНКО
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

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

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ІВТ

_____ проф. Володимир ЄРЕМЕНКО

" ___ " _____ 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломний проект

«Система вимірювання вологості деревинно-стружкової плити»

ВМ61.050004.001 ТЗ

УЗГОДЖЕНО:

Керівник дипломного проекту
проф. кафедри ІВТ НТУУ
"КПІ ім.Ігоря Сікорського"
К.Л. Шевченко

Розробник:

Ст. гр. ВМ-61-2
К.М. Мостепан

(Підпис.)

(Підпис.)

" ___ " _____ 2020 р.

" ___ " _____ 2020 р.

Залікова книжка __ВМ-61205__

Київ-2020

1. Найменування та область використання

1. Система вимірювання вологості деревинно-стружкової плити призначена для вимірювання вологості ДСП.

1.2 Область використання – деревообробна промисловість.

2. Мета і технічне обґрунтування розробки

Мета розробки – розробка ІВС, яка дозволить вимірювати вологість деревинно-стружкової плити.

3. Джерела розробки

3.1 Основою для розробки приладу є завдання до дипломного проекту, видане кафедрою АЕД студентці 4 курсу групи ВМ-61-2 Мостепан Катерині Михайлівні.

3.2 Найважливіші державні стандарти у сфері аналізу вологості ДСП.

4. Технічні вимоги

4.1 Система повинна складатися з:

- Генератор НВЧ
- Резонатори
- Підсилювачі
- Детектори
- Формувачі прямокутних імпульсів
- Мікроконтролер
- Цифро-аналоговий перетворювач
- Індикатор

4.2 Основні технічні характеристики

Електроживлення: до 9 В;

Час одиничного вимірювання, не більше: 50 сек;

Максимальна відносна похибка системи вимірювання вологості не перевищує 0,5%;

Габарити: 25x20x10 см;

Вага: 1.1 кг.

4.3 Вимоги до кліматичного виконання

Вимірювальний пристрій повинен зберігати свої робочі характеристики при впливі кліматичних факторів відповідно до ГОСТ 15150-69 – кліматичному виконанню УХЛ 2.

Кліматичні фактори, що впливають на роботу приладу, наведені нижче.

Таблиця 1 – Кліматичні умови для робочих умов

Кліматичний фактор	Значення
	Нормальні умови
Робоча температура, °С	від +5 до +60 °С
Атмосферний тиск, кПа	80 – 106,7

4.3.1 Вимоги до захисту від впливу навколишнього середовища

Система має бути тепло-, холодостійкою під час транспортування та зберігати функціонування після впливу транспортування.

5. Етапи розробки

Етапи розробки і терміни виконання наведені у таблиці.

Таблиця 5.1- Етапи розробки і терміни виконання

№ п/п	Етап дипломного проектування	Дата здачі
1.	Розробка технічного завдання.	14.10.2019
2.	Огляд технічних рішень	20.12.2019
3.	Розробка структурної схеми	11.02.2020
4.	Розробка функціональної схеми	26.02.2020
5.	Розробка і розрахунок схеми електричної принципової	16.03.2020
6.	Аналіз і розрахунок похибок	29.04.2020
7.	Метрологічне забезпечення	05.05.2020
8.	Інструкція з експлуатації	17.05.2020
9.	Пояснювальна записка	04.06.2020

№рядка	Формат	Познака	Найменування	Аркушів	№ екз.	Примітки
1			<u>Альбом 1</u>			
2			<u>Документація загальна</u>			
3			<u>Заново розроблена</u>			
4	A4	BM61.050004.001 ТП	Відомість технічного проєкту	1	1	
5	A4	BM61.050004.002 ПЗ	Пояснювальна записка	57	1	
6	A4	BM61.050004.001 ТЗ	Технічне завдання	3	1	
7						
8	A4	BM61.050004.003 ПЕЗ	Система вимірювання вологості деревинно-стружкової плити			
9			Перелік елементів	1	1	
10						
11			<u>Альбом 2</u>			
12						
13			<u>Графічна документація</u>			
14			<u>Розроблена заново</u>			
15	A1	BM61.050004.001 E1	Система вимірювання вологості деревинно-стружкової плити			
16			Схема електрична структурна	1	1	
17						
18	A1	BM61.050004.002 E2	Система вимірювання вологості деревинно-стружкової плити			
19			Схема електрична функціональна	1	1	
20						
21	A1	BM61.050004.003 E3	Система вимірювання вологості деревинно-стружкової плити			
22			Схема електрична принципова	1	1	
23						
24						
25						

BM61.050004.001 ТП

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата				
Розроб.		Мостепан			Система вимірювання вологості деревинно-стружкової плити Відомість технічного проєкту	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Шевченко				Т	1	1
Тех.контр.		Шевченко				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф.ІВТ, гр. ВМ61-2		
Н.контр.		Богомазов						
Затвердж.		Єременко						

№рядка	Формат	Познака	Найменування	Аркушів	№ екз.	Примітки
1			<u>Альбом 1</u>			
2						
3			<u>Текстова документація</u>			
4						
5			<u>Документація загальна</u>			
6						
7			<u>Розроблена заново</u>			
8						
9	A4	BM61.050004.001 ОП	Опис		1	
10			Завдання на дипломне проектування	1	1	
11			Анотація українською мовою	1	1	
12			Анотація іноземною мовою	1	1	
13	A4	BM61.050004.001 ТЗ	Технічне завдання	3	1	
14	A4	BM61.050004.001 ТП	Відомість технічного проєкту	1	1	
15	A4	BM61.050004.001 ПЗ	Пояснювальна записка		1	
16						
17			Документація по складальним одиницям	1	1	
18						
19			<u>Розроблена заново</u>	1	1	
20						
21	A1	BM61.050004.003 ПЕЗ	Система вимірювання вологості деревинно-стружкової плити			
22			Перелік елементів	1	1	
23						
24						

					BM61.050004.001 ТП			
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата				
Розроб.		Мостепан			Система вимірювання вологості деревинно-стружкової плити Відомість технічного проєкту	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Шевченко				T	1	2
Тех.контр.		Шевченко				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф.ІВТ, гр. ВМ61		
Н.контр.		Богомазов						
Затвердж.		Туз						

			Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				<u>Конденсатори К10-17 ОЖО.460.107 ТУ</u>		
				<u>Конденсатори КМ-5Б ОЖО.460.161 ТУ</u>		
			C1,C4	К10 – 17а – Н90 – 5,6 нФ +80%-20%-В	2	
			C2	К10 – 17а – Н90 – 4,7 нФ +80%-20%-В	1	
			C3,C5,C6,C9	К10 – 17а – Н90 – 0,1 мкФ +80%-20%-В	4	
			C7,C8	К10 – 17а – Н90 – 4,7 мкФ +80%-20%-В	1	
			C10, C11	КМ-5Б М47– 18 нФ ± 20%	2	
				<u>Резистори С2-29В ОЖО.467.099 ТУ</u>		
			R1	С2-29В – 0,25 – 1 кОм ± 0,05 %– А– В	1	
			R2	С2-29В – 0,25 – 1 МОм ± 0,05 %– А– В	1	
			R3	С2-29В – 0,25 – 10 кОм ± 0,05 %– А– В	1	
			R4, R5,R6, R7,R8, R9,R10,R11,R12	С2-29В – 0,25 – 50 Ом ± 0,05 %– А– В	9	
			R13,R14,R15,R16,R17, R18	С2-29В – 0,25 – 1 кОм ± 0,05 %– А– В	6	
				<u>Транзистор</u>		
			VT1	Транзистор КТ3120	1	
				<u>Варикап</u>		
			VD1	Варикап ВВ833	1	
				<u>Діоди напівпровідникові</u>		
			D1,D2	Діод Д405	2	

ВМ61.205004.003 ПЭЗ

Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Мостепан		
Перев.		Шевченко		
Тех.контр.		Шевченко		
Н.контр.				
Затвердж.		Єременко В.С.		

Перелік елементів

Літера	Аркуш	Аркушів
	1	2
КПІ ім. Ігоря Сікорського ПБФ, гр.ВМ-61-2		

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: "Система вимірювання вологості деревинно-стружкової плити"

Київ – 2020 року