

О.Л. Коренівська, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

РОЗРАХУНОК ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНДЕНСАТОРА ЛІЧИЛЬНИКА КІЛЬКОСТІ АЕРОІОНІВ

(Представлено д.т.н., проф. Манойловим В.П.)

В статті запропоновано варіант зовнішнього вигляду вимірювального конденсатора для лічильника аероіонів повітря та проведено розрахунок його основних параметрів.

Постановка проблеми. Аероіонізоване повітря має благотворний вплив на живі організми, що підтверджено позитивними результатами, які отримані раніше, а також відкриває перспективи застосування методу аероіонотерапії в медицині [1, 2, 3]. Сучасні уявлення про механізм дії аероіонів на організм людини говорять про те, що перебування його в атмосфері з підвищеною концентрацією аероіонів може призвести до стрімкого розвитку патологічних процесів, вже наявних у людини, та виникненню нових.

Апаратура для іонізації повітря, яка випускається в наш час, використовується в побутових умовах та мало придатна до застосування в клінічних закладах. При створенні спеціалізованої апаратури для вирішення медичних задач найважливішою є необхідність проводити оперативний контроль за параметрами аероіонного потоку. Основним показником, що характеризує терапевтичний ефект, є рівень концентрації легких від'ємно заряджених аероіонів кисню, поглинутих живим організмом при диханні [4, 5]. Тому спостереження за концентрацією аероіонів є важливою проблемою в аероіонотерапії та потребує негайного розв'язку.

Аналіз досліджень. У процесі іоноутворення, яке викликане коронним розрядом, виникає ряд фізико-хімічних реакцій, які призводять до утворення легких іонів кисню, а також більш складних утворень – важких іонів, що являють собою кластери молекул води, домішок газів та частинок пилу, які також мають від'ємний заряд. Важкі іони мають негативний вплив на живий організм.

Концентрація, рухливість та знак аероіонів в повітрі визначають за допомогою лічильника аероіонів. За принципом дії лічильники аероіонів діляться на такі групи: мас-спектрометричні, імпульсні, лазерні, аспіраційні [1, 3]. Перелічені типи лічильників мало придатні для використання як засоби контролю іонізаторів в умовах клінік, так як потребують наявності складного лабораторного обладнання та створення спеціальних умов вимірювання.

Для удосконалення методів застосування аероіонів у медичних умовах необхідна розробка нових апаратних засобів, які б дозволяли проводити дозований вплив аероіонами та проводити медико-біологічні дослідження, направлені на виявлення допустимих діапазонів вимірювання концентрації аероіонів.

Метою даної роботи є створення лічильника аероіонів для оперативного контролю за параметрами аероіонного потоку.

Основна частина. Головною перевагою лічильника є прямий відлік, концентрації аероіонного потоку що вимірюється, можливість тривалого спостереження за кількістю аероіонів у часі. Блок-схема запропонованого лічильника концентрації аероіонів наведена на рис. 1.

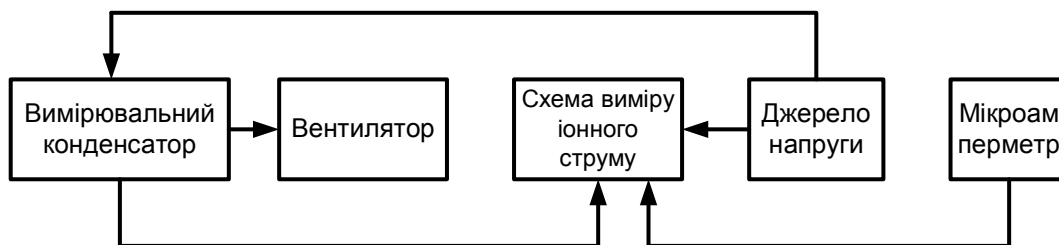


Рис. 1. Блок-схема лічильника концентрації аероіонів

В роботі лічильника аероіонів використовується метод падіння напруги на відомому опорі. Повітря, яке містить іони, засмоктується в коаксіальний конденсатор невеличким вентилятором. На зовнішню обкладку конденсатора подається напруга, полярність якої однакова зі знаком аероіонів, що вимірюються. На другу обкладку цього конденсатора приєднується інший полюс джерела. В результаті однознаковій за напругою на зовнішній обкладці конденсатора іони осядуть на вимірювальному електроді та створять падіння напруги на вимірювальному опорі. Протилежні за знаком заряджені іони осядуть на внутрішній обкладці та не будуть враховані лічильником.

Падіння напруги на вимірювальному опорі фіксується вольтметром. Для підрахунку іонів іншого знаку достатньо поміняти полярність напруги на обкладках конденсатора та для цього в лічильнику передбачено наявність перемикача напруги. Схема вимірювання іонного струму зібрана на польових транзисторах у вигляді мосту.

Важливим елементом лічильника концентрації аероіонів є вимірювальний конденсатор, який являє собою латунну трубку радіусом r_3 (рис. 2). По центру трубки розташовано вимірювальний електрод радіусом r_1 . На вимірювальний електрод для створення більш рівномірного поля надіте діелектричне кільце радіусом r_2 , таким чином отримали циліндричний конденсатор із шарованим діелектриком. Діелектричні проникності шарів відповідно ϵ_1 та ϵ_2 .

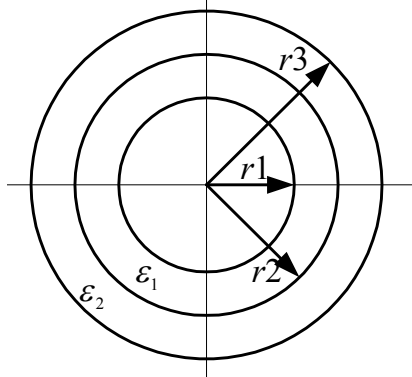


Рис. 2. Поперечний розріз вимірювального конденсатора

Дослідимо поле коаксіального циліндричного конденсатора та визначимо його параметри, розв’язавши електростатичну задачу.

Поле, створене циліндричним конденсатором, є радіально симетричним. Величина напруженості поля буде однаковою у всіх точках циліндричної поверхні. Поле між циліндрами описується рівняннями Лапласа [6, 7, 8, 9, 10]. У циліндричній системі координат оператор Лапласа матиме вигляд:

$$\nabla^2 \varphi = \frac{1}{r} \frac{\partial \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r} \right)}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0.$$

Знехтувавши впливом країв циліндру та через симетричність поля, воно залежить лише від координати r , тому потенціал φ є функцією координати r .

Вираз набуде такого вигляду:

$$\nabla^2 \varphi = \frac{1}{r} \frac{\partial \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right)}{\partial r} = 0. \tag{1}$$

Інтегруванням знаходимо вираз для потенціалу в першому ($r_1 \leq r \leq r_2$) та другому шарі ($r_2 \leq r \leq r_3$):

$$\varphi_1 = A_1 \ln r + B_1, \tag{2}$$

$$\varphi_2 = A_2 \ln r + B_2. \tag{3}$$

де A_1, A_2, B_1, B_2 – сталі інтегрування.

Напруженість електростатичного поля \vec{E} в коаксіальному конденсаторі визначається таким чином [7, 8]:

$$\vec{E} = -\text{grad} \varphi. \tag{4}$$

Оскільки потенціал φ залежить тільки від координати r , то у вектора \vec{E} буде лише одна складова:

$$E = E_r = -\frac{\partial\varphi}{\partial r}. \quad (5)$$

Звідси в першому шарі $E_1 = -\frac{A_1}{r} \cdot e_r$, а в другому – $E_2 = -\frac{A_2}{r} \cdot e_r$ (e_r – одиничний орт). Щоб знайти постійні інтегрування, використаємо граничні умови:

при $r = r_1$

$$D_1 = \varepsilon_1 \varepsilon_0 E = \sigma = \frac{q}{2\pi r_1 l}, \quad (6)$$

тому

$$-\frac{A_1}{r_1} \varepsilon_1 \varepsilon_0 = \frac{q}{2\pi r_1 l},$$

звідки

$$A_1 = -\frac{q}{2\pi \varepsilon_0 \varepsilon_1 l}, \quad (7)$$

де ε_0 – діелектрична проникність вакууму, l – довжина конденсатора, q – заряд конденсатора.

Безпосереднім інтегруванням знаходимо вираз потенціалу в другому шарі (рис. 2) $r_1 \leq r \leq r_2$:

$$D_1 = D_2 \text{ або } \varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_2 E_2,$$

тому

$$-\frac{A_1}{r_2} \varepsilon_1 = -\frac{A_2}{r_2} \varepsilon_2,$$

звідки

$$A_2 = A_1 \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -\frac{q}{2\pi \varepsilon_0 \varepsilon_2 l}. \quad (8)$$

Точку нульового потенціалу можна задати довільно, тому прийmemo $\varphi = 0$ при r_3 .

Тоді

$$V_2 = -A_2 \ln r_3 = \frac{q}{2\pi \varepsilon_0 \varepsilon_2 l} \ln r_3. \quad (9)$$

Оскільки потенціал неперервний у всіх точках поля, то

$$(\varphi_1)_{r=r_2} = (\varphi_2)_{r=r_3},$$

тому

$$V_1 = \frac{q}{2\pi \varepsilon_0 \varepsilon_1 l} \ln r_2 + \frac{q}{2\pi \varepsilon_0 \varepsilon_2 l} \ln \frac{r_3}{r_2}. \quad (10)$$

Підставивши значення сталих, отримаємо значення для напруженості полів E_1 та E_2 :

$$\vec{E}_1 = \vec{e}_r \frac{q}{2\pi \varepsilon_0 \varepsilon_1 l r}, \quad (11)$$

$$\vec{E}_2 = \vec{e}_r \frac{q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_2 l r}, \quad (12)$$

та значення потенціалів φ_1 та φ_2 :

$$\varphi_1 = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 l} \left(\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} \right), \quad (13)$$

$$\varphi_2 = \frac{q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_2 l} \ln \frac{r_3}{r}. \quad (14)$$

Напруга на конденсаторі:

$$U = \varphi_{r1} - \varphi_{r3} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 l} \left(\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} \right). \quad (15)$$

Ємність коаксіального конденсатора:

$$C = \frac{q}{U} = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\left(\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} \right)}. \quad (16)$$

На межі розподілу двох шарів (при $r = r_2$) напруженість має стрибок, величина якого дорівнює:

$$E_2 - E_1 = \frac{q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_2} \cdot \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\epsilon_1\epsilon_2}. \quad (17)$$

Вектор електричного зміщення \vec{D} неперервний:

$$\vec{D} = \frac{q}{2\pi l} \vec{e}_r, \quad (r_1 \leq r \leq r_3). \quad (18)$$

Енергія, накопичена в циліндричному конденсаторі, дорівнює:

$$W_3 = \frac{q^2}{2C} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l} \left(\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} \right). \quad (19)$$

Максимальне значення напруженості поля в циліндричному конденсаторі буде біля вимірювального електрода, мінімальне – біля зовнішньої обкладки. Тому можна навести графік зміни напруженості поля в нашому варіанті циліндричного конденсатора (рис. 3).

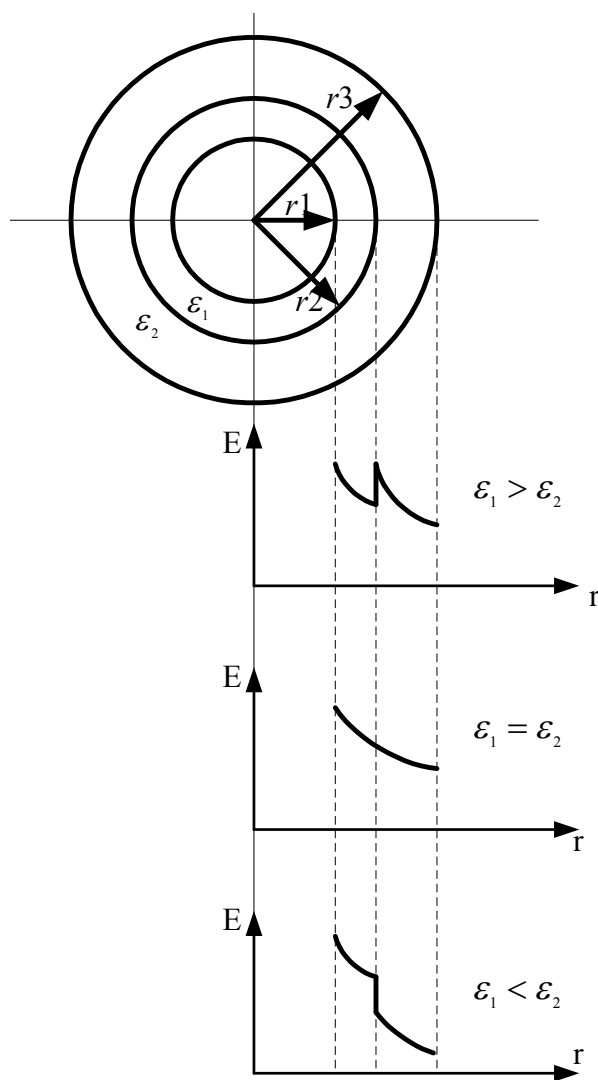


Рис. 3. Зміна напруженості в циліндричному багат шаровому конденсаторі для різних співвідношень значень діелектричної проникності матеріалів шарів

Висновок. В даній роботі запропоновано варіант конструкції вимірювального конденсатора для лічильника концентрації аероіонів та наведені розрахунки основних його параметрів. Слід зазначити, що в багат шаровому циліндричному конденсаторі поле є неоднорідним, і напруженість шарів залежить від значення діелектричної проникності їх матеріалу. Послідовність шарів також впливає на значення напруженості в них. Щоб отримати найбільш вигідне розподілення напруженостей, необхідно матеріали внутрішніх шарів діелектриків брати з великими значеннями ε . Товщину діелектричного прошарку визначають за максимальною робочою напруженістю. Оптимальне співвідношення радіусів можна

визначити з формули
$$\frac{r_3}{r_1} = \exp\left(\frac{U}{r_1 E_{\max}}\right).$$

ЛІТЕРАТУРА:

1. Шилкин А.А., Губернский Ю.Д., Миронов А.М. Аэроионный режим в гражданских зданиях. – М.: Стройиздат, 1988. – 225 с.
2. Чижевский А.Л. Аэроионификация в народном хозяйстве. – М.: Госпланиздат, 1960. – 302 с.
3. Карпунин В.А. Проблемы совершенствования аппаратуры для аэроионотерапии // Вестник МГТУ им. Баумана / Приборостроение / Спец. выпуск «Биомедицинская техника и технологии». – 1998. – С. 8–19.
4. Портнов Ф.Г. Электроэрозольтерапия. – Рига: Зинатке, 1976. – 252 с.

5. *Маевский Б.И., Кондратова М.Н.* Отчет по исследованию биофизического механизма действия «люстры Чижевского» в институте теоретической и экспериментальной биофизики РАН. – М.: 1995. – 201 с.
6. *Говорков В.А.* Электрические и магнитные поля. – М.: Энергия, 1968. – 487 с.
7. *Миролюбов Н.Н., Костенко М.В., Левинштейн М.Л., Тиходеев Н.Н.* Методы расчета электростатических полей. – М.: Высшая школа, 1963. – 414 с.
8. *Нечанов В.А., Нефедов Е.И., Яровой Г.П.* Электродинамические методы проектирования устройств СВЧ и антенн. – М.: Радио и связь, 2002. – 415 с.
9. *Вайнштейн Л.А.* Электромагнитные волны. – М.: Радио и связь, 1988. – 436 с.
10. *Федоров Н.Н.* Основы электродинамики. – М.: Высшая школа, 1980. – 400 с.

КОРЕНІВСЬКА Оксана Леонідівна – аспірантка кафедри електронних апаратів Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– медична апаратура.

E-mail: niki80@rambler.ru

Подано 24.07.2008

Кореновська О.Л. Розрахунок вимірювального конденсатора лічильника кількості аероіонів
Кореновская О.Л. Расчет измерительного конденсатора счетчика концентрации аэроионов
Korenovskaya O.L. Calculation of the measuring capacitor of the aeroions concentration counter

УДК 623.4.011

Расчет измерительного конденсатора счетчика концентрации аэроионов / О.Л. Кореновская

В статье предложен вариант внешнего вида измерительного конденсатора для счетчика аэроионов воздуха и проведен расчет его основных параметров.

УДК 623.4.011

Calculation of the measuring capacitor of the aeroions concentration counter / O.L. Korenovskaya

The article contains the variant of appearance of the measuring capacitor for the air aeroions counter and calculation of its key parameters.