

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”

Факультет електроніки

(повна назва)

Кафедра Електронні пристрої та системи

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо - науковою програмою

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

Освітня програма Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ю.С. Ямненко

(підпис)

(прізвище ініціали)

« ____ » _____ 2020 року

Магістерська дисертація

зі спеціальності 171 Електроніка Освітня програма Електронні прилади та пристрої
на тему: Аудіо випромінювач, заснований на розряді атмосферного тиску

Виконав:

студент 6 курсу, гр.ДЕ-81мн Царенко Петро Олексійович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Керівник:

професор кафедри ЕПС, д.т.н. Кузьмичєв Анатолій Іванович

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

(підпис)

Нормоконтроль:

доцент кафедри ЕПС, к.т.н. Чадюк Вячеслав Олексійович

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

(підпис)

Рецензент

доцент кафедри МЕ, к.т.н. Татарчук Дмитро Дмитрович

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

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Царенко Петро Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Аудіо випромінювач, заснований на розряді атмосферного тиску науковий керівник дисертації: професор кафедри ЕП та С д.т.н. Кузьмичев Анатолій Іванович
затверджені наказом по університету від «17» березня 2020 року № 887с
2. Строк подання студентом дисертації 8 травня 2020
3. Об'єкт дослідження Плазмовий гучномовець
4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-науковою програмою) Напруга розряду, діаграма направленості, амплітудно-частотна характеристика, гармонічні спотворення
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Моделювання розрядного проміжку, амплітудно-частотної характеристики, діаграми направленості, температури розрядного проміжку та виявити спосіб покращення аудіосистем за допомогою плазмового гучномовця.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 23 ілюстрації, креслення та специфікація до нього
7. Орієнтовний перелік публікацій: дві книги А. І Ропія, декілька статей з журналу Applied Physics, декілька статей з Вікіпедії та інші літературні джерела, яких в сумі 42
8. Консультанти розділів дисертації

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

9. Дата видачі завдання: 17.02.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строки виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Узгодження теми магістерської дисертації	17.02.2020 – 29.02.2020	
2.	Пошук науково-технічної літератури	30.02.2020 – 17.03.2020	
3.	Вибір програмного забезпечення, для моделювання плазмового гучномовця	18.03.2020 – 19.04.2020	
4.	Вибір програмного забезпечення, для моделювання основних параметрів газорозрядного гучномовця	20.04.2020 – 22.04.2020	
5.	Моделювання та розрахунки плазмового гучномовця	23.04.2020 – 04.05.2020	
6.	Висновки	04.05.2020 – 07.05.2020	

Студент

(підпис)

Царенко П. О.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Кузьмичев А. І.

(ініціали, прізвище)

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	A4		<i>Завдання на дипломний проект</i>	1	
2	A4	<i>МРН.171.041.003 ПЗ</i>	<i>Пояснювальна записка</i>	78	
3	A4	<i>МРН.171.041.003 СК</i>	<i>Складальне креслення</i>	1	
4	A4	<i>МРН.171.041.003 ПЕ</i>	<i>Специфікація</i>	1	
5	A4	<i>МРН.171.041.003 Е4</i>	<i>Друкована плата</i>	1	
6	A4	<i>МРН.171.041.003 Е3</i>	<i>Схема електрична принципальна</i>	1	
7	A4	<i>МРН.171.041.003 ПЕ</i>	<i>Перелік компонентів</i>	1	
			<i>МРН.171.041.003 ВДП</i>		
Зм.	Арк	П.І.Б.	Підп.	Дата	
Розроб.	Царенко П.О.				<i>Аудіовипромінювач, заснований на розряді атмосферного тиску</i> <i>Відомість дипломного проекту</i>
Перевірів	Кузьмичев А.І.				
Н. контр	Чадей В. О.				
Утв.	Ямненко Ю.С.				
			Літ.	Арк.	Аркушів
				1	1
<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, ЕП та С, гр. ДЕ-81мн</i>					

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до магістерської дисертації

на тему: «**Аудіовипромінювач, заснований на розряді атмосферного тиску**»

РЕФЕРАТ

Аудіовипромінювач, заснований на розряді атмосферного тиску

Магістерська дисертація освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр наукового спрямування» спеціальності 171- Електроніка, освітньої програми – Електронні прилади та пристрої. **Царенко Петро Олексійович**. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Факультет електроніки, кафедра «Електронні пристрої та системи». Група ДЕ-81мн. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 95 с., іл. 23., 5 додатків

Ключові слова: Плазма, гучномовець, COMSOL Multiphysics, амплітудно-частотна характеристика, гармонічні спотворення, розряд, коронний розряд, дуговий розряд, діаграма направленості, динамік.

Короткий зміст роботи: В магістерській дисертації представлено огляд науково-технічної літератури по видам розрядів, виникнення акустичного ефекту в розрядах атмосферного тиску, застосування розряду для відтворення музики. Показано перспективи використання таких пристроїв в аудіосистемах та їх переваги перед звичайними гучномовцями. Приведено результати дослідження фізико-математичної моделі плазмового гучномовця та результати розрахунку параметрів та характеристик цього гучномовця, такі як амплітудно-частотна характеристика, гармонічні спотворення, діаграма направленості, розробка схеми електричної, друкованої плати та конструкції плазмового аудіо випромінювача.

АНОТАЦІЯ

Дисертація присвячена розробці аудіо випромінювача, який використовує розряд атмосферного тичку для відтворення звукових коливань.

В даній дисертації представлено огляд науково-технічної літератури по газовим розрядам та схемам приладів, використовуючих атмосферний розряд в якості аудіо випромінювача. Обоснована актуальність використання таких аудіо випромінювачів та переваги над звичайними електро-механічними дифузорними гучномовцями. Також виконано моделювання тестової моделі такого випромінювача та дослідження його характеристик з метою визначення шляху їх покращення. Проведено розробку схеми електричної, друкованої плати та конструкцію цього аудіовипромінювача.

SUMMARY

The dissertation is devoted to the development of an audio emitter that uses the discharge of the atmospheric pole to reproduce sound vibrations.

This dissertation presents a review of scientific and technical literature on gas discharges and circuits of devices using atmospheric discharge as an audio emitter. The relevance of the use of such audio emitters and the advantages over conventional electro-mechanical diffuse speakers are substantiated. The modeling of a test model of such a radiator and the study of its characteristics were also performed in order to determine the way of their improvement. The scheme of the electric, printed circuit board and the design of this audio emitter were developed.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	11
ВСТУП.....	12
1. ГАЗОВИЙ РОЗРЯД І ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	13
1.1 КРИВА ПАШЕНА	15
1.2 ФОРМУВАННЯ ГАЗОВОГО РОЗРЯДУ	19
1.3 ТИПИ ГАЗОВИХ РОЗРЯДІВ	22
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	27
2. АКУСТИЧНІ ЕФЕКТИ В ГАЗОВИХ РОЗРЯДАХ.....	28
2.1. ВИНИКНЕННЯ АКУСТИЧНОГО ЕФЕКТУ В ГАЗОВИХ РОЗРЯДАХ	29
2.2. АКУСТИЧНИЙ ЕФЕКТ В КОРОННОМУ РОЗРЯДІ	31
2.3 АКУСТИЧНИЙ ЕФЕКТ В ФАКЕЛЬНОМУ РОЗРЯДІ.....	35
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	38
3. МЕХАНІЗМ ГЕНЕРАЦІЇ ЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНИМ РОЗРЯДОМ.....	39
3.1. СТВОРЕННЯ ЗВУКОВИХ ХВИЛЬ ЧЕРЕЗ ІОНІЗАЦІЮ ПОВІТРЯ.....	42
3.2. ІОНОФОН. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ	46
3.3. ПРИНЦИП РОБОТИ, ПЕРЕВАГИ, НЕДОЛІКИ ТА СПОСОБИ ПОКРАЩЕННЯ ІОНОФОНІВ.....	49
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	51
4 МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНКИ.....	52

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						9
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

4.1 ВИБІР ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	53
4.2 МОДЕЛЮВАННЯ АКУСТИЧНОЇ ХВИЛІ, УТВОРЕНОЮ ДУГОЮ ЗМІННОГО СТРУМУ	56
4.3 МОДЕЛЮВАННЯ АМПЛІТУДНО-ЧАСТНОЇ ,ІМПУЛЬСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ГАРМОНІЧНИХ СПОТВОРЕНЬ, ТА ЧАСТОТНОЇ ДІАГРАММИ НАПРАВЛЕНОСТІ	64
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	74
5. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ІОНОФОНА	75
5.1 РОЗРОБКА ПРИНЦИПІАЛЬНОЇ СХЕМИ ІОНОФОНА	76
5.2 ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОДНИХ СИСТЕМ	80
5.3 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСА	81
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5	83
6. ЗАКЛЮЧЕННЯ	84
7. ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	85
ДОДАТОК 1	91
ДОДАТОК 2	92
ДОДАТОК 3	93
ДОДАТОК 4	94
ДОДАТОК 5	95

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						10
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		с

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ККД – коефіцієнт корисності дії

ЛЕП – лінії електропередачі

LC контур – коливальний контур, який складається з конденсатора та котушки індуктивності

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						111
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В наш час використовується різноманітна техніка для прослуховування музики. Зазвичай така техніка складається з джерела звуку, підсилювача та акустичного випромінювача. Високоякісна система випромінювачів складається з трьох різних динамічних гучномовців, котрі відтворюють різні частотні смуги. Як правило, в них використовуються динаміки, що відтворюють низькі, середні та високі частоти. Ці гучномовці зазвичай динамічного типу і їх якість визначається якнайменшим показником гармонічних спотворень. Високочастотні динаміки мають проблеми з відтворюванням високих частот через значний показник гармонічних спотворень та акустична система не розкриває весь свій потенціал. Найкращим варіантом покращення такої системи - використанні плазмового гучномовця

Останнім часом інтерес проявляється до нетрадиційних акустичних випромінювачів, що використовують газорозрядну плазму в повітрі при атмосферному тиску. Великі можливості якісного відтворення високих звукових частот відкриває застосування плазмового акустичного випромінювача, заснованого на двохелектродному розряді атмосферного тиску. Цей спосіб відомий давно, але незаслужено забутий. Інтерес до таких випромінювачів відновився в 80-х роках минулого століття. Плазмовий акустичний випромінювач, що працює на принципі амплітудної модуляції високочастотного факельного розряду обмеженого обсягу з температурою 4000- 4600 К, володіє мінімальними нелінійними спотвореннями.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						12
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

1. ГАЗОВИЙ РОЗРЯД І ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

У природі існує таке явище як електричний розряд. Дане явище може призвести до розрядних процесів як в газі, так і в вакуумі. І ці розряди мають як позитивні, так і негативні ефекти. Позитивним ефектом є дослідження багатьох процесів, як у фізиці плазми, так і в інших областях фізики, але також є і негативний ефект. Цей ефект полягає в електричному розряді в тих місцях, де він не потрібен і ініціювання дугового розряду, який в свою чергу може призвести до горіння дуги, вторинного дугоутворення, і руйнування діелектричної прокладки і порушення роботи будь-яких систем.

Газовий розряд - сукупність процесів, що виникають при протіканні електричного струму через речовину, що знаходиться в газоподібному стані. Зазвичай протікання струму стає можливим тільки після достатньої іонізації газу і утворення плазми. Іонізація може відбуватися, зокрема, в результаті зіткнень електронів, прискорити в електромагнітному полі, з атомами газу. При цьому виникає лавинне збільшення числа заряджених частинок, оскільки в процесі іонізації утворюються нові електрони, які теж після прискорення починають брати участь в зіткненнях з атомами, викликаючи їх іонізацію. Іншою можливою причиною іонізації газу може бути електричне поле високої напруженості (іскровий розряд) або висока температура (дугового розряд). Для виникнення і підтримання газового розряду потрібна існування електричного поля або змінного магнітного поля, так як плазма може існувати тільки якщо електрони набувають в зовнішньому полі

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						13
Вим.	Док	№ док.	Підпис	Дата		

енергію, достатню для іонізації атомів, і кількість освічених іонів перевищує число рекомбінированного іонів.

Якщо для існування газового розряду необхідна додаткова іонізація за рахунок зовнішніх джерел (наприклад, за допомогою іонізуючих випромінювань), то газовий розряд називається несамостійним (такі розряди використовуються в лічильниках Гейгера).

Для здійснення газового розряду застосовують як постійні в часі, так і змінні електричні і магнітні поля.[2]

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						14
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

1.1. КРИВА ПАШЕНА

Закон Пашена - експериментально спостерігаюча закономірність залежності напруги пробою від відстані між електродами та тиску газу [3-5]. Криві Пашена є найважливішою характеристикою виникнення газового розряду. В даний час існує безліч експериментальних даних по визначенню кривих Пашена для різних газів [6 -11]. Однак результати цих експериментів сильно залежать від різних умов, зокрема, від складу газу, матеріалу електродів і ін. Тому криві, наведені в літературі, помітно різняться. Питання про вплив різних умов на криві Пашена є важливим, тому експериментальні дані в цій області представляють інтерес.

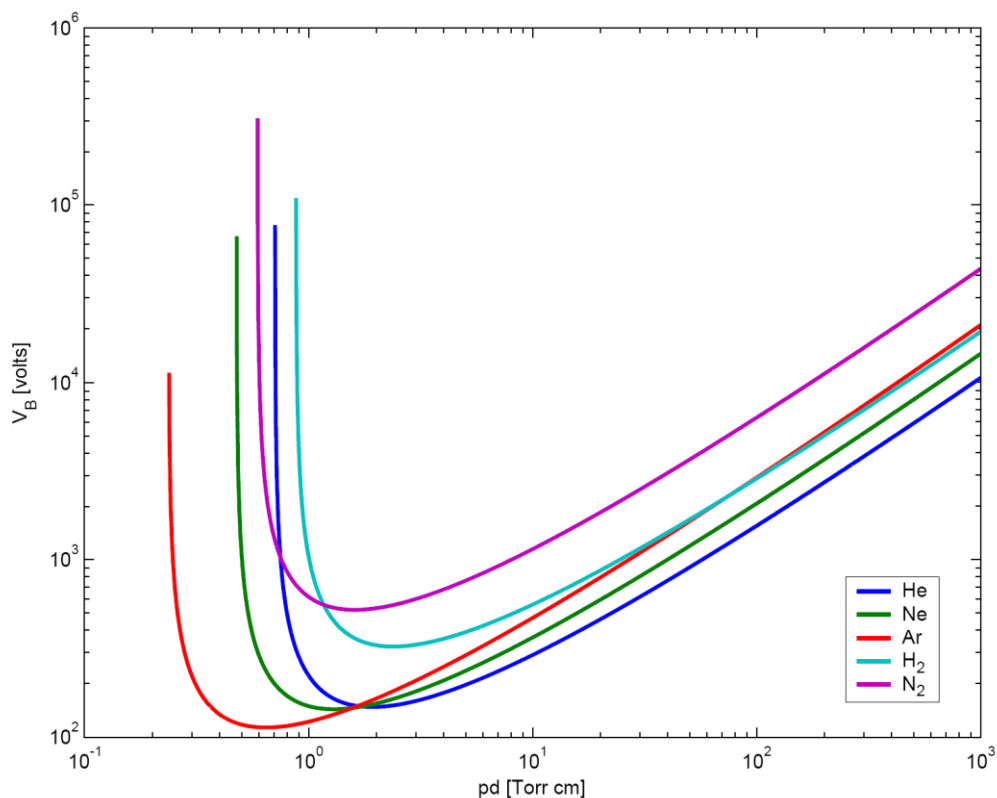


Рисунок 1.1 - Криві Пашена для гелію, неону, аргону, водню і азоту.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						15
Вим.	Док	№ док.	Підпис	Дата		

Перша кількісна теорія газового розряду була запропонована Таунсендом на початку ХХ століття. Вона називається теорією електронних лавин. Ця теорія може бути застосована до тих типів електричних розрядів в газах або до тих областей газового розряду, де спрямований рух електронів під дією електричного поля переважає над їх безладним рухом. Механізм розряду теорія електронних лавин описує в такий спосіб. Для здійснення розряду необхідно утворення вільних електронів під дією зовнішнього іонізатора. Утворення цього вільного електрона може відбуватися як в обсязі газу, так і на поверхні катода. Для визначеності припустимо, що електрони під дією зовнішнього іонізатора виділяються з поверхні катода. Нехай під дією зовнішнього іонізатора з 1см^2 поверхні катода за 1 сек. виділяється n_0 електронів. Якщо припустити, що відсутні причини, що викликають втрати заряджених частинок, то в ланцюзі буде йти тільки лише початковий струм щільності $j_0 = en_0$, де e - елементарний заряд. При великій напрузі на електродах первинні електрони, що рухаються до анода, прискорюються настільки, що на шляху іонізують атоми газу. При цьому з'являються нові вільні електрони і позитивні іони. Ці електрони теж рухаються до анода і теж іонізують атоми газу. Таким чином, число електронів, що рухаються до анода, поступово збільшується в міру віддалення від катода. Явище сильного збільшення числа електронів, що рухаються до анода, носить назву лавини електронів [3-6].

Для опису процесу іонізації Таунсенд ввів три коефіцієнта.

Перший з них є коефіцієнтом об'ємної іонізації газу електронами і позначається через α . Коефіцієнт α показує число вільних електронів і рівне йому число позитивних іонів, вироблених одним електроном шляхом

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						16
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

зіткнень з атомами газу при русі цього електрона на 1 см в напрямку від катода до анода. Вираз для виводиться при наступних припущеннях:

а) електрон іонізує тільки тоді, коли його кінетична енергія W_k дорівнює або перевищує енергію іонізації W_i ($\frac{m \cdot V^2}{2} \geq W_k$)

де m - маса електрона, V - швидкість електрона.

б) електрон набирає енергію тільки на довжині вільного пробігу λ , і повністю її втрачає при зіткненнях з молекулами і атомами;

в) електрон рухається вздовж силових ліній електричного поля

Другий коефіцієнт β характеризує об'ємну іонізацію, вироблену позитивними іонами, і визначається аналогічно коефіцієнту α .

Третій коефіцієнт γ характеризує поверхневу іонізацію на катоді. Коефіцієнт γ показує скільки в середньому електронів виділяється з катода на кожен позитивний іон, що потрапляє на катод.

Розряд, який існує при підтримці зовнішнього іонізатора, що викликає виникнення вільних електронів, називається несамостійним. Критерієм пробою проміжку є виконання умови самостійності розряду. Самостійним називається розряд, в якому поява заряджених частинок, необхідних для підтримки розряду, обумовлено іонізаційними процесами, що відбуваються в самому газовому проміжку і на поверхні катода без опромінення його стороннім джерелом випромінювання [7].

Закон Пашена є окремим випадком закону подібності газових розрядів: явища в розряді протікають однаково, якщо твір тиску газу на довжину розрядного проміжку залишається величиною постійною, а форма проміжку зберігається геометрично подібної вихідної. Однак в ряді робіт було помічено, що Пробійна напруга для більш довгих проміжків між електродами

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						17
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

було помітно вище, ніж для вузьких зазорів при незмінній величині добутку ρL . Першими на відхилення від закону Пашена вказали Таунсенд і МакКеллум (Townsend and McCallum) [12] і МакКеллум і Клатзов (McCallum and Klatzow) [13]. Вони отримали, що при фіксованому ρL пробійні напруги зростають зі збільшенням відстані між електродами. Відхилення від закону Пашена спостерігав також Міллер (Miller) [14], який досліджував напруги пробою в неоні при різних відстанях між електродами. Праві гілки кривих запалювання в криптоні і ксеноні виміряли Жак та ін. (Jacques et al.) [15]. Вони отримали, що ці гілки зі збільшенням відстані між електродами не збігаються, а зміщуються в область більш високих пробійної напружень.

Лісовський та ін. (Lisovskiy, Yakovin, Yegorenkov) [16] досліджували пробою газів низького тиску в циліндричних трубках різного радіусу R , при різних відстанях L між плоскими електродами, різних матеріалах електродів в діапазоні відносини $L / R \leq 3$. Вони показали, що звичайний закон Пашена для пробою газу в постійному електричному полі виконується тільки для коротких розрядних трубок, у яких відношення міжелектродного проміжку до радіусу трубки $L / R \leq 1$. Для більших значень L / R потрібно користуватися модифікованим законом $U = f(\rho L, L / R)$. При $L / R > 1$ збільшення відстані між електродами L зміщує криві запалювання $U(\rho)$ в область більш високих пробійної напружень U і більш низьких тисків газу (при виконанні звичайного закону Пашена криві запалювання з ростом відстані між електродами зміщуються в діапазон більш низьких тисків газу при постійній напрузі в мінімумі кривої запалювання).

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						18
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

1.2. ФОРМУВАННЯ ГАЗОВОГО РОЗРЯДУ

Газовий розряд - процес розрядки через ланцюг, що включає в себе, газовий проміжок (рисунок 1). Іншими словами, це процес протікання електричного струму через іонізований газ. Це явище стає можливим тільки після достатньої іонізації газу. Іонізація відбувається за рахунок зіткнень електронів, прискорити в електричному полі, з атомами газу. Після цього виникає лавинне збільшення числа заряджених частинок, так як в процесі іонізації утворюються нові електрони, які також після прискорення починають соударяючихся з атомами, викликаючи їх іонізацію. Для виникнення і підтримання газового розряду потрібне створення в газовому проміжку електричного поля, оскільки плазма не може існувати, якщо електрони не набувають в зовнішньому полі енергію, достатню для іонізації атомів.

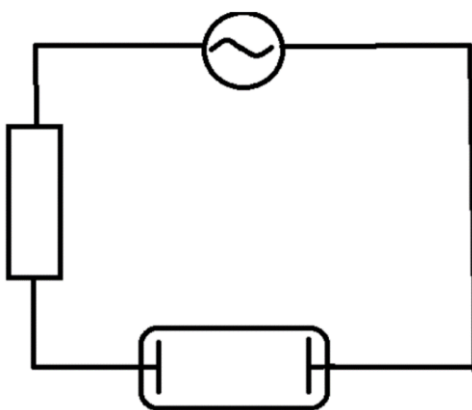


Рисунок 1.2 - Електричне коло, що складається з джерела напруги, опору і газорозрядної трубки

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						19
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

Якщо для існування розряду в газі необхідна його іонізація за рахунок зовнішніх джерел іонізуючого випромінювання, наприклад, ультрафіолетове випромінювання, пучок електронів, то газовий розряд називається несамоостійним.

Уявімо, що за допомогою будь-якого іонізатора в газі утворюється в секунду певне число пар заряджених частинок: позитивних іонів і електронів. При невеликій різниці потенціалів між електродами газоразрядного проміжку позитивно заряджені іони переміщуються до негативного електроду, а електрони і негативно заряджені іони - до позитивного електроду. В результаті в проміжку виникає електричний струм і відбувається розрядка конденсатора (Рисунок 1) або газовий розряд. Не всі утворюються іони досягають електродів; частина їх возз'єднується з електронами, утворюючи нейтральні молекули / атоми газу. Даний процес називається рекомбінацією. У міру збільшення різниці потенціалів між електродами газоразрядного проміжку, тобто при збільшенні напруженості електричного поля, частка заряджених частинок, що досягають електродів, збільшується. Зростає і сила струму в ланцюзі. Нарешті, настає момент, при якому всі заряджені частинки, що утворюються в газі, досягають електродів. Відповідно подальшого зростання сили струму не відбувається. Струм, як кажуть, досягає насичення. Якщо зовнішнє джерело іонізуючого випромінювання вимкнути, то розряд потухне, так як інших джерел іонів та електронів немає. З цієї причини такий розряд називають несамоостійним.

При ще більшому збільшенні різниці потенціалів між електродами, починаючи з деякого її значення, сила струму знову зростає. Це означає, що в газі з'являються додаткові іони і електрони понад ті, які утворюються за рахунок дії зовнішнього іонізуючого випромінювання. Сила струму може

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						20
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

зрости в сотні і тисячі разів, а число іонів, що виникають в процесі розряду, може стати таким великим, що зовні іонізуюче випромінювання буде вже не потрібно для підтримки розряду. У цьому випадку говорять про пробої газового проміжку і запалюванні самостійного розряду. Такі розряди більшою мірою поширені, різноманітніше і багатше фізичними ефектами, ніж несамостійні.

		<i>Царенко П.О</i>			<i>МРН.171.081.003 ТК</i>	<i>Лист</i>
						21
<i>Вим.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ доким.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1.3.ТИПИ ГАЗОВИХ РОЗРЯДІВ

Існує основні чотири види газових розрядів, такі як тліючий, іскровий, дуговий коронний. Нижче в цьому розділі буде представлено коротке описання їх. Більш детально описані явище розряда атмосферного тиску в книзі Райзера Ю.П. [3] фізика газового розряду.

Тліючий розряд

Цей тип розряду був відкритий і потім досліджувався Майклом Фарадеєм в 1831 р Тліючий розряд це самопідтримуючий розряд з холодним катодом, що випускає електрони в результаті вторинної емісії, головним чином під дією позитивних іонів. Його відмітною ознакою є існування поблизу катода шару певної товщини з великим позитивним об'ємним зарядом, сильним полем біля поверхні і значним падінням потенціалу: 100-400 В (і більше). Цей тип розряду один з найбільш вивчених і широко застосовуваних на практиці видів газового розряду. Багато років для його отримання і дослідження служив класичний прилад – розрядна трубка. Для тліючого розряду в трубках радіуса $R \sim 1$ см, довгі $L \sim 10-100$ см при типових тисках $p \sim 10^{-2} - 10^2$ Торр характерним є напруження на електродах $V \sim 10^2 - 10^3$ В і струми $i \sim 10^{-4} - 10^{-1}$ А. [1]

Іскровий розряд

Цей тип є нестационарної формою електричного розряду, що відбувається в газах. Такий розряд відбувається зазвичай при тиску порядку

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						22
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

атмосферного і супроводжується характерним звуковим ефектом (тріском). Температура газу в головному каналі іскрового розряду може досягати 10000 К. У природі, іскрові розряди часто виникають у вигляді блискавок. Відстань, пробиває іскрою в повітрі, залежить від напруги. Так, для того щоб пробити проміжок довжиною 1 см потрібно прикласти напругу амплітудою 30 кВ [1].

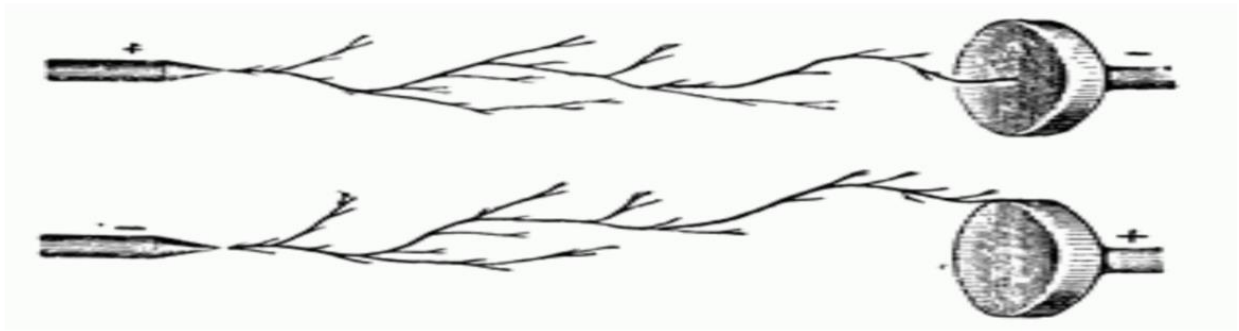


Рисунок 1.3 - Характерний вид іскрового розряду між вістрям і диском при великому розрядному проміжку.

Дуговий розряд

Дуговий розряд вперше спостерігається радянським академіком Василем Петровим Петербурзької академії наук в 1802р. Якщо після запалювання іскрового розряду від потужного джерела поступово зменшити відстань між електродами, тоді розряд з періодично перервного стає безперервним, виникає інший вид розряду, який називається дуговим. Якщо тиск газу високо, близько атмосферного, а опір зовнішньої кола мало, так що ланцюг може пропустити сильний струм, незабаром після пробою запалюється дугового розряд [1].

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						23
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

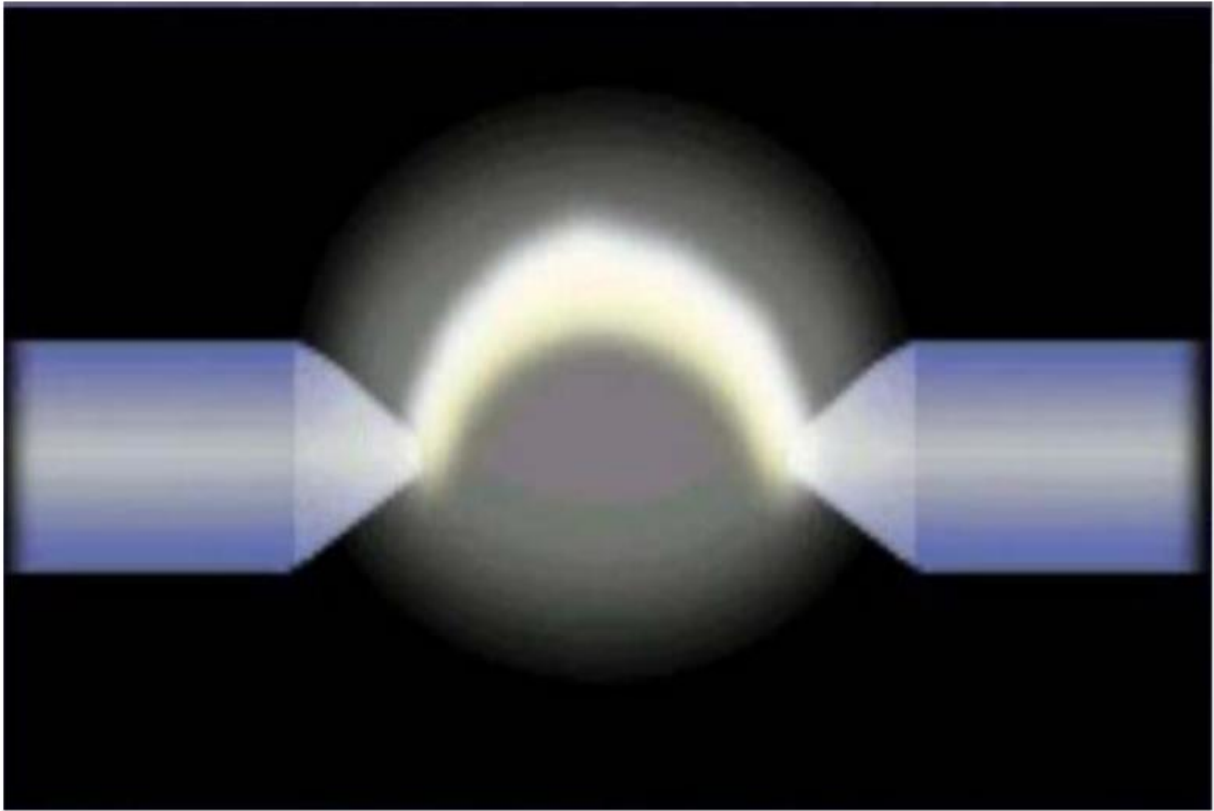


Рисунок 1.4 - Дуговий розряд

Коронний розряд

Цей вид розряду виникає в сильному неоднорідному електричному полі при порівняно високому тиску газу (близько атмосферного). Таке поле можна отримати між двома електродами, у одного з яких поверхня має великий кривизною (тонка зволікання, вістря) [1].

Наявність другого електрода необов'язково, але його роль можуть грати найближчі, навколишні заземлені металеві предмети. Коли електричне поле поблизу електрода з великою кривизною досягає приблизно $3 \cdot 10^6$ В / м, навколо нього виникає світіння, що має вигляд оболонки або корони, звідки і пішла назва заряду.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						24
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

У сильно неоднорідних полях, недостатніх для пробією всього проміжку, може виникнути коронний розряд. Світиться корона з'являється близько вістрів, де концентрується поле, проводів, що знаходяться під напругою, близько ліній електропередачі.



Рисунок 1.5 - Коронний розряд

Частина проміжку, де відбуваються іонізаційні процеси, називається чохлом коронного розряду, а частина, що залишилася проміжку, де відбувається дрейф заряджених частинок, є зоною дрейфу. Якщо в зоні дрейфу існують заряди тільки одного знака, то корону називають уніполярної, а якщо заряди обох знаків, то біполярної. Біполярна корона постійного струму виникає тоді, коли є проміжок з двома коронуючими електродами (наприклад, проміжок провід-провід або голка-голка), до якого прикладено постійну напругу. Уніполярна корона існує там, де є проміжок

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						25
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

тільки з одним коронуючим електродом або з декількома коронуючими електродами з однаковою полярністю напруги живлення.

Процеси в чохлі і в зоні дрейфу біполярної корони набагато складніші, ніж в уніполярної корони, так як з'являється додатковий механізм іонної рекомбінації в об'ємі проміжку і додаткові механізми вторинних процесів на електродах, що істотно ускладнює математичний опис і моделювання цього виду розряду.

Лавинна форма коронного розряду може реалізовуватися у вигляді безперервної і спалахової корони. Спалаховий характер корони пов'язаний з тим, що рухливість електронів та іонів розрізняється на три порядки. В результаті при позитивній полярності коронуючого електрода електрони швидко йдуть на анод, а позитивні іони, дрейфуючи від анода, виявляються в області слабкого поля і не можуть через низьку рухливості швидко піти від анода.

Тому напруженість поля у анода знижується і іонізація практично припиняється.

Наступна лавинна спалах може виникнути тільки після того, як позитивні іони покинуть зону іонізації. При позитивній полярності коронуючого електрода спалахова корона виникає як в електронегативний, так і в електропозитивних газах.

При негативної полярності напруги живлення, спалаховий характер розряду виникає тільки в електронегативний газах, де електрони потрапляючи в область слабкого поля, прилипають до молекул утворюючи мало рухливі іони, а ті в свою чергу знижують напруженість поля в зоні іонізації. Ці спалахові імпульси отримали назву імпульсів Трічела.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						26
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

На підставі вищезазначеної інформації з першого розділу можна виділити наступний висновок, що для виникнення розряду, необхідно прикласти досить високу напругу та зберегти невелику відстань між електродами. Також в перший момент часу між електродами виникає іонізація повітря і як наслідок виникає плазма між електродами. Також характерним явищем для розряду є підвищення температури в околицях розряду. Ці фактори необхідно враховувати для подальшого проектування гучномовця

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						27
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

2. АКУСТИЧНІ ЕФЕКТИ В ГАЗОВИХ РОЗРЯДАХ

Газовий розряд широко використовується в численних приладах і пристроях - зокрема, в освітлювальних і рекламних лампах, газових лазерах, магнітогідродинамічних і плазмохімічних генераторах та інших. Тому важливим є управління параметрами плазми незалежним шляхом з метою підведення їх до умов, необхідних для оптимальної роботи приладів. Але не менш важливим, корисним і цікавим процесом, є зміна параметрів плазми під впливом акустичних хвиль. У зв'язку з цим в даному розділі розглянемо вплив звуку на електричні параметри розряду, температуру газу в плазмі, концентрацію і температуру електронів.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						28
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

2.1. ВИНИКНЕННЯ АКУСТИЧНОГО ЕФЕКТУ В РОЗРЯДАХ

Звуком називаються механічні коливання частинок пружного середовища (повітря, води, металу і т.д.), суб'єктивно сприймаються органом слуху. Звукові відчуття викликаються коливаннями середовища, що відбуваються в діапазоні частот від 16 до 20000 Гц. Під акустичною інформацією зазвичай розуміється інформація, носіями якої є акустичні сигнали. У тому випадку, якщо джерелом такого сигналу є мовний апарат людини, акустична інформація називається мовною. Первинними джерелами акустичних сигналів є механічні коливальні системи, наприклад, органи промови людини, а вторинними - перетворювачі різного типу, наприклад, гучномовці.

Як відомо з загальних джерел інформації [17], акустичний ефект виникає при дуже швидкому підвищенню тиску на шляху атмосферного розряду, внаслідок його нагрівання електричним струмом.

Таким чином, результати досліджень [18] показують, що випромінювання звуку модульовані дуговими розрядами у відкритому просторі, як, втім, будь-якого тіла, що коливається, відбувається за рахунок пульсації поверхні високонагрітої плазми внаслідок змінного Джоулевого тепловиділення, яка, в свою чергу, адіабатично розширюючись і охолоджуючись, створює періодичні збудження навколишнього середовища (повітря). При цьому через наявність опору середовища збудження поширюються не миттєво, а зі швидкістю звуку. З урахуванням перевищення температурою розряду електричної дуги температури горіння в сучасних камерах згоряння енергетичних установок більш ніж на 200 градусів Цельсію

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						29
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

випромінювачі звуку на основі модульованих дугових електричних розрядів можуть бути використані в якості внутрішньокамерного збуджувача пристроїв для діагностики стійкості горіння.

		<i>Царенко П.О</i>			<i>МРН.171.081.003 ТК</i>	<i>Лист</i>
						<i>30</i>
<i>Вим.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2.2 АКУСТИЧНИЙ ЕФЕКТ В КОРОННОМУ РОЗРЯДІ

Коронний розряд, або корона - це самостійний розряд, що виникає в різко неоднорідних полях, в яких іонізаційні процеси можуть відбуватися тільки у вузькій області поблизу електродів. До такого роду полях відноситься і електричне поле проводів повітряних ліній електропередачі.

Початкова напруженість коронного розряду визначається для проводів радіусом r за формулою:

$$E_k = 30.3m\delta \left[1 + \frac{0.298}{\sqrt{\delta r_0}} \right] \quad (2.1)$$

Об'ємний заряд корони, що утворився в один з напівперіодів змінної напруги, за час до зміни полярності дроти може переміститися на кілька десятків сантиметрів. Внаслідок цього об'ємні заряди обох знаків здійснюють зворотно-поступальний рух поблизу проводу, повільно віддаляючись від нього в область слабкого поля, і там рекомбінують. Тільки не суттєва частина об'ємного заряду може дійти до проводів сусідніх фаз. Внаслідок цього процеси коронування кожної з фаз трифазної лінії не впливають один на одного (ефект біполярності відсутня), і кожна фаза може розглядатися ізольовано від інших.

Нехай одна з фаз підключається до джерела в нуль напруги (рис. 1). При збільшенні напруги на дроті зростає також напруженість електричного поля у його поверхні. (Масштаби напруги і напруженості E обрані на рис. 1 так, що криві в початковій частині збігаються).

При $u = U_n$ і $E = E_n$ у дроти починається коронний розряд. Напруга продовжує збільшуватися, а напруженість поля у поверхні дроту залишається

		Царенко П.О.			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						31
Вим.	Алк	№ док.	Підпис	Дата		

постійною і рівною E_n внаслідок накопичення позитивного об'ємного заряду. У момент, коли напруга досягає амплітудного значення U_m , коронування припиняється. І якщо вважати, що позитивний об'ємний заряд залишається нерухомим, то напруженість поля у дроти в подальшому знижується по синусоїді, зрушеною на Du щодо прикладеної напруги.

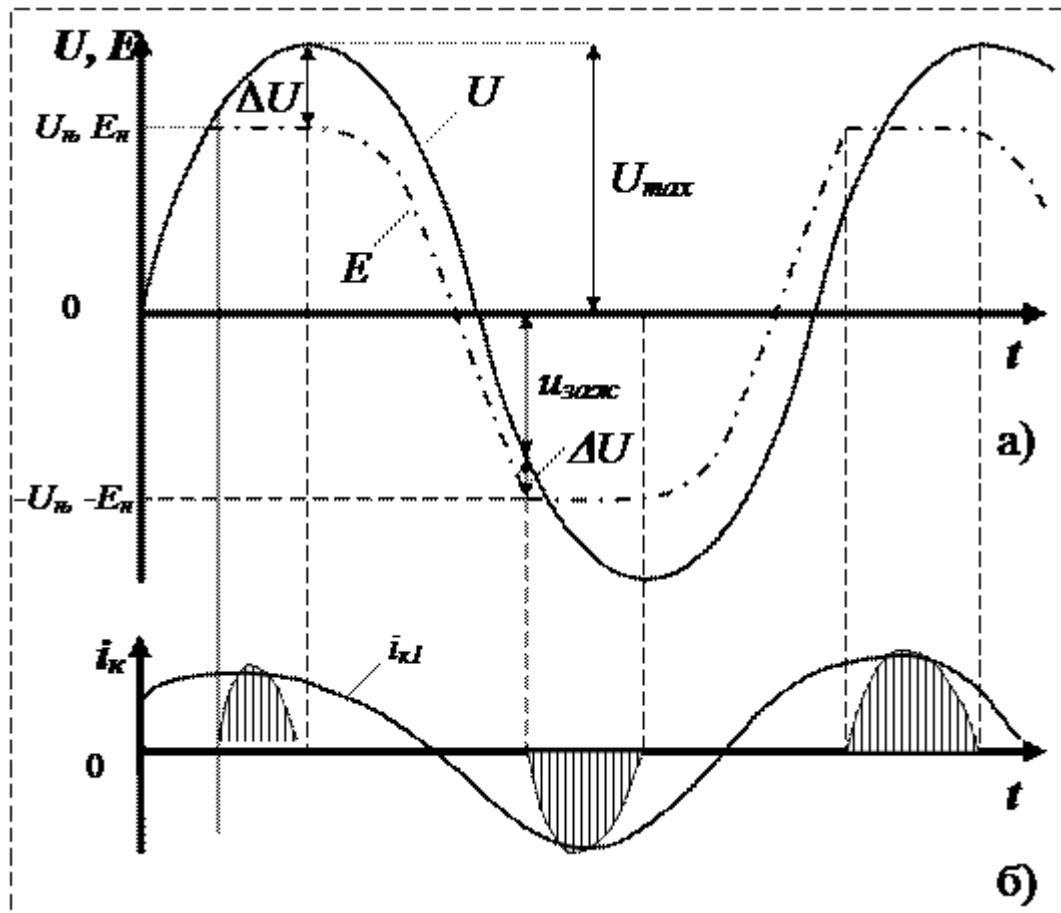


Рисунок 2.1. Корона при змінній напрузі: а) зміна в часі напруги джерела (U) і напруженості електричного поля на поверхні проводу (E); ток корони i_k і його перша гармоніка I_{k1}

Відомо, що повітряні високовольтні лінії електропередачі є джерелами не тільки електромагнітного поля промислової частоти, а й, в ряді випадків, високочастотного випромінювання [19]. Очевидно, що при оцінці

електромагнітної обстановки в масштабах міст і регіонів ця обставина має бути неодмінно враховано.

Основним джерелом високочастотного випромінювання ЛЕП є електрична корона [20], що виникає на струмопровідних провідниках внаслідок різко вираженою неоднорідності електричного поля поблизу останніх. Часто при коронному розряді провідники оточені характерним світінням, також отримав назву корони, або коронируючого шару [18]. При коронному розряді відбувається іонізація повітря і у поверхні токнесущого провідника утворюється об'ємний заряд того ж знака, що і полярність напруги в даний момент часу [19]. Під дією електричних сил іони, що становлять об'ємний заряд, рухаються від проводу. Для їх пересування не обходи ми витрати енергії, які і визначають в основному втрати енергії на корону, оскільки витрати енергії на іонізацію повітря значно менше. При змінному порушення коронний розряд запалюється при досягненні початкового напруги, рівного напрузі запалювання корони при певному часі [19]. Навколо дроти утворюється зона іонізації, звана чохлом корони. З чохла корони позитивні заряди виносяться в навколишній простір і утворюють зовнішній об'ємний заряд.

Акустичний ефект відбувається наступним чином. Змінне електричне поле поблизу проводу ЛЕП електризує повітря навколо дроти, розганяє вільні електрони, які іонізують молекули повітря, а вони в свою чергу породжують коронний розряд. І ось, 100 раз в секунду спалахує і гасне коронний розряд навколо дроту, при цьому повітря біля дроту нагрівається - остигає, розширюється - стискається, і таким чином виходить звукова хвиля в повітрі, яка сприймається нашим вухом як гудіння дроту.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						33
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

Відмінною особливістю коронного розряду [21], визначаючий його кількісні закономірності, є характерна форма взаємодії іонів, що створюються в процесі розряду, і електричного поля у коронируючого дроти ЛЕП. Знак заряду іонів, що рухаються із зони іонізації в зовнішню зону, збігається зі знаком заряду на коронуючого дроту, що зазвичай веде до ослаблення поля у дрота до деякої, практично постійної величини, - критичної напруженості поля і до відповідного посилення поля в іншій частині простору (зовнішньої зони). Ця особливість механізму утворення корони обумовлює істотну залежність від напруги на дроті як струму коронного розряду, так і втрат на коронування [21]. В коронному розряді електрична енергія перетворюється головним чином в теплову - в зіткненнях іони віддають енергію свого руху нейтральним молекулам газу [22].

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						34
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

2.3. АКУСТИЧНИЙ ЕФЕКТ В ФАКЕЛЬНОМУ РОЗРЯДІ

При безперервному режимі генерації та достатньої потужності, що підводиться до розряду, плазму факела у всьому обсязі, крім приелектродної області, при атмосферному тиску можна наближено вважати термодинамічно рівноважної і для розрахунків користуватися рівняннями Больцмана і Сага [23, 24, 25]. При зміні зовнішніх умов (збільшення швидкості прокачування газу, зменшення підводиться до розряду потужності, зменшення тиску і ін.) Роль електронної іонізації зростає і при її переважанні перед термічної іонізацією факел переходить в високочастотну корону [26], при цьому спрямована швидкість електронів перевищує теплову [27]

При певних умовах факел може служити джерелом акустичних хвиль . В роботі досліджувалися, проте, «субакустичні» коливання факела, а акустичний ефект факельного розряду, досліджений в роботі, можна пояснити приелектродному процесами і шумовими властивостями самої плазми розряду . Акустичний ефект газового розряду на постійному струмі при високому тиску, при амплітудної модуляції живлячої поля і без неї, досліджувався в ряді робіт. При дослідженні корони з вістря на постійному струмі отриманий «механо-електричний К.К.Д.» близько 1% . У ряді робіт досліджувався акустичний ефект високочастотної корони при амплітудної модуляції живлячої поля з коефіцієнтом модуляції $m < 0,2$ [28]. При електронному механізмі порушення і апроксимації корони як точкового джерела отримане незалежність акустичного ефекту корони від високої частоти і модулюючим частоти} мовляв: при максимальній частоті модуляції

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						35
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

до 40 кГц «акустичний ККД.» становив 2,5% і рівень інтенсивності випромінювання-132 дБ [28].

Якщо живить розряд поле модулювати по амплітуді з частотою модуляції $f_{\text{мод}} \ll f_{\text{н}}$, де $f_{\text{н}}$ - частота поля, то амплітуда хвилі на межі плазми у електрода може бути записана

$$E = E_0(1 + \cos \omega_0 t) \quad (2.2)$$

тут ω_0 - круговая частота модуляції. Якщо максимальний коефіцієнт модуляції $m = 0,4$, то перетворення глибини модуляції (при виконанні співвідношення $v^2 \gg \omega^2$, де v - частота зіткнень, електрона, ω - частота поля, відбувається посилення модуляції) в каналі розряду хоча і буде мати місце, внаслідок самовпливу, проте наближено можна прийняти закон зміни поля в каналі розряду за рівнянням (1). При $m < 0,4$ та $E_{\text{min}} \gg E_{\text{кр}}$, де E - критична напруга факелу, перепад температур у факелі $\Delta T_{\text{ср}} \ll T$, де T - середня температура каналу факела, тому можна допустити термічний характер акустичного ефекту розряду, т. е. виконується

$$\frac{p}{p_0} \approx \frac{\Delta T_{\text{ср}}}{T} \quad (2.3)$$

де p - амплітуда звукового тиску, що розвивається розрядом, p_0 - тиск газу в камері. Отже, акустичний ефект розряду збільшується при збільшенні $\Delta T_{\text{ср}}$, тобто при збільшенні m . Залежність акустичного ефекту розряду від $f_{\text{мод}}$ визначається часом встановлення рівноваги в плазмі розряду t_c . При високому тиску і розряді в повітрі t_c визначається часом встановлення стаціонарного стану по коливальним рівням молекул, тому при частотах модуляції в кілька десятків кГц внаслідок сумірності t_c та $\frac{1}{\omega_0}$ (так, в повітрі і при тиску $P_0 = 1$ атм, $t_c = 20$ мксек) має місце зворотна пропорційність p

		Царенко П.О.			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						36
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

Від ω₀.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						37
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Проаналізувавши теоретичні дані про акустичний ефект на розряді атмосферного, робимо висновок, що при модуляції розряду іншим сигналом відслідковується поява акустичного сигналу, яким модулюється розряд. Найбільш вдалим прикладом появи акустичного ефекту на розряді це звуковий сигнал, який спостерігається біля ліній електропередач.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						38
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

3. МЕХАНІЗМ ГЕНЕРАЦІЇ ЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНИМ РОЗРЯДОМ

Перший гучномовець був винайдений Беллом в 1876 р [29]. На сьогоднішній день принцип роботи електродинамічних гучномовців не змінився. Однак подібний гучномовець має низку недоліків, внаслідок чого актуальним є питання дослідження альтернативних методів електро-акустичного перетворення енергії. У подібній ролі можуть виступати акустичні пристрої на основі плазми і коронного розряду, які мають важливу перевагу прямого перетворення електричного сигналу в звуковий.

Джерелом звуку можуть бути будь-які явища, що викликають збудження пружного середовища, тобто місцеве відхилення тиску від рівноважного значення. У створених штучно випромінювачів звуку використовуються коливання твердих тіл (дифузори гучномовців, п'єзоелектричні пластини, мембрани телефонів) або обмежені обсяги повітряного середовища (органні труби і свистки). У природі звуки порушуються при обтіканні твердих тіл потоком повітря, за рахунок утворення і відриву вихорів, наприклад при обдуванні вітром кутів будівель або гребенів морських хвиль. Звуки низьких і інфранизьких частот виникають при вибухах, обвалах і землетруси.

Низькочастотні коливання виникають під час землетрусів, штормів, смерчів, торнадо. Для людини сприйняття подібних коливань лежить в субсенсорній області. Субсенсорні впливи, неусвідомлювані людиною, викликають зміни в його електроенцефалограмі, електричної активності шкіри та інших біологічних параметрах. Використовуючи систему моніторингу з застосуванням біологічного зворотного зв'язку (БЗЗ), можна

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						39
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

навчити людину усвідомлювати коливання інфранизьких частоти, визначати потужність і напрямок випромінювання. Всього існує декілька видів відтворення звуку, які наведено нище.

1. Електромеханічний принцип дії. На таких низьких частотах промислові електромеханічні перетворювачі типу низькочастотних гучномовців, засновані на взаємодії магнітного поля, що створюється потужним магнітом, з рухомою котушкою обтічної струмом, виявляються неефективними через низький ККД. Основний недолік гучномовців - відносно низький ККД (близько - 3-10%). Гучномовці поділяють на електродинамічні, електростатичні, пневматичні і іонні. Розрахунки показують, що середній рівень звукового тиску повинен відповідати приблизно 100 Па (рівень 140 дБ). Для отримання необхідної потужності хід котушки повинен становити кілька десятків сантиметрів, що в принципі Важкореалізовані. Крім того, потужність підводиться до котушки, повинна становити кілька сотень ват, що також створює додаткові труднощі. Для створення портативного генератора більшої акустичної потужності можна використовувати невеликий турбокомпресор. Можлива наступна структурна схема пристрою: основним елементом повинен бути осьовий компресор високої продуктивності з тиском порядку 2-3-10⁵ Па, далі використовується електромеханічний клапан, що дає можливість частково перекривати вихідне сопло з необхідною частотою 1-20 Гц. Для підвищення ефективності такої системи і зменшення габаритів робочий тиск можна підвищити до 5-6-10⁵ Па. Таким чином, потужний вихідний потік повітря модулюється клапаном і зміна тиску повітря складе 100-200 Па на відстані в один метр. Крім того, до механічних засобів збудження електричних коливань слід віднести використання пневматичних і гідравлічних лінійних перетворювачів.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						40
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

Пневматичні системи більш швидкодіючі і досить просто забезпечують швидкість переміщення мембрани, пов'язаної з поршнем, до декількох метрів в секунду. Створюване зусилля легко регулюється зміною тиску або підбором необхідних параметрів циліндра. Інший можливий принцип - використання колекторного електродвигуна постійного струму з редуктором і перетворювача обертального руху в лінійне. Регулюючи напругу, можна перетворити номінальну частоту обертання в зворотно-поступальний рух мембрани. Потужність електродвигуна повинна становити 100-200 Вт.

2. Плазмовий метод. Основна ідея методу полягає у використанні високотемпературного плазмового розряду конденсаторної батареї напругою в 3-5 кВ і більше, протягом короткого проміжку часу (10-20 мкс). Це еквівалентно вибуху невеликої потужності і супроводжується значним підвищенням тиску повітря до 10 МПа. Частота таких послідовних мікроривів може доходити до 40 Гц. Основна перевага методу-отримання високих звукових тисків, що відповідають рівню більше 150 дБ. Недоліки: використання дорогих платинових електродів і конденсаторних батарей високої напруги.

3. Іонний метод. Для отримання потужних низькочастотних коливань і створення необхідного звукового тиску можна використовувати потік іонізованого повітря. Для іонізації повітря використовується система з двох груп електродів, одна з яких представляє собою набір голчастих провідників, а друга група електродів - сітку. Метод аналогічний принципу іонного двигуна, використовуваного в ракеті.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						41
Вим.	Док	№ доким.	Підпис	Дата		

3.1. СТВОНЕННЯ ЗВУКОВИХ ХВИЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ

Ідея, використовувати рух іонізованих частинок в електричному полі для створення звукових хвиль, виникла ще в кінці XIX століття. У 1900 році Дуделл продемонстрував науковому співтовариству співочу дугу. У 1946 році французький винахідник Зігфрід Клейн запропонував електричну дугу обмежити і помістити її всередину невеликої кварцової трубки, з'єднаної з рупором. Саме Клейн запропонував назвати цей пристрій іонофоном. У його випромінювачі коронний розряд створювався між анодом, поміщеним в кварцову трубку, і металевим циліндричним катодом навколо її зовнішньої сторони. При подачі на електроди високої напруги частотою 100 кГц, промодульованій аудіосигналом, навколо вільного кінця анода утворювалося хмарка іонізованих молекул повітря. Температура при цьому досягала 1700 ° С.

Стиснення і розширення обсягу іонізованого повітря приводило до виникнення звукової хвилі. Рупор в першій конструкції іонофона використовувався для підвищення ефективності випромінювання (обсяг хмари був досить малий і інтенсивність звукової хвилі виходила низькою). Клейн запропонував використовувати анод, виготовлений з комбінації платини, фосфату алюмінію, іридію і графіту, проте, це було не кращим рішенням, так як платина під впливом температури швидко розпорошуватися на стінки кварцовою трубки, що призводило до появи в відтворюваному звуці шерехів і тріску. Анод повинен був не тільки ефективно іонізувати повітря, але і бути стійким до коронного розряду і високій температурі, що

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						42
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

викликає окислення. У більш пізніх моделях іонофонов ця проблема була вирішена застосуванням спеціального сплаву з заліза, хрому і алюмінію, який став називатися «Кантана». Для усунення свисту, супроводжуючого коронний розряд, частота генератора була збільшена до 2-3 МГц. Пізніше з цієї ж причини частота була збільшена ще в десять разів.

Теоретично, іонофон є ідеальним випромінювачем, оскільки в ньому, в принципі, відсутня рухлива система, а, значить, немає проблем з перехідними спотвореннями і резонансами. Амплітудно-частотна характеристика повинна бути ідеально рівномірної, а частотний діапазон повинен досягати дуже високих частот. Експлуатація іонофонов показала, що вони дійсно створюють чисте, прозоре звучання з дуже низьким рівнем спотворень. Однак, вони не отримали промислового поширення через істотних недоліків. По-перше, висока напруга - це завжди небезпечно, по-друге, іонізація швидко поширюється далеко за межі випромінювача, що призводить до подразнення очей, легенів і появи сильного запаху озону.

Для випромінювачів цього типу існує кілька назв - іонофон, плазмотрон, плазмофон.

Суть роботи будь-якого гучномовця - це перетворення електричної енергії в коливання тиску повітря. Така трансформація може бути прямою або непрямою. Пряме перетворення здійснюється, коли електрична енергія перетворюється в рух макроскопічних обсягів в газовому середовищі, що створює локальне зміна щільності газу. Непряме перетворення пов'язане з локальною зміною внутрішньої енергії газу, т. Е. Розсіювання теплової енергії джоулева втрат і відповідним термодинамічним процесом зміни тиску. При цьому мається на увазі, що обидва процеси в технічному сенсі

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						43
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

слова, по відношенню до мембранних перетворювачів, є механізмами прямої трансформації електричної енергії в звукову. Тепловий же механізм генерації звуку є типовим для високочастотних коронуючих і плазмових джерел [29, 30]. Говорячи про характер поширення акустичного випромінювання, слід зазначити, що існують акустичні диполі, у яких два полюси випромінювання з протифазні коливаннями, і акустичні монополії у яких випромінювання на всі боки когерентно. Фізика випромінювання без мембранних нетеплових перетворювачів, які є акустичним диполями, також добре вивчена.

В процесі роботи котушки Тесла можна спостерігати чотири види розрядів:

- Стримери - тьмяно світяться тонкі розгалужені канали, які містять іонізовані атоми газу і відгалужені від них вільні електрони. Протікає від терміналу (або від найбільш гострих, викривлених ВВ-частин) котушки прямо в повітря, не йдучи в землю, так як заряд рівномірно стікає з поверхні розряду через повітря в землю.

- Спарк - це іскровий розряд. Йде з терміналу (або з найбільш гострих, викривлених частин) безпосередньо в землю або в заземлений предмет. Являє собою пучок яскравих, швидко зникаючих або змінюють один одного ниткоподібних, часто сильно розгалужених смужок - іскрових каналів. Також має місце особливий вид іскрового розряду - ковзний іскровий розряд.

- Коронний розряд - світіння іонів повітря в електричному полі високої напруги. Створює красиве блакитнувате світіння навколо частин конструкції з сильною кривизною поверхні.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						44
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

- Дуговий розряд утворюється в багатьох випадках. Наприклад, при достатній потужності трансформатора, якщо до його терміналу близько піднести заземлений предмет, між ним і терміналом може спалахнути дуга (іноді потрібно безпосередньо доторкнутися предметом до терміналу і потім розтягнути дугу, відводячи предмет на більшу відстань).

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						45
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

3.2. ІОНОФОН. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Іонофон (англ. Ionophone) або, в деяких джерелах, що співає дуга - плазмовий гучномовець.

Ще в кінці XIX століття Вільям Дуддел зауважив, що тембр звуку «шиплячої» електродуги змінюється в залежності від частоти настройки LC-контур. Він же зробив в 1899 р перший в світі клавішний електронний музичний інструмент «Співоча дуга» (англ. Singing Arc).

Практичне застосування «дузі» знайшлося в 1950-і роки, коли радянські радіоаматори продемонстрували «Звуковідтворююча агрегат з іонофоном» [31].

Існує два основних типи таких гучномовців - на основі коронного розряду (розряд виникає близько одного електрода) і електродугові (розряд виникає між двома електродами).

Принцип випромінювання звуку у обох типів гучномовців однаковий - створюється високочастотний розряд, струм розряду модулюється звуковим сигналом, це викликає об'ємні пульсації в тілі розряду, які, в свою чергу, викликають коливання навколишнього розряд повітря.

Головною особливістю є те, що плазмові динаміки не вносять в звук механічних помилок, не схильні до різних акустичним резонансам і, тому, мають недосяжним для інших типів гучномовців якістю відтворення середнечастотного і високочастотного діапазонів. Це обумовлено тим, що у

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						46
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

іонофонов, по суті, немає дифузора, а маса рухомої системи зникаюче мала, так як вона визначається масою повітря займаного розрядом (плазмою). Тому головним їх перевагою є якість звучання, одержуване амплітудною модуляцією, а їх основними недоліками є високий рівень випромінюваної потужності радіочастотних перешкод на частотах в десятки МГц і іонізація навколишнього повітря [32], також істотним недоліком є невеликий термін служби електрода (рідко перевищує кілька тисяч годин).

Іонофони на основі коронного розряду випускаються промислово декількома компаніями [33] [34]. При цьому вони набули найбільшого поширення в якості радіоаматорських конструкцій, в яких, як правило, використовується широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), а висока напруга на електродах отримують за допомогою підвищувальних високовольтних трансформаторів [35] [36]. Ці пристрої створюють значно менше радіоелектронних перешкод, так як розряд в них виникає між двома електродами на відміну від пристроїв на основі коронного розряду, а при правильно підібраних режимах роботи електроди можуть працювати дуже тривалий час [37], але домогтися якісного звучання можна, в силу неможливості передачі високовольтним підвищувачем трансформатором широкосмугового ШІМ-сигналу.

Реальною діючою альтернативою є пристрій використовує амплітудно-імпульсний принцип, який поєднує в собі якість перших і гідності друге, даний принцип запатентований [38].

Поширеним помилкою про іонофонах є те, що їх ККД низький. Почасти це так, але застосування сучасної елементної бази дозволяє істотно поліпшити ККД і знизити споживання електроенергії до декількох десятків ват.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						47
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

Ще одним помилкою є те, що плазмові гучномовці виробляють озон під час роботи, але на ділі це неможливо. Озон термічно нестійкий (розкладається при температурах вище 70 °С) і його освіта неможлива при високих температурах, супутніх електричним розрядам, так як він розкладається швидше молекулярного кисню [39].

		<i>Царенко П.О</i>			<i>МРН.171.081.003 ТК</i>	<i>Лист</i>
						48
<i>Вим.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ доким.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3.3.ПРИНЦИП РОБОТИ, ПЕРЕВАГИ, НЕДОЛІКИ ТА СПОСОБИ ПОКРАЩЕННЯ ІОНОФОНІВ

Роботу резонансного трансформатора, або котушки Тесла, можна пояснити на прикладі звичайних гойдалок. Якщо їх розгойдувати в режимі примусових коливань, то максимально досягається амплітуда буде пропорційна прикладеному зусиллю. Якщо розгойдувати в режимі вільних коливань, то при тих же зусиллях максимальна амплітуда зростає багаторазово. У нашому випадку в ролі «якос- лей» виступає вторинний коливальний контур, а в ролі прикладеного зусилля - генератор. Їх узгодженість («підштовхування» строго в потрібні моменти часу) забезпечує первинний контур або задаю- щий генератор.

Завдяки качеру Бровіна створюється висока напруга (до декількох мільйон вольт), і на вторинній обмотці трансформатора утворюються розряди, які можна спостерігати. При зміні частоти пристрою за допомогою музичного інструменту або аудіо- плеера розряди пронизують простір на різній частоті. Через це чутно звуки, які складають мелодію. До того ж до звуку на невеликій відстані від пристрою починають світитися лампи, що знову ж таки додає пристрою інтересу з боку цільової аудиторії.

Принцип дії подібних пристроїв однаковий: генератор високої частоти модулюється звуковим сигналом. Вихідний сигнал генератора підвищується резонансним трансформатором і збуджує «звучний» коронний розряд. Коронний розряд збуджується напругою частотою 27 МГц і амплітудою 2 кВ. Смуга відтворюваних частот 2-20 кГц, що нелінійні спотворення - менше

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						49
Вим.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

0,5%. При роботі спостерігається блакитнувате світіння плазми і характерний запах озону.

Переваги таких випромінювачів - відсутність перехідних спотворень за рахунок безінерційного випромінювача (коронного розряду) і найширший діапазон частот, недосяжний іншими методами. Теоретично, іонофон є ідеальним випромінювачем, оскільки в ньому, в принципі, відсутня рухлива система, а, значить, немає проблем з перехідними спотвореннями і резонансами. Амплітудно-частотна характеристика повинна бути ідеально рівномірної, а частотний діапазон повинен досягати дуже високих частот. Експлуатація іонофонів показала, що вони дійсно створюють чисте, прозоре звучання з дуже низьким рівнем спотворень. Однак, вони не отримали промислового поширення через істотних недоліків. По-перше, висока напруга - це завжди небезпечно, по-друге, іонізація швидко поширюється далеко за межі випромінювача, що призводить до подразнення очей, легенів і появи сильного запаху озону.

Основний недолік - необхідність в спеціальній високовольтній схемі збудження та схемами захисту (вимоги техніки безпеки), і високочастотне випромінювання з іонізацією повітря, вплив яких на організм людини досі вивчено не повністю. Чутливість цих випромінювачів визначається характеристиками схеми збудження.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						50
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

В даному розділі описано фізику виникнення акустичного ефекту на розряді атмосферного тиску, описані дані вище, необхідно враховувати для подальшого моделювання приладу для відтворення звукового сигналу, який називається іонофон. Також було розглянуто принцип роботи, переваги та недоліки іонофона.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						51
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

4. МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНКИ

В даному розділі були проведені: моделювання акустичних хвиль утворених дуговим розрядом, амплітудно-частотної, імпульсної характеристики гармонічних спотворень, та направлення частотного розподілу амплітудно-частотної, імпульсної характеристики гармонічних спотворень, та направлення частотного розподілу, розробка схеми та особливості конструювання корпусу.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						52
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

4.1 ВИБІР ПРОГРАМНОГО ЗАБЕРЗПЕЧЕННЯ

Програмне середовище, яке було використано для моделювання – COMSOL Multiphysics.

COMSOL Multiphysics - це програмне забезпечення для аналізу методом скінченних елементів, розв'язування та імітації для різноманітних фізичних та інженерних додатків, особливо для спарених явищ чи мультифізики. Цей пакет є кросплатформним (Windows, Mac, Linux). На додачу до традиційного заснованого на фізиці користувацького інтерфейсу, COMSOL Multiphysics також дозволяє введення кількох систем partial differential equations. Диференціальні рівняння можуть бути задані у звичайному або слабкому формулюванні. З версії 5.0 (2014), COMSOL Multiphysics також використовується для створення додатків, що базуються на фізиці. Ці додатки можна встановити, використовуючи стандартну ліцензію COMSOL Multiphysics, а також ліцензію COMSOL Server. Ранні версії (до 2005) COMSOL Multiphysics мали назву FEMLAB.[39]

У COMSOL Multiphysics доступні кілька вбудованих продуктів.[39] Вони поділені на декілька розділів згідно з процесами, з якими вони працюють: електрика, механіка, рідини, хімія, багатофункціональні процеси та конструювання інтерфейсів. Також варто зазначити, що ці вбудовані продукти бувають двох типів: одні з COMSOL Multiphysics, а інші з COMSOL Server.

Вбудовані продукти:

- Електрика
- АС/DC модуль
- Радіочастотний модуль

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						53
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

- Хвильова оптика
- Геометрична оптика
- Мікроелектромеханічні системи
- Плазма
- Напівпровідники
- Структурні та акустичні
- Структурна механіка
- Нелінійні структурні матеріали
- Геомеханіка
- Модуль виснаженості
- Багатотільна динаміка
- Ротординаміка
- Акустика
- Рідини і температура
- Динаміка рідин
- Мікропотоки
- Підземні потоки
- Поширення тепла
- Хімія
- Хімічні реакції
- Батареї та паливні елементи
- Корозія
- Електрохімічний модуль
- Багатоцільові за стосунки
- Оптимізація
- Бібліотека матеріалів

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						54
Вим.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

○ Трасування частинок

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						55
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

4.2 МОДЕЛЮВАННЯ АКУСТИЧНОЇ ХВИЛІ УТВОРЕНОЮ ЗМІННИМ СТРУМОМ

Модель дуги базується на таких припущеннях [40].

- 1) Дуга плазми знаходиться в локальній термодинамічній рівновазі. Параметри дуги розглядаються як функції температури і тиску.
- 2) Дуга обертально симетрична, і може бути встановлена 2-D модель в циліндрично-координатній системі.
- 3) Дуга є оптично тонкою і реабсорбція випромінювання порівняно із загальною втратою випромінювання на всіх довжинах хвиль є незначною.
- 4) Дуга знаходиться в стійкому стані і процес запалювання дуги не враховується.
- 5) Потік плазми ламінарний і турбулентності немає.
- 6) Сила тяжіння і розсіювання тепла через в'язкості дуже малий. З цими припущеннями всі рівняння в циліндричних координатах (r, z, θ) можна записати так.

Модель акустичної хвилі, що генерується дугою, ґрунтується на наступних припущеннях.

- 1) Під час розповсюдження звукових хвиль безперервне стиснення та розширення середовища призводить до зміни температури. Оскільки частота звукової хвилі є відносно високою, немає часу на обмін теплом між різними ділянками середовища, тобто поширення звукових хвиль здається адіабатичним (ізоентропійний процес).
- 2) Амплітуда звукової хвилі невелика, тому лінійний акустичний метод можна використовувати для аналізу поширення звукової хвилі.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						56
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

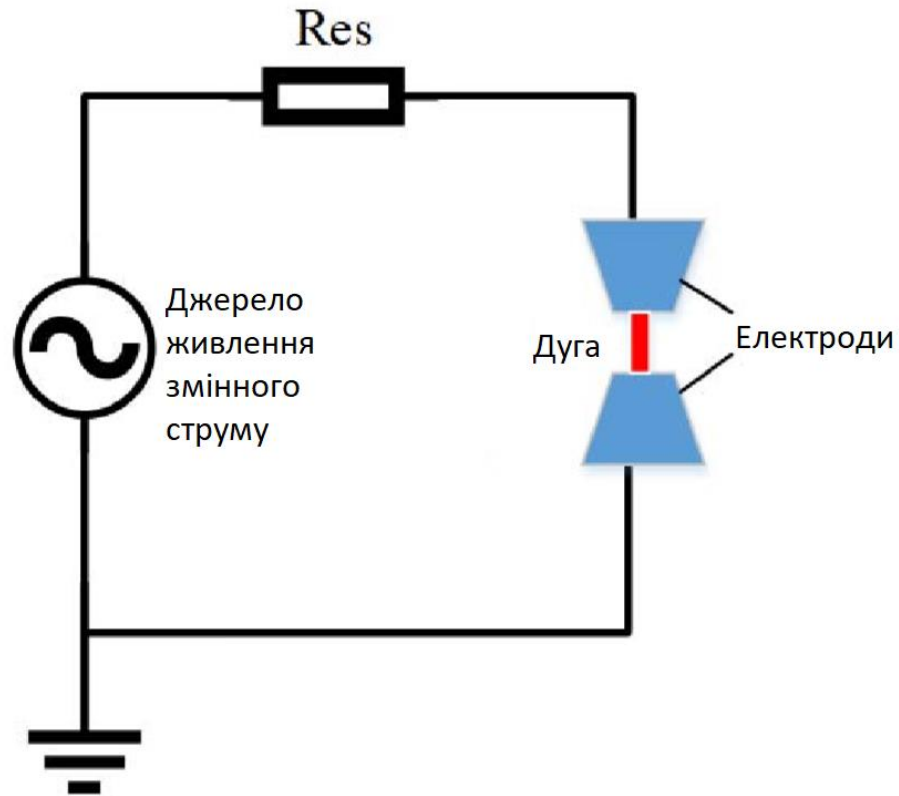


Рисунок 4.1. Модель схеми для створення дуги.

Рис. 1 показана модель схеми для отримання змінного струму дуги. Джерело змінного струму використовується для підтримання дуги між двома електродами, які мають форму конуса. Значення та граничні умови моделювання визначені на рис. 2. Области, позначені цифрами 1 і 4 - області повітря та дуги відповідно. Розміри області 4 обрані з максимальною точністю, а 2, 3 та 1 обрані здебільшого грубо. Вся область обчислення - 3 см \times 10 см. Для розрахунку дуги в сталому стані початкові значення температур в різних областях повинні бути встановлені приблизно. Повітря знаходиться при кімнатній температурі 300 К, а електрод - при температурі 1000 К. Дуга

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						57
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

знаходиться при температурі 8000 К. Дійсний розподіл температури в цих регіонах буде отримано розрахунком.

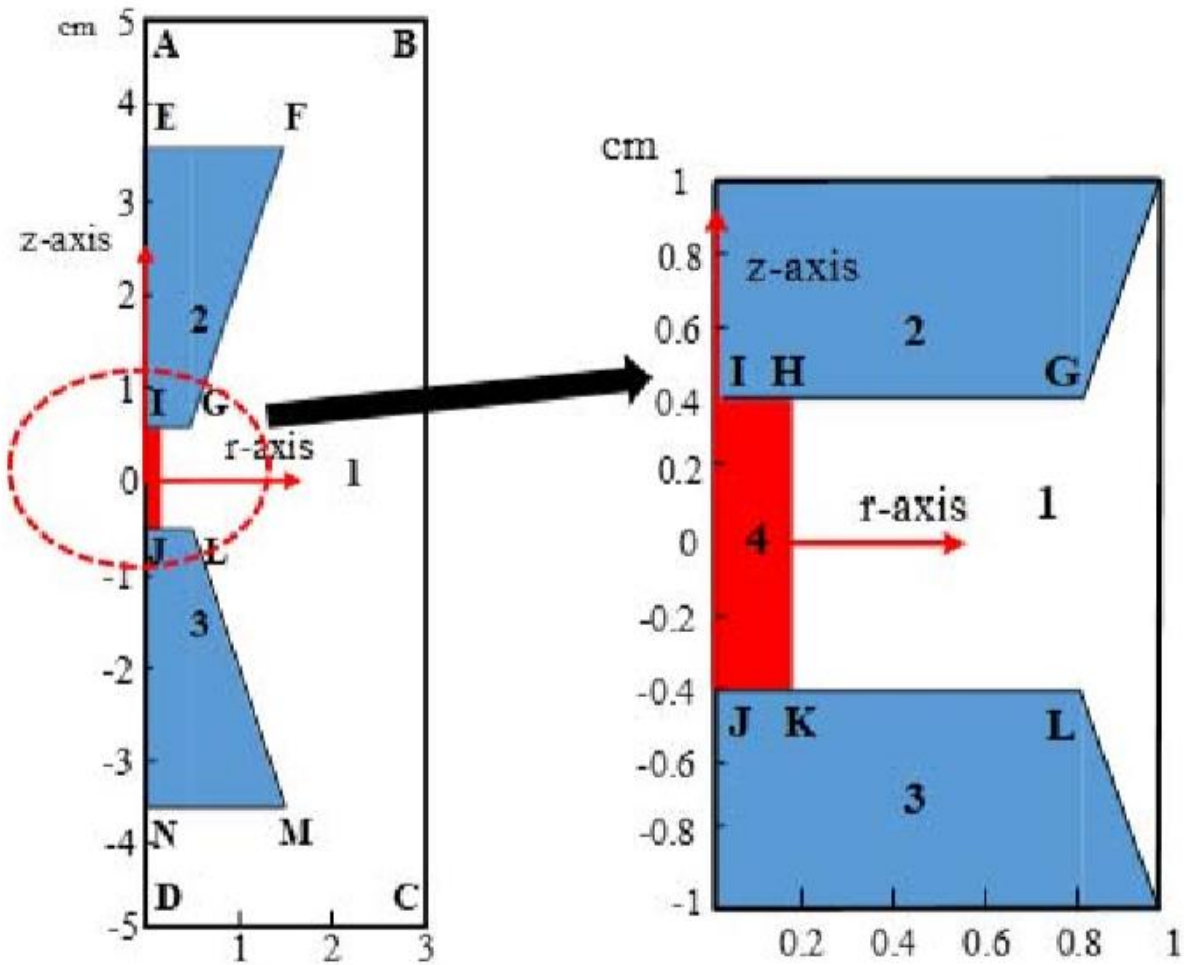


Рисунок 4.2 Модель електродів, які будуть моделюватись

Значення напруги між електродами дорівнює 100 В змінного струму.

Значення струму, який протікає між електродами при прикладеній напрузі в 100 В дорівнює 25 А.

Ці значення зображені на рисунку 3.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						58
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

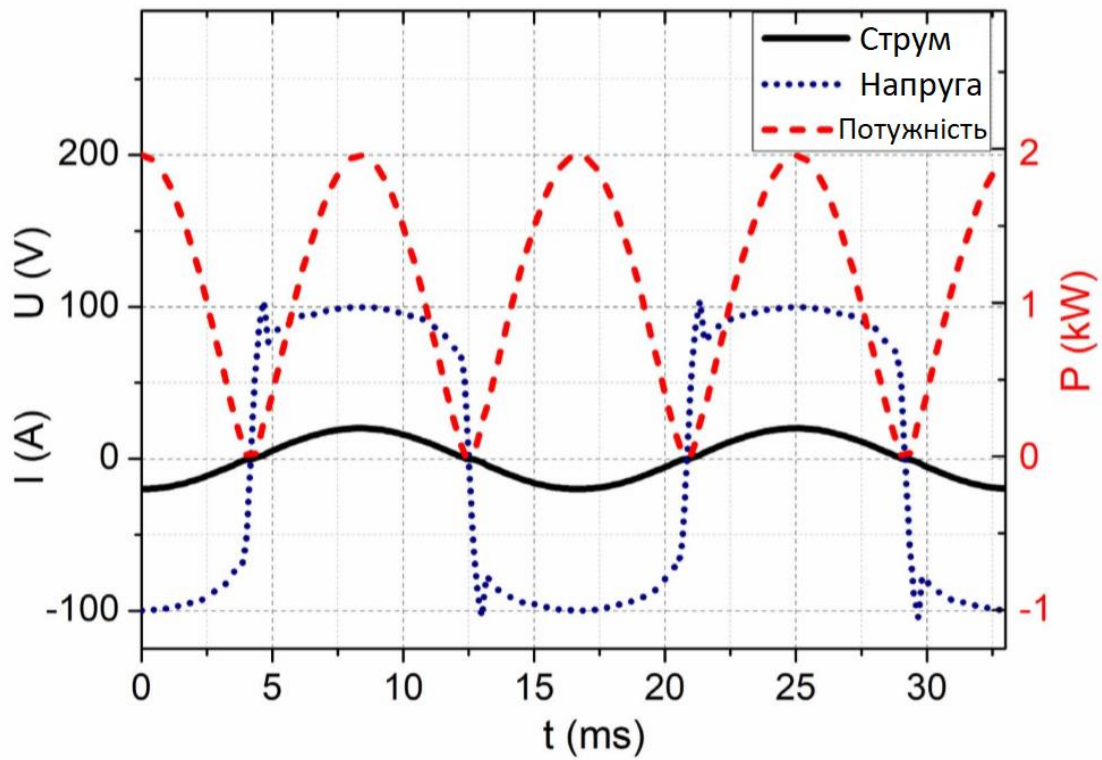


Рисунок 4.3. Струм, напруга дуги та електрична потужність сигналу.

Результати моделювання зображено на рисунку 4. Значення всіх результатів моделювались в момент досягнення дуговим струмом свого максимального значення.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						59
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

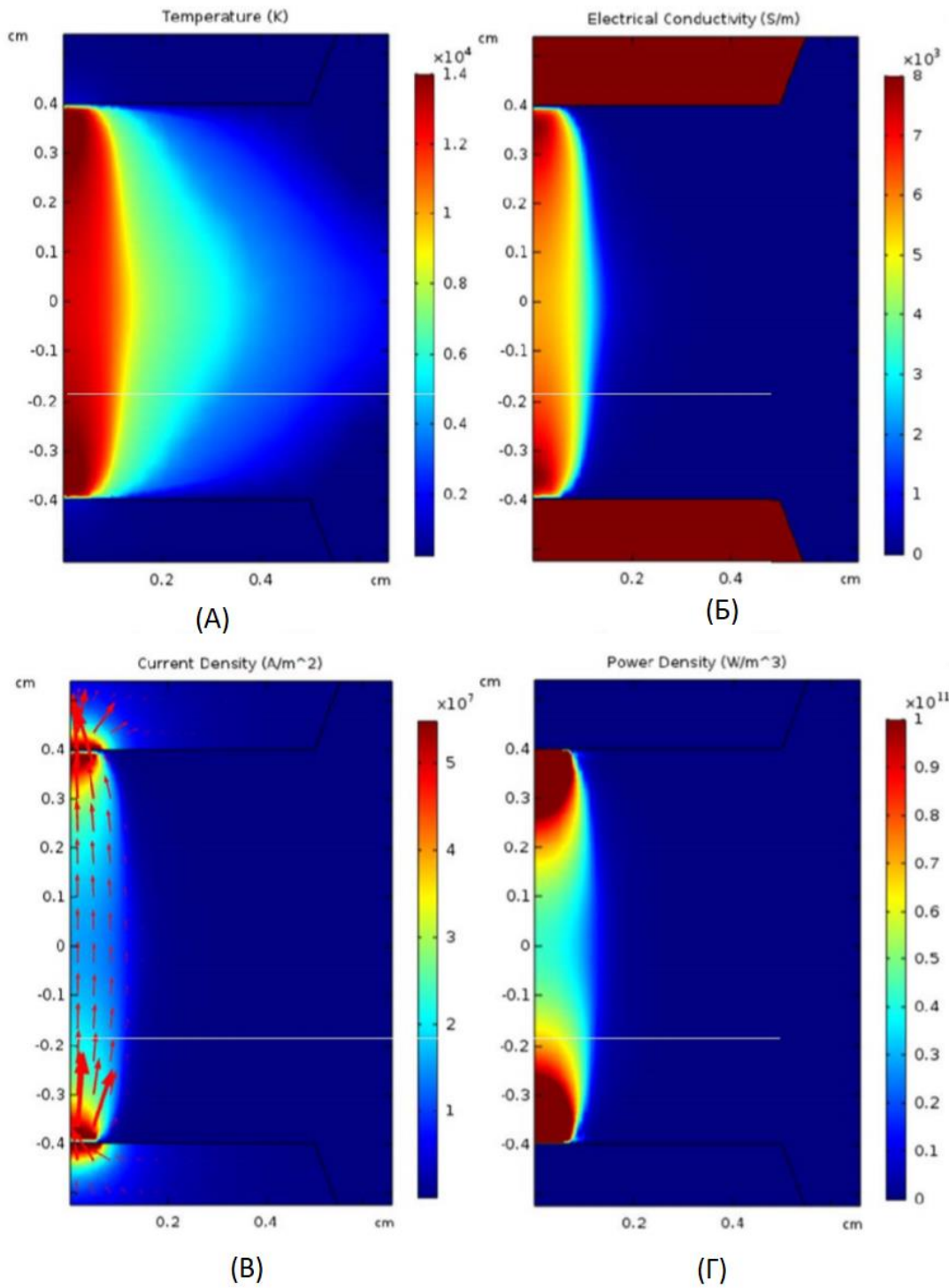


Рисунок 4.4 Просторовий розподіл температури (а), електропровідності (б), щільності струму (в) та щільності електричної потужності (г) в колоні дуги.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						60
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

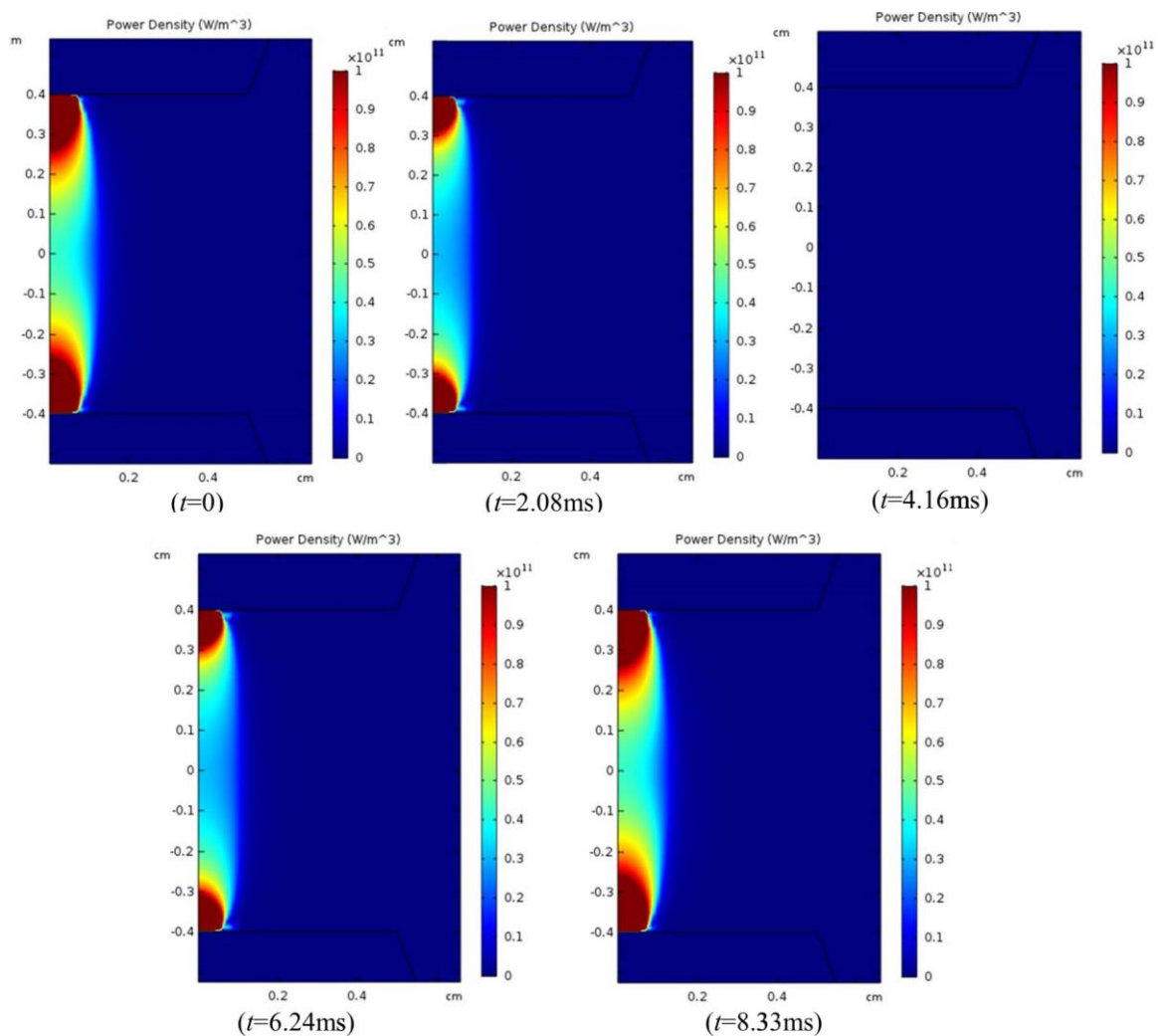


Рисунок 4.5. Просторовий розподіл щільності електричної потужності в колоні дуги протягом одного періоду електричної потужності ($T = 8,33$ мс).

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						61
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

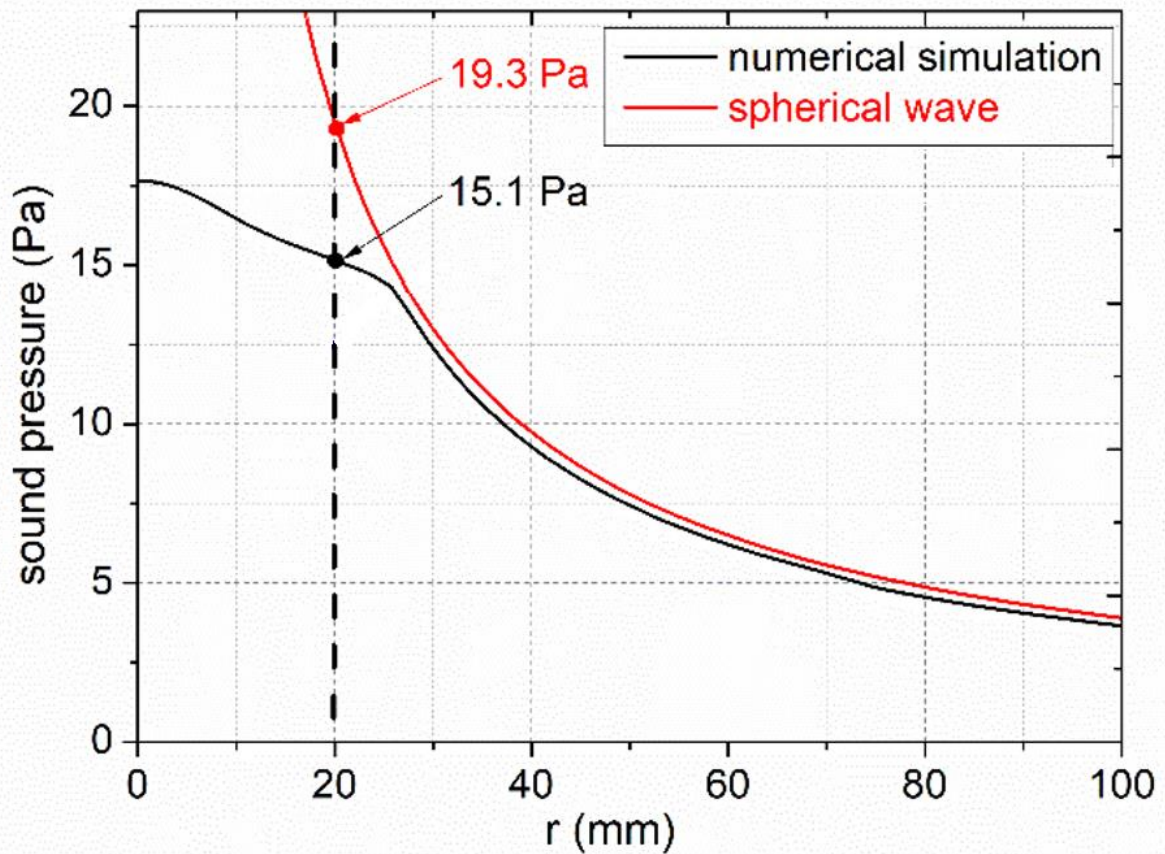


Рисунок 4.6. Порівняння звукових тисків з відстані поширення хвилі, породженої дугою змінного струму 60 Гц струмом 20 А та довжиною 8 мм.

В даному випадку значення звукового тиску в околицях плазмового стовпа дорівнює 17.55 Па. Для того, щоб врахувати рівень акустичного сигналу необхідно використати наступну формулу [41], при тому, що $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па, тому що діапазон величин звукового тиску від мінімального порогу чутності звуку людиною (20 мкПа) до максимального.

$$L_p = 20 \lg \frac{P_1}{P_0} = 20 \lg \frac{17.55}{2 \cdot 10^{-5}} \approx 118.86 \text{ дБ} \quad (4.1)$$

Потужність звукового сигналу джерела обчислюється наступною формулою [42]:

$$P = 0,001 \cdot 10^{0,1Lp} = 0,001 \cdot 10^{0,1 \cdot 118,86} \approx 0.77 \text{ Вт} \quad (4.2)$$

З рисунків 3, 4, 5, 6 спостерігаються результати моделювання акустичної хвилі, утвореною дугою змінного струму. На підставі вище згаданих слів можливо зробити ряд висновків :

1. Теплові виділення дуги сягають в своєму піковому значенні 1400 К. Як видно з рисунку 4 (а), дане значення спостерігається в приелектродних областях.
2. Електрична провідність також сягає свого найбільшого значення в приелектродній області, а найменше значення спостерігається в точці, в яка знаходиться на рівновіддаленій відстані між двома електродами. Зі збільшенням відстані між електродами, провідність буде зменшуватись, але для експерименту величина відстані в 8 міліметрів буде достатньою.
3. Значення параметру щільності електричної дуги змінюється з часом. Найбільшого значення щільність досягається при відповідності значення часу в 8.33 мс.
4. На рисунку 9 зображена залежність звукового тиску від відстані стовпа плазми. Як видно з графіка, звуковий тиск в приелектродній області плазмового стовпа дорівнює 17.55 Па, а це значення дорівнює 118.86 дБ та звукова потужність джерела звуку становить 0.77 Вт. Такої потужності буде досить для прослуховування музики.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						63
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

4.3 МОДЕЛЮВАННЯ АМПЛІТУДНО-ЧАСТНОЇ, ІМПУЛЬСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ГАРМОНІЧНИХ СПОТВОРЕНЬ, ТА ЧАСТОТНОЇ ДІАГРАММИ НАПРАВЛЕНОСТІ

Частотна характеристика системи, як правило, визначається як міра амплітуди (гучності) над частотою. Крива частотного відгуку, як правило, згладжена на 1/3 октави для наочності. Ідеальна частотна характеристика динаміка характеризується як плоска лінія; вказуючи на те, що динамік відтворює всі частоти рівномірно та з послідовною гучністю.

Використовуючи програму під назвою HOLM Acoustics, частотну характеристику вимірювали за допомогою логарифмічного сигналу розгортки від 20 Гц до 20 кГц протягом 20 секунд. Для порівняння були випробувані також гітарний підсилювач 22 Вт Fender Squire SP-10 з вбудованим 10 дюймовим динаміком та набір комп'ютерних динаміків RealTekHD Audio.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						64
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

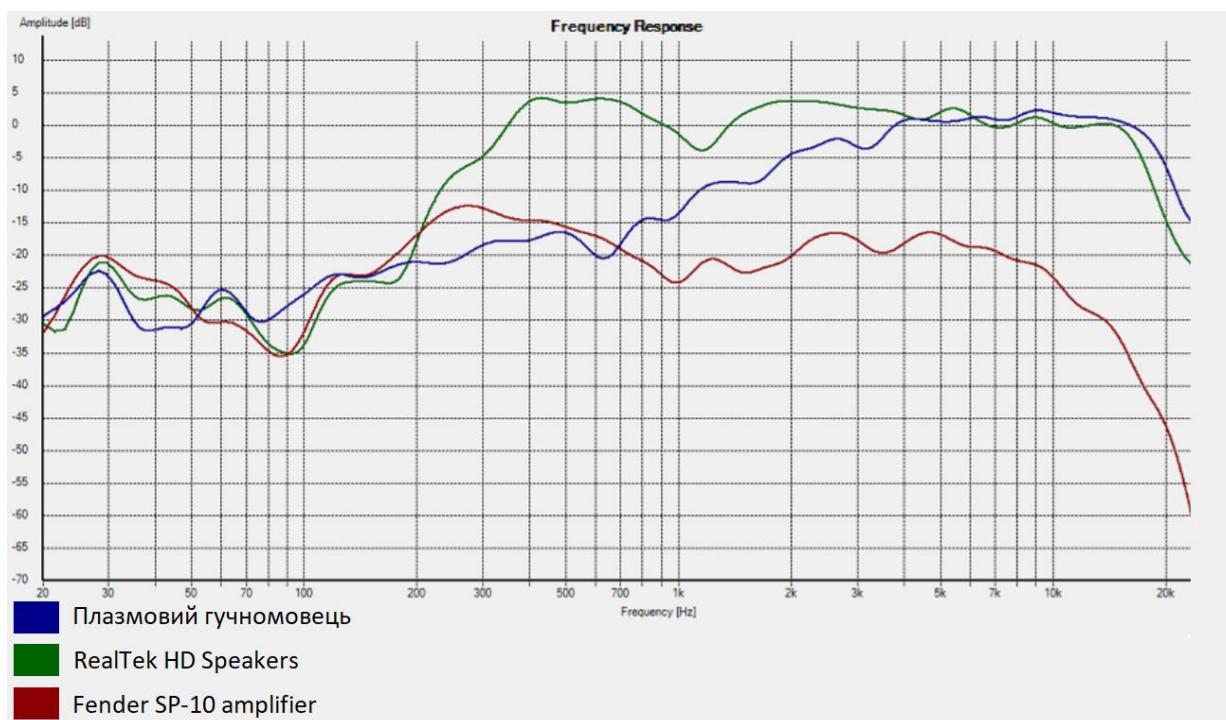


Рисунок 4.7 АЧХ різних типів гучномовців

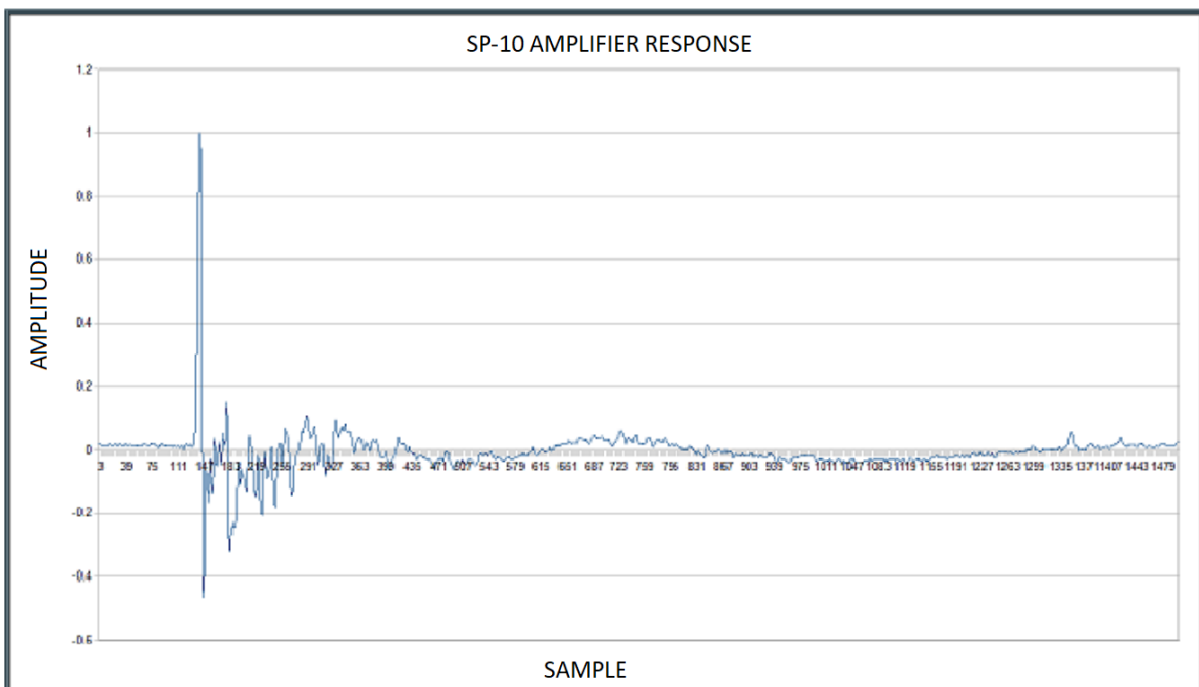
Частотна характеристика плазмового динаміка показує послідовне, логарифмічне збільшення амплітуди зі збільшенням частоти (регресія в трендовій лінії показує логарифмічний коефіцієнт (основа 10) 13,47 або природний коефіцієнт логарифму 5,85). Оскільки драйвер динаміка "безмасштабний", він здатний виробляти дуже високі частоти завдяки своїй здатності переміщувати дуже малі кількості повітря. На відміну від цього, Fender SP-10 залишається рівним приблизно від 200 до 10 000 ГГц (з піком в діапазоні з низьким середнім рівнем близько 270 ГГц). Однак, починаючи з 10 кГц, його реакція швидко погіршується. Динаміки комп'ютерів RealTekHD працюють плавно (за винятком падіння області 1-2 кГц) і лише починають погіршуватися приблизно на 18 кГц

Імпульсна характеристика (в цьому сенсі) буде використовуватися для вимірювання забарвлення; або скільки динамік додає звуку завдяки

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						65
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

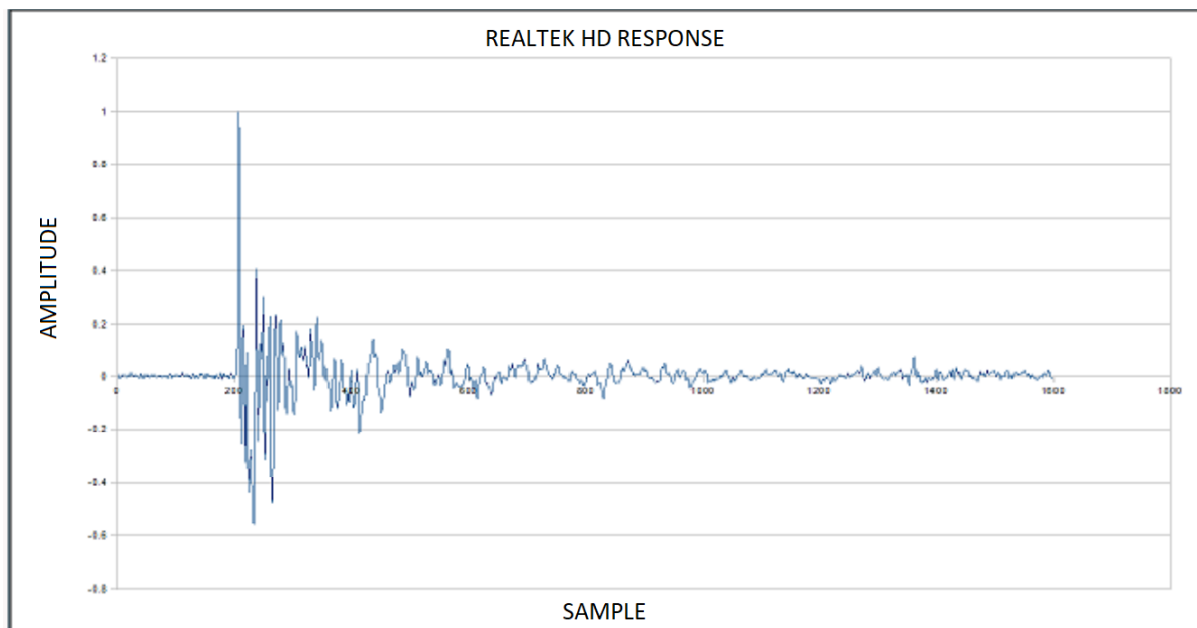
надмірній вібрації. До системи було застосовано короткий імпульс рожевого шуму, а форма хвилі записана зі швидкістю вибірки 88,2 кГц. Імпульсна характеристика ідеального динаміка показує якомога менше залишкового шуму, просто відтворюючи сигнал, а потім перестаючи викликати вібрації.

Плазмовий динамік має чисту, безшумною імпульсною характеристику. Відбиття сигналу в кімнаті добре видно, кожне з яких з'являється і закінчується в певний момент часу, коли початковий імпульс вже перестав звучати. Плазмовий динамік припиняє звучати повністю за зразком 500 (5,7 мс), тоді як SP-10 та комп'ютерні динаміки продовжують відчувати залишкові вібрації приблизно на 10 мс і 15 мс відповідно.



(A)

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						66
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		



(Б)

Рисунок 4.8 Імпульсна характеристика гучномовця підсилювача Fender Squire SP-10 (А) та RealTekHD Audio speakers (Б)

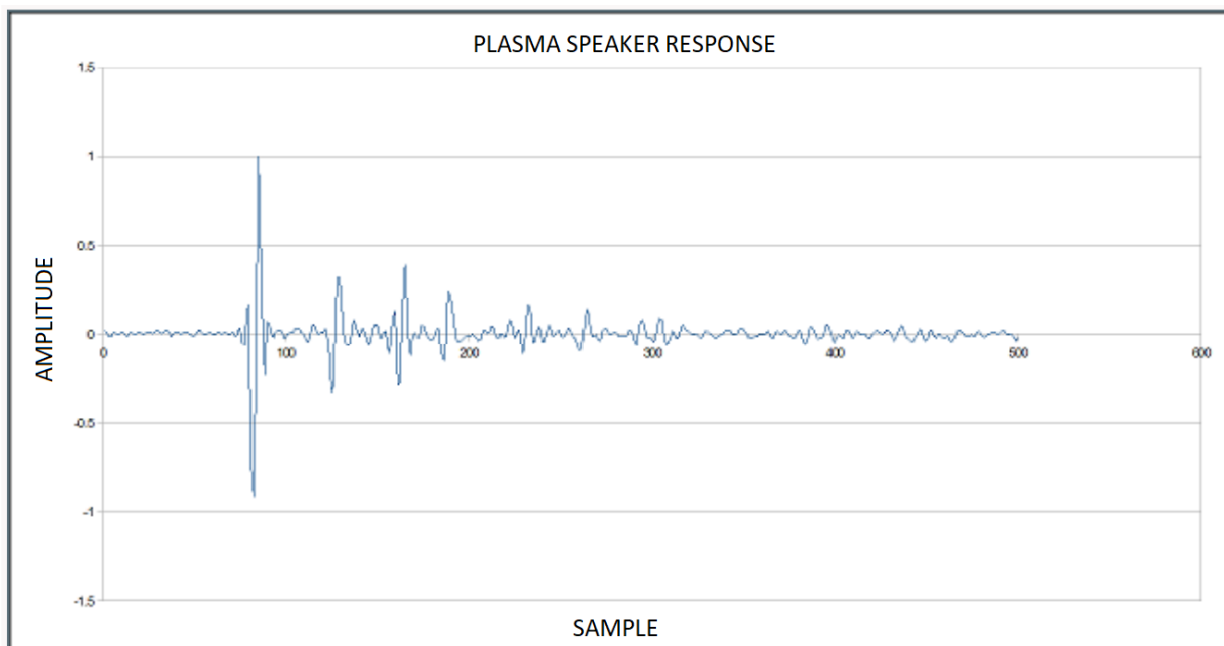
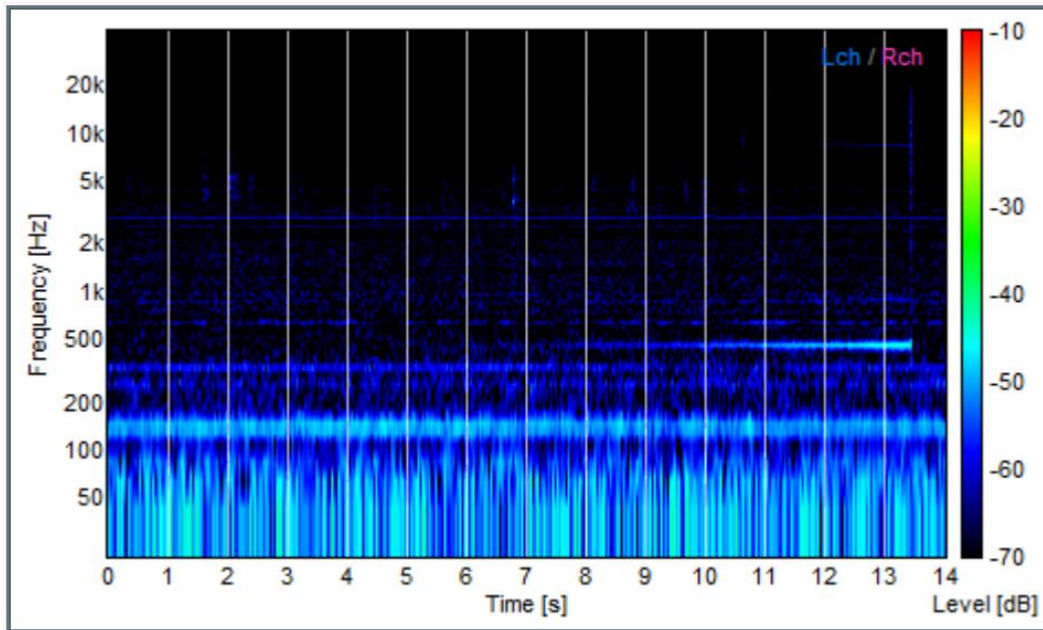


Рисунок 4.9 Імпульсна характеристика плазмового гучномовця

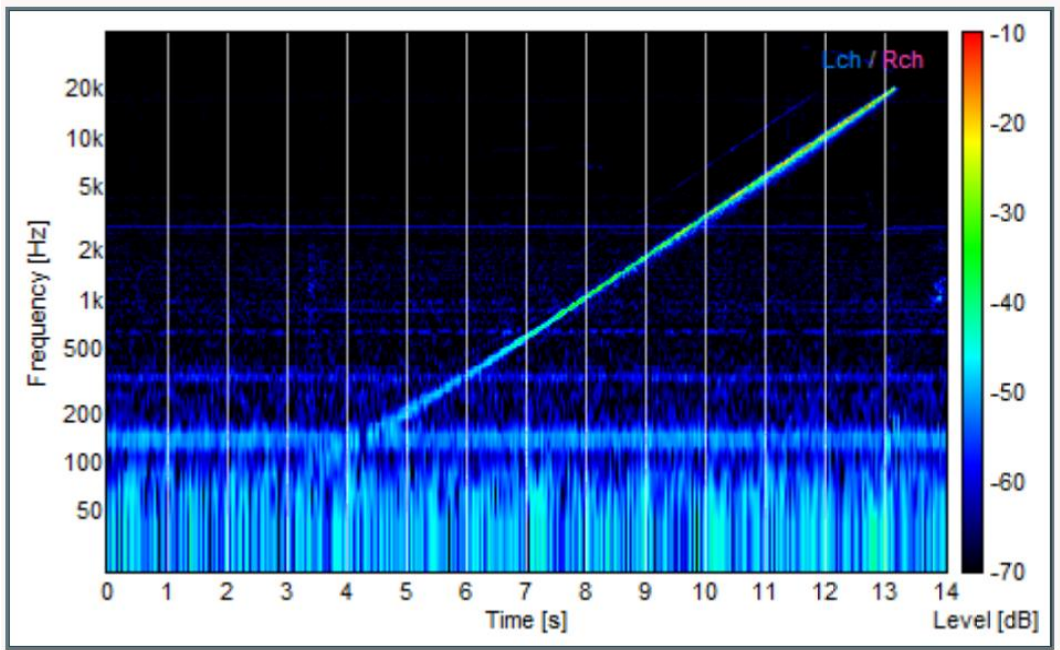
		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						67
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

Ще одна міра якості гучномовців - гармонічні спотворення. Є два способи вимірювання спотворень: один вимірює амплітуду, інший - за частотою. Гармонічні спотворення можна також помітити в спектрограмах, вивчивши будь-які інші частоти, які з'являються, коли відтворюється чистий контрольний тон або розгортка.



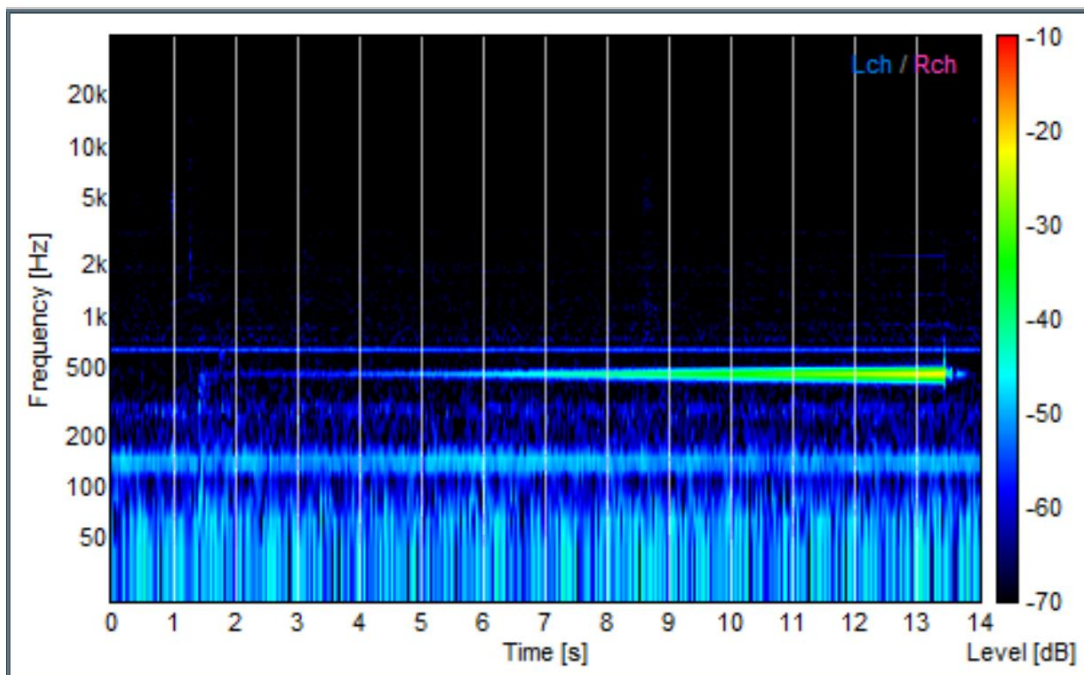
(A)

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						68
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		



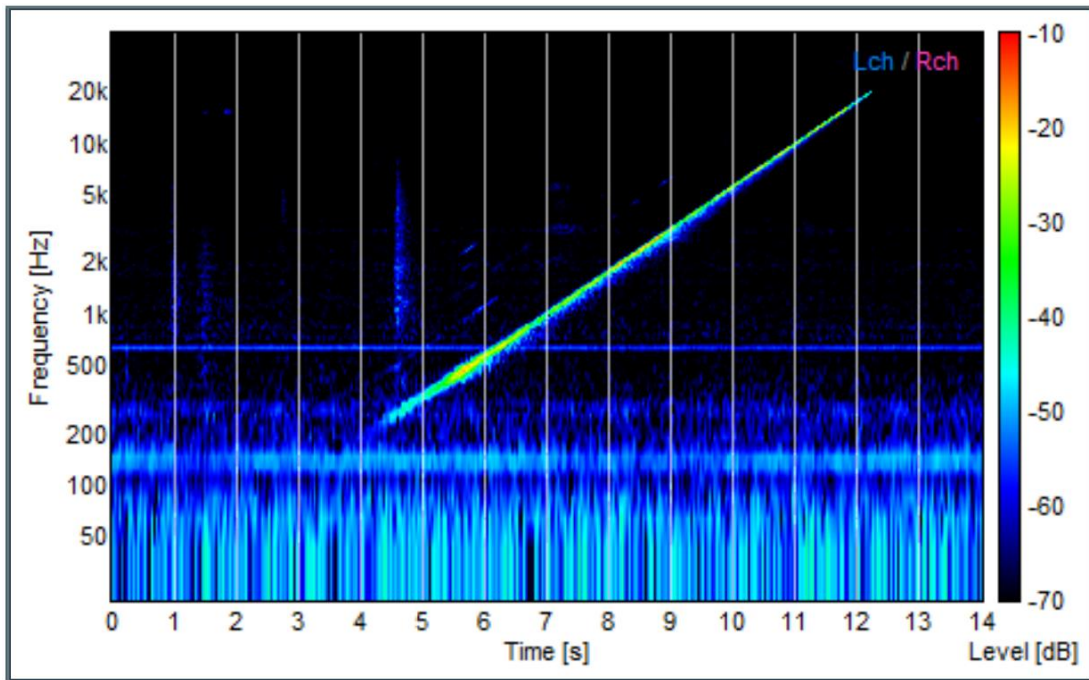
(Б)

Рисунок 4.10 Спектрограми плазмового динаміка: -40-0dB розгортка (А) при 440 Гц і 20-20000 Гц розгортка (Б) @ 0dB



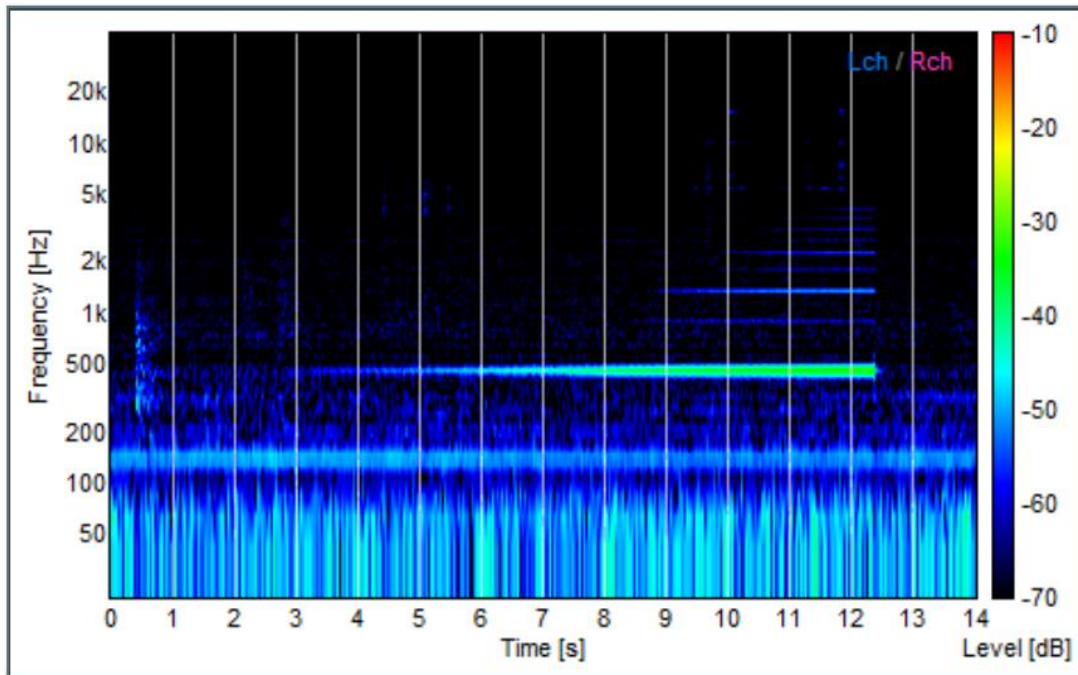
(А)

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						69
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		



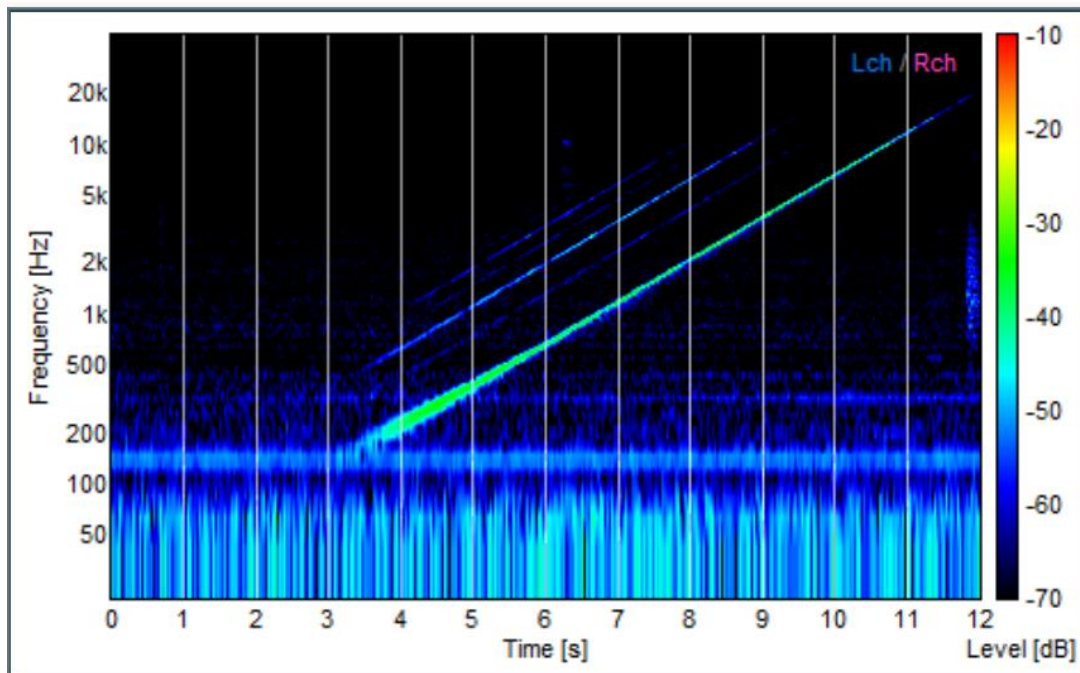
(Б)

Рисунок 4.11 Спектрограми RealTek HD: -40-0dB розгортка (А) при 440 Гц і 20-20000 Гц розгортка (Б) @ 0dB



(А)

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						70
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		



(Б)

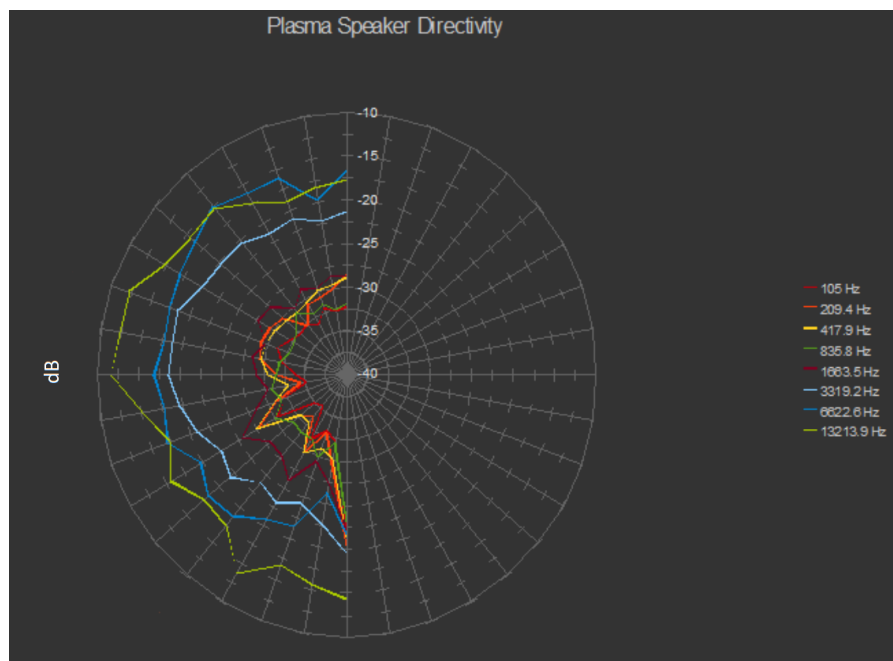
Рисунок 4.12. Спектрограми SP-10 Amplifier: -40-0dB розгортка (А) при 440 Гц і 20-20000 Гц розгортка (Б) @ 0dB

На цих спектрограмах візуально зображено ці аудіо випромінювачі. Здається, що плазмовий динамік генерує дуже м'який тон близько 3 кГц під час роботи і зазнає невеликих спотворень до кінця розгортки частоти при найгучніших настройках. Спектрографія комп'ютерних колонок демонструє подібний тон, цього разу близько 600 Гц. В кінці розгортки амплітуди 440 Гц можна виявити дуже невелику кількість спотворень. Тим часом, гармонічне спотворення є надзвичайно очевидним у підсилювачі SP-10 із збільшенням гучності (починаючи приблизно з 9 с) та середнього діапазону частот (500-5000 ГГц). Товсті лінії означають, що додаткові частоти виявляються поблизу від оригіналу, але не точно. Це ще один вид спотворень; в ідеальній системі буде показана пряма ідеально тонка лінія, що змінюється в кольорі (в амплітудному розміщенні) і по висоті (при частоті розгортки). Також слід

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						71
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

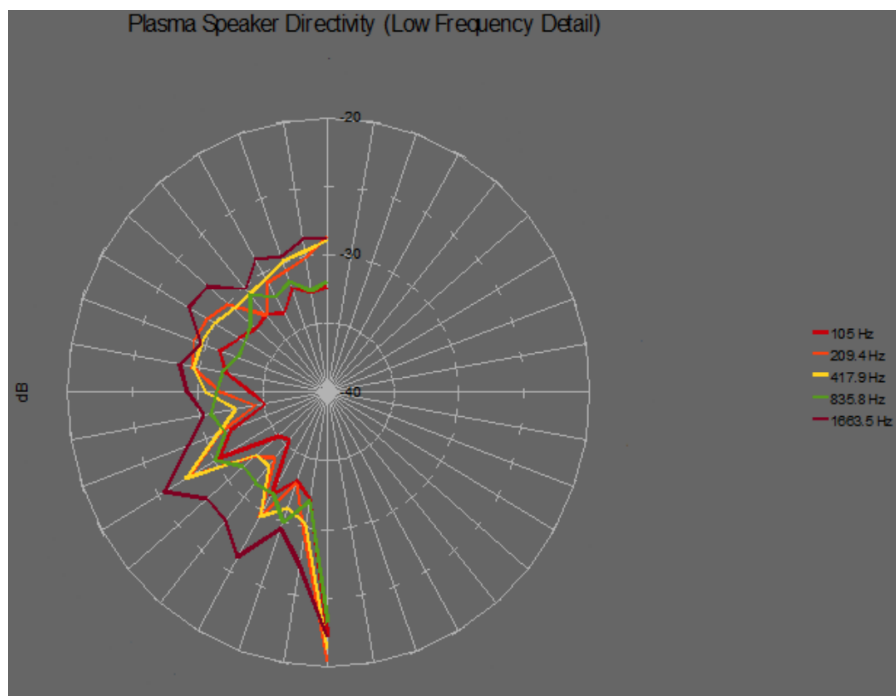
зазначити додаткову товщину та розмитість динаміків комп'ютерів RealTek протягом усієї частоти розгортки та форму звуження SP-10 на нижніх частотах нижче 500 ГГц. Це говорить про додаткові спотворення в цих діапазонах, в той час як плазмовий динамік має менший фактурний та стабільний тонкий вихід.

Частотна направленість показує, наскільки «спрямований» динамік; тобто те, як положення слухача може змінювати сприйняту або вимірювану частотну характеристику або гучність. Для вимірювання спрямованості проводили зчитування частоти відгуку з інтервалом 10 градусів на радіальній відстані 30см протягом 180 градусів (від прямо осі до прямо за апаратом).



(A)

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						72
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		



(Б)

Рисунок 4.13. Графік розподілу направленості різних частот плазмового гучномовця (А) та низьких частот (Б)

Плазмовий гучномовець майже повністю охоплює 360 градусів, загальна гучність дещо нижче в околицях 90 градусів. Зверніть увагу, що амплітуда насправді зростає, коли йде рух від осі (0 градусів) до позначки 180 градусів - пік насправді збоку одиниці. В окремих тестах на частоту всі низькі частоти мають сильне збільшення амплітуди на 180 градусів, тоді як криві більш високих частот залишаються більш-менш округлої форми. Насправді інтенсивність виступу при 180 градусах здається обернено пропорційною частоті: нижчі частоти мають найбільший виступ. Цей ефект очікується.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						73
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

Зібравши всі результати розрахунків та моделювань, зроблений ряд наступних висновків:

- При дослідженні температурного виділення газового розряду, виділяється високий показник значення температури (1400 K).
- Для формування газового пробою значення напруги між електродами також сягає високого значення(100В) та струм, який протікає між електродами також має велике значення (20А).
- Амплітудно-частотна характеристика плазмового гучномовця має найбільші значення на високих частотах.
- Гармонічні спотворення плазмового гучномовця також на високих частотах набувають найменшого значення.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						74
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

5.1 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ІОНОФОНА

В даному розділі описано вибір принципіальної схеми іонофона та описано параметри, які необхідно враховувати для проектування корпусу

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						75
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

5.1 РОЗРОБКА ПРИНЦИПАЛЬНОЇ СХЕМИ ІОНОФОНА



Рисунок 4.14. Блок схема іонофона

Перший етап схеми - це керування амплітудою входу. Конструкція налаштована на аудіовхід з MP3-програвача; цей вхід зазвичай коливається від 0 до 2,5 В і змінюється в логарифмічному масштабі. Для модуляції частоти на наступному етапі амплітуда звуку повинна досягати приблизно 12. Операційний підсилювач, що використовується в ланцюзі, був здатний генерувати тільки позитивну вихідну напругу від 0 до 15 В, оскільки використовувалося напруга +15 В. Це означає, що вихідний сигнал повинен бути 7,5 В, коли вхід 0 В. Для досягнення цього земля аудіовходу піднімається вгору за допомогою простої схеми зміщення подільника напруги. Наступний етап - це частина регулювання гучності ланцюга. Цю

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						76
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

частину схеми можна виключити з конструкції залежно від застосування. Послаблюючий резистор на вході все-таки був би доцільним, якщо регулювання гучності не було бажаним. Контроль гучності, реалізований на цій конструкції, являв собою простий дільник напруги, як показано на рисунку 14. Потенціометр мав логарифмічну шкалу, оскільки це більше підходило до слуху людини.

Для посилення звукового сигналу до потрібного рівня використовується операційний підсилювач. Контроль гучності цього пристрою неможливо здійснити через зміщення напруги на аудіовході. При виборі коефіцієнта підсилення для підсилювача зміщення вхідного звуку має бути відрегульовано таким чином, щоб на вході 0В вихід був приблизно 7,5 В (половина напруги живлення).

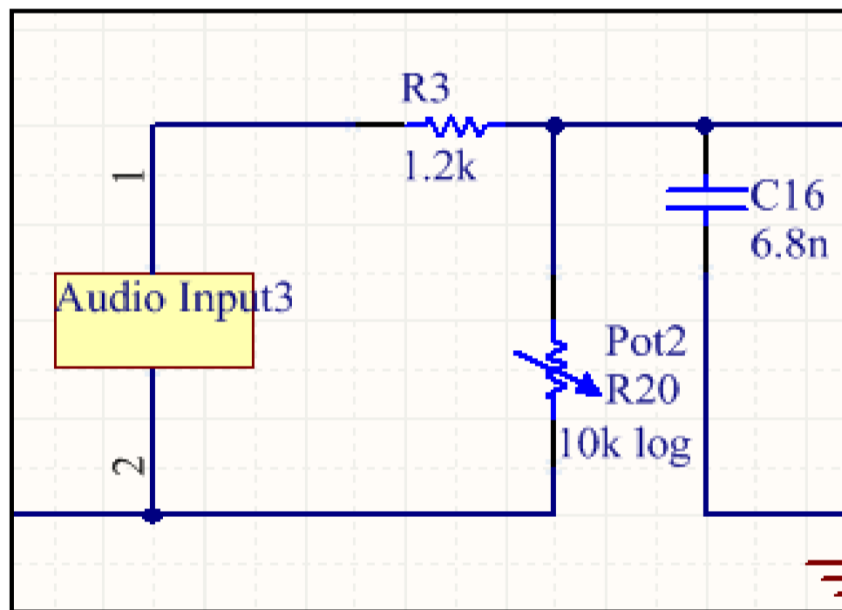


Рисунок 4.15 Регулювання гучності на аудіовході

Схема управління модулятором є однією з найважливіших частин схеми; він генерує прямокутну хвилю 30 кГц і модулює її за допомогою

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						77
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

аудіовходу. Цей параметр, показаний на малюнку 15, змінює високий рівень часу інвертора Н мосту; низький рівень часу залишається постійним. Тому впливають і робочий цикл, і частота. Використовуваний ІМС - це простий таймер 555. Якщо вхід до керуючої напруги ігнорується, схему можна простіше проаналізувати. С6 - конденсатор часу (470 пФ), який заряджається від VCC через R8, R9 та R12. С6 розряджається через R9 і R12. Оскільки R8 значно менший, ніж R9 + R12, робочий цикл зберігається приблизно до 50%. Вхід керуючої напруги таймера 555 контролює рівень, на якому конденсатор С6 вважається зарядженим (конденсатор на аудіовході знімає зміщення постійного струму). Високий вхід керуючої напруги означатиме, що конденсатору С6 потрібно досягти більш високого рівня, перш ніж вихід буде низьким. Щоб досягти цього більш високого рівня, конденсатору потрібно довше заряджати, тим самим збільшуючи високий час. Якщо напруга керування вище напруги живлення ІС, конденсатор ніколи не досягне цього рівня, а вихід залишиться високим. Рівень низької напруги, при якому вихід вимикається високим, залишається на постійному рівні незалежно від вхідної напруги керування. Малий час збільшується за рахунок більшої кількості заряду, що зберігається на конденсаторі; вплив на низький час малий порівняно з впливом на високий час.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						78
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

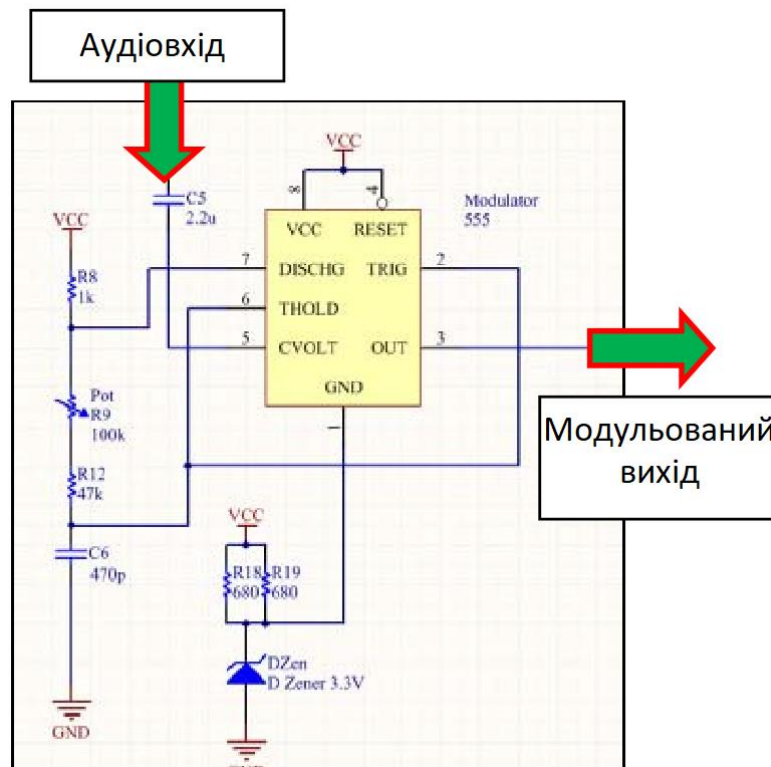


Рисунок 4.16. Модулятор

Драйвер використовує MOSFET в конфігурації H-Bridge, щоб забезпечити високу вихідну потужність при 48 В. H-Bridge керується ланцюгом модулятора. MOSFET керується драйвером IRFP450, який здатний керувати напругою до 600 В, тобто напруга живлення може бути до 600 В. Квадратна хвиля в 48 В подається в трансформатор, що посилює напругу. 100nF конденсатори розміщуються паралельно кожному MOSFET, щоб захистити його від сплеску напруги від трансформатора.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						79
Вим.	Док	№ доким.	Підпис	Дата		

5.2 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОДНИХ СИСТЕМ

За проведеними моделюваннями розрядного проміжку необхідно враховувати наступні данні:

- Міжелектродна відстань повинна дорівнювати 8 мм, щоб міг утворитись плазмовий гучномовець.
- Модульований сигнал, прикладений до підвищувального трансформатора повинен дорівнювати за амплітудою не менше 100В
- Електроди повинні мати таку площу поперечного перерізу, щоб через них міг проходити високий струм (порядку декілька десятків ампер)

Існує три основні форми електродів, які використовують для конструювання плазмових гучномовців, такі як сферична, конусоподібна та циліндрична. Як показує практика, передові виробники обирають циліндричну або конусну форму . Це надає їм декілька переваг: простіший технологічний процес та дешевша технологія виготовлення. Також із за високої напруги електроди повинні бути ізольовані діелектричним матеріалом з метою техніки безпеки.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						80
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

5.3 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСА

Головною проблемою є безпека експлуатації, тому що для генерації дуги потрібен струм високої напруги. Важливий термічний фактор, температура іонізованого повітря може досягати 2000 К, що, в разі певних видів браку і порушень умов експлуатації, може стати причиною пожежі. Саме ці два важливих параметри необхідно враховувати при конструюванні корпусу.

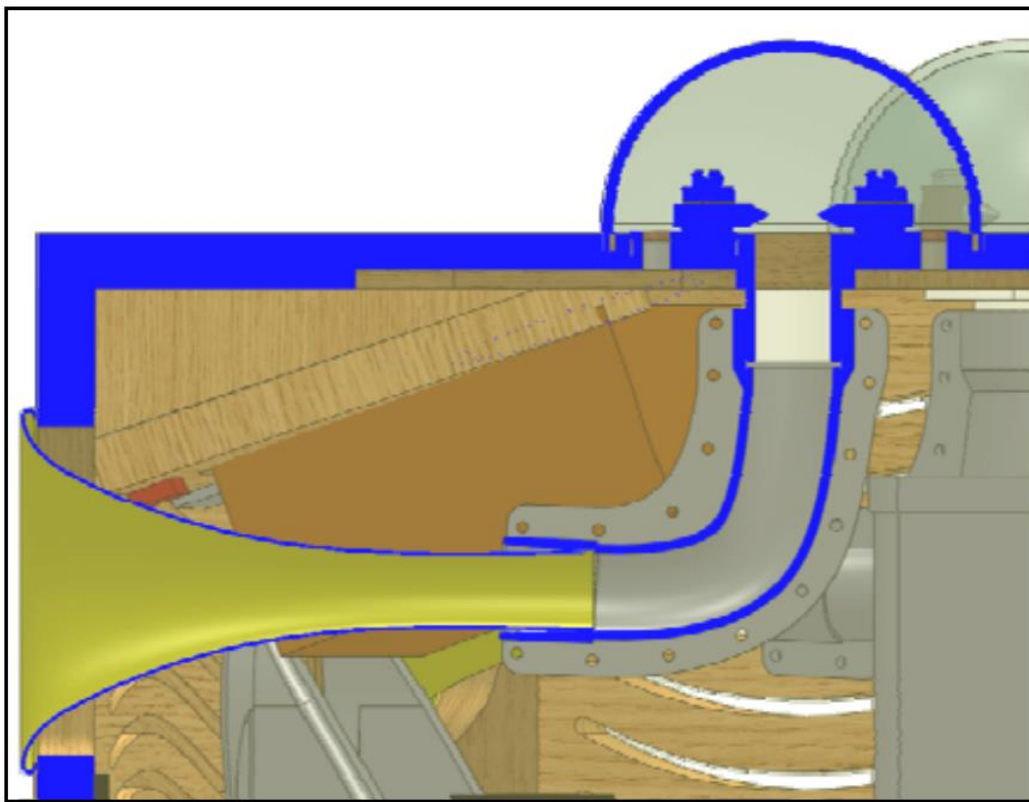


Рисунок 4.17. Схематичне зображення поперечного перерізу плазмового гучномовця

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						81
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

Перш за все, необхідно виготовляти корпус гучномовця таким чином, щоб всі металеві запчастини, що знаходяться під напругою, були ізольовані діелектричними матеріалами, а особливо електроди. Для кращого розсіювання тепла необхідно врахувати розміри прилеглих до розряду деталей з метою збільшення теплорозсіювання.

		<i>Царенко П.О</i>			<i>МРН.171.081.003 ТК</i>	<i>Лист</i>
						<i>82</i>
<i>Вим.</i>	<i>Док</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

Зібравши всі результати моделювань, зроблений ряд наступних висновків:

- При проектуванні корпусу іонофона необхідно враховувати температуру при якій працює іонофон.
- Робоча напруга іонофона також сягає високого значення, тому також необхідно це врахувати для проектування корпусу

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						83
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

6. ЗАКЛЮЧЕННЯ

Метою даної випускної кваліфікаційної роботи було вивчення параметрів плазмового гучномовця, доведення можливості його експлуатації в аудіосистемах високої якості.

В даній роботі були проведені розрахунки завдяки програмному забезпеченню COMSOL Multiphysics та HOLM Acoustics. В першій програмі було проведено моделювання акустичної хвилі, утвореною дугою змінного струму, а в іншій амплітудно-частотної, імпульсної характеристики гармонічних спотворень, та направлення частотного розподілу.

З цих моделювань впливають наступні висновки:

- Із за високої температури, яка виникає із-за розрядного проміжку необхідно враховувати ці дані для конструювання корпусу з метою зменшення температури зовнішніх деталей корпусу, тобто виготовляти їх таким чином, щоб вони мали найменше тепловиділення
- Із за досить високої напруги живлення та струму необхідно також виготовляти корпус з діелектричних матеріалів і загострювати додаткову увагу на безпеці експлуатації.
- З амплітудно-частотної характеристики та характеристики гармонічних спотворень видно, що найбільшого значення амплітуди досягається на високих частотах та завдяки цим даним також наступний висновок - плазмовий гучномовець доцільно використовувати як одну із частин професійної високоякісної аудіосистеми.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						84
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

За рахунок моделювань, проведених в цій роботі необхідно правильним чином обирати блок живлення та підвищуючий трансформатор для досягнення необхідного значення напруги, завдяки якій і буде генеруватись плазмова гучномовець. В аматорському виконанні використовують рядковий трансформатор від радянських лампових телевізорів ТВС 110 ПЦ 15. Тому при конструюванні трансформатора необхідно враховувати параметри цього трансформатора для найкращого результату.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						85
Вим.	Арк	№ доким.	Підпис	Дата		

7. ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ропий А. И. Сверхвысокочастотные защитные устройства / А. И. Ропий, А. М. Старик, К. К. Шутов– М.: Радио и связь, 1993. – 128 с.
2. J. Townsend Electricity in gases, / J. Townsend. // Oxford: Clarendon Press. – 1915.
3. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. Изд. 2-ое, доп. и перераб. / Ю. П. Райзер. – М.: Наука, 1992. – 536 с.
4. Капцов Н. А. Электрические явления в газах и вакууме / Н. А. Капцов. – М.: ОГИЗ Гостехиздат, 1947. – 821 с.
5. Физический энциклопедический словарь. В 5 т. / гл. ред. А. М. Прохоров– Т. 4. – М. : Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.
6. Ражанский И. М. Физические процессы при разряде в воздушном промежутке / И. М. Ражанский. – Новосибирск: Наука, 1985. – 71 с.
7. Куртенков Г.Е. Разрядные процессы в газах. / Г. Е. Куртенков – Томск: ТПУ, 1993. – 71 с.
8. Техника испытаний высоким напряжением. Ч.2 Методы испытаний./ Стандарт МЭК.- М.: Изд-во стандартов. 1979. – 56 с.
9. Розанов Л. Н. Вакуумная техника / Л. Н. Розанов. – М.: Высшая школа, 1982. – 207 с.
10. Яновский В.П. Установка для изучения закона Пашена / Яновский В.П., Луканин А.А. // Изв.ТПУ. – 2008. – №2. – С. 101–105.
11. Ховатсон А.М. Введение в теорию газового разряда / А.М. Ховатсон // Атомиздат. – 1980. – С. 182.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						86
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

12. Townsend J. S. Electrical properties of neon / J. S. Townsend, S. P. MacCallum // Philosophical Magazine. – 1928. – №38 С. 857–878.

13. McCallum S.P. Deviations from Paschen's Law / S.P. McCallum, L. Klatzow // Philosophical Magazine. – 1934. – №111. – С. 279—297.

14. Miller H.C. Breakdown potential of neon below the Paschen minimum / H.C. Miller // Physica : journal. – 1964. – №11. – С. 2059—2067.

15. Experimental determination of the primary and secondary ionization coefficients in krypton and xenon / L. Jacques, W. Bruynooghe, R. Boucique, W.J. Wieme // J. Phys. D: Appl. Phys. : journal.. – №9. – С. 1731–1739.

16. Lisovskiy V.A., Yakovin S.D., Yegorenkov V.D.. // J. Phys. D: Appl. Phys.: journal. – №21. – С. 2722—2730.

17. Гром [Электронный ресурс] - Режим доступа до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%BE%D0%BC>.

18. Исследование электроакустических характеристик модулированных электрических разрядом / В. В. Афанасьев, А. И. Китаев, В. Н. Орлов, В. А. Тарасов // Вестник Чувашского университета. – 2017. – С. 37–46.

19. Капцов Н. А. Коронный разряд / Н. А. Капцов. – М.:ОГИЗ Гостехиздат, 1947. – 256 с

20. Попков В. И. Электропередачи сверхвысокого напряжения / Попков В. И., 1967

21. Линейный коронный факельный разряд / К.С. Ким, В.М. Лелевкин, А.В. Токарев, В.А. Юданов// Сборник научных трудов. – 2000. – №3. – С. 23–31.

		Царенко П.О			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						87
Вим.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

%9D%D0%9D%D0%AB%D0%99_%D0%A0%D0%90%D0%97%D0%A0%D0%AF%D0%94.

33. CORONA Plasma Tweeter [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://web.archive.org/web/20170424090609/https://www.lanscheaudio.com/loudspeakers/plasmatweeter>

34. 555 Audio modulated flyback [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://kaizerpowerelectronics.dk/high-voltage/555-audio-modulated-flyback/>.

35. Ионифон по-современному [Электронный ресурс]. – 1970. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.radiokot.ru/circuit/audio/other/10/>.

36. Дуговой разряд [Электронный ресурс] // Физический энциклопедический словарь – Режим доступа до ресурсу: https://gufo.me/dict/physics/%D0%94%D0%A3%D0%93%D0%9E%D0%92%D0%9E%D0%99_%D0%A0%D0%90%D0%97%D0%A0%D0%AF%D0%94.

37. Электродуговой громкоговоритель [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.ntpo.com/izobreteniya-rossiyskoj-federacii/elektrotehnika/elektroakustika/38336-elektrodugovoy-gromkogovoritel.html>.

38. Озон [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/3007.html>.

39. Finite Element Solution for Ionized Fields in DC Electrostatic Precipitator / B. Benamar, E. Favre, A. Donnot, M.O. Rigo. – Grenoble, France: COMSOL Users Conference, 2007.

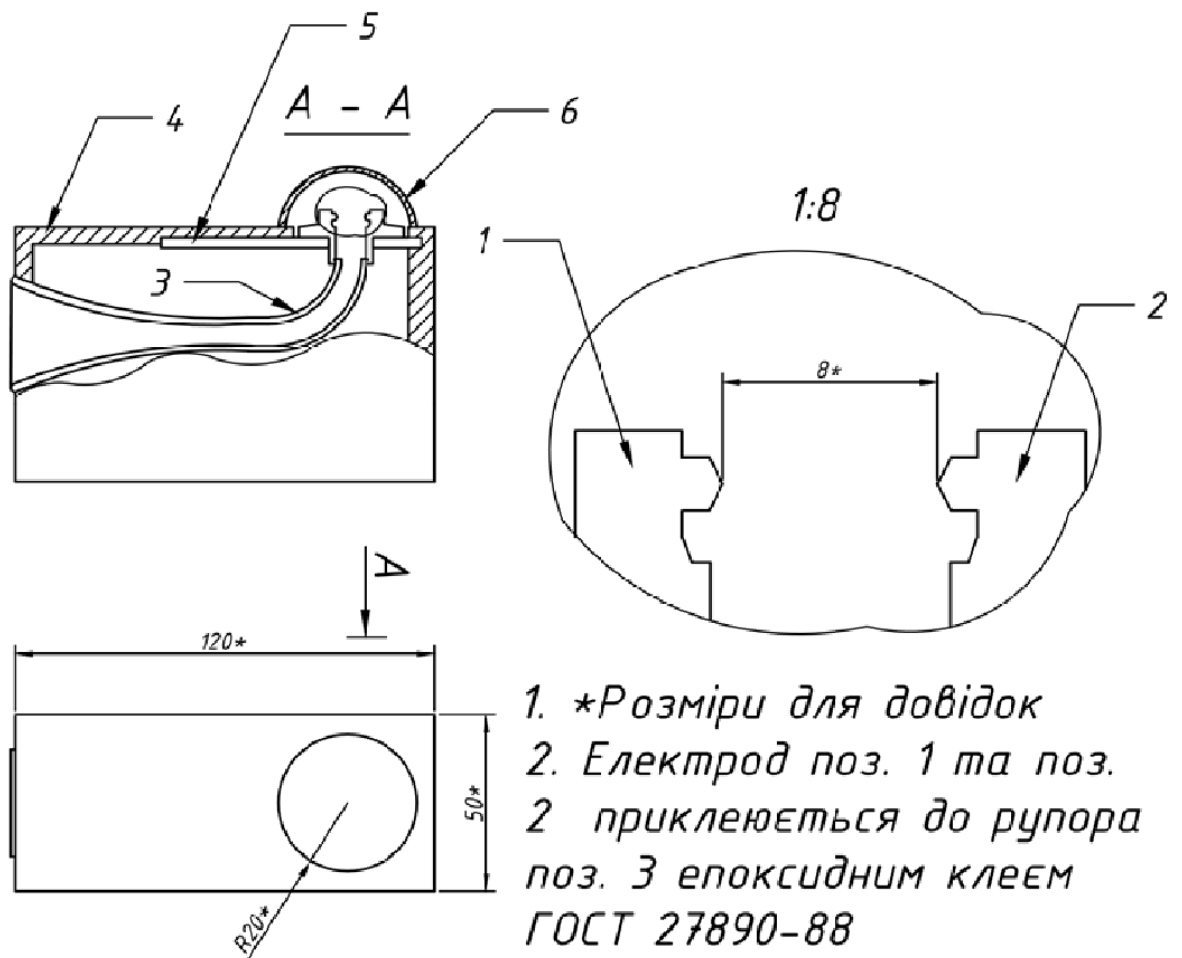
40. K. C. Hsu. Study of the free-burning high-intensity argon arc / K. C. Hsu, K. Etemadi, E. Pfender. // Appl. Phys. – 1983. – №3. – С. 1293–1301.

		Царенко П.О.			МРН.171.081.003 ТК	Лист
						89
Вим.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

41. Калькулятор зависимости интенсивности звука от звуковой мощности источника и расстояния до него [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/RU/calculator/sound-power-distance/>.

42. Децибел [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B1%D0%B5%D0%BB>.

		<i>Царенко П.О</i>			<i>МРН.171.081.003 ТК</i>	<i>Лист</i>
						90
<i>Вим.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ доким.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

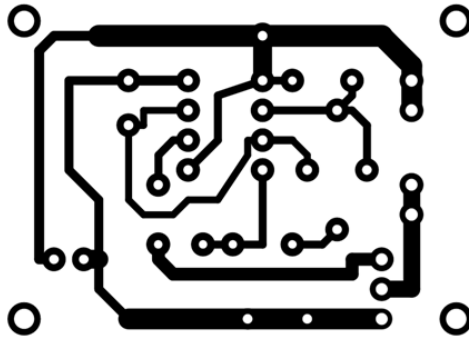


1. *Розміри для довідок
 2. Електрод поз. 1 та поз. 2 приклеюється до рупора поз. 3 епоксидним клеєм ГОСТ 27890-88
 3. Захистний купол поз. 6 приклеюється до корпуса поз 4 епоксидним клеєм ГОСТ 27890-88

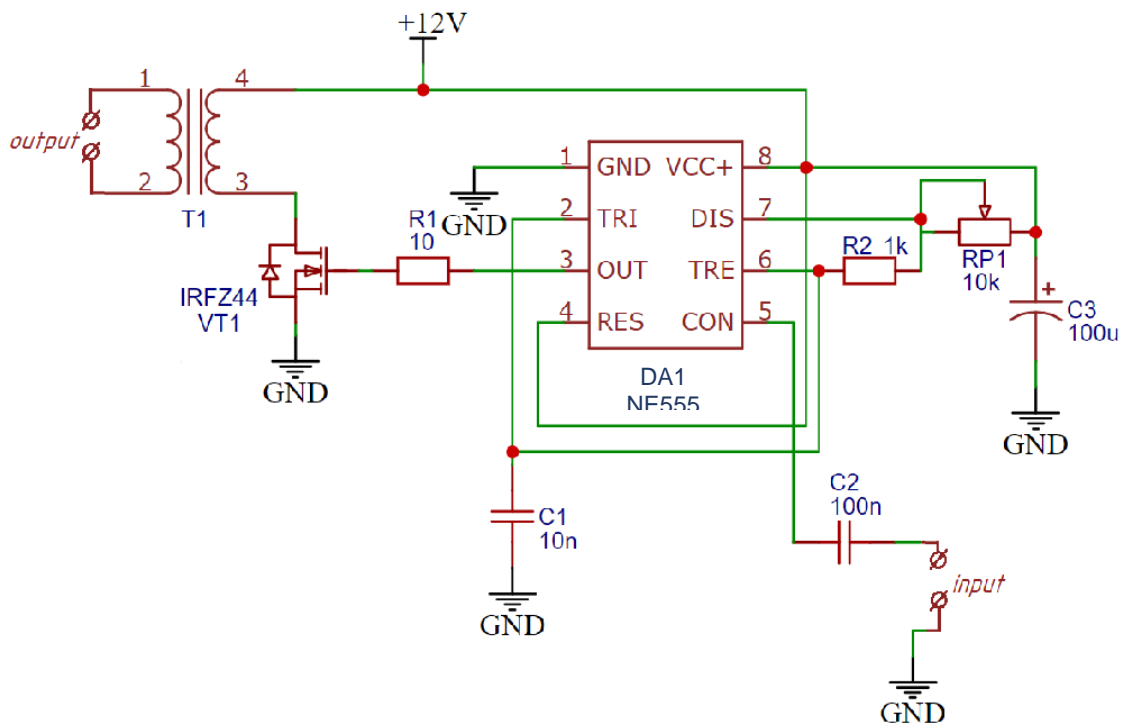
					МРН.171.04.1.003 СК					
Изм	Лист	№ докум.	Пізн.	Дата	Додаток 1 Складальне креслення плазмового гучномовця		Лист	Маса	Масштаб	
Разраб.	Царенко П.О.								2:1	
Перев.	Кузьмичев А.І.						Лист	91	Листів	95
Рецензент	Татарчук Д. Д.						Кафедра ЕП та С			
Н.контр.	Чадюк В. О.									
Утв.	Ямненко Ю. С.									

<i>Позн.</i>	<i>Найменування</i>	<i>К-сть</i>	<i>Примітка</i>
<i>1</i>	<i>Електрод анод</i>	<i>1</i>	
<i>2</i>	<i>Електрод катод</i>	<i>1</i>	
<i>3</i>	<i>Рупор</i>	<i>1</i>	
<i>4</i>	<i>Корпус</i>	<i>1</i>	
<i>5</i>	<i>Підкладка</i>	<i>1</i>	
<i>6</i>	<i>Скляний купол</i>	<i>1</i>	

					<i>МРН.171.04.1.003 ПЕ</i>			
					<i>Додаток 2 Специфікація</i>	<i>Лист.</i>	<i>Маса</i>	<i>Масштаб</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Пізн.</i>	<i>Дата</i>				<i>1:1</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Царенко П.О.</i>							
<i>Перев.</i>	<i>Кузьмичев А.І.</i>							
<i>Рецензент</i>	<i>Татарчук Д. Д.</i>					<i>Лист</i> 92	<i>Листів</i> 95	
<i>Н.контр.</i>	<i>Чадюк В. О.</i>				<i>Кафедра ЕП та С</i>			
<i>Чтв.</i>	<i>Ямненко Ю. С.</i>							



					<i>МРН 171.081.003 Е4</i>		
					<i>Додаток 3 Друкована плата</i>		
<i>Лит.</i>		<i>Масса</i>	<i>Масштаб</i>				
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Піпн.</i>	<i>Дата</i>			<i>5:1</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Царенко П.О.</i>					
<i>Перев.</i>		<i>Кузьмичев А.І.</i>					
<i>Рецензент</i>		<i>Татарчук Д. Д.</i>			<i>Лист</i>	<i>93</i>	<i>Листів</i> <i>95</i>
<i>Н.контр.</i>		<i>Чадюк В. О.</i>			<i>Кафедра ЕП та С</i>		
<i>Утв.</i>		<i>Ямненко Ю. С.</i>					



МРН 171.081.003 ЕЗ

Додаток 4
Схема електрична
принципіальна

Лит.	Маса	Масштаб
		1:1
Лист 94	Листів 95	

Изм	Лист	№ докум.	Пізн.	Дата
Разраб.		Царенко П.О.		
Перев.		Кузьмичев А.І.		
Рецензент		Татарчук Д. Д.		
Н.контр.		Чадюк В. О.		
Утв.		Ямненко Ю. С.		

Кафедра ЕП та С

Позн.	Найменування	К-сть	Примітка
DA1	Таймер NE555	1	
<i>Резистори</i>			
R1	ТН - 1/4 -10 Ом ±1%	1	
R2	ТН - 1/4 -1 kOm ±1%	1	
RP1	ТН - 1/4 -10 kOm ±1%	1	
<i>Конденсатори</i>			
C1	ТН - 1/4 -10 nF ±1%	1	
C2	ТН - 1/4 -100 nF ±1%	1	
C3	ТН - 1/4 -100 uF ±1%	1	
<i>Транзистори</i>			
VT1	IRFZ44	1	
<i>Транзисформатори</i>			
T1	ТВС -110ПЦ15		

МРН 171.081.003 ПЕ				
Додаток 5				
перелік				
компонентів				
<i>Лит.</i>	<i>Маса</i>	<i>Масштаб</i>		
		1:1		
<i>Лист</i>	95	<i>Листів</i>	95	
<i>Н.контр.</i>	Чадюк В. О.	Кафедра ЕП та С		
<i>Утв.</i>	Ямненко Ю. С.			