

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
(м. Київ)

Факультет Інформаційних технологій та електроніки
(повне найменування факультету)

Кафедра Електронних апаратів
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи

освітньо-кваліфікаційного рівня магістр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

спеціальності 171 – Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

на тему Дослідження можливості створення біполярного іонізатора повітря

Виконала: студентка групи Ел-21дм

Дригіна В.Е.
(прізвище, та ініціали) (підпис)

Керівник Паеранд Ю.Е.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Завідувач кафедри Паеранд Ю.Е.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Самойлова Ж.Г.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Київ - 2022

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

- 1) Аналітичний огляд
- 2) Особливості використання п'єзотрансформаторів
- 3) Розробка та обґрунтування електричних схем
- 4) Моделювання біполярного іонізатора за допомогою програми Multisim
- 5) Експериментальні дослідження

5. Дата видачі завдання 01.09.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальний розгляд питань і завдань	01.08.22 - 19.08.22	
2	Аналітичний огляд	20.08.22 - 30.08.22	
3	Особливості використання п'єзотрансформаторів	01.09.22 - 10.09.22	
4	Обґрунтування і опис схеми	15.09.22 - 31.09.22	
5	Розробка функціональної схеми іонізатора	01.10.22- 09.10.22	
6	Розробка електричної схеми іонізатора	10.10.22- 19.10.22	
7	Моделювання біполярного іонізатора	20.10.22 - 30.10.22	
8	Аналіз залежності напруги від опору навантаження	01.11.22 - 07.11.22	
9	Оформлення пояснювальної записки	08.11.22 - 14.11.22	
10	Передача роботи на перевірку та рецензування	15.11.22 - 19.11.22	

Студентка Дригіна В.Е.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) Паєранд Ю.Е.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 78 сторінок, 46 рисунків, 7 таблиць, 33 посилання.

Тема наукової роботи: «Дослідження можливості створення біполярного іонізатора повітря».

Об'єктом дослідження є біполярний іонізатор повітря на основі одношарового п'єзоелектричного трансформатора поперечно-подовжнього типу ТП-Р1.

Мета роботи – полягає в розробці принципу створення біполярного іонізатора повітря, розробці функціональної та принципової схем іонізатора та дослідженні ефективності його роботи.

В процесі роботи проведені аналітичний огляд, розроблені функціональна та принципова схеми іонізатора, виготовлено дослідний зразок та проведені дослідження ефективності його роботи, а також проведено моделювання за допомогою програми Multisim.

В результаті роботи запропоновано принцип роботи приладу, який забезпечив одночасну присутність у повітрі позитивних і негативних іонів.

Робота виконана за період навчання в магістратурі з 01 серпня 2022 року по 28 листопада 2022 року на кафедрі «Інформаційні технології та електроніка» (завідувач кафедри, професор, канд. техн. наук Ю.Е. Паєранд).

ПРИНЦИП, АЕРОІОН, ЗБУДНИК, ГЕНЕРАТОР, БІПОЛЯР

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	10
1.1 Актуальність штучної іонізації повітря.....	10
1.2 Вплив негативних іонів на здоров'я людини.....	11
1.3 Аналіз процесів утворення аероіонів в природньому середовищі.....	13
1.4 Огляд способів штучної іонізації повітря.....	15
1.5 Висновки за розділом	20
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ П'ЄЗОТРАНСФОРМАТОРІВ.....	22
2.1 Загальні відомості.....	22
2.2 П'єзотрансформатори. Особливості конструкції.....	23
2.3 Опис об'єкту та схема дослідження.....	25
2.4 Висновки за розділом	27
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ.....	28
3.1 Розробка функціональної схеми макета приладу біполярної іонізації повітря.....	28
3.2 Розробка принципової схеми макета приладу біполярної іонізації повітря.....	29
3.3 Висновки за розділом.....	34
РОЗДІЛ 4. МОДЕЛЮВАННЯ БІПОЛЯРНОГО ІОНІЗАТОРА ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ MULTISIM.....	35
4.1 Дослідження амплітудно-частотної характеристики п'єзотрансформатора	35
4.2 Розрахунок параметрів схеми та моделювання п'єзотрансформатора.....	36
4.3 Побудова моделі діодного подвоювача.....	42
4.4 Побудова моделі помножувача напруги.....	45
4.5 Аналіз залежності вихідної напруги від опору навантаження.....	48
4.6 Побудова моделі підсилювального каскаду.....	50

4.7 Побудова моделі генератора прямокутних імпульсів	51
4.8 Побудова повної моделі генератора іонів.....	58
4.9 Висновки за розділом.....	64
РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	65
5.1 Дослідження динаміки процесів при штучній іонізації повітря.....	65
5.2 Дослідження ефективності запропонованого принципу іонізації.....	68
5.3 Висновки за розділом	73
ВИСНОВКИ	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

УФ – ультрафіолетове випромінювання;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ЦТС – цирконат-титанат свинцю;

КМОН – комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник;

ПК – програмний комплекс;

ПТ – п'єзотрансформатор;

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;

ФЧХ – фазо-частотна характеристика.

ВСТУП

Однією з актуальних проблем сьогодення, є забруднення атмосферного повітря. Якість повітря, без сумніву, впливає на самопочуття та здоров'я людини. Розробка методів моніторингу та створення засобів для поліпшення якості повітря значно пришвидшують процес подолання проблеми незадовільної якості атмосферного повітря [1].

Людина більшу частину життя перебуває у приміщеннях, в яких вона мешкає, а також працює та навчається. Повітря, в закритих приміщеннях істотно впливає на стан здоров'я людини, тому що воно не збагачене достатньою кількістю іонів. Саме тому проблема забруднення повітря в сучасному світі є однією з найактуальніших. Одним з факторів, що суттєво впливає на самопочуття та здоров'я людини є концентрація легких аероіонів у приміщенні.

Перебування працівників в умовах аероіонного дискомфорту тягне за собою підвищену стомлюваність, зниження уваги, швидкості зорових і слухових реакцій, та в підсумку це може призвести до погіршення самопочуття та виникнення нещасних випадків.

Необхідність належного аероіонного складу повітря довів радянський біофізик О.Л. Чижевський ще в 20-і роки минулого століття. Відомо [2], що нормативна величина концентрації негативних іонів у повітряному середовищі виробничих і громадських приміщень повинна знаходитися в межах від 600 до 50 000 іонів/см³.

В природньому середовищі процес іонізації проходить природнім шляхом – від сонця. Іони, що містяться в повітрі, утворюються з нейтральних молекул під впливом ультрафіолетового випромінювання. Наприклад, у лісі та поблизу водоспаду концентрація негативних іонів сягає близько 10 тисяч іон/см³, в горах та морському узбережжі концентрація 5000 іон/см³. Але в інших місцях, наприклад у міському парку 400-600 іон/см³ та в закритих приміщеннях лише 0- 25 іон/см³ [3]. З цих даних можна побачити, що міське середовище та закриті приміщення зовсім не відповідають вимогам за аероіонною відповідністю, ми отримуємо недостатню кількість іонів щодня,

чим необхідно. Тому способом для створення оптимального аероіонного складу повітряного середовища в приміщеннях є штучна іонізація повітря.

Чижевський експериментально встановив вплив фізіологічної дії іонів в повітрі на живі організми, застосувавши штучну аероіоніфікацію [3]. Пізніше Чижевський створив електронний прилад – аероіоніфікатор, який підвищував концентрацію іонів кисню в повітрі, прилад отримав назву «люстра Чижевського». З часом завдяки цьому приладу з'явилося багато приладів з різними способами іонізації повітря.

Одним з найважливіших компонентів «люстри Чижевського» є електромагнітний трансформатор, який подає на електрод високу напругу. Проте він має ряд недоліків: вага і великі габаритні розміри, низький ККД, велика розсіювана потужність. Тому його можна замінити більш сучасним п'єзокерамічним трансформатором, який запропонував Ч.А. Розен у 1956 році. [4]. Ця технологія стала однією з найбільш перспективних альтернатив для заміни магнітних трансформаторів у широкому діапазоні застосувань.

Мінімізація конструктивних рішень пробудила високий потенціал п'єзоелектричних трансформаторів у застосуванні з малим діапазоном потужності. Серед відомих способів іонізації повітря, ряд приладів характеризується надто високою ефективністю і внаслідок цього, біля них створюється зона, в якій концентрація іонів перевищує санітарну норму 50000 іонів/см³. До того ж, високі електричні поля призводять до утворення побічних продуктів – озону, окислів азоту та ін.

В даній роботі розроблено генератор негативних і позитивних іонів, тому що за результатами аналізу останніх досліджень [5] показано, що умовою створення для людини безпечних умов життєдіяльності, є необхідність у повітрі і позитивних іонів в межах від 400 до $50\,000$ іонів/см³.

Таким чином, дослідження характеристик п'єзоелектричних трансформаторів є дуже актуальним напрямком у науці, оскільки сприяє більш широкому впровадженню цих приладів у різноманітні спеціалізовані електронні пристрої та системи. На даний момент створення пристрою, котрий би виробляв іони обох полярностей, є актуальною задачею, а це можливо за допомогою експериментів, які були проведені в даній роботі.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Актуальність штучної іонізації повітря

Самопочуття сучасної людини значною мірою зумовлюється впливом факторів навколишнього середовища. На даний час у світі міста й села зазнають токсичної дії забруднювачів, рівні яких перевищують середньорічні значення, що рекомендуються в керівних принципах Всесвітньої організації охорони здоров'я щодо якості повітря [6].

На робочому місці, обладнаному електронно-обчислювальними машинами, важко підтримувати якість атмосферного повітря, тому що людина піддається впливу ряду небезпечних та шкідливих виробничих факторів, одним з яких є підвищена чи знижена іонізація повітря в робочому просторі приміщення. Закриті вікна, велика кількість людей у приміщенні, різноманітні електроприлади – все це негативно впливає на оточуюче повітря.

Іони повітря або аероіони – це електрично заряджені молекули або атоми в атмосфері [7]. Іон повітря утворюється, коли газоподібна молекула чи атом отримує досить високу енергію для викиду електрона [8]. Іонізація – це процес утворення заряду на молекулі, а заряджена молекула називається аероіоном або легким іоном. Коли іонізована молекула осідає на молекулі рідини або пилінці іон стає важким. Важкі іони шкідливі для здоров'я людини, тоді як легкі негативні іони, мають корисну та лікувальну дію.

Іони повітря бувають двох зарядів – позитивним і негативним. Негативні аероіони це ті, які отримують електрон, в той час як позитивні аероіони втрачають електрон. Дефіцит аероіонів в організмі людини може призвести до зниження працездатності та концентрації уваги, ослаблення імунітету та погіршення загального самопочуття.

Численні роботи всесвітньо відомого радянського вченого О.Л. Чижевського [3], показали, що життєдіяльність організмів в атмосфері, позбавленої малих негативних іонів неможлива, а несприятливий перебіг фізіологічних процесів починається з моменту різкого зміни співвідношення концентрації позитивних і негативних іонів.

Іонізація повітря приміщень набула особливої важливості після того, як було встановлено, що сама людина є джерелом величезної кількості важких іонів. Отже, в кожному приміщенні в присутності людей число іонів кисню прагне до нуля. А так як людина проводить більшу частину життя в приміщенні, то вона протягом цього часу відчуває систематичне аероіонне голодування. Ця обставина може привести до отруєння людини продуктами неповного окислення, до дистрофії і атрофії його органів і тканин, сприяє передчасному старінню та до різних захворювань.

Експериментально встановлено, що зовнішнє повітря, проникаючи через вікна або вентиляційні повітроводи, втрачає майже половину аероіонів [9]. Остання ж половина прилипає до стінок, оточуючих предметів і таким чином знищується.

Результати численних вітчизняних і зарубіжних досліджень повітряного середовища закритих приміщень, в яких сконцентрована велика кількість народу, демонструють, що, незважаючи на наявність повітроочисних фільтрів, рівні основних забруднювачів повітря всередині приміщень перевищують такі в зовнішньому повітрі в 70-100 разів. Людина, тривалий час перебуває в таких умовах, піддається хронічного впливу безлічі токсичних агентів. Сучасні системи вентиляції та кондиціонування здатні істотно підвищити якість повітря, очистивши його від основних фракцій аерозолів і, частково, від газоподібних поллютантів, а також підтримувати оптимальні параметри мікроклімату в приміщеннях. Однак, такі системи не можуть увійти в повсякденну практику через їх енергоємність і досить високу вартість.

1.2 Вплив негативних іонів на здоров'я людини

Ми живемо в сучасному світі, де кожен день ми піддаємося агресивному впливу різних забруднюючих частинок з повітря. Це може бути пил усіяякого складу, газу,

хімічні розпилення. Більше того, повітря в квартирах, офісних і промислово-виробничих приміщеннях складається переважно з позитивно заряджених іонів, що завдає шкоди здоров'ю організму.

Негативні іони потрібні для багатьох функцій організму. Коли їх багато, ми відчуваємося добре. Деякі негативні іони в приміщеннях витрачаються на очищення повітря, інші захоплюють кожен позитивно заряджений об'єкт і залишаються приклеєними до нього через свій електричний заряд, тому в повітрі, яким ми дихаємо, залишається все менше і менше іонів. У водоспадів 50 000 негативних іонів на 1 см³, біля озера - 4 000 негативних іонів на 1 см³, тоді як повітря у приміщенні часто містить менше 200 негативних іонів на 1 см³ [3,5].

В таблиці 1.1 вказано оптимальну концентрацію іонів у повітрі.

Таблиця 1.1 – Нормативні величини іонізації повітряного середовища виробничих та громадських приміщень.

Рівень	Кількість іонів на 1 см ³ повітря		П
	n^+	n^-	
Мінімальний необхідний	400	600	-0,2
Оптимальний	1500-3000	3000-5000	від -0,5 до 0
Максимально допустимий	50000	50000	від -0,05 до +0,05

У таблиці є оптимальні значення показника полярності (П), який визначається як співвідношення позитивних іонів до негативних:

$$П = \frac{n^+ + n^-}{n^- - n^+}$$

Вчені встановили ряд чудових фактів. Застосування аероіонів негативної полярності дозволяє знижувати стомлюваність, втому, відновлювати сили. Аероіони є досить дієвим засобом. Іонізоване повітря є також потужним профілактичним і стимулюючим фактором. Зробити повітря "живим" – це значить створити в повітрі іони

кисню в такій концентрації і при такому балансі, які існують в повітрі гірських або приморських курортів. Експериментально встановлено [3], що спрямований потік аероіонів осаджує пил і мікроорганізми повітря, тим самим очищаючи его.

Огляд літератури, проведений у 2018 році [10] по іонізації дозволив виявити благотворний вплив негативних іонів на багато аспектів здоров'я людини. Присутність негативних аероіонів сприяє поліпшенню психологічного здоров'я, продуктивності та загального благополуччя. В статтях [11-13] були вивчені дослідження та знайдено докази того, що вплив негативних аероіонів надає широкий ефект на здоров'я людини, а саме:

- допомагають регулювати режим сну та настрої;
- зменшити стрес;
- підвищити функцію імунної системи;
- збільшувати метаболізм вуглеводів та жирів;
- вбивають або пригнічують ріст шкідливих бактерій, вірусів та видів цвілі.

[14].

1.3 Аналіз процесів утворення аероіонів в природному середовищі

До природних та штучних джерел енергії відносяться: променисті або космічні промені в атмосфері; сонячне світло, включаючи ультрафіолет; зсувні сили води (ефект Ленарда); природний коронний розряд, включаючи грім та блискавку.

Сяючі або космічні промені в атмосфері. Радіоактивні елементи, такі як уран, радій, актиній та торій, широко поширені на нашій планеті. Вони розпадаються в атмосфері і випускають альфа, бета та гамма промені, які іонізують повітря. Таким чином, іонізація радіоактивними та космічними променями широко поширена в атмосфері Землі. Іонізація космічними променями становить близько 20% загальної іонізації поверхні суші [15]. Вони також є основними джерелами енергії, що генерують негативні аероіони над океанами [16]. Концентрація негативних аероіонів, створюваних цими променями, може досягати від 500 іонів на см^3 на поверхні землі [17] до більш ніж 1000 іонів на см^3 на відстані 15 км від поверхні землі [18].

Сонячне світло, включаючи ультрафіолет. Фотоелектричний ефект – це випромінювання електронів, коли на металеву поверхню потрапляє світло певної довжини хвилі. Негативні аероіони генеруються шляхом прийняття цих електронів, що випускаються. Фотоелектричний ефект може зробити менший внесок у генерацію негативних аероіонів, оскільки лише деяка довжина хвилі світла показує здатність випускати електрони при освітленні.

З іншого боку, негативні аероіони можуть генеруватися світлом певної довжини хвилі у вигляді прямої іонізації молекул повітря. Наприклад, ультрафіолет (УФ) можна використовувати для прямої іонізації молекул повітря для генерації негативних аероіонів [16, 19]. Проведений експеримент показав [16], що ультрафіолетове освітлення можна використовувати для створення негативних аероіонів. Однак за умов УФ-світла було отримано лише низькі концентрації негативних аероіонів.

Значна кількість негативних аероіонів знаходиться під водоспадами або на морському узбережжі. В основі цього є явище, що зветься ефектом Ленарда. Дослідження, які проведені Ленардом [20] показали, що негативні аероіони утворюються з молекул навколишнього повітря, заряджаючись негативно, коли краплі води стикаються між собою або з вологим твердим тілом, утворюючи дрібні бризки крапель. Дослідження також показали, що кілька факторів можуть впливати на ступінь поділу зарядів у процесах розпилення та, отже, можуть впливати на утворення та концентрацію негативних аероіонів. Негативні аероіони, що генеруються «ефектом Ленарда», можуть покращувати аеробний метаболізм [21].

Вивільнення негативних аероіонів на рослинній основі за нормальних умов росту та при імпульсній електричній стимуляції. Було доведено, що рослини мають здатність генерувати негативні аероіони в нормальних умовах зростання і розглядаються як природні ресурси для генерації негативних аероіонів [22, 23]. Різні рослини виділяли різну кількість негативних аероіонів у природних умовах зростання. Однак у нормальних умовах зростання рослини виділяли дуже низькі концентрації негативних аероіонів (<200 іонів/см³). Бахман і Хадеменос в 1971 році повідомили про генерацію негативних аероіонів шляхом застосування до рослин електричного поля висо-

кої напруги [24]. Пізніше у 2004 році Тихонов із співавторами [25] показали, що рослини можуть виділяти величезну кількість негативних аероіонів при стимуляції імпульсним електричним полем. З тих пір було проведено кілька інших досліджень для вивчення впливу стимуляції на утворення рослин негативних аероіонів. Як правило, у природних умовах зростання рослини виділяють менше 200 іонів/см³. Однак після стимуляції було виявлено більше $3,5 \times 10^6$ іонів/см³.

Атмосфера, що оточує Землю, також піддається дії природного електричного поля та її інтенсивність постійно змінюється як під локальним, так і глобальним впливом [26]. До місцевих впливів відносяться географічне положення та погодні умови, такі як грози, дощ, туман тощо; світові факти відносяться до класичних добових варіацій електричного поля [15]. Коли гілки дерев мають високу різницю потенціалів у порівнянні з навколишнім середовищем у своїх електричних полях, виникає коронний розряд (також званий точковим розрядом) і можуть вивільнитися негативні аероіони [16, 27]. Зазвичай коронний розряд виникає в атмосферних умовах за високих електричних полів [16]. Наприклад, у гірській місцевості високі електричні поля та низький атмосферний тиск сприяють виникненню коронного розряду [28]. Грози та блискавки створюють умови дуже сильного електричного поля і згодом виникає коронний розряд. Отже, після гроз та блискавок викиди негативних аероіонів будуть величезними. Проте випущені негативні аероіони поступово руйнуватимуться через уривчасті грози. Крім гроз та блискавок, туман також може сприяти утворенню негативних аероіонів. У лісі спостерігалися варіації електричного поля під час утворення та розсіювання туману, що може викликати коронний розряд та генерацію негативних аероіонів [29].

1.4 Огляд способів штучної іонізації повітря

Для вирішення проблеми недостатньої іонізації повітря існують прилади для штучної іонізації повітря. Апарати, за допомогою яких здійснюється штучна іонізація повітря, називаються аероіонізаторами або генераторами аероіонів. Їх поділяють на аероіонізаційні устаткування і портативні побутові аероіонізатори.

Основною вимогою, що пред'являються до аероіонізаторів, є його здатність створювати в повітрі іони кисню негативної та позитивної полярності. Якщо аероіонізатор не володіє цією обов'язковою якістю, він біологічно не корисний та може бути шкідливим.

Іонізатори працюють або на високій напрузі (кілька тисяч вольт) з коронним розрядом на електродах, або від джерела іонізуючого випромінювання на ультрафіолетовому випромінюванні чи на радіоактивних ізотопах. Потік іонів досягає часто 1 мкА, що відповідає кільком мільярдам іонів в секунду.

Основними частинами аероіонізаційних установок є іонізуючі електроди та джерела високовольтного живлення аероіонізаторів, пристрої автоматики і техніки безпеки. Іонізуючі електроди бувають двох типів: голчасті (вістрієві) і дровові.

Було створено велику кількість аероіонізаторів різних типів, до них відносяться:

- термоелектронні аероіонізатори;
- радіоізотопні аероіонізатори;
- радіоактивні аероіонізатори;
- фотоелектричні аероіонізатори;
- гідродинамічні аероіонізатори (гідроаероіонізатори);
- коронні аероіонізатори.

Принцип роботи останніх заснований на викиданні в повітря електронів, що зліплюючись з іонами повітря, заряджають їх негативно. Негативно заряджені аероіони, проникаючи в кров, заряджають її і, тим самим, продовжують термін життя клітини організму.

Розглянемо основні способи штучної іонізації повітря.

Термоелектрона аероіонізація. При нагріванні металу до 1000-1200°C за рахунок ефекту термоелектронної емісії він викидає в повітря електрони, які з'єднуються з молекулами кисню і утворюють аероіони. Пристрої для штучної аероіонізації повітря на основі термоелектронної емісії електронів нагрітими тілами називають термоемісійними іонізаторами. В даних пристроях для емісії електронів застосовується ніхромовий дріт, що нагрівається електричним струмом. Для створення потоку

іонів ніхромова спіраль обдувається струменем повітря. Концентрація аероіонів в повітрі не перевищує 100 тисяч іонів/см³ при значних витратах електричної енергії.

Недоліком термоелектронних аероіонізаторів є низький коефіцієнт їх корисної дії через велике споживання електричної енергії при низькій продуктивності аероіонів. Це визначає великі економічні витрати, високу пожежонебезпечність, а також зміну мікроклімату приміщень за рахунок підвищення температури і концентрації металевого пилу в повітрі, зміни його вологості і згоряння кисню.

Іонізатори на випромінюванні. У природних умовах іонізація повітря виникає за рахунок радіоактивних джерел, що знаходяться у ґрунті і воді. Для штучної іонізації повітря застосовують різні альфа-радіоактивні речовини, які мають високі іонізуючі і низькі проникаючі здатності. Подібні властивості мають такі чисті радіоізотопи як полоній-210 і плутоній-239. Пристрої радіоізотопної аероіонізації мають камеру з джерелом альфа-випромінювання. На виході камери для регулювання інтенсивності аероіонізації і ступеня уніполярності встановлюються електроди, на які дається регульована постійна напруга. Концентрація аероіонів, яка підтримується такими приладами, не більше 100 тисяч іонів/см³. При цьому продуктивність аероіонів через низьку проникаючу здатність альфа-частинок істотно залежить від товщини пилового забруднення поверхні випромінювача.

Основним недоліком радіоізотопних аероіонізаторів є підвищена радіаційна небезпека для здоров'я людей, тому дані аероіонізатори не знайшли і не повинні знайти широкого застосування.

Ультрафіолетові аероіонізатори. При проходженні через повітря ультрафіолетових променів відбувається фотоіонізація його молекул. Для створення в повітрі аероіонів на основі цього способу застосовуються потужні джерела ультрафіолетового світла – кварцові лампи. Концентрації позитивних і негативних аероіонів при цьому приблизно рівні можуть досягати 500 тисяч іонів/см³. Однак ультрафіолетові аероіонізатори створюють у повітрі дуже високі концентрації озону і оксидів азоту, які мають онкогенну дію. Тому даний метод для лікувальних і профілактичних цілей застосовувати не можна.

Гідроіонізатори. В природних умовах джерелами аероіонів є водоспади і морські прибої. В результаті інтенсивного розпилення води утворюється аерозоль, в якому дрібні краплі води заряджаються негативно, а великі – позитивно. Великі краплі під впливом сили тяжіння падають на поверхню води чи землі, а дрібні краплі при випаровуванні віддають свій заряд повітрю, насичуючи його негативними іонами. Пристрої для штучної аероіонізації повітря шляхом розпилення у ньому води називають гідроіонізаторами. Іонізація повітря, яка заснована на даному ефекті, здійснюється шляхом розпилення рідини, що подається в повітря під певним тиском через спеціальні форсунки. Концентрація аероіонів в повітрі залежить від параметрів створюваного повітряно-водним струменем: його потужності, швидкості і ступенем диспергування, а також від відстані між місцем формування аерозолі та місцем споживання.

Гідроіонізатори не знайшли широкого застосування, по-перше, через необхідність використання складної і дорогої компресорної техніки, по-друге, із-за малого обсягу зони простору, яка іонізується, повітряного та низького вмісту аероіонів в цій зоні і, по-третє, через сильне зволоження повітря.

Іонізатор на коронному розряді. Цей метод розробив і апробував в 1918 р. А. Л. Чижевський [3]. В даний час він є одним з найбільш поширених способів отримання легких негативних аероіонів кисню. В основі методу лежить створення електричних розрядів у повітрі за допомогою електродів, які виконуються, наприклад, з металевих голок, що мають дуже малий радіус кривизни вістря і знаходяться під постійною негативною напругою.

Розрізняють дуговий, іскровий і коронний електричний розряди.

При дуговому і іскровому розряді високої інтенсивності разом з аероіонами кисню в повітрі утворюються озон і окис азоту, які є найсильнішими отрутами. В даний час у продажу з'явилися псевдоіонізатори, що випускаються нашою та зарубіжною промисловістю. Авторами цих «іонізаторів-очищувачів повітря», які нібито працюють на принципі електронного вітру», створені як малопотужні озонатори, принцип дії яких заснований на коронному розряді високої інтенсивності.

При коронному розряді малої інтенсивності утворення в повітрі шкідливих сполук не відбувається, що і робить коронний електричний розряд такої інтенсивності безпечним.

Для формування коронного розряду малої інтенсивності в повітрі необхідно створення постійного електричного поля між двома істотно рознесеними електродами, один з яких повинен мати малий радіус кривизни. Якщо на електрод з малим радіусом кривизни подається постійний негативний потенціал, то у його вістря максимально зростають напруженість електричного поля і поверхнева щільність заряду, що при достатньому напруженні викликає емісію електронів з електрода в повітряний простір. Даний процес носить назву «ефлювія» – «стікання» електронів з електрода. Вирвані з електрода вільні електрони і позитивні іони повітря створюють лавину носіїв. Це призводить до іонізації молекул повітря, утворення навколо коронуючого електрода шар, який слабо світиться, з фотонів і протікання електричного струму в розрядному проміжку за рахунок швидкого переміщення вільних електронів в зовнішню область корони. Вільні електрони приєднуються до нейтральних молекул кисню, утворюючи негативні аероіони, які під впливом електричного поля рухаються до позитивного некоронуючого електрода. Збільшення напруги на електродах підвищує кількість вільних електронів у повітрі і негативних аероіонів кисню, які створюються. Саме на цьому фізичному явищі ґрунтується електроефлювіальний метод А. Л. Чижевського.

Електроефлювіальні аероіонізатори О. Л. Чижевського знайшли широке поширення в медицині, побуті та виробництві. Вони відповідають усім необхідним вимогам техніки безпеки, прості в конструктивному і технологічному виконанні, універсальні у застосуванні, споживають малу кількість електричної енергії і володіють значними можливостями регулювання концентрації негативних аероіонів кисню в межах від кількох тисяч до десятків мільйонів іонів в см³.

1.5 Висновки за розділом

Іони повітря або аероіони – це електрично заряджені молекули або атоми в атмосфері. Іон повітря утворюється, коли газоподібна молекула чи атом отримує досить високу енергію для викиду електрона. Іонізація – це процес утворення заряду на молекулі, а заряджена молекула називається аероіоном або легким іоном. Коли іонізована молекула осідає на молекулі рідини або пилинці іон стає важким. Важкі іони шкідливі для здоров'я людини, тоді як легкі негативні іони, мають корисну та лікувальну дію.

Чижевський довів, що нормативна величина концентрації негативних іонів у повітряному середовищі виробничих і громадських приміщень повинна знаходитися в межах від 600 до 50 000 іонів/см³.

В природньому середовищі іонізація відбувається: космічними променями, сонячним світлом, ефектом Ленарда та природним коронним розрядом.

Існують основні способи іонізації повітря: термоелектронна аероіонізація, ультрафіолетова іонізація, гідроіонізація, іонізація на коронному розряді. Для вирішення проблеми недостатньої іонізації повітря, були створені прилади штучної іонізації повітря: термоелектронні аероіонізатори, радіоізотопні аероіонізатори, радіоактивні аероіонізатори, фотоелектричні аероіонізатори, гідродинамічні аероіонізатори (гідроаероіонізатори), коронні аероіонізатори та електрофлювіальні іонізатори О.Л. Чижевського.

Електрофлювіальні іонізатори є найбільш популярними та універсальними серед побутових приладів, тому що вони безпечні і не виділяють шкідливого озону, гідроперекисів та радіоактивних часток. Ці іонізатори мають гострі голки, на які подається висока напруга, в результаті чого з кінчиків голок стікають вільні електрони. Ці електрони з'єднуються з молекулами кисню і утворюють негативно заряджені аероіони.

Одним з найважливіших компонентів «люстри Чижевського» є електромагнітний трансформатор, який подає на електрод високу напругу. Проте він має ряд недоліків: вага і великі габаритні розміри, низький ККД, велика розсіювана потужність.

Тому його можна замінити більш сучасним п'єзокерамічним трансформатором, який має такі переваги: мінімізація конструктивних рішень, низький рівень шуму, висока гальванічна розв'язка, хороша ізоляція і негорючість, здатність працювати на високих частотах понад 500 кГц, нечутливість до магнітних полів.

Отже, основну увагу в літературі приділяється негативним іонам. Але, останнім часом з'явилися вимоги до наявності у повітрі і позитивних іонів [6]. Причому мінімальна кількість позитивних іонів складає 400 іон/см^3 . Тобто, оптимальним є додержання у повітрі іонів обох полярностей. Тому в подальшому розглянуто можливість принципу створення біполярного іонізатора, який виробляє як позитивні, так негативні іони.

РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ П'ЄЗОТРАНСФОРМАТОРІВ

2.1 Загальні відомості

Одним з основних компонентів біполярного іонізатора є п'єзотрансформатор. На даний момент у сучасних літературних джерелах недостатньо уваги приділяється п'єзоелектронним приладам. Зустрічаються лише поодинокі наукові праці, що присвячені особливостям роботи цих електронних приладів, можливостям застосування у сучасній електронній апаратурі.

П'єзоелектричні трансформатори представляють перспективний клас сучасних пристроїв електроніки, що мають широкий спектр функціональних можливостей при малих габаритах, масі та високій економічності. Їх використовують в радіотехнічних пристроях в малопотужних і малогабаритних джерелах живлення. П'єзотрансформатор використовують в якості високовольтного джерела з вихідною напругою в декілька тисяч вольт. П'єзотрансформатор в найпростішому випадку має дві пари електродів, що утворюють збудник і генератор.

П'єзоелектричні трансформатори мають ряд суттєвих переваг у порівнянні з електромагнітними трансформаторами: забезпечення високої гальванічної ізоляції, високі надійність та зносостійкість, великі коефіцієнти трансформації та корисної дії, відсутність проблеми нагрівання та незаймистість. Також вони не створюють жодних електромагнітних перешкод і абсолютно нечутливі до будь-яких електромагнітних полів, та можуть працювати на високих частотах понад 500 кГц. На відміну від електромагнітного трансформатора в п'єзотрансформаторі спрощена конструкція, в якій відсутні будь-які проводи або обмотки.

В біполярному іонізаторі повітря, що розробляється, використовується одношаровий п'єзокерамічний трансформатор однієї з першої та найвідомішої конструкції - конструкції Розена [4]. Вона представляє собою п'єзотрансформатор поперечно – подовжнього типу (рисунок 2.1).

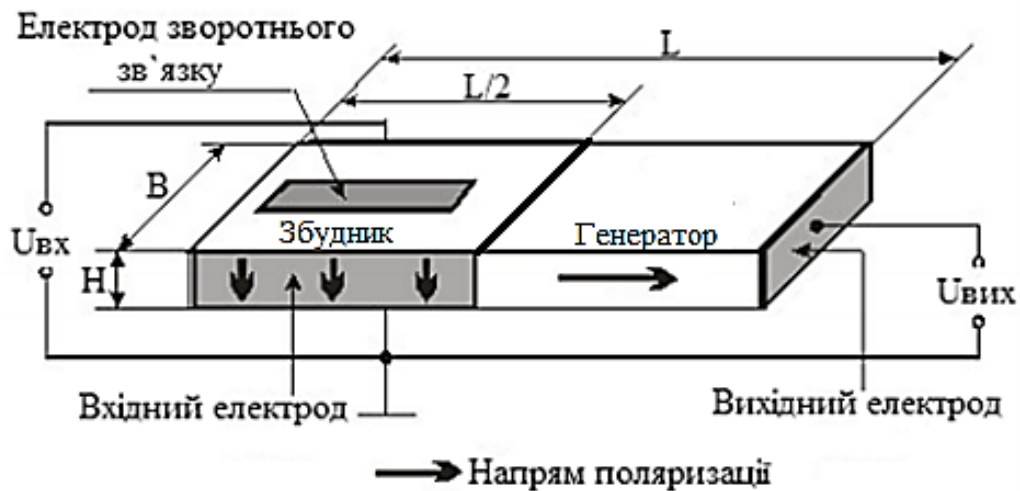


Рисунок 2.1– Схематичний вигляд конструкції одношарового п'єзоелектричного трансформатора конструкції Розена

Принцип роботи ПТ полягає у застосуванні явища зворотного п'єзоєфекту у збуджувальній секції та прямого п'єзоєфекту в генераторній секції [30].

Особливістю п'єзоелектричного трансформатора є резонансний характер перетворення енергії у порівняно вузькій смузі частот, коли амплітуда внутрішньої механічної напруги досягає максимального значення. Найбільший коефіцієнт трансформації досягається на частоті резонансу. Ще однією особливістю п'єзокерамічного трансформатора є висока добротність.

2.2 П'єзотрансформатори. Особливості конструкції

ПТ є монолітною конструкцією різноманітної форми (прямокутної, квадратної, кільцевої, циліндричної), виготовлену з п'єзокерамічного матеріалу. На поверхню зовнішньої частини ПТ наносяться електроди з срібла. З метою одержання п'єзоелектричних властивостей ПТ поляризують, шляхом розміщення в електричному полі великої напруженості. Його принцип роботи базується на подвійному перетворенні електричної енергії. А саме, у збуджувальній секції ПТ енергія електричного поля трансформується в механічну енергію, у генераторній секції вже механічна енергія трансформується в електричну енергію. У ході вибору розміру електродів ПТ та їх

розміщення на секціях, можна одержати відмінні значення коефіцієнта трансформації.

Основна особливість роботи ПТ полягає в резонансному характері трансформації електричної енергії у вузькій смузі частот, відносно електромагнітних трансформаторів. Максимальні значення основних параметрів п'єзотрансформатора – коефіцієнта трансформації, ККД, вихідної потужності досягаються при його роботі на резонансній частоті.

В даній роботі застосовується ПТ Розена з поздовжньо-поперечного поляризацією. Конструкція ПТ Розена, не здатна передавати велику електричну потужність на вихід ПТ, максимальна вихідна потужність не більше 5-10 Вт, у зв'язку з високим внутрішнім імпедансом, проте вона забезпечує великий коефіцієнт трансформації в межах 100-10000.

Робочим матеріалом у ПТ використовується широкий спектр видів п'єзокераміки, адже саме вона дозволяє конструктивно поєднати в середині однієї пластини дві секції ПТ – генератор та збудник. П'єзокераміка здатна до п'єзоелектричного ефекту, тобто в ній відбувається поляризація під впливом механічної напруги.

П'єзокераміка – це хімічна сполука чи твердий розчин кристалітів. Вона представляє собою твердий та хімічно інертний матеріал, котрий не чутливий до впливу вологи, а також атмосферних впливів. П'єзокераміка має полікристалічну структуру. За хімічним складом вона є складним оксидом, тобто містить у своєму складі бівалентні іони свинцю чи барію і чотирьохвалентні іони титану або цирконію. Найбільш широко використовується група п'єзокерамічних матеріалів типу ЦТС (цирконат-титанат свинцю).

Використання сучасних п'єзокерамічних матеріалів дозволяє домогтися коефіцієнта трансформації по напрузі понад 1000 В, що забезпечує отримання вихідних напруг до 10 кВ. Крім режиму трансформатора напруги ці пристрої успішно застосовуються і як трансформатори струму.

2.3 Опис об'єкту та схема дослідження

Експериментальному дослідженню підлягали одношаровий п'єзоелектричний трансформатор напруги поперечно-подовжнього типу ТП-Р1 800603. Геометричні розміри п'єзотрансформатора наведені на рисунку 2.2 [31].

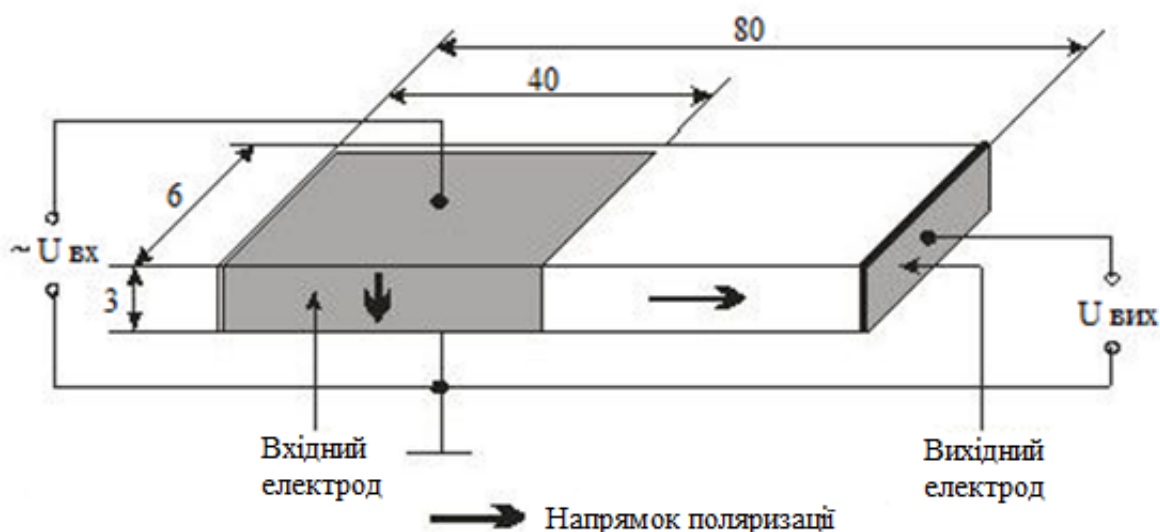


Рисунок 2.2 - Позначення геометричних розмірів п'єзотрансформатора

На рисунку 2.3 приведено фото п'єзотрансформатора.

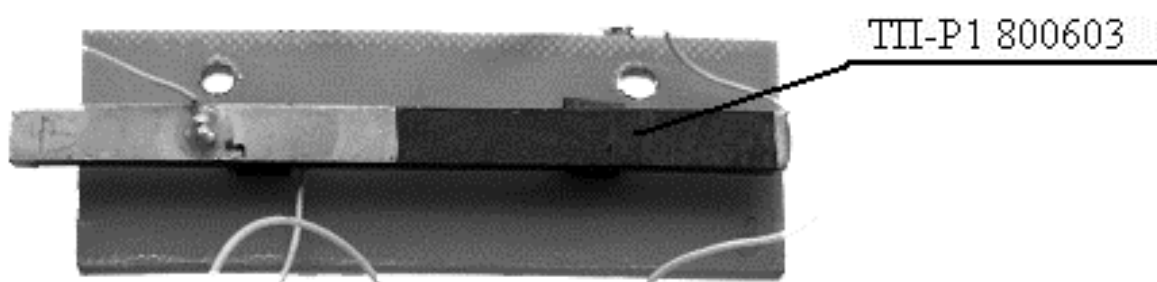


Рисунок 2.3 - Фото п'єзотрансформатора ТП-Р1 800603

В таблиці 2.1 наведені електрофізичні параметри п'єзотрансформатора.

Таблиця 2.1

Електрофізичні параметри п'єзотрансформатора ТП-Р1 800603

Частота основного резонансу, кГц	Тангенс кута діелектричних втрат вхідній секції, не більше	Вхідна напруга, В	Вхідний струм, мА при навантаженні 100 МОм, не більше	Вихідна напруга, кВ при навантаженні 100 МОм, не менше	Коефіцієнт корисної дії при навантаженні 30 МОм, не менше	Максимальна вхідна напруга, В, не більше
19,0-22,0	0,010	20	30	3,5	0,5	60
79,2-96,8	0,008	3	-	2,0	0,5	-

Для дослідження характеристик п'єзотрансформатора використовувалася схема, яка приведена на рисунку 2.4.

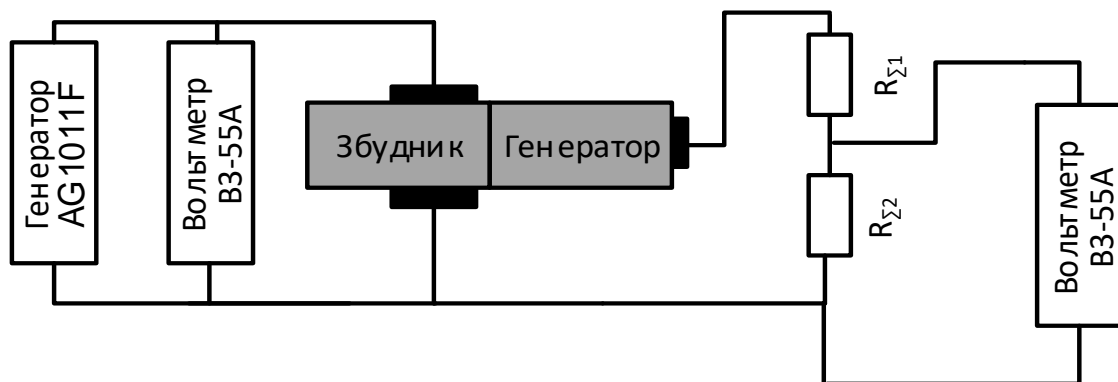


Рисунок 2.4 – Схема для дослідження характеристик п'єзотрансформатора

$$R_{\Sigma 1} = 96 \text{ МОм}; R_{\Sigma 2} = 125 \text{ кОм}.$$

В якості генератора сигналів використовувався генератор CD4049.

2.4 Висновки за розділом

Отже, одним з найважливіших компонентів біполярного іонізатора є п'єзотрансформатор, який видає високу напругу на електрод. Він має такі переваги: зменшені конструктивні розміри, хороша ізоляція, малий рівень шуму, висока гальванічна розв'язка, не здатність до горіння, можливість роботи при високих частотах більше 500 кГц, не схильність до впливу магнітних полів.

ПТ, завдяки спрощеній конструкції, все частіше слугують заміною електромагнітних трансформаторів у малогабаритних пристроях. Найбільшої переваги використання ПТ набуває в тих випадках, коли потребується досягти великого коефіцієнту трансформації при невеликій потужності. Досить вдалим є можливість ПТ для досягнення великої напруги для реалізації його в біполярному іонізаторі. Реалізації цієї задачі і будуть присвячені наступні розділи.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

3.1 Розробка функціональної схеми макета приладу біполярної іонізації повітря

Для створення біполярного іонізатора можливо використати режим, при якому іони різної полярності будуть генеруватися не одночасно, а по черзі. На рисунку 3.1 наведена функціональна схема, яка реалізує принцип створення біполярного іонізатора, де підключення та відключення генераторів здійснюється по чергово за допомогою комутатора. Інтервал перемикання $t_{\text{вкл}} = t_{\text{вим}} = 1$ с.

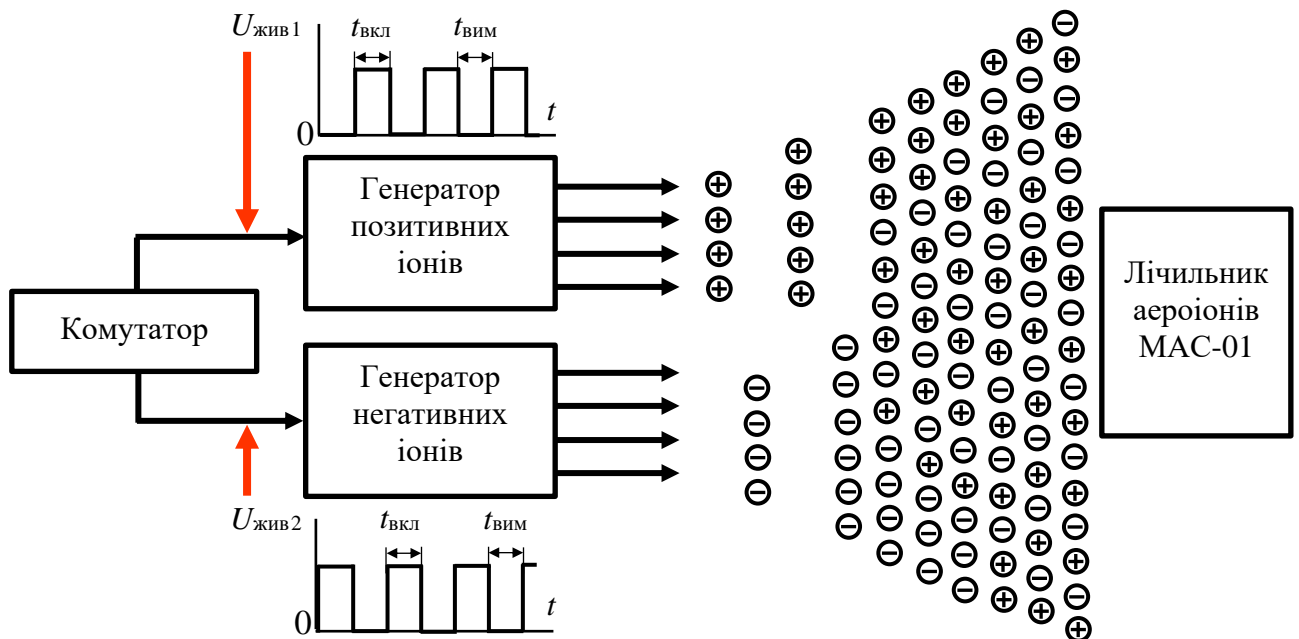


Рисунок 3.1 - Функціональна схема, що реалізує принцип створення біполярного іонізатора

В якості генераторів іонів використовувались іонізатори, дослідження яких представлені у розділі 4. При проведенні експерименту очікувалося, що інерційність роботи схеми генераторів невелика і генерація може припинитися за досить короткий час.

Комутатор в процесі роботи подає сигнал ввімкнення на генератор позитивних іонів одночасно з подачею сигналу на вимкнення генератору негативних. Аналіз залежностей показує, що після виключення іонізатора деіонізація відбувається значно інтенсивніше в областях високих концентрацій іонів, ніж в областях низьких концентрацій. На видаленні від джерела іонів на відстані 3,5 м протягом спостережуваного періоду часу, а саме від 1 до 8 секунд, спостерігається навіть деяке збільшення концентрації негативних іонів. Останнє пояснюється аж ніяк не іонізацією в досліджуваному просторі, а переміщенням негативних іонів з області високої концентрації в область меншої концентрації, тобто переміщенням іонів в просторі, звана дифузією.

3.2 Розробка принципової схеми макета приладу біполярної іонізації повітря

На рисунку 3.4 представлена принципова електрична схема. Прилад працює наступним чином. При підключенні іонізатора до джерела живлення на передній панелі спалахує червоний і один зелений світлодіоди, що свідчить про подання постійної напруги на генератор позитивних та генератор негативних іонів.

В якості генератора було обрано мікросхему CD4049, яка являє собою шість логічних елементів НЕ (інверторів) із буферним виходом. Генератор формує імпульси прямокутної форми заданої частоти. Схема зібрана на логічних елементах в основі якої звичайний RS-тригер, завдяки чому виключається можливість проникнення імпульсів «брязкання контактів» на пристрій. Згідно схеми, на першому виході буде напруга високого рівня, а на другому виході низького рівня або логічного нуля, при роботі тригера формуються сигнали заданої прогальності та частоти. Дана мікросхема може стабільно працювати в діапазоні напруги від 0,5 до 20 В.

Перевагами цієї схеми є простота побудови, використання незначної кількості елементів та використання КМОН – технології. Особливістю КМОН мікросхем є те, що напруга перемикавання мікросхем дорівнює половині напруги живлення. Тобто при будь-якій напрузі живлення мікросхем від 0,5 до 20 В – мікросхеми перемикаються при напрузі на вході, приблизно рівній половині напруги живлення. Іншою особливістю таких мікросхем, котрі використовують КМОН технологію є нульовий струм споживання від джерела живлення у режимі спокою мікросхеми. Споживання струму мікросхем даного типу від джерела живлення відбувається лише у момент їх перемикавання (рисунок 3.2). А отже, зі збільшенням частоти перемикавань, збільшується середній струм споживання.

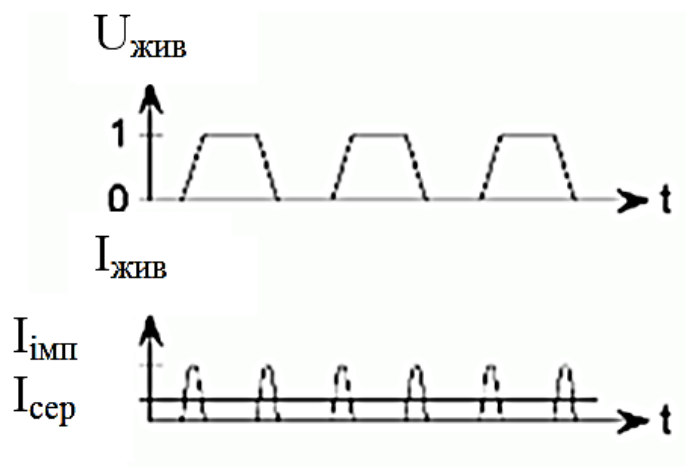


Рисунок 3.2 – Струм споживання інтегральної мікросхеми КМОН – технології від джерела живлення

В мікросхемах з КМОН–технологією, вбудована спрощена схема інвертора, яка наведена на рисунку 3.3. Представлений інвертор побудований на основі двох польових транзисторів, які мають ізольований затвор та індукований канал протилежної структури: з каналами Р- та N-типу. Через це мікросхеми називаються комплементарними, складаються з транзисторів протилежної структури, що доповнюють один одного.

При подачі на вхід інвертора логічного нуля, відкривається верхній транзистор Р-типу, а нижній транзистор N-типу закривається. На виході інвертора високий рівень напруги – логічна одиниця.

При подачі на вхід інвертора логічної одиниці, транзистор Р-типу закривається, а транзистор N-типу відкривається. На виході інвертора низький рівень напруги – логічний нуль.

Струм, що споживається інвертором, при роботі розглянутих станів дорівнює нулю, оскільки один з комплементарних транзисторів закритий. При перемиканні, у момент коли транзистори змінюють свій стан, через інвертор проходить наскрізний струм від джерела живлення через два транзистора до загального проводу.

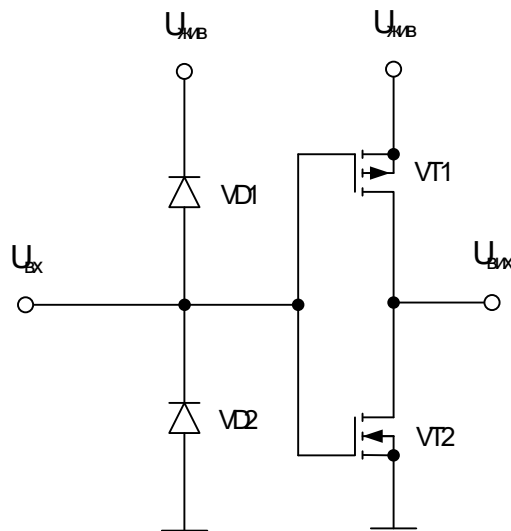


Рисунок 3.3 – Схема електрична принципова інвертора КМОН

Інвертор також містить два діоди, перший включений між затворами транзисторів та джерелом живлення, другий – між загальним проводом та затворами. Діоди призначені для захисту затворів транзисторів від неприпустимих величин вхідних напруг. Конструктивно затвори транзисторів ізолювані від інших частин мікросхеми тонкою плівкою, що складається з оксиду кремнію, котра при

перевищенні напруги живлення інвертора, або зміні полярності – пробивається, та мікросхема виходить з ладу.

Генератор позитивних іонів зібраний по схемі генератора негативних іонів зі змінним напрямом діодів VD3,VD4 на зворотній. Генератори створюють змінну напругу з частотою резонансу п'єзотрансформатора. В результаті роботи генераторів на вхідну секцію п'єзотрансформатора надходять «пачки» змінної напруги високої частоти. Генератори іонів спільно з п'єзокерамічним трансформатором перетворюють постійну напругу в високовольтну змінну. Змінна напруга надходить на вхідну секцію підвищувального п'єзоелектричного трансформатора де підвищується в сотні разів. З вихідної секції п'єзотрансформатора висока змінна напруга надходить на діодний помножувач, де випрямляється та помножується до рівня 6000 В і подається на розрядні електроди. Далі під дією імпульсів високої напруги виникає коронний розряд, що і є джерелом негативних та позитивних іонів у повітрі. Комутатор, слугує для перемикання полярності напруги, що подається на іонізуючі електроди.

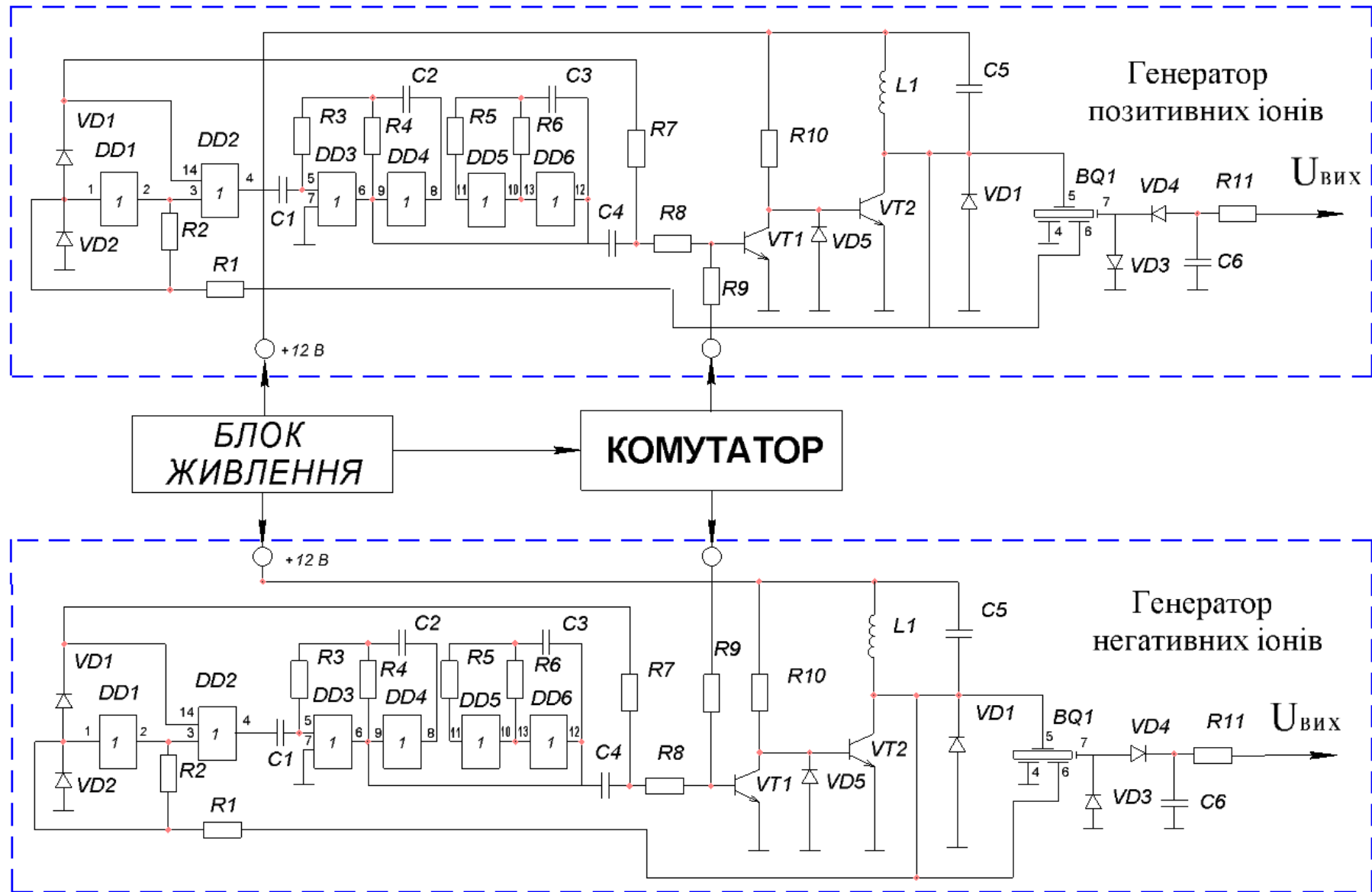


Рисунок 3.4 – Схема електрична принципова

3.3 Висновки за розділом

Було розроблено функціональна схему, яка реалізує принцип створення біполярного іонізатора, де використовується режим, при якому іони різної полярності будуть генеруватися не одночасно, а по черзі.

Проведений аналіз показав, що після виключення іонізатора деіонізація відбувається значно інтенсивніше в областях високих концентрацій іонів, ніж в областях низьких концентрацій. Також на видаленні від джерела іонів спостерігається навіть деяке збільшення концентрації негативних іонів. Це пояснюється переміщенням негативних іонів з області високої концентрації в область меншої концентрації, тобто дифузією.

Також була розроблена електрична принципова схема. В якій за допомогою генератора іонів та з п'єзокерамічного трансформатора відбувається перетворення постійної напруги в високовольтну змінну. Змінна напруга надходить на вхідну секцію підвищувального п'єзоелектричного трансформатора та підвищується в сотні разів. З вихідної секції п'єзотрансформатора висока змінна напруга надходить на діодний помножувач. Виникає коронний розряд, що є джерелом негативних та позитивних іонів у повітрі.

РОЗДІЛ 4. МОДЕЛЮВАННЯ БІПОЛЯРНОГО ІОНІЗАТОРА ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ MULTISIM

4.1 Дослідження амплітудно-частотної характеристики п'єзотрансформатора

В таблиці 4.1 наведені результати вимірювання вихідної напруги п'єзотрансформатора типу ТП-Р1 800603 в залежності від частоти вхідної напруги, яка дорівнювала одному вольту, у діапазоні частот від 17000 до 21400 Гц за схемою на рисунку 2.4.

Як видно з таблиці 4.1, на частоті 20090 Гц досягнуто найбільше значення вихідної напруги, що означає відповідність цієї частоти реальній резонансній частоті п'єзотрансформатора, який досліджується. Якщо її порівняти з даними, які наведені в таблиці 1, то ця частота знаходиться у заявленому виробником діапазоні.

Таблиця 4.1

Залежність вихідної напруги п'єзотрансформатора ТП-Р1 800603 від частоти для першої гармоніки

f , кГц	U_{R11} , В	$U_{вих}$, В	f , кГц	U_{R11} , В	$U_{вих}$, В	f , кГц	U_{R11} , В	$U_{вих}$, В
17,00	0,07	80	19,60	0,26	299	20,40	0,40	460
18,00	0,08	92	19,70	0,34	391	20,50	0,31	356
18,90	0,10	115	19,80	0,48	552	20,60	0,26	299
19,00	0,11	121	19,90	0,82	943	20,70	0,21	241
19,10	0,12	138	20,00	1,06	1218	20,80	0,18	207
19,20	0,14	161	20,09	2,10	2414	20,90	0,16	184
19,30	0,16	184	20,10	2,00	2299	21,00	0,14	161
19,40	0,18	207	20,20	0,95	1092	21,20	0,12	138
19,50	0,21	241	20,30	0,56	644	21,40	0,10	115

За результатами проведених досліджень побудовані графік залежності вихідної напруги від частоти для п'єзотрансформатора ТП-Р1 800603 (рисунок 4.1), який наглядно ілюструє форму резонансної кривої.

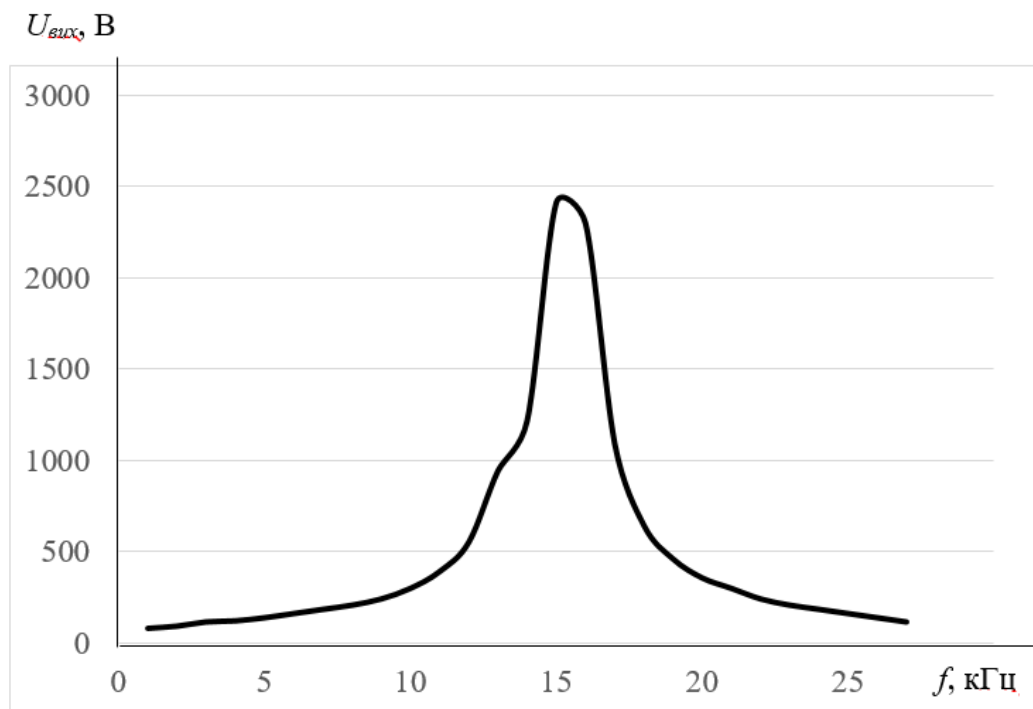


Рисунок 4.1 – Амплітудно-частотна характеристика п'єзотрансформатора

4.2 Розрахунок параметрів схеми та моделювання п'єзотрансформатора

Для моделювання схема іонізатора повітря на базі п'єзотрансформатора в якості системи автоматизованого проектування було обрано ПК NI Multisim 14.1.

Multisim – це засіб для розробки, моделювання та розрахунку електронних схем. Прикладна бібліотека дозволяє задавати вхідні дані, за якими можна проводити вимірювання необхідних величин та будувати відповідні графіки. Наявні в Multisim інструменти є максимально наближеними до реальних прототипів.

Еквівалентна схема ПТ представлена на рисунку 4.2. На цій схемі C_{e1} та C_{e2} – ємність між електродами п'єзоелемента, L_m , C_m , R_m – динамічні індуктивність, ємність та активні втрати у п'єзоелементі.

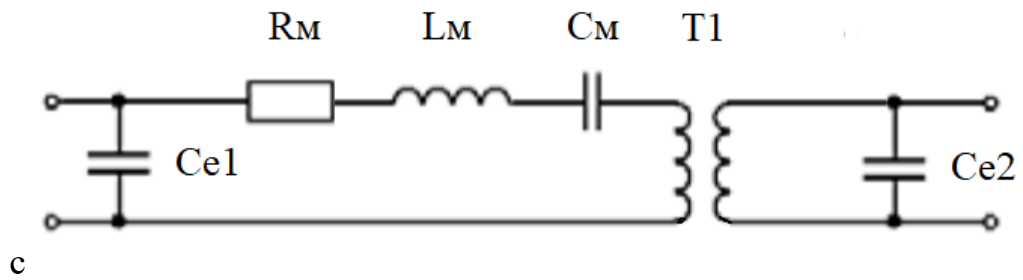


Рисунок 4.2 – Еквівалентна схема ПТ

Під час експерименту досліджувався ПТ поперечно-подовжнього типу характеристики якого приведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Характеристики ПТ-Р1 800603

ТИП	Технологічна особливість	Матеріал виготовлення	Габаритні розміри		
			Довжина L, мм	Ширина, В, мм	Товщина, Н, мм
ПТ-Р1 800603	Одношаровий	ЦТС-24	80±1,0	6±0,4	3±0,2

Методика ідентифікації еквівалентної схеми базується на розрахунку її параметрів за формулами, що надаються у джерелах [32]. При цьому враховуються дані про конструктивні особливості ПТ, фізичні та електричні властивості п'єзокерамічного матеріалу ЦТС-24, з якого він виготовлений.

$$L_m = a' \times b' \times L' \times p = 0,003 \times 0,006 \times 0,04 \times 7,4 \times 1000 = 5,33 \text{ мГн.}$$

$$C_m = \frac{L'}{\pi^2 \times a' \times b' \times Y_{31}^{10}} = \frac{0,04}{3,14^2 \times 0,003 \times 0,006 \times 100 \times 10^9} = 2,25 \text{ нФ.}$$

$$R_M = \frac{\pi \times a' \times b' \times \sqrt{\rho \times Y_{31}^{10}}}{Q_M} = \frac{3,14 \times 0,003 \times 0,006 \times \sqrt{7,4 \times 1000 \times 100 \times 10^9}}{500}$$

$$= \frac{3,14 \times 0,003 \times 0,006 \times 26500000}{500} = 3,07 \text{ Ом}$$

де b' – ширина збудника та генератора відповідно;

L' – довжина збудника та генератора відповідно;

a' – товщина збудника та генератора відповідно;

Y_{31}^{10} – модуль Юнга;

ρ – щільність;

Q_M – механічна добротність.

На основі проведених розрахунків була змодельована схема п'єзотрансформатора ТП-Р1 800603 представлена на рисунку 4.3.

Схема виконана, з використанням моделей «ідеального трансформатору» T1, генератора напруги синусоїдального сигналу V1, ідеалізованих резисторів R1, R2, R3, індуктивності L1, ємності C1, C2, C3.

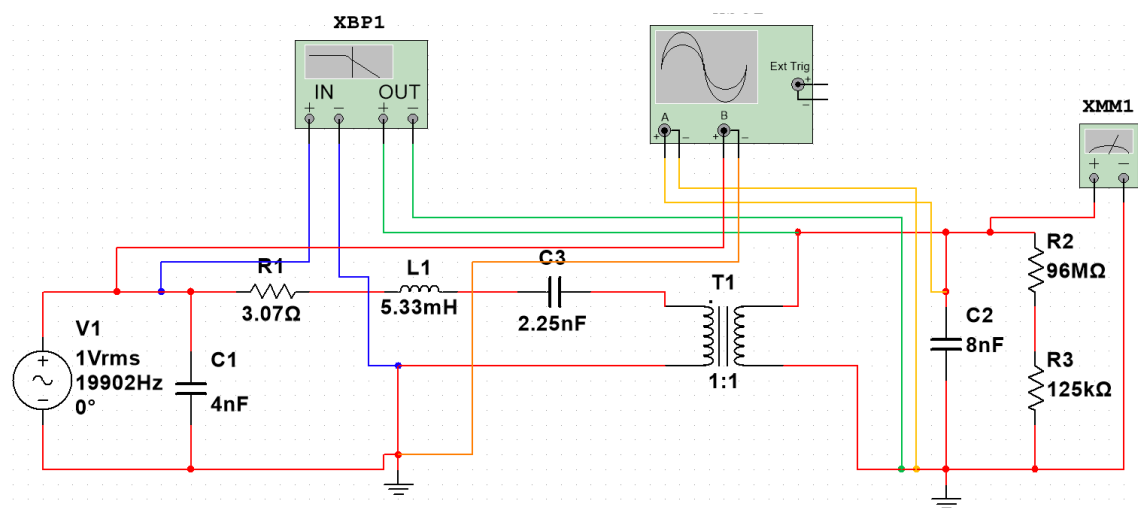


Рисунок 4.3 – Модель п'єзотрансформатора

За допомогою елемента «Плотер Бode» була визначена резонансна частота – 52,336 кГц (рисунок 4.4).

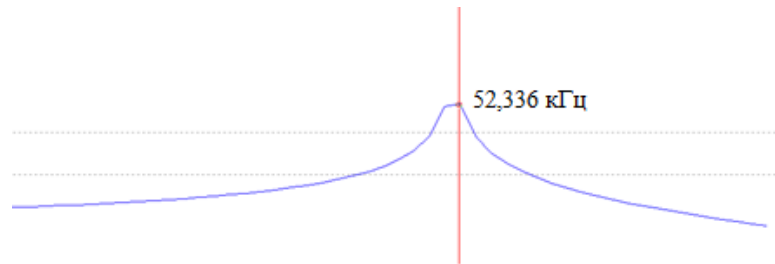


Рисунок 4.4 – Зафіксована резонансна частота

При підстановці частоти було знято покази мультиметра ХММ1, котрий зафіксував максимальне значення напруги на виході, після трансформатора, на рівні – 9,729 В (рисунок 4.5).

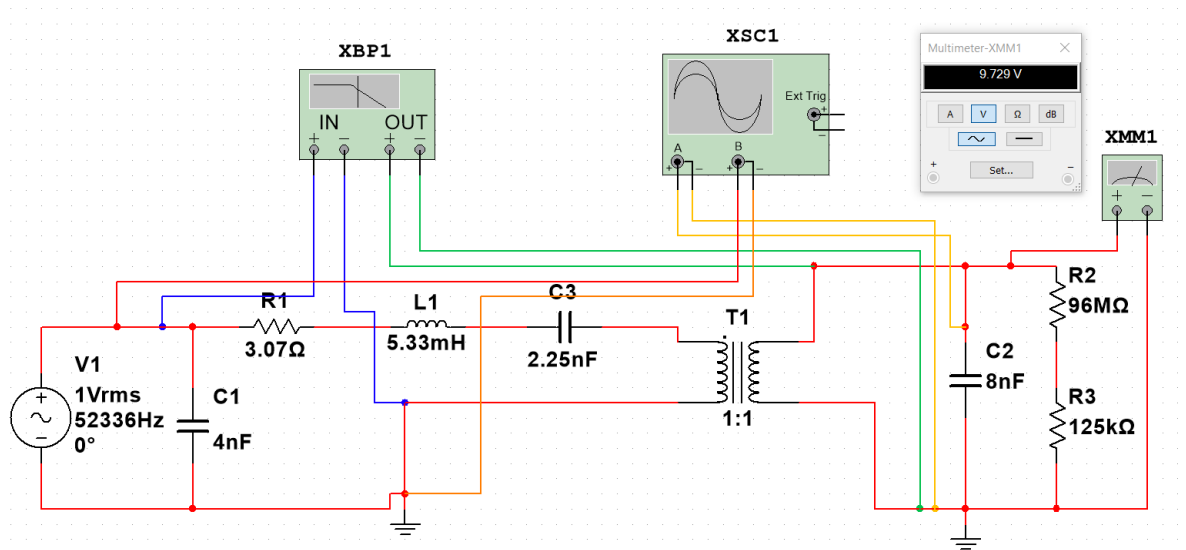


Рисунок 4.5 – Покази напруги виходу на мультиметрі

За допомогою інструмента «Oscilloscope» було знято осцилограму вхідної та вихідної напруги, представлену на рисунку 4.6. Канал «В» фіксує вхідну напругу, амплітудне значення якої – 1,146 В. Канал «А» фіксує вихідну напругу, амплітудне значення якої – 10,478 В. Спостерігається антирезонанс вихідної напруги.

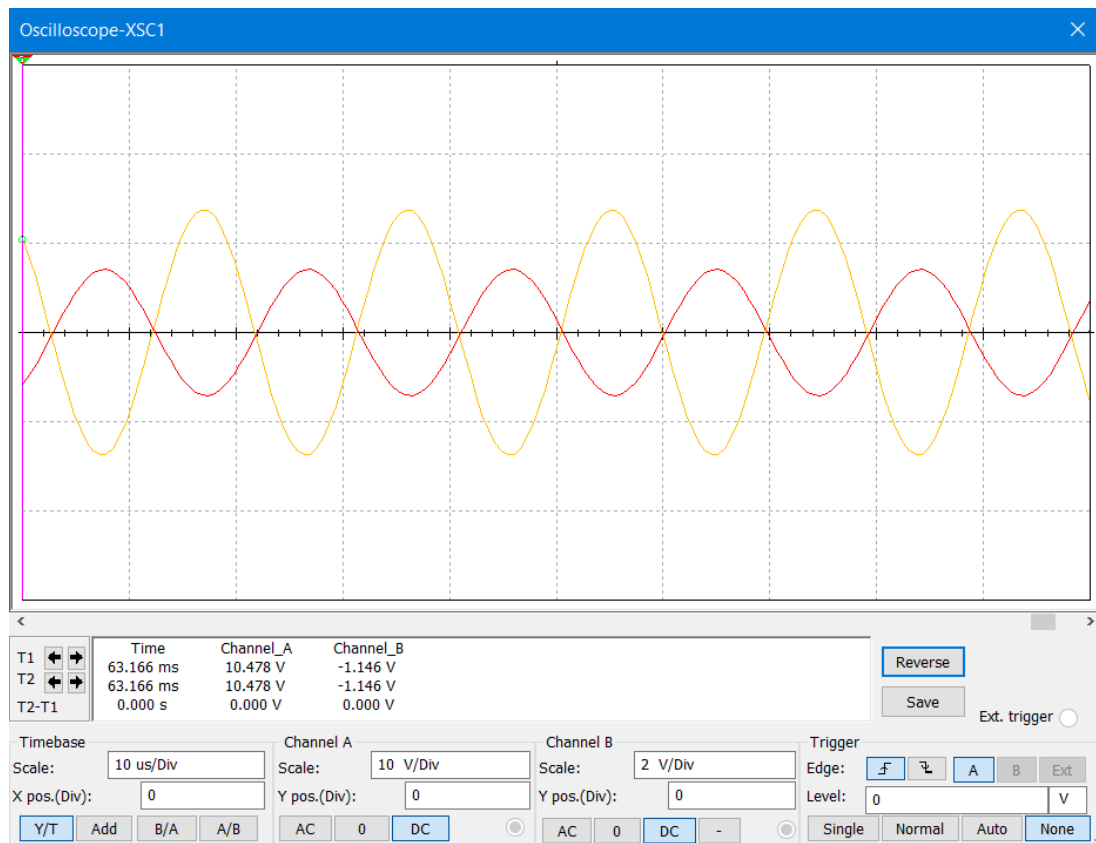


Рисунок 4.6 – Осцилограма напруг

При розрахунку параметрів схеми, та підстановці цих значень в схему моделювання, було виявлено, що з цими даними схема працює не коректно. За результатом моделювання, можна зробити висновок, що параметри розрахованої схеми за методикою [32], не відповідає паспортним даним п'єзотрансформатора ТП-Р1 800603 [31], оскільки резонансна частота розрахованого RLC ланцюга складає 52336 Гц, а повинна знаходитись в діапазоні 19-21 кГц. В запущеній схемі з підставленими параметрами, коефіцієнт трансформації занадто малий. Тому моделювання робилось методом підбора, в результаті якого отримали характеристики наближені до дійсності.

На рисунку 4.7 наведена модель п'єзотрансформатора ТП-Р1 800603, яка побудована у програмі Multisim при частоті резонансу у 19902 Гц.

Розроблена імітаційна модель п'єзотрансформатора, за допомогою моделі «ідеального трансформатора» T1 та RLC ланцюга – R1, L1, C3. Модель доповнена джерелом синусоїдальної напруги V1, опором навантаження R2 та шунтовим резистором-

дільником R_3 , C_1 – виміряна входна ємність ланцюга, C_2 – вихідна ємність. Це дає змогу найбільш повно відтворити натуральний фізичний експеримент у вигляді моделювання. При входній напрузі в 1 В та резонансній частоті 19902 Гц, спостерігається значне підвищення напруги на виході трансформатора, при опорі 96 МОм. Зафіксоване мультиметром ХММ1 – 2,538 кВ.

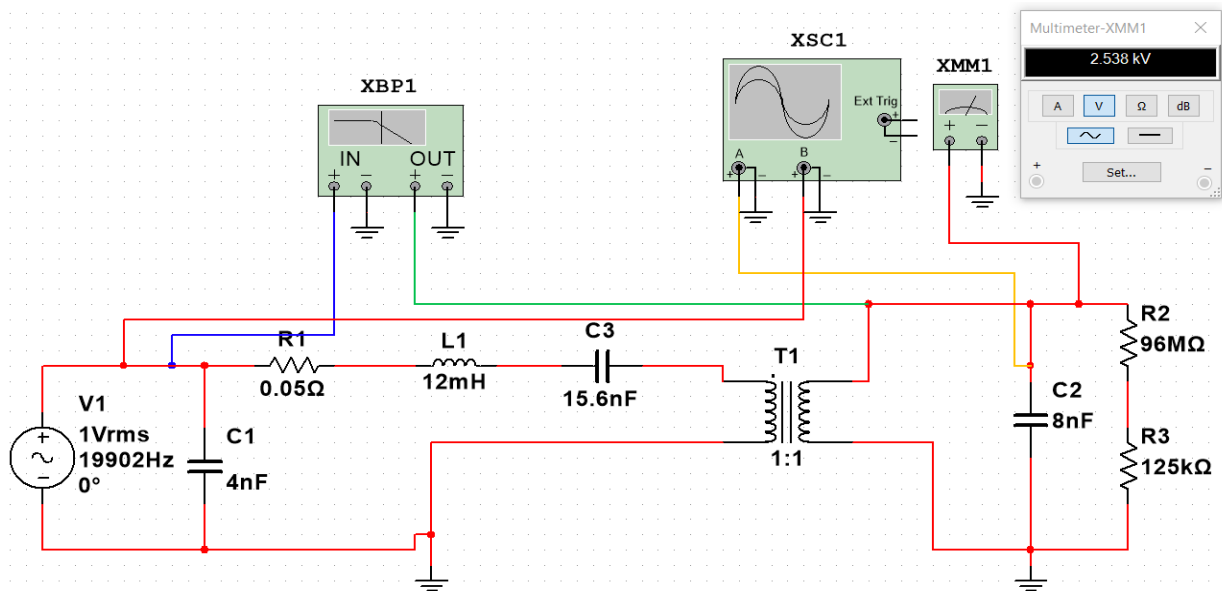


Рисунок 4.7 – Модель п'єзотрансформатора ТП-Р1 800603

За допомогою інструмента «Oscilloscope» було знято осцилограму входної та вихідної напруги, представлену на рисунку 4.8. Канал «В» фіксує входну напругу, амплітудне значення якої – 1,44 В. Канал «А» фіксує вихідну напругу, амплітудне значення якої – 3,698 кВ. Спостерігається антирезонанс вихідної напруги.

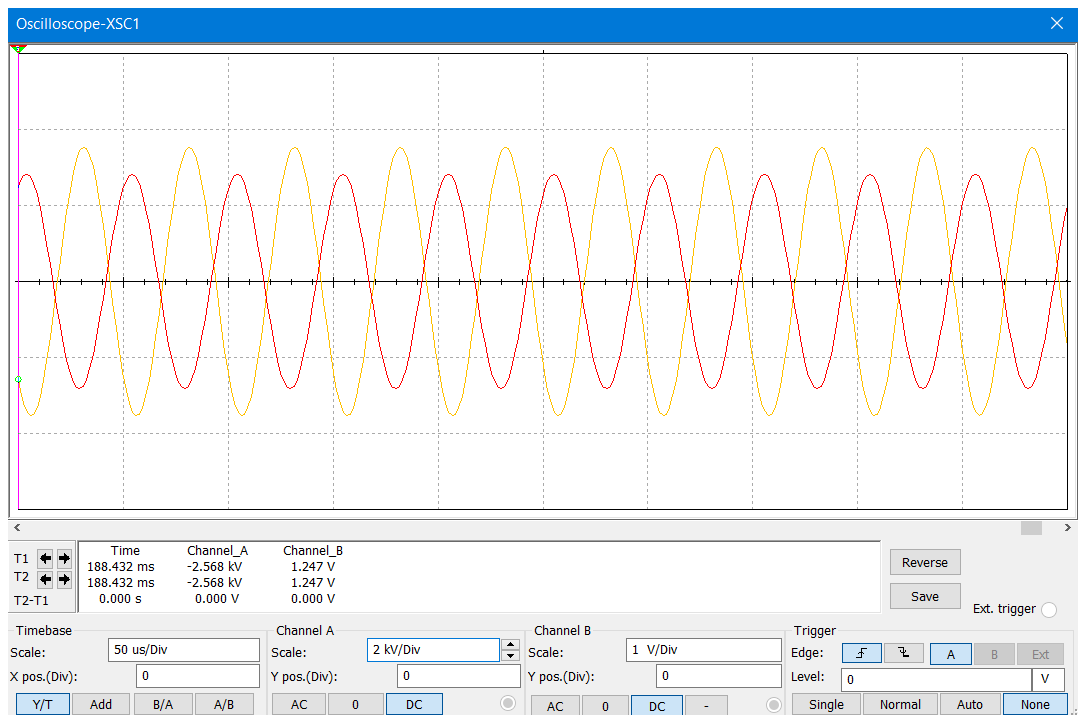


Рисунок 4.8 – Осцилограма знятих напруг

4.3 Побудова моделі діодного подвоювача

На рисунку 4.9 наведена модель п'єзотрансформатора з подвоювачем, що побудована засобами прикладної програми ПК NI Multisim 14.1.

Дія схеми зводиться до наступного. Протягом частини позитивного напівперіоду струму, що випрямляється, вихідна ємність п'єзокерамічного трансформатора заряджається через діод D2 до напруги $U_{\text{макс}}$. У напівперіод, при якому на анод D2 подається напруга негативної полярності, і він не проводить струму, струм протікає через D1 та C5. Внаслідок цього у ланцюзі діють дві послідовно включені напруги, а саме напруга, яка подається на вхід випрямляча та напруга на вихідному конденсаторі. При цьому в максимальному моменті конденсатор C5 заряджається до напруги $2 \cdot U_{\text{макс}}$. При заряді конденсатора C5 відбувається розряд вихідної ємності п'єзокерамічного трансформатора. Якщо ці процеси закіняться до моменту, коли настане наступний позитивний напівперіод струму, що випрямляється, то діод D2 відкриється і

вихідна ємність п'єзотрансформатора знову зарядиться, тобто описаний процес повториться. Отже, напруга на конденсаторі C5 буде кожен період збільшуватися при заряджанні та зменшуватися при розряді на опір підключеного навантаження. Таким чином, частота пульсацій напруги на виході помножувача дорівнює частоті випрямленого струму. Представлений процес випрямлення, при якому відбувається подвоєння напруги, правильний тільки з якісної сторони, оскільки кількісні співвідношення напруг на конденсаторах пропорційні до їх ємності та часу заряду і розряду, а також їх співвідношення з періодом випрямлення струму.

Для отримання на виході подвоювача негативної напруги, змінюємо полярності включення діодів.

У якості джерела напруги обрано синусоїдальний генератор V1, з напругою 10 В, оскільки при напрузі в 1 В спостерігається нестабільність роботи схеми. В схему на виході п'єзотрансформатора паралельно включено подвоювач напруги. В схемі використані ідеалізовані діоди D1, D2, оскільки в бібліотеці відсутні необхідні високовольтні діоди. Напруга знята мультиметром на виході ПТ до подвоювача – 2,89 кВ, після подвоювача – 5,31 кВ.

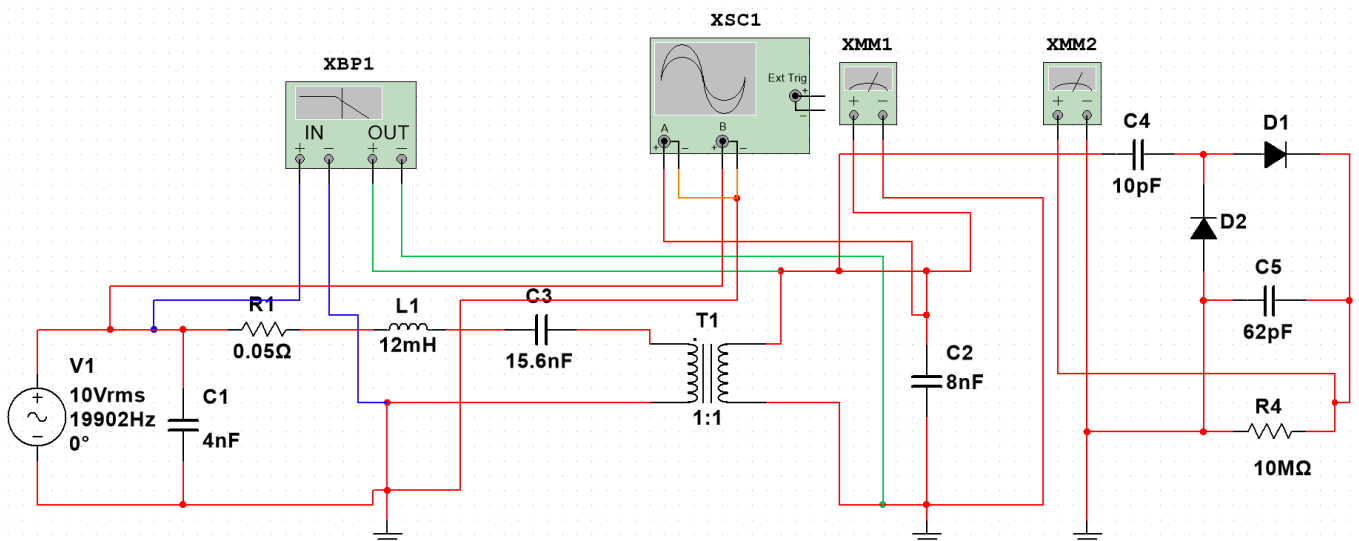


Рисунок 4.9 – Модель ПТ ТП-Р1 800603

На рисунку 4.10 зображено зняті покази з мультиметрів, підключених за схемою наведеною на рисунку 4.9. Мультиметр ХММ1 вимірює напругу до помножувача, ХММ2 після помножувача. Дана величина вихідної напруги не достатня, тому в подальшому моделюванні для збільшення вихідної напруги було обрано помножувач згідно розділу 4.4.

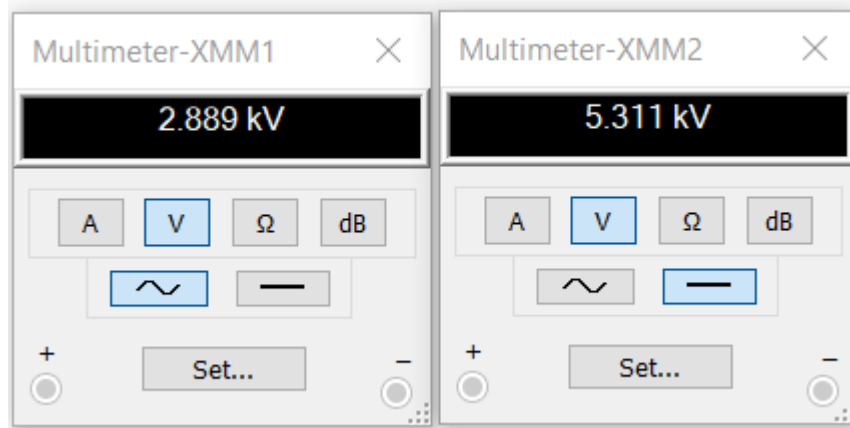


Рисунок 4.10 – Зняті покази напруг

За допомогою інструмента «Plotter Bode» було знято АЧХ п'єзотрансформатора, та визначено його резонансну частоту, яка складає – 19,902 кГц (рисунок 4.11).

На рисунку 4.12 наведено ФЧХ п'єзотрансформатора, на ньому спостерігається резонанс та антирезонанс, резонанс відбувається на частоті 19,902 кГц, антирезонанс відбувається на частоті 20,308 кГц.

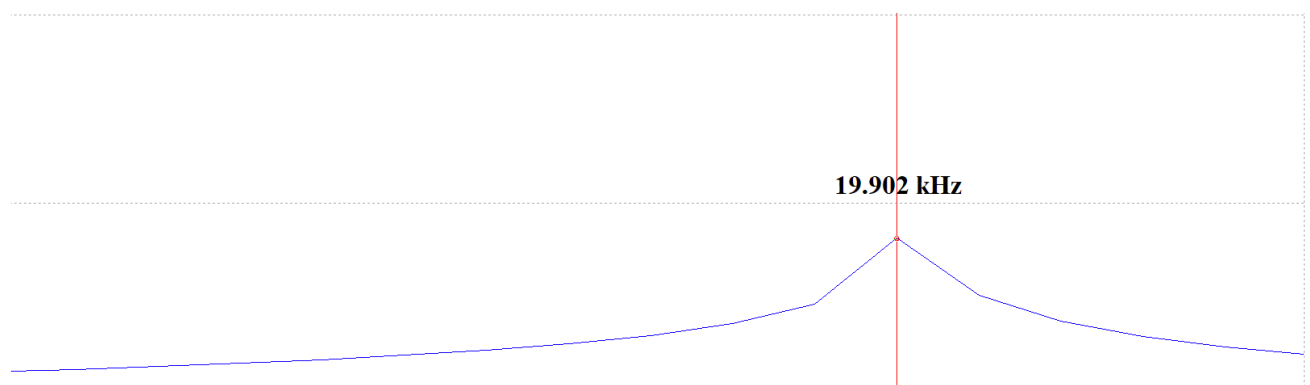


Рисунок 4.11 – АЧХ п'єзотрансформатора (мітка на частоті 19,902 кГц)

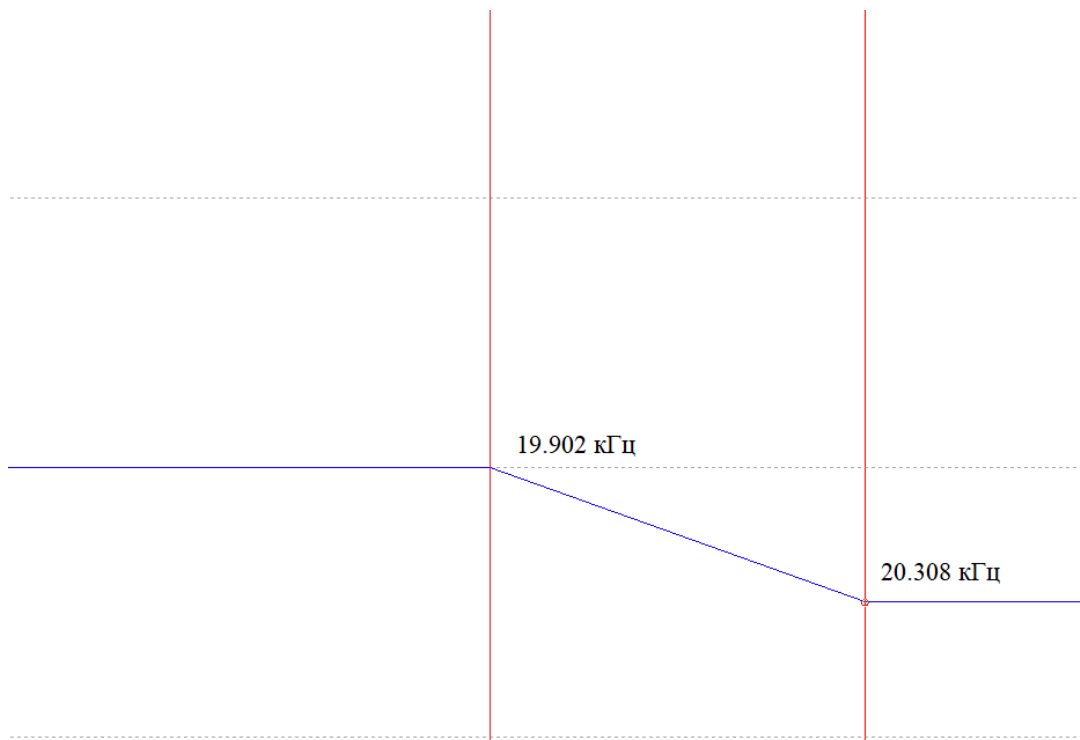


Рисунок 4.12 – ФЧХ п'єзотрансформатора

4.4 Побудова моделі помножувача напруги

В попередньому підрозділі було визначено, що при ідеалізованих параметрах елементів (генератора, діодів, трансформатора, індуктивностей, конденсаторів), вихідна напруга коливається в межах від 5 до 6 кВ. Дана величина напруги задовольняє вимоги завдання, але у разі використання реальних моделей, та впливу паразитних величин опорів, відхилень номінальних параметрів елементів, значення вихідної напруги зменшиться. З огляду на це було прийнято використати для посилення і випрямлення сигналу з виходу п'єзотрансформатора, замість подвоювача напруги – помножувач, згідно схеми представленої на рисунку 4.13. Пакет програм NI Multisim 14.1. не дозволяє одночасно побачити результати повної моделі пристрою, з цього було прийнято рішення подати на вхід моделі схеми помножувача напруги сигнал, що повторює амплітуду та частоту сигналу з виходу п'єзотрансформатора при підключеному генераторі прямокутного сигналу. На вхід схеми помножувача напруги був поданий синусоїдальний сигнал за допомогою ідеалізованого генератора V2, з частотою 19902 Гц і амплітудою 3 кВ.

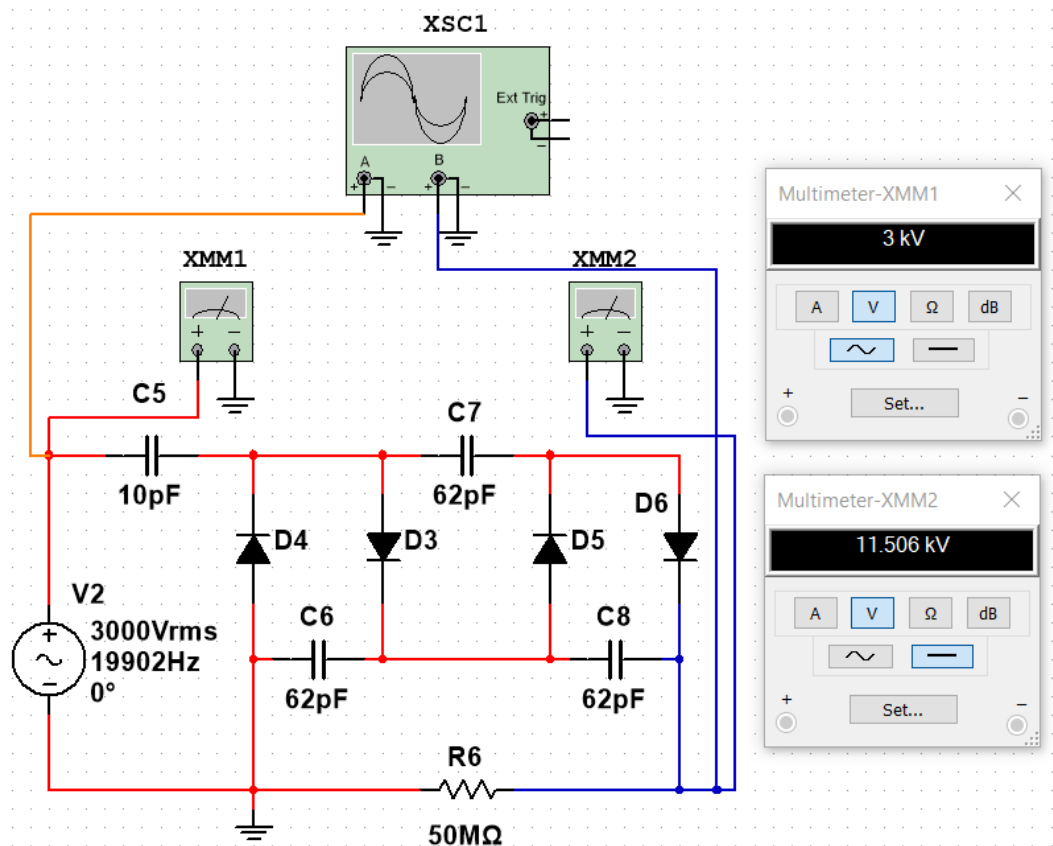


Рисунок 4.13 – Модель схеми помножувача напруги

На вольтметрах показано, як вхідна синусоїдальна напруга значно підвищується з 3 кВ до 11,7 кВ випрямленої напруги. В схемі використані ідеалізовані діоди D3-D6, оскільки в бібліотеці відсутні необхідні високовольтні діоди. На виході помножувача опір R6, який слугує мінімальним опором у випадку замикання електродів на виході.

На рисунку 4.14 зображена осцилограма постійної напруги на вихід схем помножувача. Розгортка по напрузі 10 кВ / діл. Амплітудна напруга вхідного сигналу дорівнює 4,2 кВ. Випрямлена напруга на виході схем дорівнює 11,7 кВ.

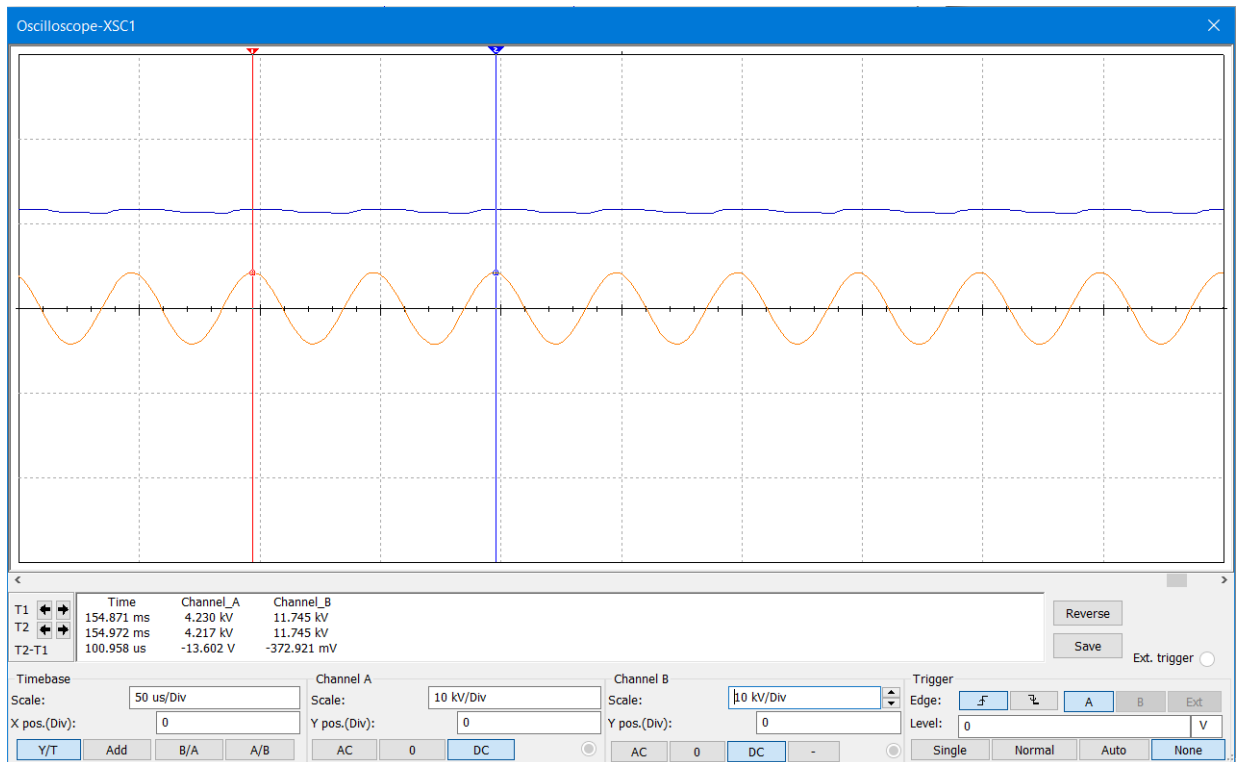


Рисунок 4.14 - Осцилограма постійної напруги з виходу на схемі помножувача

Для оцінки помноження напруги необхідно амплітудну напругу вхідного сигналу перевести у дійсне значення напруги:

$$U_{\text{ВХ Д}} = \frac{U_{\text{ВХ а}}}{\sqrt{2}} = \frac{4,2}{1,4} = 3 \text{ (кВ)}$$

Знаючи дійсне значення вхідної напруги можна розрахувати коефіцієнт помноження:

$$k_{\text{п}} = \frac{U_{\text{ВИХ}}}{U_{\text{ВХ Д}}} = \frac{11,7}{3} = 3,9$$

Вхідна напруга помножується у 3,9 рази, коли в якості навантаження виступає резистор R6 та осцилограф.

З цього можна зробити висновок, що для посилення і випрямлення сигналу з виходу п'єзотрансформатора необхідний помножувач напруги. На вхід схеми помно-

жувача напруги був поданий синусоїдальний сигнал за допомогою ідеального генератора V1, з частотою 19902 Гц і амплітудою 3 кВ. Амплітуда напруги з виходу схеми помножувача дорівнює 11,7 кВ, тобто помноження відбувалося в 3,9 рази, що підтверджує його працездатність.

4.5 Аналіз залежності вихідної напруги від опору навантаження

Данні для побудови залежності вихідної напруги від опору навантаження наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Дані для побудови залежності вихідної напруги від опору навантаження

Вихідна напруга, В	Опір навантаження, кОм
3,3	2
8,4	5
16,9	10
33,7	20
83,5	50
162,1	100
297,5	200
578,9	500
884,2	1000
1300	2000
3000	5000
5100	10000
7800	20000
9500	30000
10600	40000
11500	50000
13600	100000
14000	120000
14200	130000

З отриманих даних можна побудувати залежність вихідної напруги від опору навантаження. Графік залежності вихідної напруги від опору навантаження наведені на рисунку 4.15.



Рисунок 4.15 - Графік залежності вихідної напруги від опору навантаження

Проаналізувавши отримані залежності можна відмітити, що при опорі навантаження 130 МОм коефіцієнт помноження дорівнює 4,73, при 30 МОм – 3,17, при 5 МОм – 1,0. З цього можна зробити висновок, що при зростанні навантаження коефіцієнт помноження зменшується за експонентною та при зменшенні опору нижче 5 МОм помножувач перестає збільшувати напругу. В даній моделі, у наслідок використання ідеалізованих діодів, в розрахунок не приймалося падіння напруги на діодах. Отже, в реальних умовах, при роботі за даною схемою підключення, опір, при якому помножувач перестане збільшувати напругу, буде на рівні вищому за 5 МОм.

4.6 Побудова моделі підсилювального каскаду

На виході генератора прямокутних імпульсів застосовуємо підсилювальний каскад, який складається з двох транзисторів, котрі включені по схемі із загальним емітером (рисунок 4.16).

У ході моделювання підсилювача сигналу, в бібліотеці програми Multisim не знайшлося біполярного транзистора 2SC634 та його аналогів. Тому було прийняте рішення провести моделювання на транзисторі 15C02MH-TL-E, який був присутній у бібліотеці.

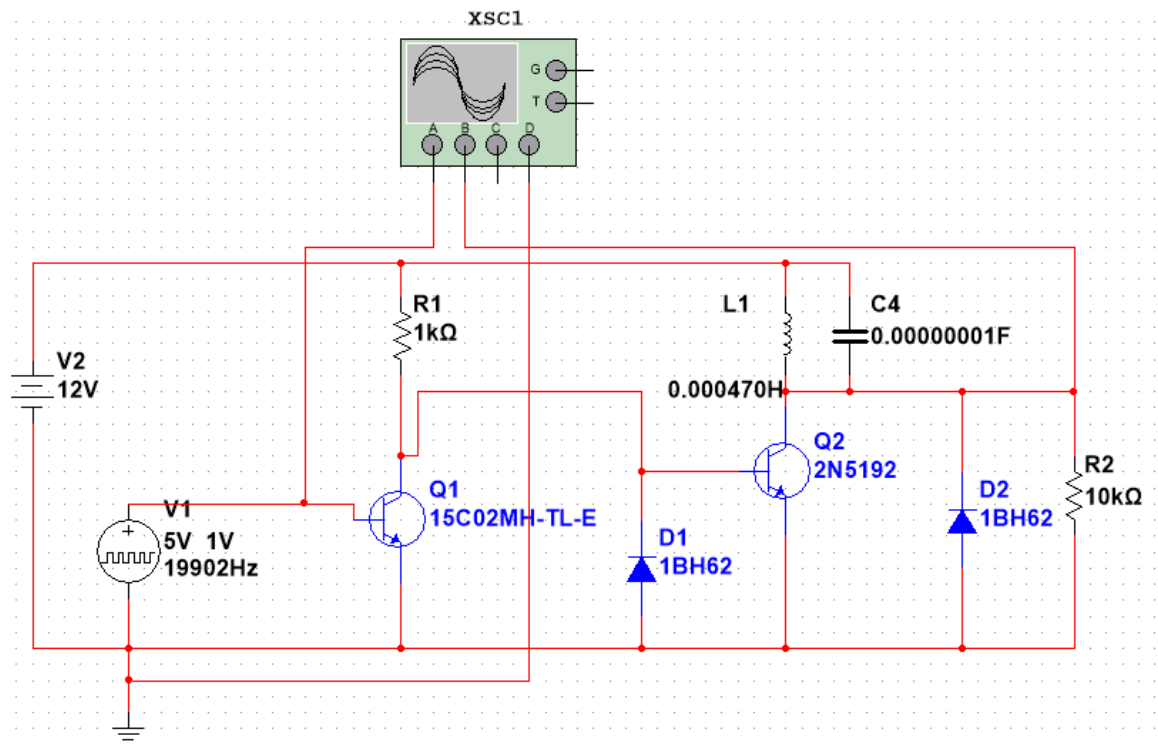


Рисунок 4.16 – Схема двох транзисторного каскаду, включеного по схемі із загальним емітером

Схема із загальним емітером (рисунок 4.16) одна з найчастіше застосовуваних схем у багатьох базових елементах електроніки. У схемі включення біполярного транзистора із загальним емітером, вхідний сигнал подається на базу, а знімається з

колектора. Вихідний сигнал інвертується відносно вхідного. Даний підсилювач збільшує напругу та струм. Таке включення транзисторів забезпечує найбільше посилення по потужності. На вихідному транзисторі замість опору колектора використовується паралельний коливальний LC – контур з метою згладжування фронтів імпульсів. Вона має великий коефіцієнт посилення за потужністю, напругою та струмом. Підсилювач зібраний на біполярному транзисторі прямої провідності.

При подачі на базу вхідної напруги – вхідний струм протікає через перехід «база-емітер» транзистора, що викликає відкриття транзистора, внаслідок чого відбувається збільшення колекторного струму. У ланцюзі емітера транзистора протікає струм, що дорівнює сумі струму бази та струму колектора. На резисторі в ланцюзі колектора, при проходженні через нього струму, виникає деяка напруга, що значно перевищує вхідну. Таким чином відбувається посилення транзистора за напругою. Так як струм і напруга в ланцюзі – взаємопов'язані величини, аналогічно відбувається і посилення вхідного струму.

4.7 Побудова моделі генератора прямокутних імпульсів

В якості генератора прямокутних імпульсів було обрано мікросхему CD4049. При моделюванні в NI Multisim, в бібліотеці радіоелементів мікросхема CD4049 була відсутня, тому, для зняття характеристик повної моделі генератора іонів, генератор меандру було виконано на базі таймера NE555, який працює у режимі генерації із заповненням 50%. В NI Multisim, в бібліотеці була обрана модель «555_VIRTUAL».

NE555 складається з п'яти функціональних вузлів. На вході живлення мікросхеми (V_{cc}), знаходиться резистивний дільник напруги, на якому формуються опорні напруги для прецизійних компараторів. Сигнал з виходу вбудованих компараторів поступає на RS-тригер, що має зовнішній вивід для скидання (RESET), після чого сигнал поступає підсилювач потужності. Одним з вузлів мікросхеми є транзистор з відкритим колектором, котрий виконує декілька функцій, відповідно до поставленого завдання.

Функціональна схема внутрішньої будови мікросхеми NE555 приведено на рисунку 4.17.

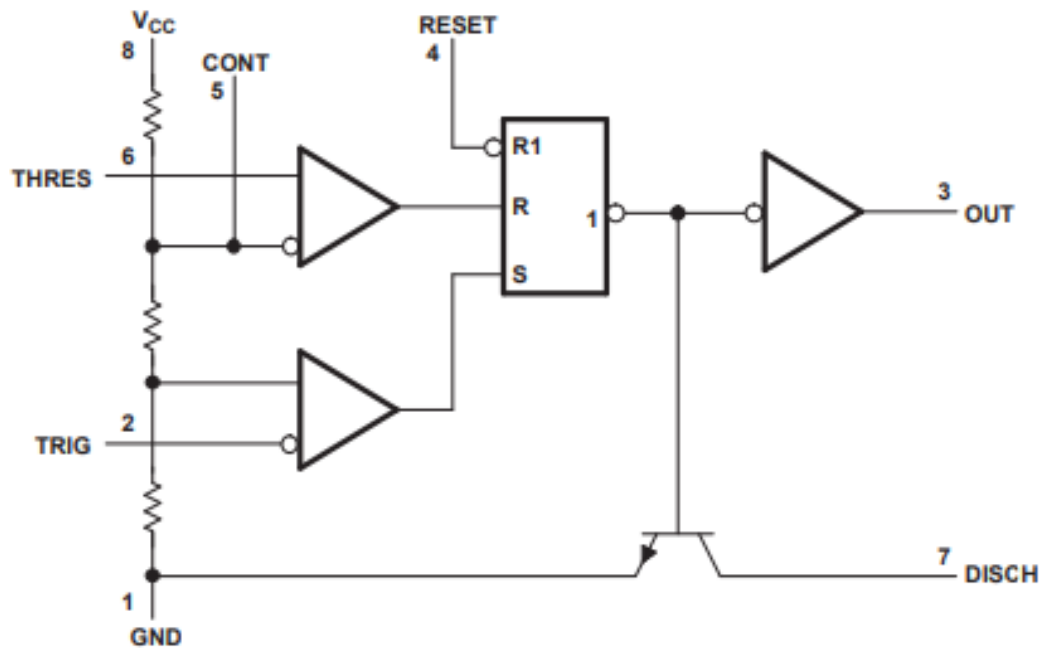


Рисунок 4.17 – Структурна схема мікроконтролера NE555

Схема призначення виводів мікросхеми NE555, представлена на рисунку 4.18.

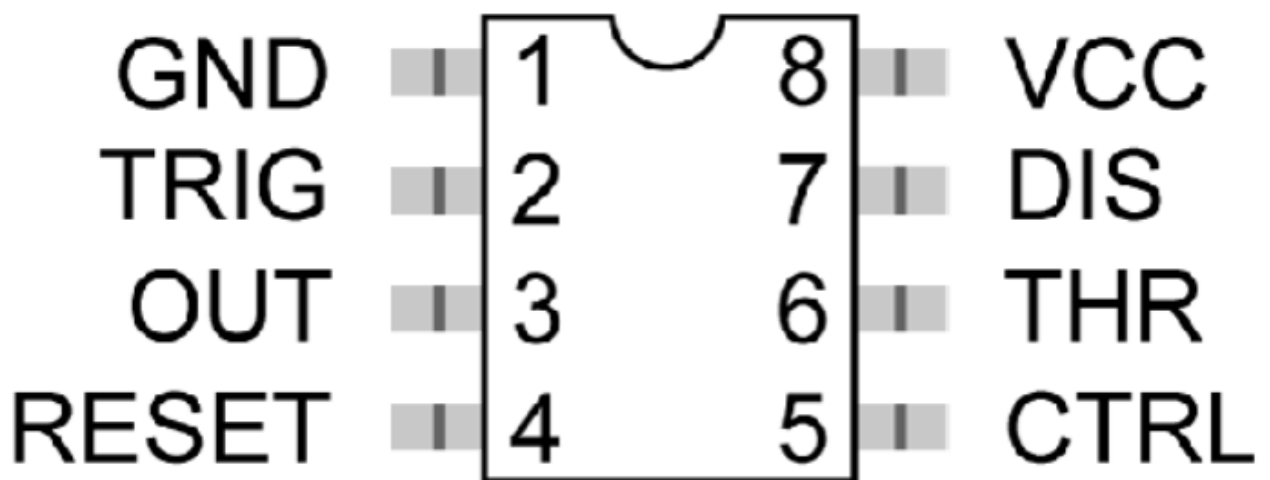


Рисунок 4.18 – Загальний вид виводів NE555

Призначення виводів мікросхеми NE555:

1. Загальна земля (GND). Перший вивід мікросхеми відносно ключа, який підключається до мінуса джерела живлення.
2. Запуск (TRIG). При подачі логічного нуля на вхід другого компаратора, відбувається запуск та на виході з'являється сигнал логічної одиниці, тривалість даного сигналу регулюється номіналом зовнішніх елементів R та C.
3. Вихід (OUT). Вивід мікросхеми, на якому відбувається зняття вихідного сигналу високого та низького рівня.
4. Скидання (RESET). Даний контакт мікросхеми виконує функцію керування роботою таймера та має найвищий пріоритет.
5. Контроль (CTRL). Згідно структурної схеми, даний контакт підключений до ділянки напруги та при відсутності зовнішнього впливу видає $2/3 U_{жив}$. При подачі на вивід CTRL керуючого сигналу, на виході отримуємо модульований сигнал.
6. Зупинка (THR). Вхідний вивід першого компаратора, при подачі на який напруги, що перевищує $2/3 U_{жив}$ відбувається зупинка роботи RS-тригера та змінює вихід таймера на низький логічний рівень. На виводі TRIG має бути відсутнім сигнал, котрий запускає, оскільки TRIG має пріоритет над THR.
7. Розряд (DIS). Контакт, який приєднаний до внутрішнього транзистора, котрий включений по схемі із загальним колектором. Зазвичай до переходу колектор-емітер підключають конденсатор, що задає час, який розряджається, поки транзистор знаходиться у відкритому стані. Рідше використовується для нарощування здатності навантаження таймера.
8. Живлення (V_{CC}). Контакт підключається до плюса джерела живлення мікросхеми.

Для роботи схеми генератору іонів, генератор меандру повинен відповідати параметрам частоти імпульсів та коефіцієнту заповнення. Для цього був виконаний розрахунок параметрів типової схеми ввімкнення мікросхеми NE555.

Для розрахунку була використана програма «555TimerDesigner». Вікно програми представлено на рисунку 4.19.

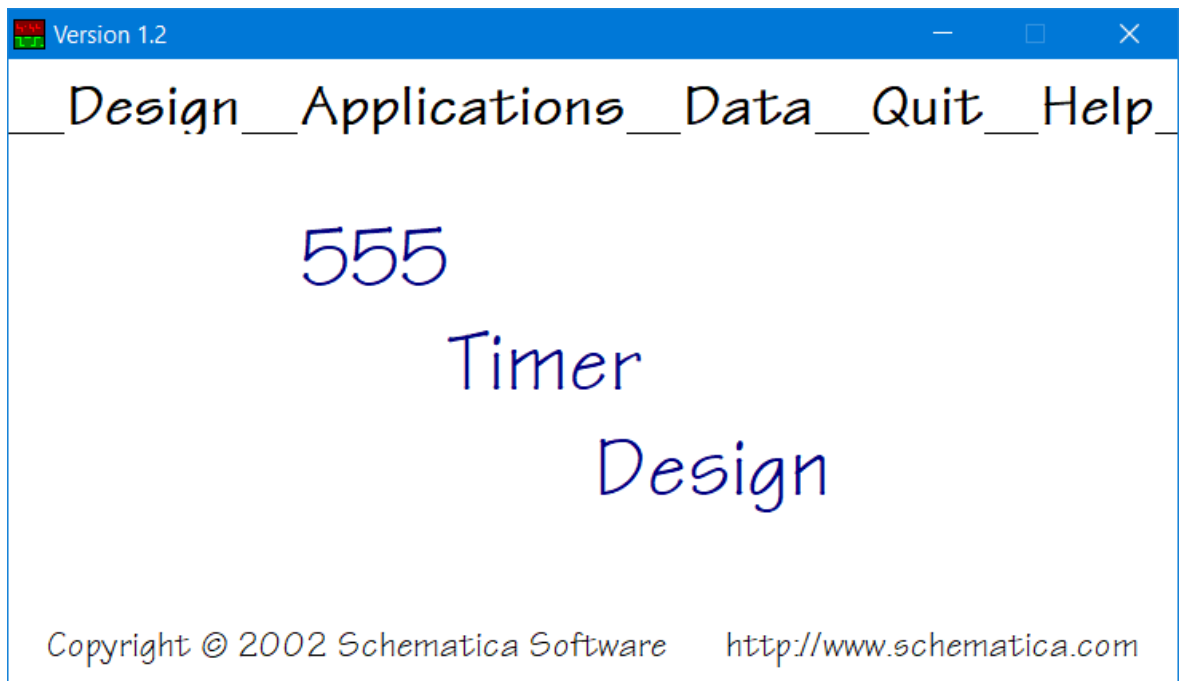


Рисунок 4.19 – Вікно програми «555TimerDesigner».

За шляхом «Design» – «Astable (Duty Cycle = 50%)», відкриваємо вікно розрахунку параметрів схеми (рисунок 4.20). У полі «Enter» та «Adjust» вказуємо вступні значення для розрахунку схеми. А саме «Frequency» – необхідна частота генерації схеми, згідно попередньої виконаної моделі п’езотрансформатора, частота необхідна для резонансу 19902 Гц; «Duty Cycle» – коефіцієнт заповнення вихідного меандру, оскільки попередньо було обрано панель «Astable (Duty Cycle = 50%)», дане поле не активне. В полі «Adjust» обрано «C1», та за допомогою стрілок виставляється величина ємності конденсатору C1, із переліку типових значень ємності конденсаторів. Було обрано значення C1 рівним 220 пФ.

За допомогою функції «Calculate», програма виконала розрахунок. В результаті отримано наступні значення: резистори R1 – 164,7 кОм, R2 – 69,5 кОм, конденсатор C2 – 10 нФ. В полі «Vout» програма візуалізує вихідний сигнал, величини високого

на низького рівня. Оскільки коефіцієнт заповнення = 50 % інтервал високого рівня дорівнює інтервалу низького рівня, становить 25,12 мкс.

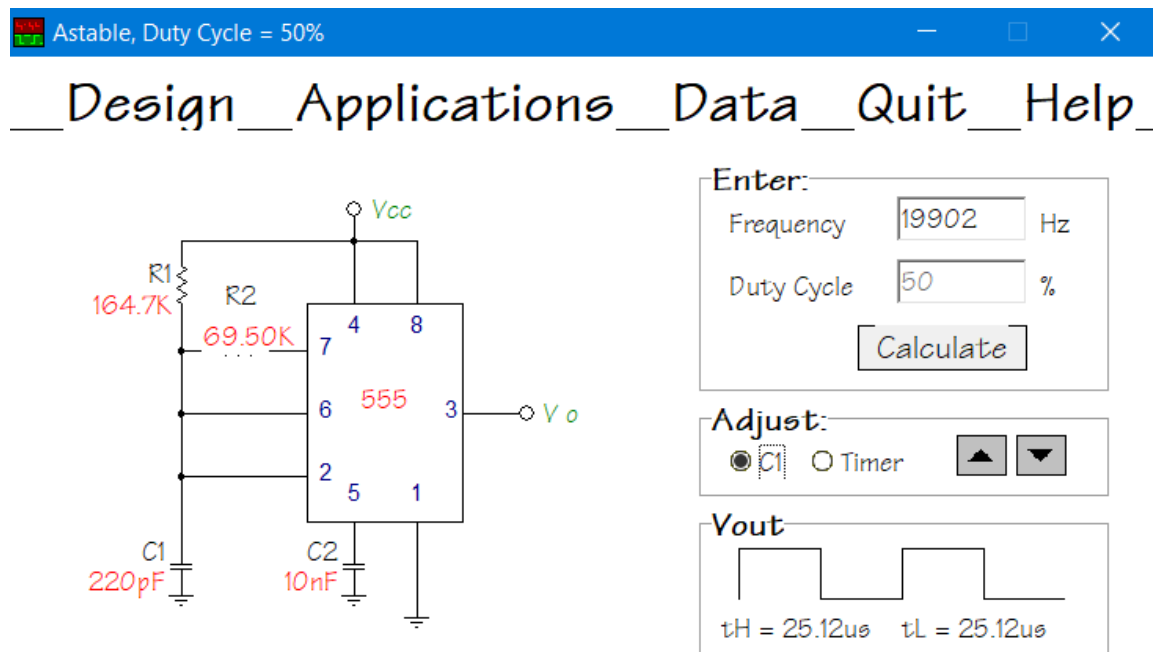


Рисунок 4.20 – Вікно програми «555TimerDesigner».

За результатами розрахунку була побудована модель генератора меандру в NI Multisim 14.1, представлена на рисунку 4.21. Вивід вихідного сигналу мікросхеми NE555 приєднано до навантаження R3, 1 кОм. Для виміру параметрів генерації використано інструменти «Oscilloscope» – для візуалізації вихідного сигналу та «Frequency counter» – для виміру вихідної частоти. За результатом симуляції, величина генерації – 19,93 кГц, рисунок 4.22. Частота отримана в результаті моделювання відрізняється від заданих параметрів на 28 Гц. Згідно технічних характеристик мікросхеми NE555 [33], допустиме відхилення до 3%.

Було виконано розрахунок допустимої похибки моделі «555_VIRTUAL», відповідно до параметрів технічних характеристик [33].

$$\Delta F_{\text{моделі}} = \frac{F_{\text{моделі}} - F_{\text{розр.}}}{F_{\text{розр.}}} = \frac{19930 - 19902}{19902} \times 100\% = 0,14\%$$

де $F_{\text{моделі}}$ – частота, виміряна в NI Multisim;

$F_{\text{розра.}}$ – частота, за якою виконувався розрахунок в «555TimerDesigner».

В побудовані моделі, використовуються наступні позначення:

XFC1 – «Frequency counter», лічильник частоти; XSC1 – «Oscilloscope», осцилограф;

V1 – джерело постійного струму. Дана схема може працювати в діапазоні від 4,5 В до 18 В джерела живлення.

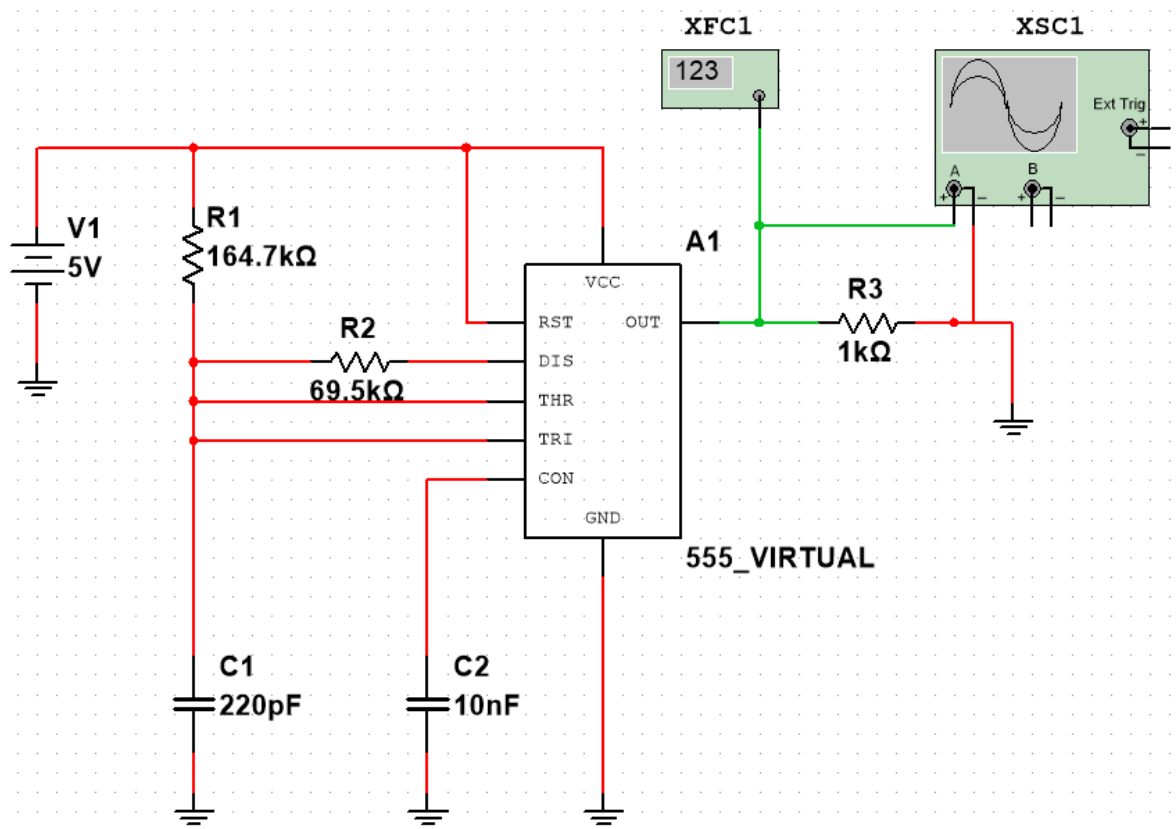


Рисунок 4.21 – Модель генератора меандру

За допомогою осцилографу виміряно величину тривалості високого на низького рівня вихідного сигналу (рисунок 4.23). Зафіксовано тривалість повного періоду одного циклу вихідного меандру, що дорівнює 50,223 мкс (рисунок 4.23). Величина високого рівня – 25,806 мкс (рисунок 4.24).

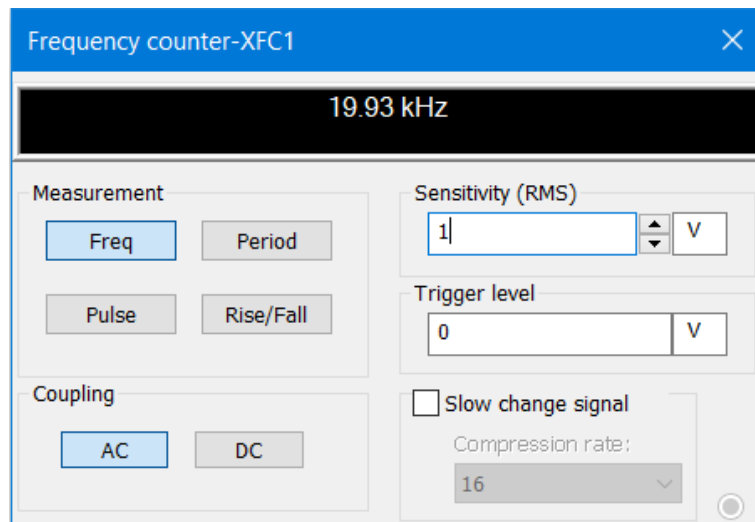


Рисунок 4.22 – Вікно лічильника частоти

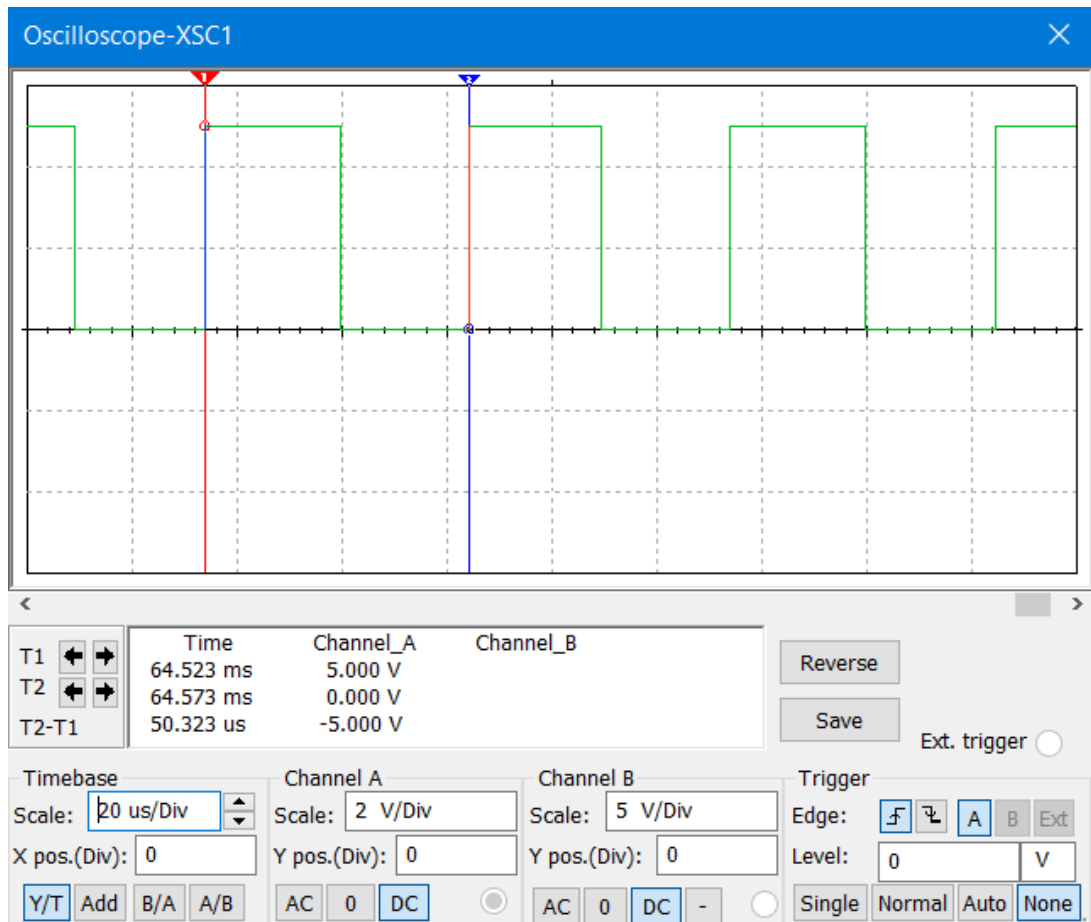


Рисунок 4.23 – Осцилограма вихідного сигналу генератора меандру

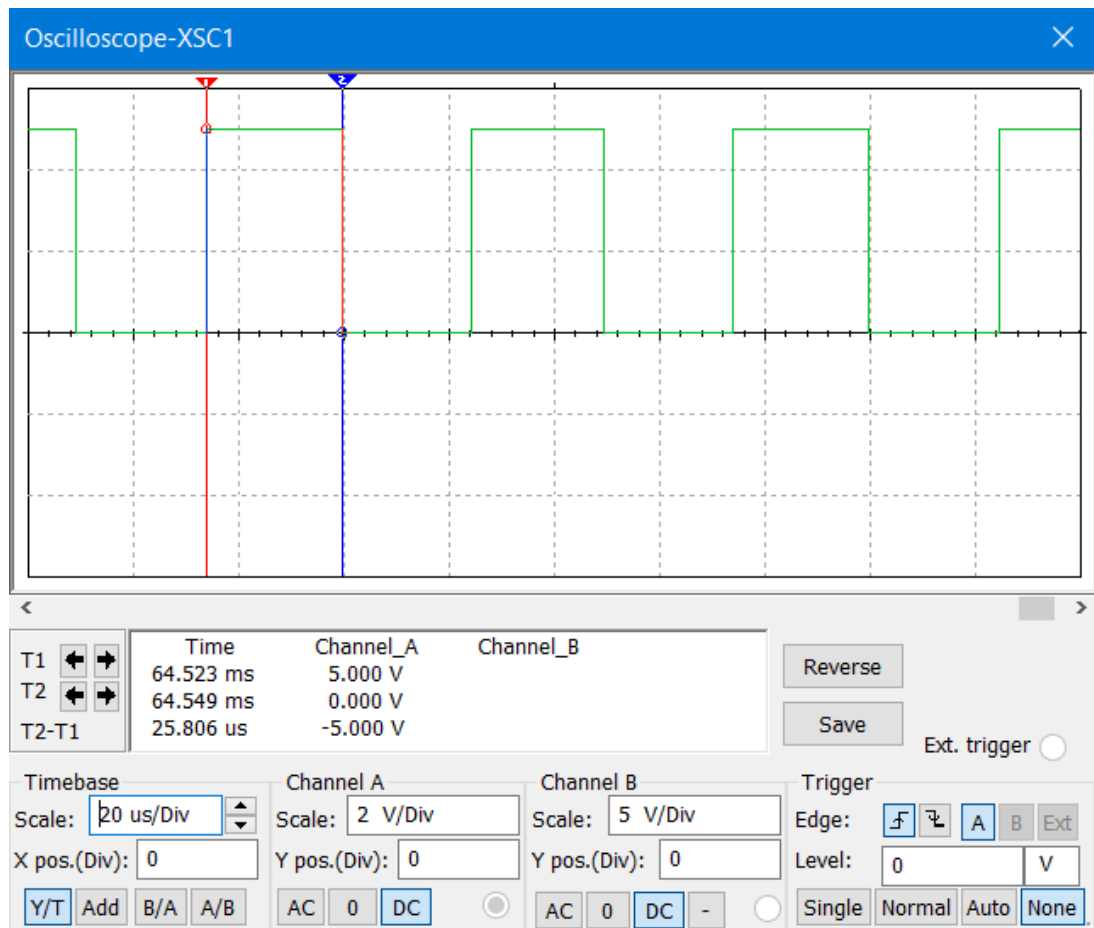


Рисунок 4.24 – Осцилограма вихідного сигналу генератора меандру

4.8 Побудова повної моделі генератора іонів

Повна модель генератора іонів включає: генератор прямокутних імпульсів, підсилювач сигналу, модель п'єзотрансформатора та помножувач напруги.

На рисунку 4.25 була змодельована схема генератора іонів з використанням інструменту «Bipolar Voltage» замість генератора на NE555. При амплітуді генерації 6 В (+5 В...-1 В), на виході помножувача після п'єзотрансформатора виміряна величина напруги – 5,981 кВ. Дана величина відповідає вимогам.

Далі було виконано заміщення «Bipolar Voltage» генератором меандру на NE555, з величиною напруги живлячого джерела для NE555 рівною 5В, напруга на виході помножувача після п'єзотрансформатора рівна 3,29 кВ, рисунок 4.27. Напруга 3,29 кВ недостатня для правильної роботи генератора іонів.

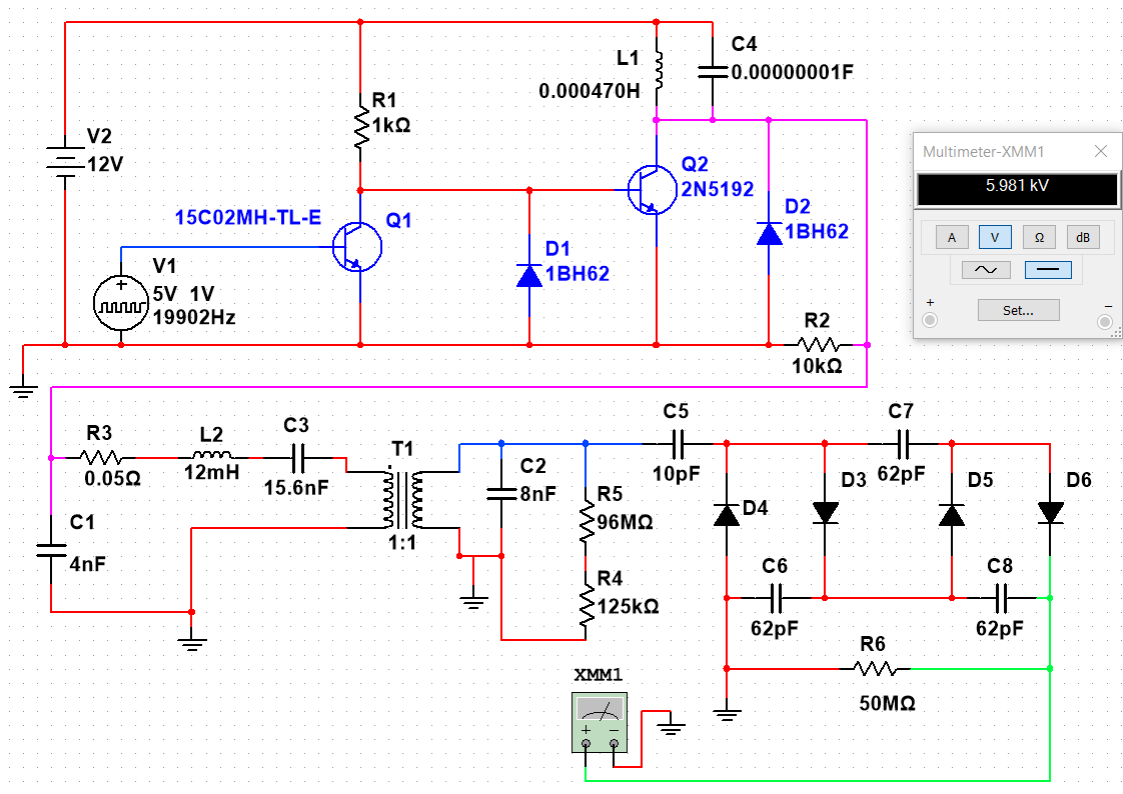


Рисунок 4.25 – Модель генератора іонів з генератором імпульсів «Bipolar Voltage»

У зв'язку з особливостями моделювання в NI Multisim, живлення схеми генератора меандру на NE555 було взято з окремого джерела постійної напруги V1, рисунок 4.28. При підключенні живлення NE555 від загального джерела 12 В V2, виникає помилка моделювання, приведена на рисунку 4.26. Електричні параметри транзистора 15C02MH-TL-E дозволяють використовувати його при напрузі 12 В, прикладеної до бази транзистора Q1, оскільки максимальна напруга База-Колектор – 40 В.

Напруга на виході помножувача, після п'єзотрансформатора в даній моделі дорівнює 6,48 кВ. За даної величини напруги схема генератора іонів працює правильно, рисунок 4.28.

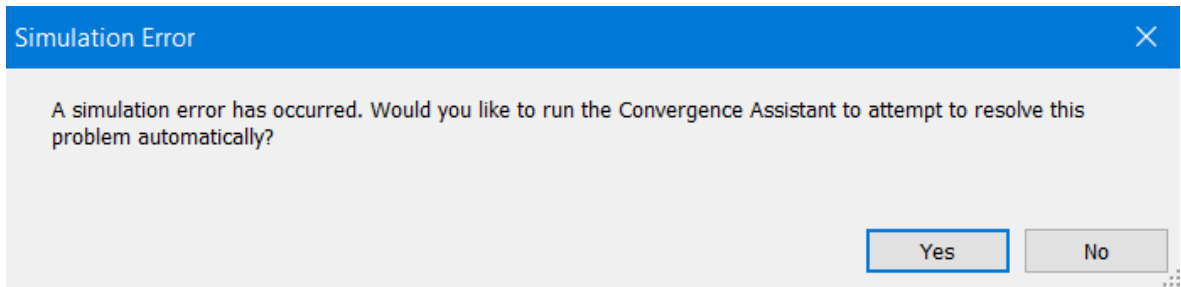


Рисунок 4.26 – Помилка моделювання

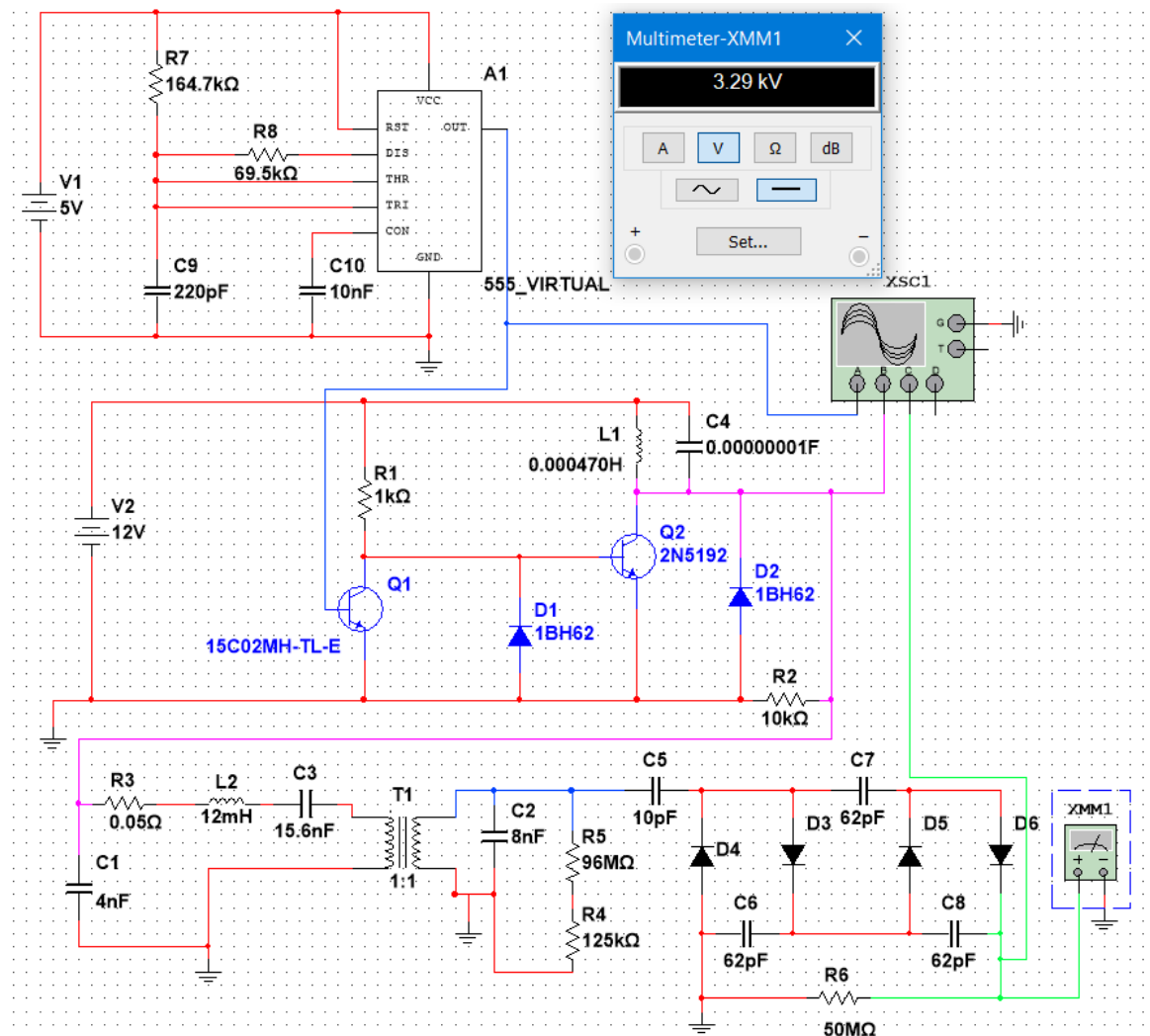


Рисунок 4.27 – Повна модель генератора іонів при вхідній напрузі 5 В

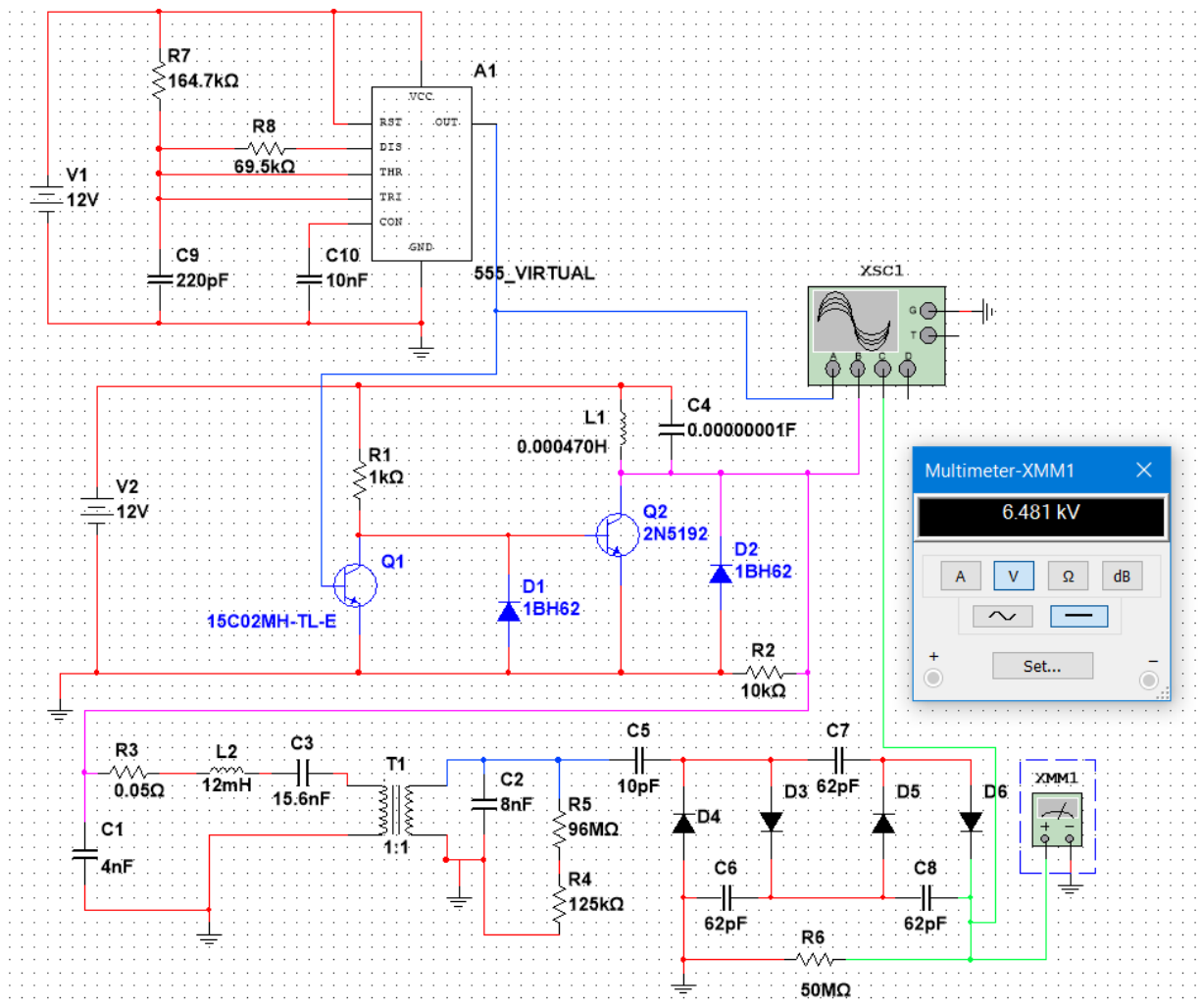


Рисунок 4.28 – Повна модель генератора іонів при входній напрузі 12 В

За допомогою інструменту Multisim «Four channel oscilloscope», було знято параметри сигналів окремих вузлів генератора іонів, представлені на рисунках 4.29 – 4.31.

На рисунку 4.29 представлені наступні сигнали: сигнал 1 знято на виході підсилювача; сигнал 2 знято на виході діодного помножувача після п'єзотрансформатора, сигнал 3 знято на виході з генератора меандру. Вихідний сигнал з мікросхеми NE555 «Out» (3) поступає на базу транзистору Q1 першого каскаду підсилювача. Сигнал знятий на виході підсилювача (1) відстає на 180° від сигналу з генератора меандру (3). Амплітуда сигналу після підсилювача дорівнює 51,49 В. Сигнал 1 поступає на схему заміщення п'єзотрансформатора, після якої він випрямляється на помножується на діодному помножувачі. На виході діодного помножувача було знято сигнал (2), котрий відстає по фазі від сигналу 1 на 180° . Амплітуда сигналу 2 дорівнює 8,44 кВ.

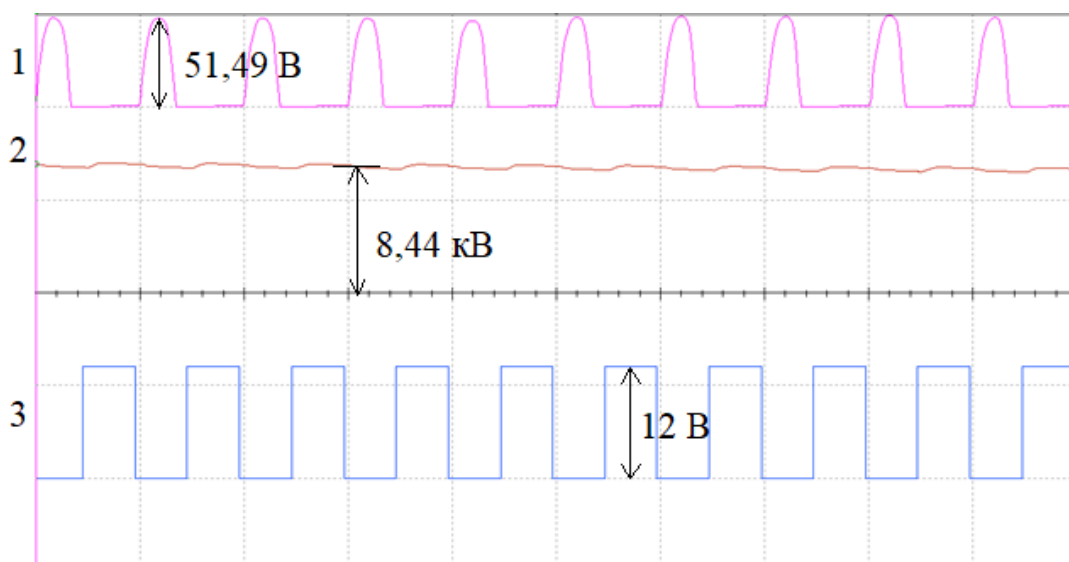


Рисунок 4.29 – Осцилограма

(Сигнал 1 – 10V/Div; Сигнал 2 – 50V/Div; Сигнал 3 – 5kV/Div)

Додатково було знято параметри сигналу після п'єзотрансформатора до діодного помножувача (сигнал 2а), рисунок 4.30. Оскільки вихід діодного помножувача приєднаний до резистора навантаження 50 МОм, то схема працює в режимі наближеному до «холостого ходу». Через це спостерігається характер вихідного сигналу 2 наближеного до постійного струму.

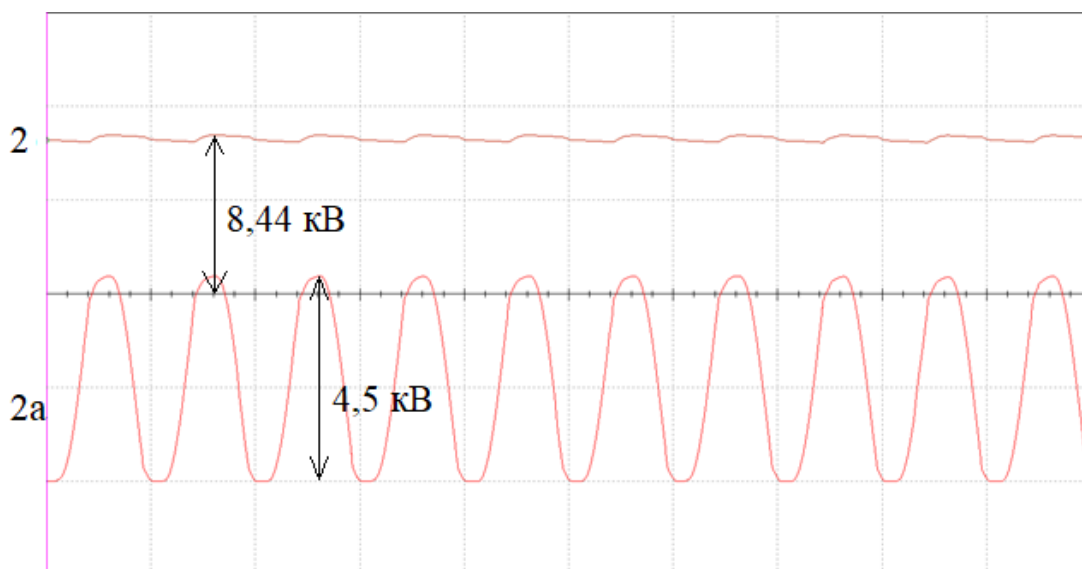


Рисунок 4.30 – Осцилограма роботи діодного помножувача

(Сигнал 2 – 5kV/Div; Сигнал 2а – 2kV/Div)

Додатково було зафіксовано сигнали на осцилографі в момент перехідних процесів, котрі відбуваються при запуску схеми. Спостерігаємо зростання напруги на виході генератора іонів (2), що відбувається внаслідок поступової зарядки конденсаторів та намагнічування індуктивностей, при цьому сигнал на виході підсилювача (1) сильно спотворений (рисунок 4.31).

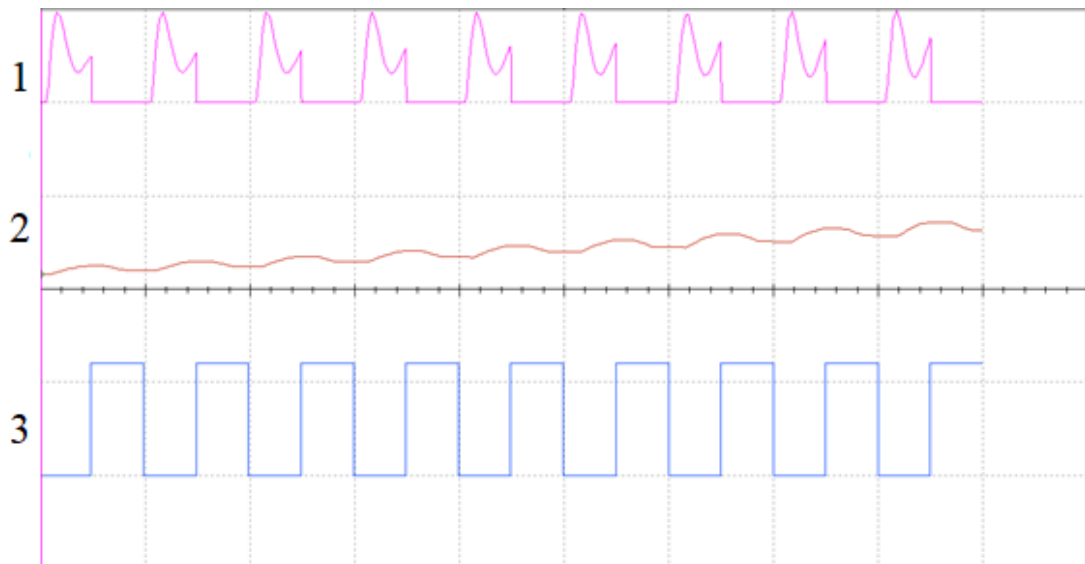


Рисунок 4.31 – Осцилограма перехідних процесів при моделюванні
(Сигнал 1 – 10V/Div; Сигнал 2 – 50V/Div; Сигнал 3 – 5kV/Div)

4.9 Висновки за розділом

Схеми високовольтних джерел живлення з використанням п'єзотрансформаторів є перспективними і мають безліч переваг перед аналогами.

Було проведено дослідження амплітудно-частотної характеристики п'єзотрансформатора, та визначено його резонансну частоту. За результатами проведеного дослідження був побудований графік залежності вихідної напруги від частоти для п'єзотрансформатора, який наглядно ілюструє форму резонансної кривої.

Була промодельована схема ПТ за допомогою ПК NI Multisim 14.1. У результаті модулювання були отримані ФЧХ і АЧХ п'єзотрансформаторів. А також отримані значення резонансної частоти близькі до результатів експериментальних вимірів.

Були отримані залежності вихідної напруги від опору навантаження. Проаналізувавши отримані залежності можна зробити висновок, що при зростанні навантаження коефіцієнт помноження зменшується за експонентною та при зменшенні опору нижче 5 МОм помножувач перестає збільшувати напругу. В даній моделі, у наслідок використання ідеалізованих діодів, в розрахунок не приймалося падіння напруги на діодах. Отже, в реальних умовах, при роботі за даною схемою підключення, опір, при якому помножувач перестане збільшувати напругу, буде на рівні вищому за 5 МОм.

РОЗДІЛ 5 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1 Дослідження динаміки процесів при штучній іонізації повітря

В ході дослідження динаміки процесів при штучній іонізації повітря вивчався характер розповсюдження негативних і позитивних іонів в часі і просторі після вимкнення генератора.

Дослідження було проведено в приміщенні з розмірами 5×6 з зачиненими вікнами та дверми, щоб мінімізувати вплив зовнішніх факторів на перебіг процесу експерименту. В якості приладу для штучної іонізації повітря використовувався іонізатор.

Схему розміщення приладів в процесі дослідження, зовнішній вид приладів, які використовувались, а саме іонізатор та лічильник аероіонів МАС-01 приведені на рисунку 5.1.

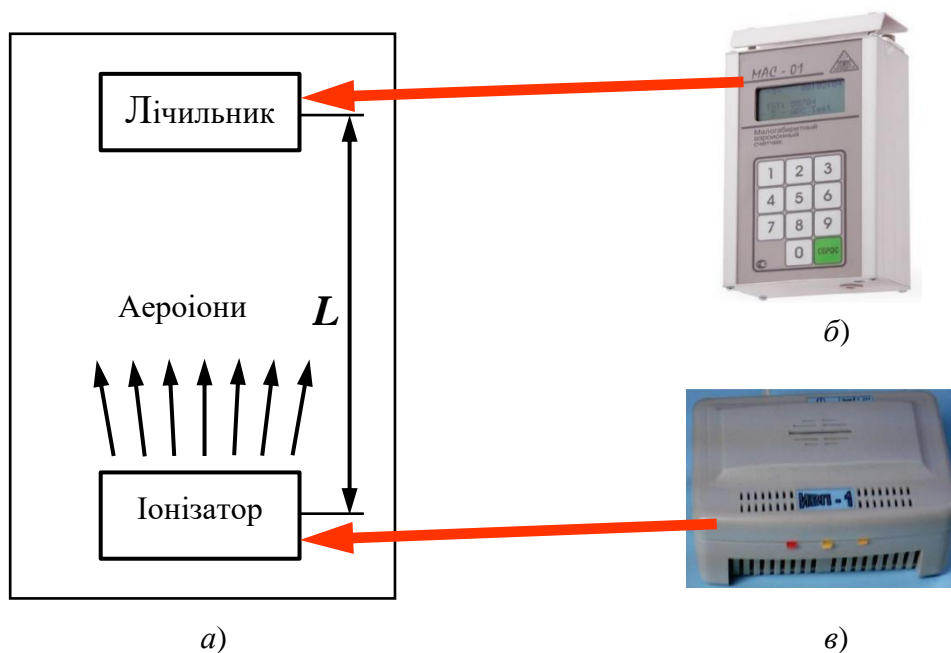


Рисунок 5.1 – Схема розміщення приладів (а) і прилади, які використовувались: лічильник аероіонів МАС-01 (б) та іонізатор (в)

Іонізатор встановлювався на край стола і навколо нього був організований простір для вільного розповсюдження аероіонів. Навпроти іонізатора, на відстані 0,5 м,

було встановлено лічильник МАС-01 на тринозі. Після цього ввімкнуто іонізатор на час необхідний для заповнення простору іонами.

Після вимкнення іонізатора за допомогою телефона в режимі відеозйомки проводилися заміри концентрації негативних іонів в моменти часу 2с, 4с, 6с, 8с, 10с, 12с, 14с на відстанях 1,0 м; 1,5 м; 2,0 м; 2,5 м; 3,0 м; 3,5 м; 4,0 м. Дані отримані у ході експерименту зведені до таблиці 5.5.

Для дослідження динаміки розповсюдження позитивних іонів в конструкції іонізатора в блоці подвоювача напруги полярність підключення діодів змінено на зворотній. Результати вимірів наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Залежність концентрації негативних аероіонів n^- (10^3 іон/см³) і позитивних аероіонів n^+ (10^3 іон/см³) від відстані L

Час, с	Полярність	Відстань L							
		0,5	1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4
0 с	-	388	105,4	42,3	24,5	9,82	7,91	3,85	4,56
	+	349	94,9	38,1	22,1	8,84	7,12	3,47	4,02
2 с	-	308	87,6	42,1	24,2	10,1	8,32	4,13	4,58
	+	277	78,8	37,9	21,8	9,09	7,49	3,72	4,12
4 с	-	75,2	56,4	34,8	22,9	9,82	8,13	3,98	4,53
	+	68,7	49,8	31,3	18,3	6,24	6,15	5,14	4,08
6 с	-	22,8	39,9	28,9	20,8	9,16	7,82	4,27	4,65
	+	20,5	35,9	28,0	16,5	6,12	6,02	4,26	4,19
8 с	-	9,28	28,9	24,1	17,2	9,12	7,12	4,28	4,02
	+	8,35	26,0	23,6	16,1	8,21	6,41	3,85	3,62
10 с	-	6,96	21,6	19,5	15,7	8,86	6,94	4,86	4,46
	+	6,26	19,4	19,9	14,3	7,97	6,25	4,37	4,01
12 с	-	4,56	13,5	16,8	13,8	8,26	6,23	5,05	4,22
	+	4,10	12,2	15,1	12,4	7,43	5,61	4,55	3,82
14 с	-	2,51	8,78	14,1	13,7	8,24	6,02	5,96	4,02
	+	2,26	7,90	12,7	13,3	7,42	6,42	5,36	3,62

За результатами таблиці 5.1 побудовано графічні залежності, які можна побачити на рисунках 5.2, 5.3, 5.4. На графіках суцільною лінією наведено концентрацію негативних іонів, а штриховою – для позитивних.

На рисунку 5.2 наведено концентрацію іонів від відстані до їх джерела на момент та після 2 секунд з моменту вимкнення приладу. На графіку простежується процес релаксації. За рахунок рекомбінації кількість іонів на всій досліджуваній відстані зменшується майже пропорційно.

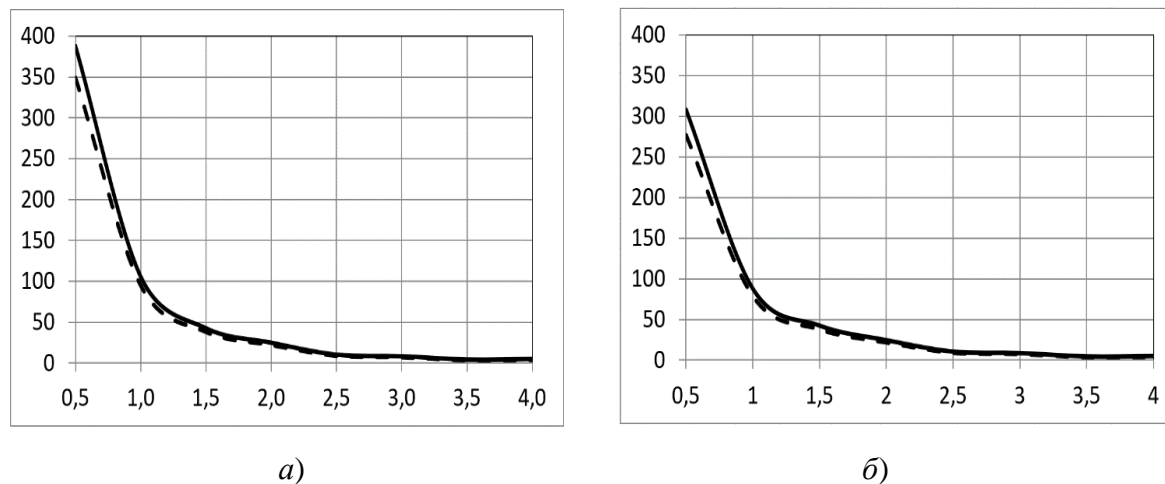


Рисунок 5.2- Залежність концентрації іонів обох знаків від розташування іонізатора на момент вимкнення приладу (а) та 2 с (б) з моменту його вимкнення

На рисунку 5.3 наведені дані для 4 с та 6 с з моменту вимкнення приладу. На поданому графіку простежується значна зміна виду залежностей. На рисунку 5.3,а процес залишається схожим на релаксацію, але на рисунку 5.3,б максимальна концентрація зміщується з початку графіка до точки 1 м, після чого концентрація спадає. Ці зміни відбуваються з концентрацією для іонів обох знаків.

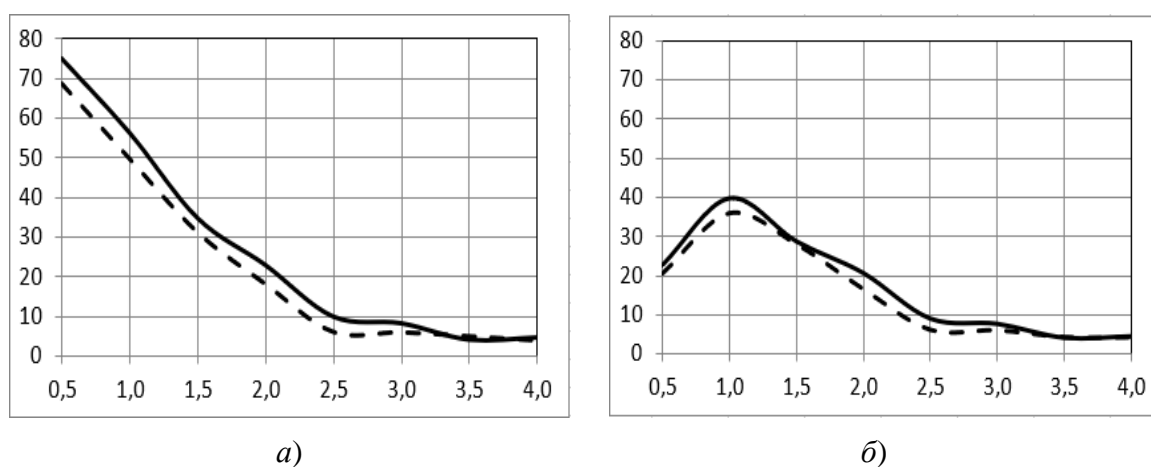


Рисунок 5.3 – Залежність концентрації іонів обох знаків від розташування іонізатора після 4 с (а) та 6 с (б) з моменту вимкнення приладу

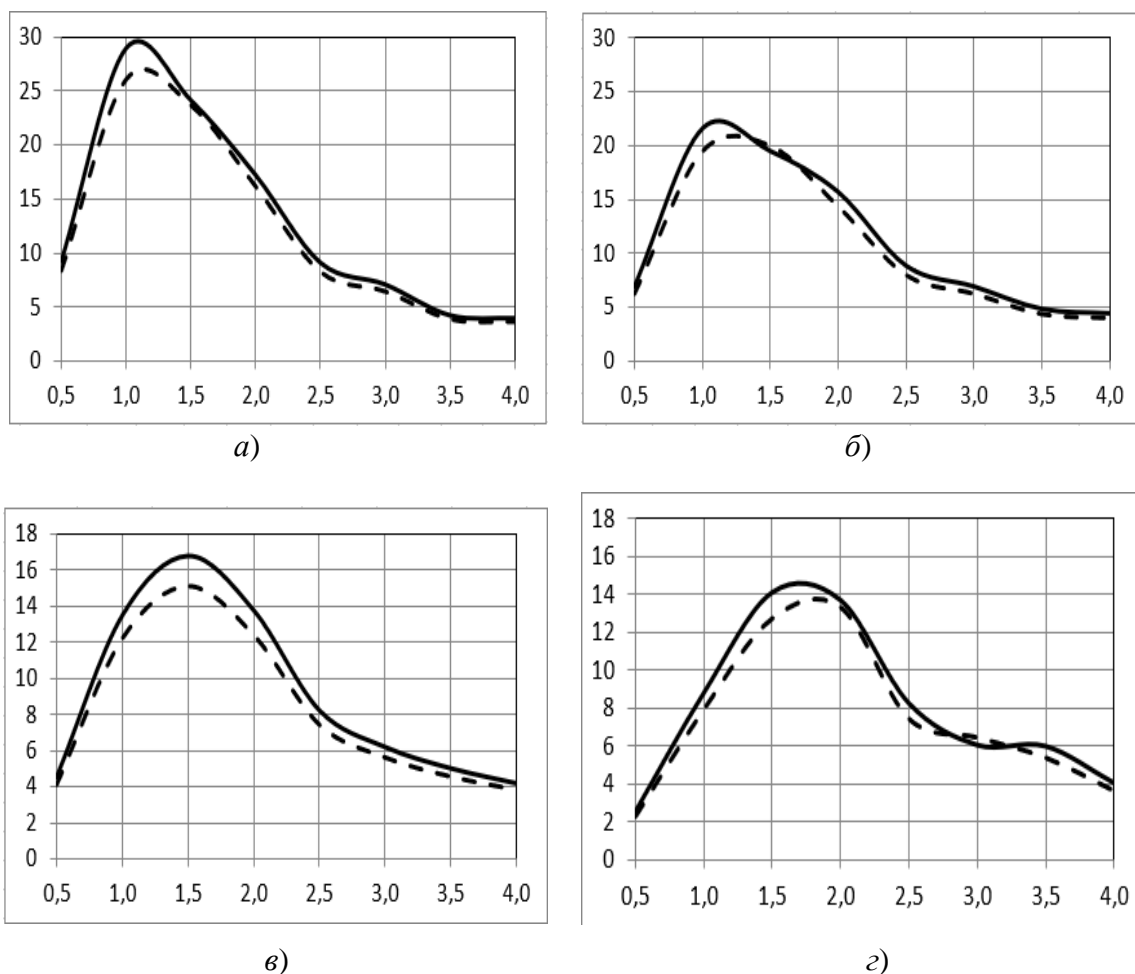


Рисунок 5.4 – Залежність концентрації іонів обох знаків від розташування іонізатора після 8 с (а), 10 с (б), 12 с (в) та 14 с (г) з моменту вимкнення приладу

Аналіз розподілу іонів на рисунку 5.4 показує, що з часом максимальна концентрація іонів зміщується на більшу відстань, тобто переміщення іонів здійснюється у формі хвилі. Дане явище пояснюється наявністю у просторі процесів рекомбінації та дифузії, які відбуваються одночасно.

5.2 Дослідження ефективності запропонованого принципу іонізації

На рисунку 5.5 приведені фото, яке ілюструє процес проведення експерименту.



Рисунок 5.5 – Це фото ілюструє наступний експеримент

Дослідження ефективності роботи розробленого іонізатора проводилося за допомогою лічильника аеріонів МАС-01 в приміщенні. Зовнішній вид лічильника аеріонів і схема розташування приладів в процесі дослідження наведено на рисунку 5.6.



Рисунок 5.6 – Зовнішній вид лічильника

Результати вимірів концентрації негативних і позитивних іонів (по три вимірювання для кожної відстані) представлені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Залежність концентрації негативних n^- і позитивних n^+ іонів від відстані

Результати вимірювань								Результати розрахунку		
$L, \text{ м}$	n^-_1	n^-_2	n^-_3	n^+_1	n^+_2	n^+_3	$\Pi_{\text{вим}}$	$n^-_{\text{сер}}$	$n^+_{\text{сер}}$	$Y_{\text{роз}}$
0,4	302	312	300	290	303	289	-0,02	304,67	294,0	0,96
0,6	165	163	163	58,2	57,9	65,2	-0,46	163,67	60,4	0,37
0,8	63	81,1	96,4	2,19	1,52	2	-0,95	80,17	1,9	0,02
1	43,6	52,4	37,8	1	0,87	0,97	-0,96	44,60	0,9	0,02
1,2	12,6	25,4	15,5	0,48	0,52	0,47	-0,95	17,83	0,5	0,03

Вимірювався також коефіцієнт полярності, який являє собою відношення різниці концентрацій позитивних і негативних іонів до їх суми, тобто:

$$P_{\text{вим}} = \frac{n^+ - n^-}{n^- + n^+}$$

Для кожної відстані від іонізатора до лічильника проводилося по три вимірювання концентрацій негативних і позитивних іонів і визначалося середнє їх значення за формулою:

$$n_{\text{ср}}^- = \frac{n_1^- + n_2^- + n_3^-}{3}$$

$$n_{\text{ср}}^+ = \frac{n_1^+ + n_2^+ + n_3^+}{3}$$

Коефіцієнт уніполярності обчислювався за формулою:

$$Y_{\text{роз}} = \frac{n_{\text{ср}}^+}{n_{\text{ср}}^-}$$

По даним таблиці 5.2 побудована графічна залежність концентрацій негативних і позитивних іонів від відстані від іонізатора до лічильника (рисунок 5.7).

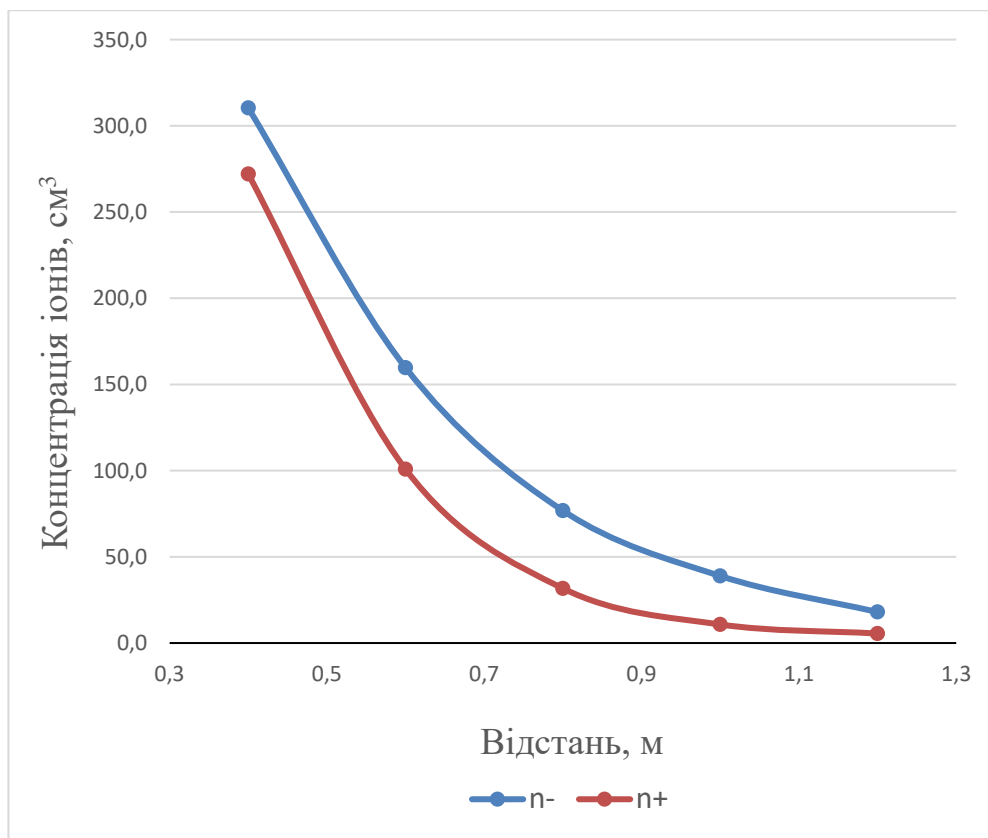


Рисунок 5.7 – Залежність концентрації негативних і позитивних іонів від розташування іонізатора по відношенню до вимірника

Аналіз представлених залежностей показує, що концентрація іонів при віддаленні лічильника від іонізатора експоненціально зменшується.

5.3 Висновки за розділом

В даному розділі було проведено експериментальні дослідження в результаті яких отримані залежності вихідної напруги від частоти для першої гармоніки п'єзотрансформатору типу ТП-Р1 800603, який наглядно ілюструє форму резонансної кривої.

В ході дослідження динаміки процесів при штучній іонізації повітря вивчався характер розповсюдження негативних і позитивних іонів в часі і просторі після вимкнення генератора. Аналіз розподілу іонів показав, що з часом максимальна концентрація іонів зміщується на більшу відстань. Дане явище пояснюється наявністю у просторі процесів рекомбінації та дифузії, які відбуваються одночасно.

Також було проведено дослідження ефективності запропонованого принципу іонізації. Була побудована графічна залежність концентрацій негативних і позитивних іонів від відстані від іонізатора до лічильника, яка демонструє що концентрація іонів при віддалені лічильника від іонізатора експоненціально зменшується.

ВИСНОВКИ

Іонізація – це процес утворення заряду на молекулі, а заряджена молекула називається аероіоном або легким іоном. Іони повітря бувають двох зарядів – позитивним і негативним. Основну увагу в літературі приділяється негативним іонам. Але, останнім часом з'явилися вимоги до наявності у повітрі і позитивних іонів. Оптимальним є додержання у повітрі іонів обох полярностей. Тому в ході роботи було розглянуто можливість принципу створення біполярного іонізатора, який виробляє як позитивні, так негативні іони.

Проведений огляд утворення аероіонів в природньому середовищі показав, що іонізація відбувається: космічними променями, сонячним світлом, ефектом Ленарда та природним коронним розрядом.

В результаті огляду способів штучної іонізації повітря були розглянуті прилади різних типів, серед яких найбільш популярним і універсальним виявився електроефлювіальний іонізатор з принципом дії коронного розряду.

Одним з найважливіших компонентів електроефлювіального іонізатора є електромагнітний трансформатор. Проте він має ряд недоліків, тому його можна замінити більш сучасним п'єзокерамічним трансформатором. Найбільшої переваги використання п'єзотрансформатор набуває в тих випадках, коли потребується досягти великого коефіцієнту трансформації при невеликій потужності. Тому можливість його використання є досить вдалою для досягнення великої напруги для реалізації в біполярному іонізаторі.

При розробці функціональної схеми макета приладу біполярної іонізації повітря було запропоновано принцип роботи приладу. В схемі використовується режим, при якому іони різної полярності будуть генеруватися не одночасно, а по черзі з інтервалом перемикання – 1 секунда. При розробці електричної принципової схеми запропоновано принцип роботи приладу, який забезпечив одночасну присутність у повітрі позитивних і негативних іонів.

Дослідження амплітудно-частотної характеристики п'єзотрансформатора дозволило визначити резонансну частоту п'єзотрансформатора.

В результаті моделювання вдалося відтворити роботу генератора сигналу на базі мікроконтролера NE555. Проведено моделювання підсилювача та помножувача сигналу. Також були отримані ФЧХ і АЧХ п'єзотрансформаторів. А також отримані значення резонансної частоти близькі до результатів експериментальних вимірів.

При моделюванні повної схеми іонізатора повітря, вдалося отримати потрібний результат, а саме при подачі на вхід 12 В на виході отримуємо 6,4 кВ. А також були зафіксовані сигнали на осцилограмах.

В ході дослідження динаміки процесів при штучній іонізації повітря вивчався характер розповсюдження негативних і позитивних іонів в часі і просторі після вимкнення генератора. Аналіз розподілу іонів показав, що з часом максимальна концентрація іонів зміщується на більшу відстань. Дане явище пояснюється наявністю у просторі процесів рекомбінації та дифузії, які відбуваються одночасно.

Виготовлення дослідного зразка розробленого іонізатора і дослідження його працездатності показало його ефективність. Аналіз представлених залежностей показує, що концентрація іонів при віддаленні лічильника від іонізатора експоненціально зменшується.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Моніторинг якості атмосферного повітря над територією України: [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/350384830>
2. ДНАОП 0.03-3.06-80 Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень №2152-80.
3. Чижевский А.Л. Аэроионофикация в народном хозяйстве. – 2-е изд., сокр. - М.: Стройиздат, 1989. – 488 с.
4. Rosen C.A., Analysis and Design of Ceramic Transformer and Filter Elements, Ph.D. Dissertation, Electrical Engineering Dept., Syracuse University, Aug. 1956.
5. Запорожець О. І., Глива В. А., Сидоров О. В. Нормування аероіонного складу повітря робочих приміщень та основні напрями його вдосконалення. Вісник національного авіаційного університету. 2011. № 1. С. 139–143.
6. Як забруднення повітря руйнує наше здоров'я: [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.who.int/ru/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health>
7. Тверской П. Н., Атмосферное электричество, Л., 1949; Имянитов И. М., Приборы и методы для изучения электричества атмосферы, М., 1957; Минх А. А., Ионизация воздуха и ее гигиеническое значение, М., 1958.
8. Laza V. The environment and gaseous ions. Cent. Eur. J. Occup. Environ. Med. 2000;6:3–10. DOI: 10.3390/ijms19102966.
9. Черкасов Г.В., Яковлев С.А. Ионизация воздуха путь к долголетию // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2000. - N4. - С. 223-225.
10. Article, Shu-Ye Jiang, Ali Ma, Srinivasan Ramachandran: «Negative Air Ions and Their Effects on Human Health and Air Quality Improvement» published 2018 Sep. DOI: 10.1186/s12938-018-0499-z
11. Pino O., Ragione F.L. There's something in the air: Empirical evidence for the effects of negative air ions (NAI) on psychophysiological state and performance. Res. Psychol. Behav Sci. 2013;1:48–53. DOI: 10.12691/rpbs-1-4-1.

12. Ogungbe A.S., Akintoye O.H., Idowu B.A. Effects of gaseous ions on the environment and human performance. *Trends Appl. Sci. Res.* 2011;6:130–133. DOI: 10.3923/tasr.2011.130.133.
13. Perez V., Alexander D.D., Bailey W.H. Air ions and mood outcomes: A review and meta-analysis. *BMC Psychiatry.* 2013;13:29. DOI: 10.1186/1471-244X-13-29.
14. Goldstein N. Reactive oxygen species as essential components of ambient air. *Biochemistry.* 2002;67:161–170. DOI: 10.1023/A:1014405828966.
15. Hoppel W.A., Anderson R.V., Willet J.C. Atmospheric Electricity in the Planetary Boundary Layer, *The Earth's Electrical Environment.* NAS Press; Washington, DC, USA: 1986. pp. 195–205.
16. Harrison R.G., Carslaw K.S. Ion-aerosol-cloud processes in the lower atmosphere. *Rev. Geophys.* 2003;41 DOI: 10.1029/2002RG000114.
17. Chalmers J.A. *Atmospheric Electricity.* 2nd ed. Pergamon Press; Oxford: UK; New York, NY, USA, 1967.
18. Ermakov V.I., Bazilevskaya G.A., Potrevsky P.E., Stozhkov Y.I. Ion balance equation in the atmosphere. *J. Geophys. Res.* 1997;102:23413–23419. DOI: 10.1029/97JD01388.
19. Yates A., Gray F.B., Misiaszek J.I., Wolman W. Air ions: Past problems and future directions. *Environ Int.* 1986;12:99–108. DOI: 10.1016/0160-4120(86)90019-X
20. Lenard P. Über die Electrizedität der Wasserfälle. *Ann. Phys.* 1892;46:584–636. DOI: 10.1002/andp.18922820805.
21. Iwama H. Negative air ions created by water shearing improve erythrocyte deformability and aerobic metabolism. *Indoor Air.* 2004;14:293–297. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2004.00254.x.
22. Nemeryuk G.E. Migration of salts into the atmosphere during transpiration. *Sov. Plant Physiol. (Engl. Transl.)* 1970;17:560–566.
23. Wang J., Li S.H. Changes in negative air ions concentration under different light intensities and development of a model to relate light intensity to directional change. *J. Environ. Manag.* 2009;90:2746–2754. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.03.003.

24. Bachman C.H., Hademenos D.G. Ozone and air ions accompanying biological applications of electric fields. *J. Atmos. Terr. Phys.* 1971;33:497–505. DOI: 10.1016/0021-9169(71)90153-X.
25. Tikhonov V.P., Tsvetkov V.D., Litvinova E.G., Sirota T.V., Kondrashova M.N. Generation of negative air ions by plants upon pulsed stimulation applied to soil. *J. Plant Physiol.* 2004;51:414–419. DOI: 10.1023/B:RUPP.0000028690.74805.e2.
26. Goldstein N., Arshavskaya T.V. Is atmospheric super oxide Vitally necessary? Accelerated death of animals in a quasi-neutral electric atmosphere. *Z. Naturforsch C.* 1997;52:396–404. DOI: 10.1515/znc-1997-5-619.
27. Aubrecht L., Koller J., Stanek Z. Onset voltages of atmospheric corona discharges on plants. *Czech. J. Phys.* 2000;50:313–318. DOI: 10.1007/BF03165903.
28. Aubrecht L., Stanek Z., Koller J. Corona discharge on coniferous trees—Spruce and pine. *Europhys. Lett.* 2001;53:304–390. DOI: 10.1209/epl/i2001-00153-2.
29. Borra J.P., Roos R.A., Renard D., Lazar H., Goldman A., Goldman M. Electrical and chemical consequences of point discharges in a forest during a mist and a thunderstorm. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 1997;30:84–93. DOI: 10.1088/0022-3727/30/1/011.
30. Пьезоелектрические преобразователи /В.М. Шарапов, И.Г. Минаев, Ю.Ю. Бондаренко, Т.Ю. Кисиль, М.П. Мусиенко, С.В. Ротгэ, И.Б. Чудаева; Под ред. В.М. Шарапова. – Черкаси: ЧГТУ, 2004. – 435 с.
31. П'езотрансформатор одношаровий ТП-Р1 800603. Технічний каталог. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.allcomponents.ru/monolit/tpr1800603.htm>
32. Паеранд Ю.Е., Кривошей Д.А. Дослідження характеристик п'єзоелектричних трансформаторів// *Електроніка і зв'язь, тематический випуск «Електроніка і нанотехнології»*, №5 – Київ, 2010, с.28-34.
33. Таймер NE555. Технічний паспорт. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf>