

ЗАДАЧА РІВНОМІРНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ У БАГАТОФАЗНІЙ ЕЛЕКТРОДНІЙ СТРУКТУРІ

Зіньковський Ю. Ф., д.т.н., проф.; Сидорук Ю. К., доцент;
Туровський А. О., асистент

Національний технічний університет України «КПІ», Київ, Україна

Застосування електрофізичних технологій може знайти широкого застосування для сушіння, передпосівної обробки та дезінсекції зерна, деревини, спікання кераміки тощо [1]. Як один із випадків для вказаних процесів може бути застосовано електричне поле високої частоти. Важливою проблемою при цьому постає необхідність забезпечення рівномірності оброблення сировини.

Розглядається пристрій, який дозволяє забезпечити високу рівномірність напруженості електромагнітного поля в області між електродами, крізь яку проходить дисперсний потік діелектричної сировини, що підлягає обробці.

Основу пристрою складають n електродів виконані в формі тонких металевих смуг з дуговим поперечним перетином, які розташовані на поверхні діелектричного циліндра радіусом R і довжиною l (рис. 1). Електроди мають однаковий розмір і розташовані через однаковий кутовий проміжок $2\varphi_2$, а кутовий розмір кожного з них дорівнює $2\varphi_1$. До кожного електрода підводиться напруга від джерела гармонійної напруги з відповідним фазовим зсувом.

В даній роботі розглядається випадок використання високовольтного джерела енергії з амплітудою напруги на електродах $(120 - 180) \times d$ В, де d — відстань між протилежними електродами (мм). Частота напруги може бути в межах 10-100 МГц, за якої можна вважати напруженість електричного поля між електродами рівномірною. Однак при незначній зміні математичної моделі теорія може бути застосована і для аналізу структури, що живиться від джерела надвисокочастотних електромагнітних коливань при формуванні між електродами поперечної TEM хвилі.

Оскільки $l \gg R$, то визначення напруженості електричного поля в середині циліндра зводиться до плоскої задачі на комплексній необмеженій площині з n -зв'язною кільцевою границею L , яка розділена на окремі відрі-

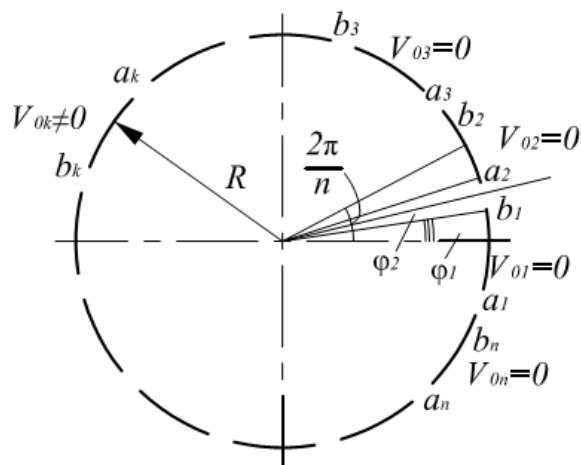


Рис. 1. Поперечний перетин структури

зки розімкнених дуг $L_1, L_2, \dots, L_n \in L$, що не мають спільних точок. Потенціал кожної дуги, відповідно, дорівнює $V_{01}, V_{02}, \dots, V_{0n}$. Повна комплексна площина z розділена на дві симетричні, відносно кола радіусом R , області: зовнішню S^+ , для якої $|z| \geq R$, та внутрішню S^- , для якої $|z| \leq R$, де z — незалежна комплексна змінна. Задача полягає у визначенні комплексного потенціалу $\Phi(z) = U(z) + jV(z)$, де $V(z)$ — потенціал поля, та напруженості електричного поля $\vec{E}(z) = -j[\Phi'(z)]^*$ [2].

$\vec{E}(z)$ є кусково-голоморфною функцією. Властивості функції $\vec{E}(z)$ співпадають з вимогами однорідної задачі спряження теорії сингулярних інтегральних рівнянь [3].

Загальний вигляд виразу, який є розв'язком однорідної задачі спряження записується у вигляді $E(z) = X(z^*)P(z^*)$, де $X(z^*)$ — деякий канонічний розв'язок задачі, $P(z^*)$ — довільний поліном, степінь якого визначає індекс задачі спряження.

Високу ступінь однорідності електричного поля у внутрішній частині області z ($r < R$) та рівномірне його обертання можна одержати, якщо розподіл потенціалу на граничних дугах реалізовано згідно виразу:

$$V_{0k} = V_{0m} \sin[\Omega t + (k - 1) 2\pi/n], \quad (1)$$

де Ω — колова частота напруги живлення, k — номер електрода, що розглядається.

Сумарний розподіл напруженості електричного поля в області між електродами, розрахований відповідно до запропонованої теорії знаходився за отриманим результуючим виразом:

$$E(Z)_n = \frac{n V_{0m}}{2 R} F_1 \left[\frac{\sin \Omega t (1 + Z^{*(n-2)}) + j \cos \Omega t (1 - Z^{*(n-2)})}{\sqrt{Z^{*2n} - 2Z^{*n} \cos n\phi_2 + 1}} \right], \quad (2)$$

де $F_i = -n/2\pi \cdot A/A_i \cdot 1/P_{i/n}(\cos n\phi_2)$, A та A_i — визначник та алгебраїчне доповнення його i -го елемента, відповідно [4], t — час, $Z = z/R$ — нормована змінна на комплексній площині z .

Розрахунок напруженості електричного поля, згідно виразу (2), свідчить, що при малих значеннях n електричне поле у внутрішній частині області ($r < R$) комплексної площини z суттєво неоднорідне, але при збільшенні n з'являється зона, в якій поле має високу однорідність і зростає зі збільшенням n . На рис. 2 приведе-

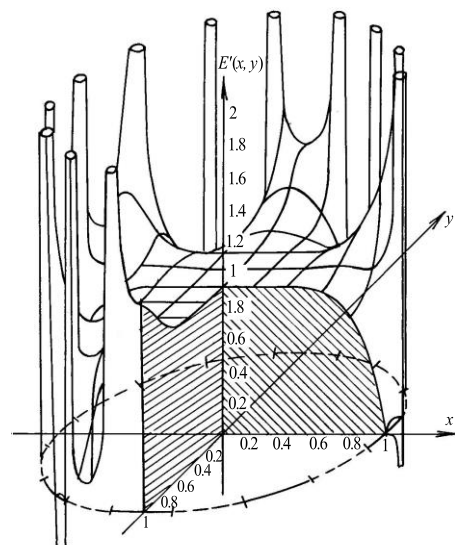


Рис.2. Залежність $|E(z)|$ при $n = 8$

но графічний результат розрахунків $|E(z)|$ для $n=8$, звідки видно, що радіус зони однорідності $r_{од} \approx 0,6R$. Розмір зони однорідності також залежить від кута $2\varphi_2$. При малих значеннях n вплив цього параметра на однорідність поля значний, але при збільшенні n його вплив на розмір зони однорідності зменшується. Значною перевагою даної електродної структури є і те, що напруженість електричного поля в зоні однорідності має обертовий характер. Ця особливість також підвищує рівномірність опромінення об'єкту, особливо в випадках, коли окремі часточки об'єкту опромінення мають видовжену форму.

Література

1. Bélanger M. R. Remarks on various applications of microwave energy / M. R. Bélanger, J. R. Paréet, al. // JMPEE Online. – 2008. – Vol. 42. – No. 4. – p. 24-44.
2. Лаврентьев М. А. Методы теории функций комплексного переменного / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. — СПб. : Лань, 2002. — 688 с.
3. Мусхелишвили Н. И. Сингулярные интегральные уравнения: Граничные задачи теории функций и некоторые их приложения к математической физике. М. : Наука. — 1968. — 512с.
4. Зиньковский Ю. Ф. Напряженность электрического поля в области с кольцевой многосвязной границей и равными длинами граничных дуг / Ю. Ф. Зиньковский, Ю. К. Сидорук, А. В. Голошапов // Изв. высш. уч. заведений. Радиоэлектроника. — 2009. — Т. 52. — №2. — С. 14—22.

Анотація

Запропоновано математичну модель багатофазної циліндричної установки для опромінення сипучих матеріалів. Доведено можливість реалізації зони однорідного поля у внутрішній області циліндричної електродної структури. Відповідно до запропонованої моделі розрахований оптимальний поперечний розмір камери, необхідну кількість електродів для забезпечення зони однорідності електричного поля необхідного розміру.

Ключові слова: оброблення, електричне поле, потенціал, інтегральні сингулярні рівняння.

Аннотация

Предложена математическая модель многофазной цилиндрической установки для облучения сыпучих материалов. Доказана возможность реализации зоны однородного поля во внутренней области цилиндрической электродной структуры. Исходя из предложенной модели рассчитан оптимальный поперечный размер камеры, необходимое количество электродов для обеспечения зоны однородности электрического поля необходимого размера.

Ключевые слова: обработка, электрическое поле, потенциал, интегральные сингулярные уравнения.

Abstract

It was proposed a mathematical model of multiphase cylindrical setup for bulk materials irradiation. The feasibility of a uniform field area providing in the interior of the cylindrical electrode structure is proved. According to the model the optimum lateral size of the processing camera, the required electrodes number to ensure zone of electric field uniformity of sufficient size are calculated.

Keywords: processing, electric field, potential, singular integral equations.