



Ідентифікатор подання: 62

Тип: Секційна доповідь

## Високочастотні поля у замагніченому плазмовому циліндрі, збуджуваному азимутальним ВЧ струмом

понеділок, 26 травня 2025 р. 18:55 (20 хвилин)

В багатьох наукових і технологічних застосуваннях для створення низькотемпературної плазми широко використовуються безелектродні індукційні розряди. Найбільш ефективними є розряди, які збуджуються у замагніченій плазмі циркулярно поляризованими плазмовими хвилями[1]. Розподіли хвильових електричних і магнітних полів у таких розрядах вивчалися у багатьох роботах в циліндричній геометрії[2]. Розглядається замагнічений плазмовий циліндр, що збуджується азимутальним ВЧ струмом. Циліндр обмежений з торців двома провідними стінками. Структура хвильових полів у такій плазмі раніше не розглядалась. Попередні результати такого розгляду викладені в представленій доповіді. Досліджувана система складається з двох частин: плазмового циліндру та вакуумної області зовні циліндру. Граничні умови утворюються двома поперечними провідними стінками, які обмежують плазмовий циліндр по довжині. Система вміщена в повздовжнє магнітне поле і збуджується кільцевою антеною(зовні циліндра) з азимутальним струмом, який надалі враховується в умовах зшивки. З рівнянь Максвелла (плазмова частина системи) у циліндричній системі координат після підстановки, що задовільняє граничні умови (та масштабуванню по радіусу), отримано систему з шести диференціальних рівнянь на комплексні амплітуди полів. Розв'язком цієї системи є диференціальне рівняння четвертого порядку з оператором Бесселя (та квадратом оператора) на комплексну амплітуду повздовжнього електричного поля у плазмі. У коефіцієнти при операторі та при повздовжній комплексній амплітуді електричного поля входять компоненти тензора діелектричної проникливості холодної плазми. У розглядуваному випадку однорідної плазми ці коефіцієнти є константами і не залежать від радіусу. Розв'язком диференціального рівняння четвертого порядку з оператором та квадратом оператора на повздовжню комплексну амплітуду електричного поля є сума функцій Бесселя з множниками константами (1).

$$E_{1z} = A_+ A_{PEZ}(r) + A_- A_{MEZ}(r) \quad (1) A_{PEZ}(r) = J_m(N^+ r) A_{MEZ}(r) = J_m(N^- r) (N^\pm)^2 = -\frac{2 \pm \sqrt{\frac{2}{4}}}{1} = \frac{2 + (N_l^2 - 1)(1 \pm 3)}{1} = \frac{3}{1} [(1 - N_l^2)^2 - 2] N_l = \frac{ck_l}{1}$$

Тут позначено :  $E_{1z}$  – комплексна амплітуда повздовжнього електричного поля;  $A_+$ ,  $A_-$  – константи, які знаходяться з системи лінійних рівнянь, котра виникає з умов зшивки полів між плазмовою та вакуумною частинами системи ;  $J_m$ ,  $Y_m$  – функції Бесселя  $m$ -ого порядку; 1, 2, 3 – компоненти тензора діелектричної проникливості плазми. Індекс 1 відповідає плазмовій частині системи.

Далі послідовно, через підстановки, у зворотньому напрямку зведення системи з шести диференціальних рівнянь до диференціального рівняння із квадратом оператора Бесселя та оператором Бесселя, отримуємо вирази для полів. Зокрема, для комплексної амплітуди азимутального магнітного поля цей вираз має вигляд (2).

$$B = A_+ A_{PBT}(r) + A_- A_{MBT}(r) (2) A_{PBT}(r) = \left[ 1 - \frac{(1 - N_l^2) N_l^2}{V} \right] N^+ J'_m(N^+ r) + \frac{2 N_l^2}{V} \frac{m}{r} J_m(N^+ r) + \frac{N_l}{V} (KN^+)^2 + 3 \left[ (1 - N_l^2) \frac{m}{r} J_m(N^+ r) + 2 N^+ (J'_m)(N^+ r) \right] A_{MBT}(r) = \left[ 1 - \frac{(1 - N_l^2) N_l^2}{V} \right] N^- J'_m(N^- r) + \frac{2 N_l^2}{V} \frac{m}{r} J_m(N^- r) + \frac{N_l}{V} (KN^-)^2 + 3 \left[ (1 - N_l^2) \frac{m}{r} J_m(N^- r) + 2 N^- J'_m(N^- r) \right] K = \frac{2 N_l}{V} - \frac{1}{V} [V - N_l^2 (1 - N_l^2)] = \frac{N_l^2 - 1}{N_l^2} V = (N_l^2 - 1)^2 - \frac{2}{2}$$

Де позначено :  $J'_m$ ,  $Y'_m$  – похідні функцій Бесселя. Система з шести диференціальних рівнянь розв'язується для вакуумної частини системи. Константи  $A_+$ ,  $A_-$  знаходяться з системи лінійних рівнянь, яка впливає з умов зшивки полів на межах між плазмою та вакуумом.

Таким чином задача з замагніченим плазмовим циліндром, що збуджується азимутальним

ВЧ струмом, має аналітичний розв'язок. Плазмовий циліндр обмежено з торців провідними стінками.

1. Liberman M.A., Lihtenberg A.I. Principles of Plasma Discharges and Materials Processing. New York : Wiley-1994.
2. F.F. Chen. Helicon discharges and sources: a review. Plasma Sources Sci. Technol. 24 (2015) 014001.

**Author:** Пан BELOSHENKO, Mykyta (Institute for Nuclear Research, Kyiv)

**Доповідач:** Пан BELOSHENKO, Mykyta (Institute for Nuclear Research, Kyiv)

**Тип засідання:** Фізика плазми та керований термоядерний синтез

**Класифікація за напрямком:** Фізика плазми та керованого термоядерного синтезу