

*к.т.н, доц. Сафонов П.С.,  
бакалавр Конончук Є.Є.,  
бакалавр Окаєлов О.Ю.  
(ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)*

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА РОБОЧОЇ КАМЕРИ ОЗОНАТОРА**

*Запропонована математична модель електричного кола робочої камери озонатора. Представлена електрична схема заміщення робочої камери електроозонатора у вигляді лінії з розподіленими параметрами. Представлений математичний опис електричного кола робочої камери з високовольтним електродом та наведена температурна модель електроозонатора.*

### **Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.**

Останніми роками електроозонатори знаходять все більш широке застосування в різних областях промисловості. Розробка математичних моделей для дослідження озонаторів, а також удосконалення напівпровідникових перетворювачів для живлення електроозонаторів у напрямі підвищення їх надійності і економічності стає все більш актуальним завданням. Вирішення цих завдань дозволяє мінімізувати можливий збиток від похибок при обробці продуктів і матеріалів, а підвищення енергетичних показників дозволяє отримати економію електроенергії.

### **Аналіз досліджень та публікацій.**

Серед способів штучного виробництва озону найбільш широке застосування отримав метод електросинтезу озону, що використовує бар'єрний розряд і що дозволяє отримувати озон високих концентрацій при великій продуктивності і невисоких енерговитратах. Математичні моделі електричних кіл озонаторів та можливості вдосконалення напівпровідникових джерел живлення для них розглянуті в роботах [1 – 3], але на сьогоднішній час більшість моделей не адаптовано до автоматизованого проектування електричної частини озонатора.

### **Постановка задачі.**

Задачею даної роботи є розробка математичної моделі електричного кола робочої камери електроозонатора та адаптація цієї моделі до проектування електричної частини електроозонатора.

### Викладення матеріалу та отримані результати.

Важливою характеристикою, що визначає не тільки інтенсивність іонізаційних процесів в газовому проміжку, але і ефективність утворення озону, є активна потужність розряду  $P$ , із зростанням якої вихід озону збільшується. З іншого боку, стійкість озону визначається його температурою, яка залежить як від названої активної потужності  $P$ , так і від конструктивних особливостей робочої камери електроозонатора, що визначають теплообмінні процеси.

Із закону збереження заряду виходить, що струм в ланцюзі живлення складається з двох складових: аперіодичного струму провідності і струму зсуву [1].

$$I(t) = \frac{q_c}{RC_r} e^{-\frac{t}{RC_{\text{общ}}}} + U_0 C_{\text{общ}} \omega \cos \omega t. \quad (1)$$

З рівняння безперервності щільності об'ємного заряду  $\rho$ , законів електростатики і закону Ома для струму провідності  $j$  в розрядному проміжку:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial j}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial E}{\partial x} = 4\pi\rho, \quad (3)$$

$$j = \sigma E \quad (4)$$

витікає, що сума струмів провідності  $j$  і зсуви  $j_{cm}$  в кожен момент часу для будь-якої точки розрядного проміжку постійна, тобто

$$j + \frac{1}{4\pi} \frac{\partial E}{\partial t} = j + j_{cm} = \text{const}. \quad (5)$$

Рівняння (5) виражає закон збереження сумарного струму провідності і зсуву уздовж всього електричного ланцюга. Із зростанням прикладеної до електродів напруги зростає вихід озону. Проте майже пропорційне зростання виходу озону із збільшенням напруги триває до певної межі. Із збільшенням інтенсивності розряду збільшується температура розрядної зони, що викликає прискорення розкладання озону [1].

$$\Delta T(x) = \frac{1}{2b} \left( \frac{h_3}{\lambda_3} + \frac{d}{K\lambda_k} + \frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{1}{K\alpha} \right) \times \left( \frac{Q_0}{\ell} - \frac{c_p G_m \Delta T_0}{\nu T} e^{-\frac{x}{\nu T}} - \varepsilon c_0 \left[ \left( \frac{T_g}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_c}{100} \right)^4 \right] \right), \quad (6)$$

де  $\Delta T(x)$  – різниця температур між смугою  $dF$  електроду і повітряним потоком на виході з озонатора

$b$  – ширина електроду;

$\lambda_3$  – коефіцієнт теплопровідності повітря;

$\lambda_k$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу корпусу;

$d$  – товщина стінок корпусу;

$K = \frac{F_k}{F}$  – коефіцієнт, рівний відношенню площі поверхні корпусу озонатора до загальної площі електродів;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі поверхні корпусу;

$h_1$  – товщина провідного електроду;

$\lambda_1$  – коефіцієнт теплопровідності провідного електроду;

$Q_{Gm}$  – теплова потужність, що відводиться від пластини газовим потоком.

Струм, що підводиться до котушкового електроду від високовольтного джерела синусоїдальної напруги, змінюється уздовж провідника котушки за рахунок наявності розподіленого розряду між електродами, що дозволяє класифікувати електричний ланцюг як ланцюг з розподіленими параметрами. Порівняльні розрахунки показали, що без збитку для спрощення математичного опису струмом провідності між витками плоскої котушки можна нехтувати і розглядати електричний ланцюг котушки як послідовно сполучені подовжні активно-індуктивні опори, розподілені уздовж провідника котушки, і поперечну розподілену активно-ємнісну провідність з переважанням активної складової в робочому режимі озонатора і ємнісної складової при напрузі, меншій напруги виникнення стримерного розряду. Приймавши допущення, що подовжній електричний опір розподілений рівномірно, приходимо до висновку, що електричний ланцюг озонатора описується рівняннями однорідного ланцюга з розподіленими параметрами. В цьому випадку схему заміщення електричного ланцюга робочої камери озонатора можна представити у вигляді, представленою на рис. 1. Стосовно електричного ланцюга озонатора використання теорії однорідних ланцюгів з розподіленими параметрами має свої особливості.

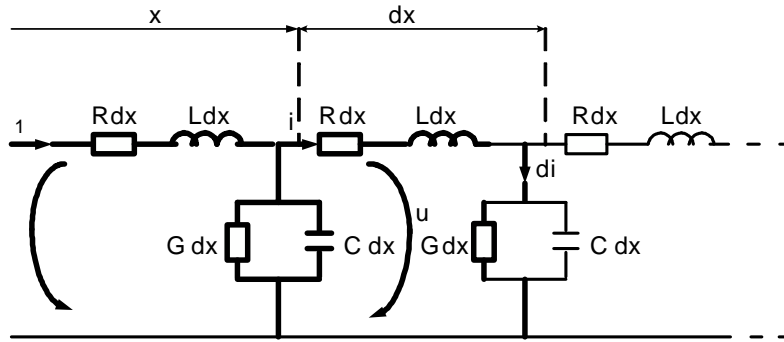


Рисунок 1 – Схема заміщення електричного ланцюга озонатора

На схемі заміщення  $dx$  – елемент довжини провідника котушкового електроду, що має подовжний активний опір  $Rdx$ , індуктивний опір самоіндукції  $\omega Ldx$ , поперечну ємність  $Cdx$  і активну провідність  $Gdx$  по відношенню до пластинчастого електроду.

Визначення напруги і струму в довільній точці провідника електроду, віддаленої на відстані  $x$  від початку, через напругу і струм на початку лінії з розподіленими параметрами проводиться по рівняннях:

$$U = U_1 ch(\gamma \cdot x) - I_1 Z_B sh(\gamma \cdot x), \quad (7)$$

$$I = I_1 ch(\gamma \cdot x) - \frac{U_1}{Z_B} sh(\gamma \cdot x). \quad (8)$$

Напруга і струм в довільній точці електроду можуть бути виражені через напругу в кінцевій крапці спіралі  $U_2$ :

$$U = U_2 ch(\gamma \cdot y), \quad (9)$$

$$I = \frac{U_2}{Z_B} sh(\gamma \cdot y), \quad (10)$$

де  $y = l - x$  – відстань до точки  $x$  від кінця спіралі;  
 $l$  – довжина спіралі.

У випадках, коли інтерес представляють тільки вхідна напруга і струм, для характеристики робочої камери доцільно використовувати так званий вхідний опір ланцюгу  $Z_{BX}$ . Для його визначення може використовуватися вираз:

$$Z_{BX} = \frac{Z_B}{th(\gamma \cdot l)}. \quad (11)$$

Наявність в електричному ланцюзі озонатора подовжньої індуктивності  $L$  змінює величину вхідного опору робочої камери, що відповідно знижує початкову напругу стримерного розряду.

Характер залежності питомої індуктивності провідника від координати  $x$  визначається зміною радіусу кривизни цього провідника. Індуктивність елементу  $dx$  провідника електроду залежить від радіусу його кривизни і змінюється уздовж провідника котушки.

#### **Висновок.**

Запропонована математична модель електричного кола озонатора дозволяє отримати залежності та значення струмів і напруг, що можуть бути використані в розрахунках складнішого ланцюга, до складу якого входять інші елементи конструкції озонатора, такі як трансформатор, фільтри, перетворювач та ін.

*Предложена математическая модель электрической цепи рабочей камеры озонатора. Представлена электрическая схема замещения рабочей камеры озонатора в виде линии с распределенными параметрами. Представлено математическое описание электрической цепи рабочей камеры с высоковольтным электродом и приведена температурная модель электроозонатора.*

*The mathematical model of electric circuit of working chamber of ozonizer is offered. The electric substituting circuit for the working chamber of ozonizer is presented as a line with the distributed parameters. Mathematical description of electric circuit of working chamber with a high-voltage electrode is presented and the temperature model of electro-ozonizer is resulted.*

#### **Библиографический список.**

1. Разнован О. Н. Применение тонкопленочных устройств в электроозонаторах. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / Кубанский гос. аграрный ун-т, – Краснодар, 2007. – 23 с.

2. Рахманова Ю.В. Резонансный трансформаторно-полупроводниковый комплекс для электротехнологии. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / Уфимский гос. техн. ун-т, – Уфа, 2006. – 19 с.

3. Белкин А.К., Гусев Ю.М., Рахманова Ю.В., Рогинская Л.Э., Шуляк А.А. Влияние выходных характеристик емкостных накопителей на параметры модулей, входящих в зарядное устройство // Технічна електродинаміка. – К., 2004. – Тем. вип. Проблеми сучасної електротехніки, ч. 2 – С. 30-34.

*Рекомендовано до друку проф., к.т.н. Паерандом Ю.Е*