

ДОСЛІДЖЕННЯ ІОННИХ КОЛИВАНЬ У ПРИЛАДАХ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ПОЛЯМИ

У попередніх роботах [1; 2] обґрунтовано вибір моделі, де подано опис різноманітних механізмів збудження та підтримки йонних коливань й наведено теоретичні вирази, котрі надають змогу обчислити амплітуду та частоту йонних коливань у таких цікавих динамічних системах як системи зі схрещеними полями. Розрахунки цих характеристик проводилися для кількох типів магнетронів, основні параметри яких наведено в таблиці.

Магнетрон	$U_a(B)$	$d_a \times 10^3 (м)$	$d_x \times 10^3 (м)$	$w \times 10^3 (м)$
АК-123	600	2,9	1,73	0,355
ВЛ-131	520	2,48	1,46	0,0886
АК-146	7700	7,7	4	1,4
КМ	6100	5,5	4,2	0,71

Іонно-релаксаційні коливання

На базі теоретичних досліджень, що виконано раніше, розраховано залежності амплітуд та частот іонно-релаксаційних коливань у залежності від геометричних розмірів магнетронів, тиску, сорту та температури залишкових газів, а також величин прикладених до них електричних та магнітних полів. Ці залежності наведено на рисунках 1—3 видно, що можливий діапазон частот іонно-релаксаційних коливань займає смугу від частин герцу за тиску $1,33 \cdot 10^{-6}$ Па до сотень кілогерц за тиску 0,133 Па у залежності від температури, геометричних розмірів магнетрону й сорту газу. Нібито аномальні відзнаки залежності частоти коливань для йонів гелію від тиску пояснюються тим, що частота цих коливань залежить не від молекулярної маси газу, а від потенціалу та ймовірності іонізації.

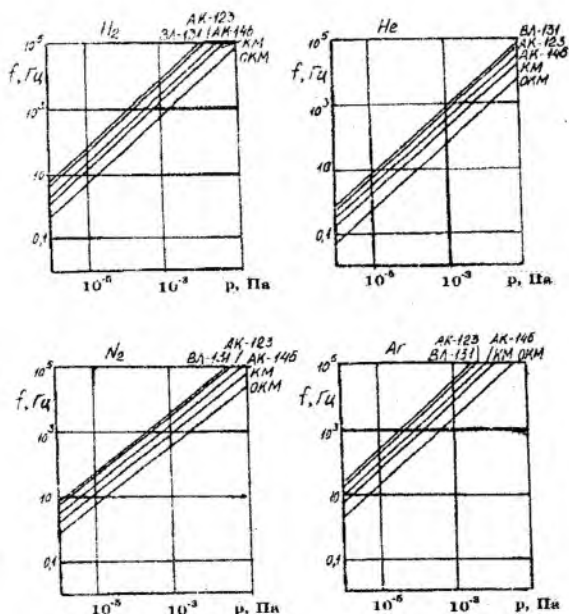


Рис. 1

Порівнюючи частоти іонно-релаксаційних коливань за різних температур видно, що за більш високих температур їх частота нижче. Зміна струму, що протікає через магнетрон, практично не впливає на зміну частоти іонно-релаксаційних коливань. Збільшення зовнішнього магнітного поля призводить до незначного зниження частоти іонно-релаксаційних коливань у магнетроні.

Аналізуючи результати теоретичних досліджень, видно, що амплітуда іонно-релаксаційних коливань, також як і частота, залежить від тиску залишкових газів, температури, геометричних розмірів магнетрону, зовнішніх полів, але не залежить від сорту газу. На рис. 2 наведено залежності амплітуди іонно-релаксаційних коливань від цих параметрів. З рисунку випливає, що при підвищенні температури іонів залишкових газів амплітуда іонно-релаксаційних коливань

збільшується. Це збільшення амплітуди відбувається до тих пір, поки теплові флуктуації йонів не перевищать флуктуацій іонно-релаксаційного процесу, так що за температуру газу 10^6 К про іонно-релаксаційні коливання мови не йдеться.

При підвищенні тиску йонів залишкових газів у магнетроні амплітуда іонно-релаксаційних коливань швидко зменшується, тому є сенс розглядати коливання, амплітуда яких не нижча за 10^{-4} — 10^{-5} В, тобто за тисків не вищих за $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па. З порівняння амплітуд іонно-релаксаційних коливань для різних магнетронів виявляється, що в магнетронах з меншими геометричними розмірами (ВЛ-131) їх амплітуда вища за амплітуду у магнетронів з більшими геометричними розмірами (АК -123, АК-146). Струм, котрий протікає через магнетрон суттєво впливає на амплітуду іонно-релаксаційних коливань.

За малих анодних струмів магнетрону їх амплітуда не перевищує 10^{-7} В, подальше збільшення струму призводить до різкого стрибка амплітуди іонно-релаксаційного коливання до десятків частин вольт. При чому область стрибка амплітуди змінюється у залежності від тиску, так, що при збільшенні тиску вона зсувається у бік більш високих анодних струмів. Збільшення анодного струму за область стрибка незначно збільшує амплітуду іонно-релаксаційних коливань.

Отже, іонно-релаксаційні коливання існують за тисків не вищих $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па в діапазоні частот від одиниць герц до десятків кілогерц з амплітудою, що не перевищує одиниць вольт. Ці коливання можуть створювати періодичні завади в діапазоні наддовгих хвиль й призводити до розширення спектральних ліній коливань, що генеруються магнетронами.

Іонно-плазмові коливання

До проведення розрахунків частоти й амплітуди іонно-плазмових коливань з аналізу виразу (18), що наведено у [2] можна зробити такі висновки:

- величина амплітуди іонно-плазмових коливань залежить від геометричних розмірів системи й точки її визначення доволі складно;
- амплітуда іонно-плазмових коливань є прямопропорційною тискові залишкових газів у магнетроні та оберненопропорційною їх температурі;

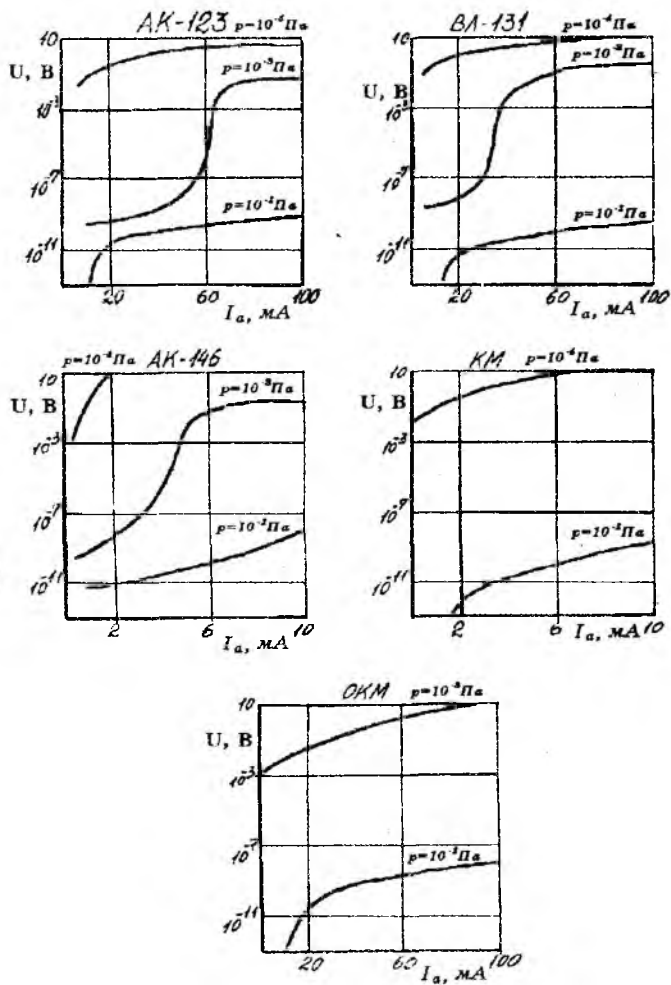


Рис. 2

— величина амплітуди іонно-плазових коливань не залежить від сорту газу й зовнішніх магнітного та електричного полів;

— частота іонно-плазових коливань є прямопропорційною кореню квадратному з величини тиску залишкових газів та обернено-пропорційною кореню квадратному з маси іонів та температури;

— частота іонно-плазових коливань не залежить від геометричних розмірів системи й зовнішніх електричного та магнітного полів.

Графіки залежностей амплітуди й частоти іонно-плазових коливань від тиску й залежність відносної амплітуди $(U_{\epsilon_0 k T / e p r_k^2})$ від радіальної координати наведено на рис. 3 — 4. З цих малюнків видно, що амплітуда іонно-плазових коливань найбільша в магнетроні з більшими геометричними розмірами, а найменша — в магнетроні з середніми геометричними розмірами. Іонно-плазові коливання займають смугу частот від сотень кілогерц до сотень мегагерц при зміні тиску від 10^{-6} до $0,1$ Па, при цьому їх амплітуда змінюється від одиниць мілівольт до сотень вольт.

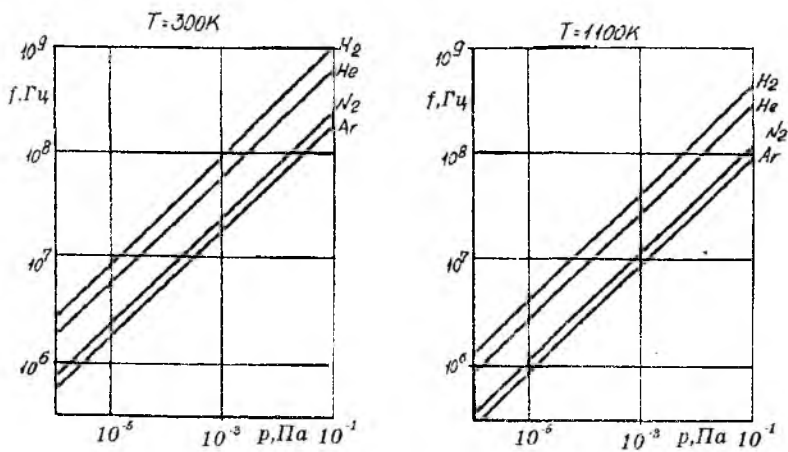


Рис. 3

Таким чином, іонно-плазові коливання, котрі існують у ЕВП НВЧ в діапазоні частот від сотень кілогерц до сотень мегагерц з амплітудою від одиниць мілівольт до сотень вольт, можуть створюва-

ти завади в радіо- та телевізійному діапазоні хвиль й призводити до збагачення спектру сигналу магнетрону.

Іонно-гібридні коливання

Також як і для іонно-плазмових коливань для іонно-гібридних коливань до проведення розрахунків амплітуди та частоти з аналізу виразу (18), що наведено у [2], можна зробити такі висновки:

- всі висновки, що стосуються амплітуди іонно-гібридних коливань такі ж самі, що й для іонно-плазмових;
- частота іонно-гібридних коливань містить дві складові: іонно-плазмову та іонно-циклотронну, тому за малих тисків або великих

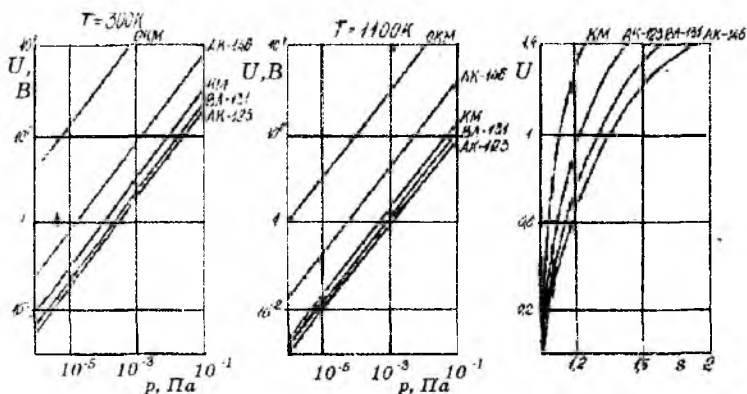


Рис. 4

магнітних полів тут буде домінування іонно-циклотронної частоти, а за високих тисків або малих магнітних полів — поведінка буде такою ж як у іонно-плазмових коливань;

— оскільки вираз для частоти іонно-гібридних коливань містить іонно-циклотронну складову, то частота іонно-гібридних коливань залежить від величини зовнішнього магнітного поля.

Графіки залежності амплітуди іонно-гібридних коливань збігаються з аналогічним для іонно-плазмових коливань (рис. 4).

$T=1100K$

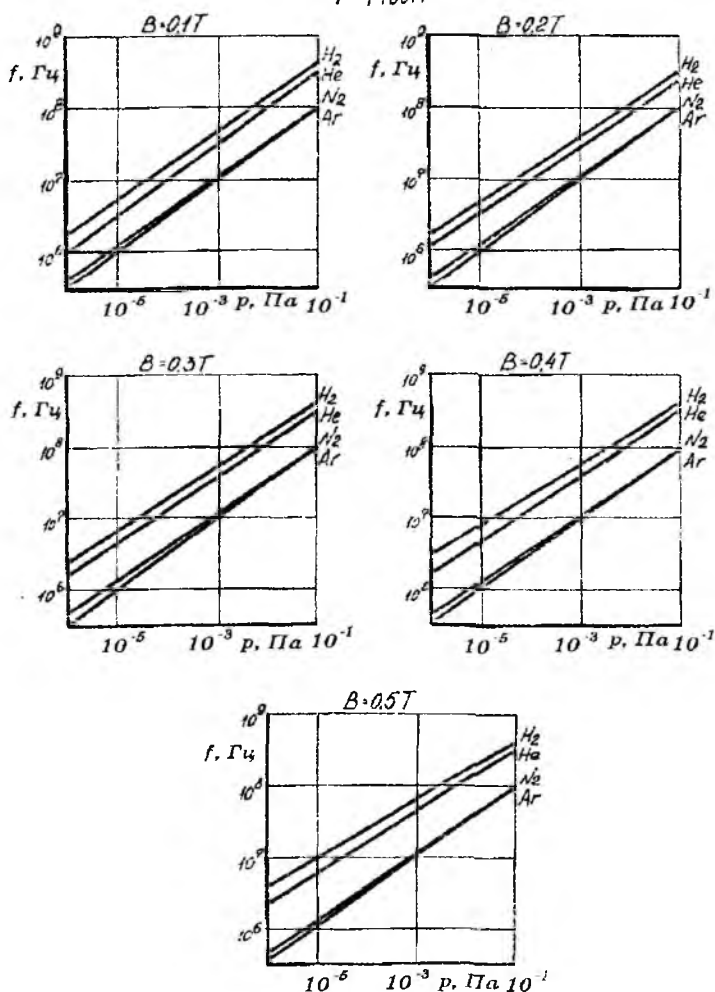


Рис. 5

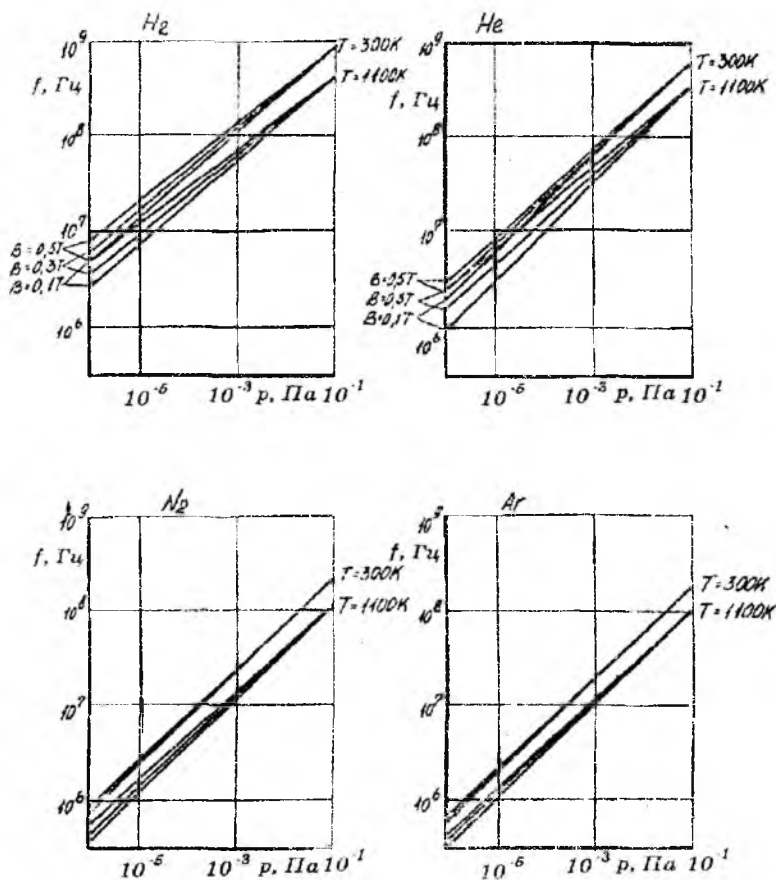


Рис. 6

Графіки залежності частоти іонно-гібридних коливань від тиску залишкових газів наведено на рис. 5 — 6. З цих рисунків видно, що іонно-гібридні коливання займають смугу частот від сотень кілогерц до сотень мегагерц при зміні тиску від 10^{-6} до 10^{-1} Па. При підвищенні напруженості магнітного поля частота іонно-гібридних коливань де-що збільшується для тиску 10^{-8} Торр, але при тиску 10^{-1} Па вже ніякої зміни немає. Ця зміна частоти більша для легких газів і менша для більш важких.

Таким чином, іонно-гібридні коливання призводять до тих же наслідків, що й іонно-плазмові.

Підбиваючи підсумки результатів розрахунків іонних коливань можна зробити такі висновки:

— іонні коливання, що існують у ЕВП НВЧ М-типу, виникають у широкий смузі частот: від одиниць герців (іонно-релаксаційні) до сотень мегагерц (іонно-плазмові та іонно-гібридні);

— амплітуда іонних коливань займає діапазон від одиниць мілівольт до сотень вольт;

— ці коливання можуть створювати заводи в радіо- та телевізійному діапазоні й призводять до розширення (іонно-релаксаційні) або до збагачення (іонно-плазмові та іонно-гібридні) спектру основного коливання магнетронів.

Список літератури: 1. Нікітенко О.М. Вибір моделі опису механізмів збудження й підтримання іонних коливань у приладах зі схрещеними полями // Радіотехніка. 1998. Вип. 105. С. 149 — 157. 2. Нікітенко О.М. Іонні коливання у приладах зі схрещеними полями // Радіотехніка. 1998. Вип. 106. С. 84 — 92.

*Харківський державний технічний
університет радіоелектроніки*

Надійшла до редколегії 09.11.98