

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСПЕРСІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНЕТРОНІВ ММДХ

Одним з напрямків розвитку генераторних систем М-типу є розробка систем, що працюють в міліметровому діапазоні довжин хвиль (ММДХ). Це завдання виявляється надто складним з огляду на деякі особливості конструкції та процесів взаємодії в приладах М-типу. Добре відомо, зокрема, що 60 – 90 % потужності, яка підводиться до магнетрона ММДХ, розсіюється на анодній сповільнювальній системі. Вона ж при переході до ММДХ в класичних магнетронах стає зовсім мініатюрною. З іншого боку значна частина підведеної до магнетрона потужності розсіюється на вторинноемісійному катоді, розміри якого також значно зменшуються при переході в ММДХ. Ці дві обставини в значній мірі обмежують можливості генераторних систем ММДХ. Такий стан справ вимагає мобілізації всіх доступних можливостей для оптимізації конструкції та режимів роботи для отримання прийнятних вихідних характеристик. Тим часом для приладів М-типу, незважаючи на багаторічні зусилля, так і не вдалося створити адекватної аналітичної теорії, яка могла би стати потужним інструментом дослідження та оптимізації генераторних систем ММДХ. Основною причиною, що зумовила неможливість побудови такої теорії, є складний характер руху електронів в схрещених полях. Наявність зустрічних потоків електронів, а їх існування однозначно доводиться наявністю зворотного бомбардування катоду, зумовлює суттєву нестабільність електронної хмари.

Для приладів ММДХ додаються такі фактори, як поверхневий характер високочастотного поля у просторі взаємодії, сильний вплив відхилень геометричних розмірів та їх змін, що обумовлені значним нагріванням, а також недостатня емісійна здатність вторинноемісійних катодів. Ці фактори дуже сильно впливають на основну та бічні моди генерації приладів, тому тема обрахунку мод коливань в магнетронах ММДХ є актуальною.

Таким чином, метою цієї статті дослідження впливу температури та геометричних розмірів на роздільну здатність основної та сусідніх мод коливань в магнетронах ММДХ.

Коливальні системи НВЧ, які використовуються в електронних приладах, призначено для того, щоб створити умови, за яких електромагнітна хвиля, котра розповсюджується, могла б найінтенсивніше взаємодіяти з електронним потоком, що рухається.

Експериментально виявлено, що найкращі умови взаємодії електронів з полем створюються у тих випадках, коли швидкість електронів та фазова швидкість хвилі близькі одна до одної (так звана синхронна взаємодія).

У багаторезонаторних магнетронах взагалі існує багато мод коливань. Для стійкої роботи магнетрону потрібно ефективно відокремити робочу хвилю від усіх інших. Отже важливо знати частоти, що відповідають модам коливань (тобто знати спектр мод коливань) [1].

Оскільки конструкція резонаторної системи є симетричною (якщо не враховувати зв'язок з виходом), то розподіл напруг на проміжках та струмів у резонаторах також можна вважати симетричним [2, 3].

Дослідження дисперсійних характеристик магнетронів ММДХ

З усіх існуючих систем в магнетронах міліметрового діапазону використовуються лопаткові та прямокутні резонатори.

Схематичний вигляд прямокутного щілинного та лопаткового резонаторів та їх провідності описані в [1].

Базуючись на виразах, що наведені в [1] та роботах [4 – 6], розрахуємо дисперсійні характеристики магнетронів, котрі знаходяться в експлуатації. Параметри цих магнетронів наведено в табл. 1.

З існуючих методів розрахунків параметрів сповільнючих систем вибрано польовий метод через те, що за допомогою цього методу можна обчислювати як високочастотні поля, котрі існують в системі, так і дисперсійні характеристики у кількох смугах пропускання для систем будь-якої конфігурації з досить високою точністю.

Таблиця 1

Магнетрон	$d_a, мм$	$d_k, мм$	$d_l, мм$	$\tau, мм$	N	h, мм	Резонаторна система
3 мм	3,3	1,7	4,4	0,17	24	3,1	Лопаткова
6 мм	4,5	2,6	6,8	0,4	16	6,8	Лопаткова

Похибка обчислень за вищезгаданим методом у порівнянні з експериментальними даними не перевищує 5 % на основній моді коливаль.

Нижче наводяться дисперсійні характеристики магнетронів, котрі знаходяться в експлуатації, з різними типами резонаторних систем.

Результати розрахунків дисперсійних характеристик для 6 мм магнетрона (а) та 3 мм магнетрона (б) наведені на рис. 1.

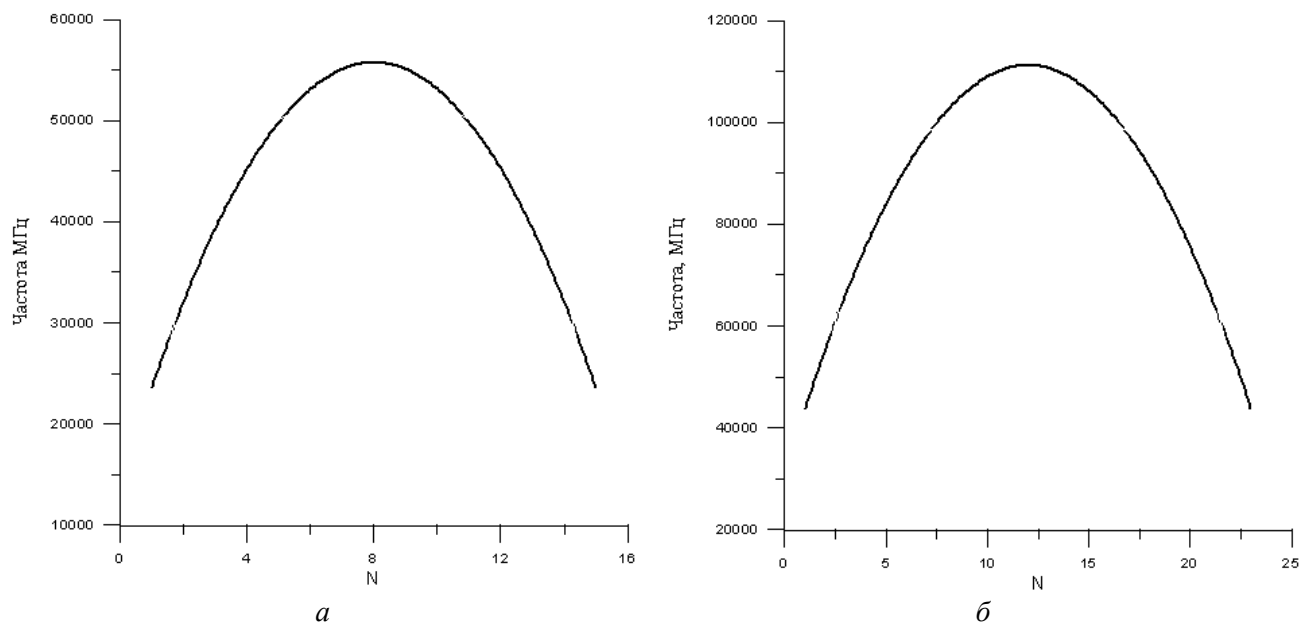


Рис. 1

В табл. 2 наведено похибки розрахунків для цих магнетронів.

Таблиця 2

Магнетрон	λ розрахована, мм	λ дійсна, мм	Похибка, %
3 мм	3,21	3,1	3,55
6 мм	6,965	6,8	2,43

Температурна залежність дисперсійних характеристик

Температурну залежність дисперсійних характеристик отримуємо аналогічно розрахунку дисперсійних характеристик. Але при цьому вважаємо, що електроди приладів змінюють свої геометричні розміри за формулою

$$R_z = R_z(1 + \Delta t) \quad (1)$$

для аноду, висоти, ширини щілини резонатору, та за формулою (2) для катоду, оскільки катод зроблений з іншого матеріалу:

$$R_K = R_K \cdot \frac{(1 + \Delta t)}{\pi} \quad (2)$$

де Δ – температурний коефіцієнт розширення.

Ці коефіцієнти для анодного блоку та катоду різні, тому задаються окремо. На рис. 2 у випадку 3 мм магнетрона (а) та 6 мм магнетрона (б) наведено різниці між дисперсійними характеристиками для випадків однакової температури $\sim 27^0$ С (крива 1), для випадку нагріву катоду та аноду до 100^0 С (крива 2), та для випадку нагріву анодного блоку до 100^0 С, а катоду до 600^0 С (крива 3).

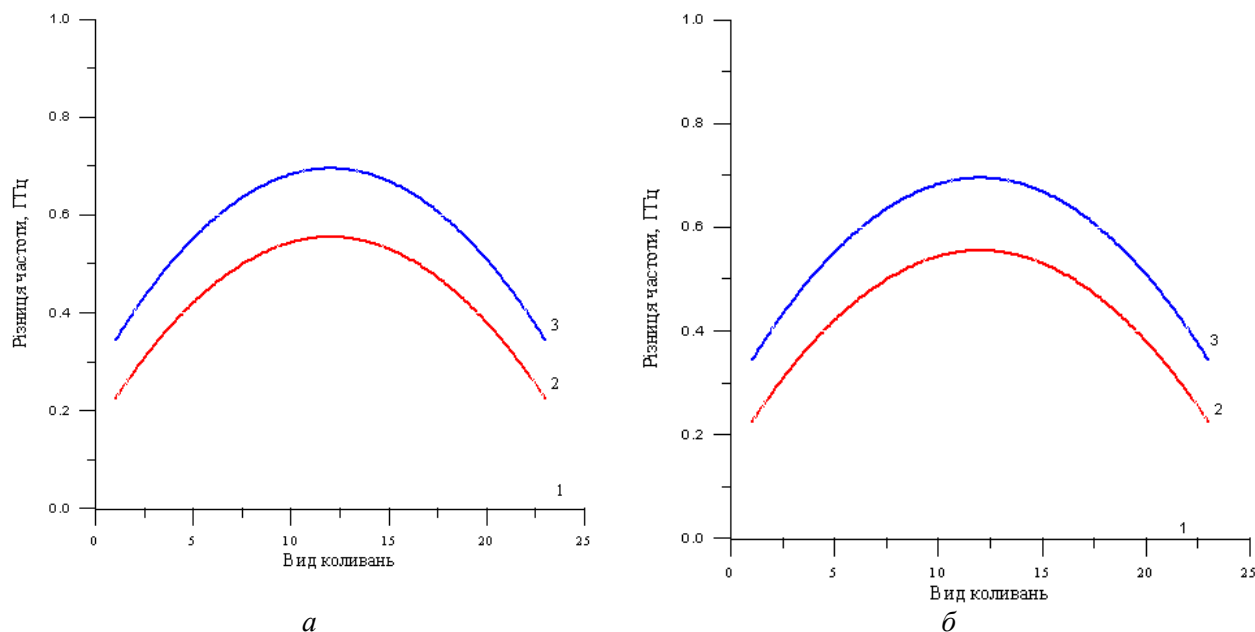


Рис. 2

На рис. 3 наведено зсув частоти для 3 мм магнетрона (а) та 6 мм магнетрона (б) на π та $\pi/2$ модах коливань в залежності від температури електродів.

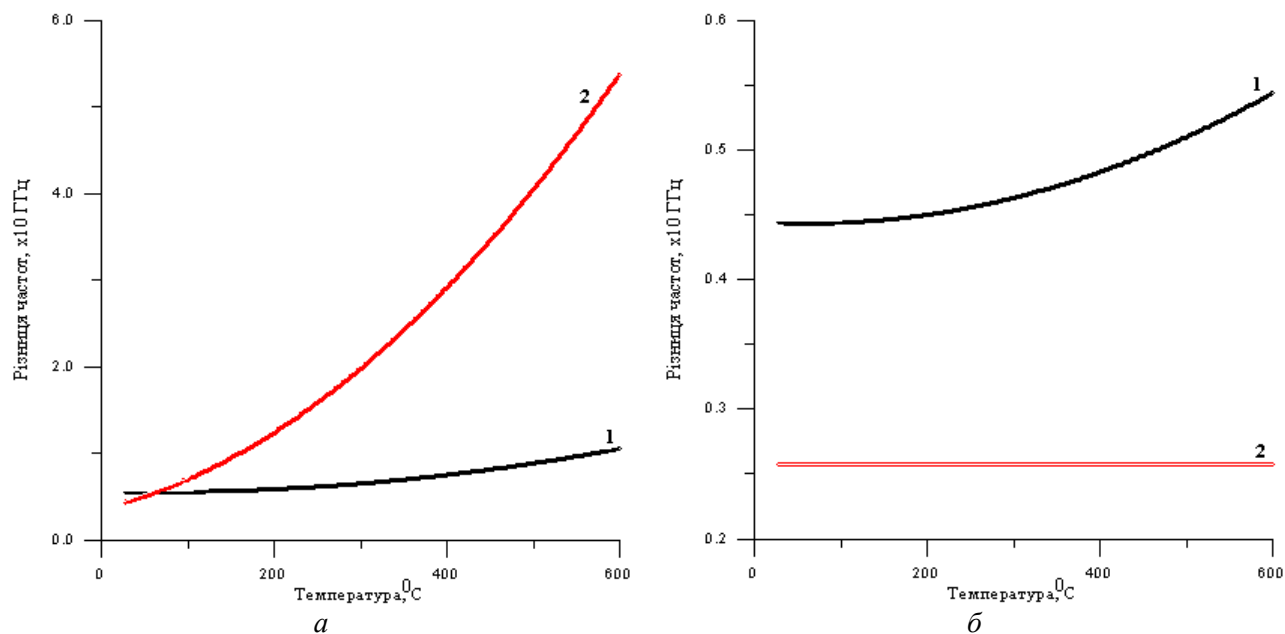


Рис. 3

З наведеного можна зробити висновок, що частота, при збільшенні температури електродів, збільшується. Але при роботі на $\pi/2$ -виді коливань зміни не перевищують 1–1,5 %.

Таким чином, можна стверджувати, що роздільна здатність для $\pi/2-1$ виду коливань практично не змінюється і залишається в межах 5 – 9 %, а для $\pi/2+1$ виду при температурі вторинного катоду близько 250⁰С дуже різко зростає і становить близько 45 %. Для 6 мм приладу роздільна здатність змінюється достатньо слабо, в межах 10 – 14 % між $\pi/2$ та $\pi/2-1$ видами коливань. При температурі вторинного катоду біля 200⁰С зростає роздільна здатність між $\pi/2$ та $\pi/2+1$ видами коливань з 1 до 5 %.

При виконанні досліджень було помічено, що для систем з лопатковими резонаторами (1) роздільна здатність від температури більш помітна, ніж для систем з щілинними резонаторами (2), що дозволяє зробити такий висновок – для систем міліметрового діапазону краще робити лопаткові резонатори, хоча процес виробництва цих резонаторів має деякі технологічні складнощі.

Вплив геометричних розмірів приладів на дисперсійні характеристики

Виходячи з вищезгаданого доцільним є перевірити поведінку дисперсійної характеристики на $\pi/2$ виді коливань для різних значень геометричних розмірів приладів. Це необхідно щоб оцінити межі, в яких можна варіювати геометричні розміри без погіршення режиму роботи приладів. Крім того, були проведені розрахунки дисперсійних характеристик в залежності від різних типів резонаторів.

Були розраховані дисперсійні характеристики в залежності від діаметру катодів, діаметра анодів, діаметра ламелей та кількості резонаторів. На рис. 4 наведені зміни частоти $\pi/2$ виду коливань 3-мм магнетрона в залежності від діаметра анода (а) та діаметра катода (б). На рис. 5 наведені зміни частоти $\pi/2$ виду коливань 3-мм магнетрона в залежності від діаметра ламелей (а) та від кількості резонаторів (б). На рис. 6 та 7 наведені зміни частоти $\pi/2$ виду коливань 6-мм магнетрона аналогічно рис. 4 та 5 для вищезгаданих змін при обрахуванні зміни частоти магнетрона в залежності від варіацій того чи іншого параметра. Решта геометричних параметрів фіксовані і відповідають даним, що наведені в табл. 1.

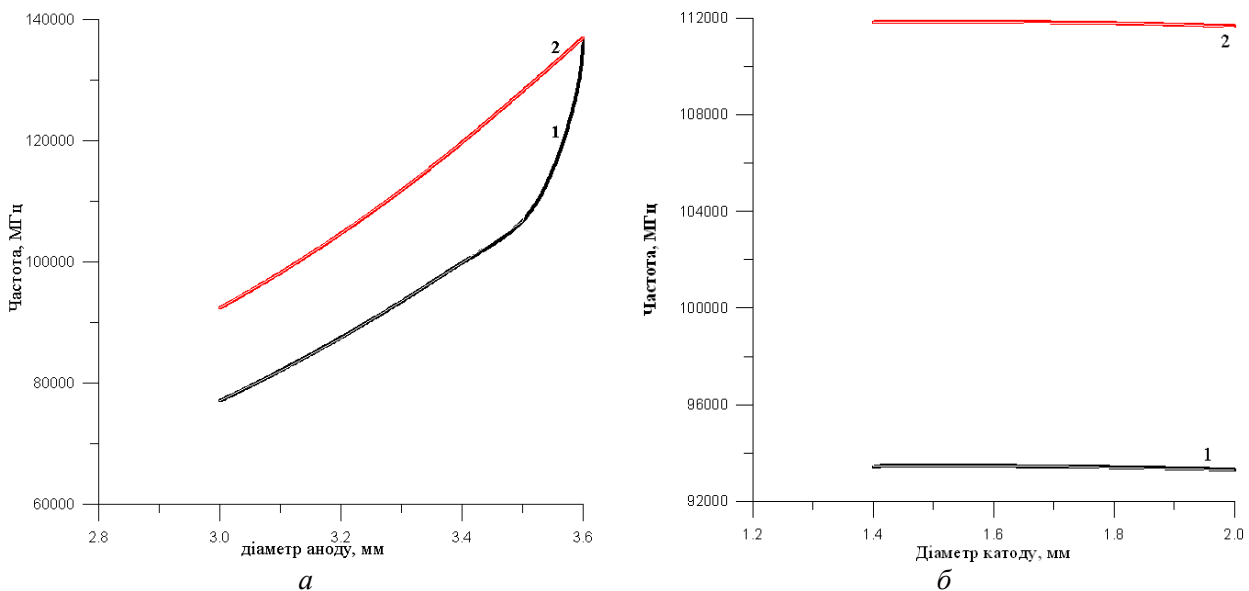
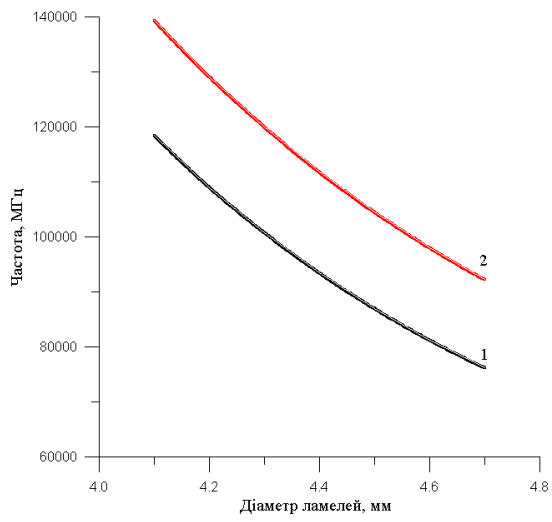
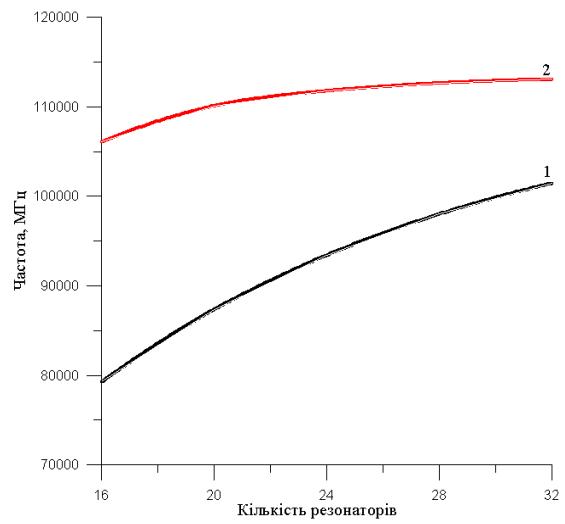


Рис. 4

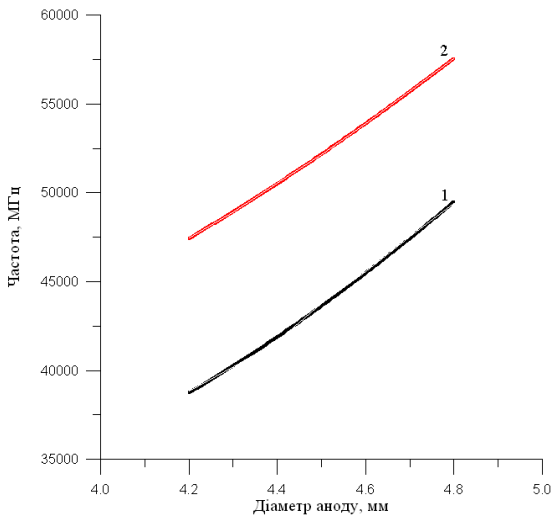


a

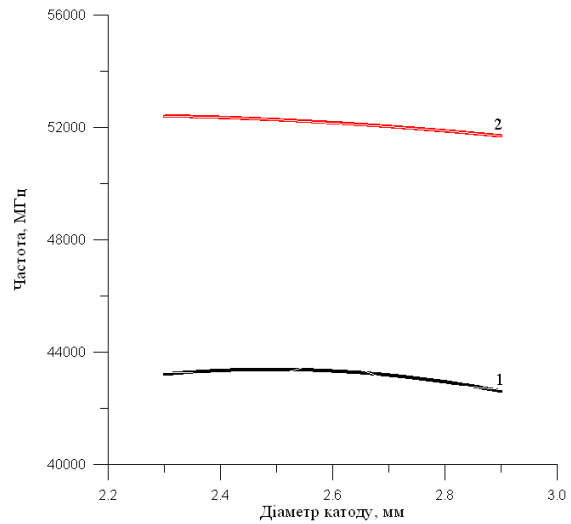


б

Рис. 5

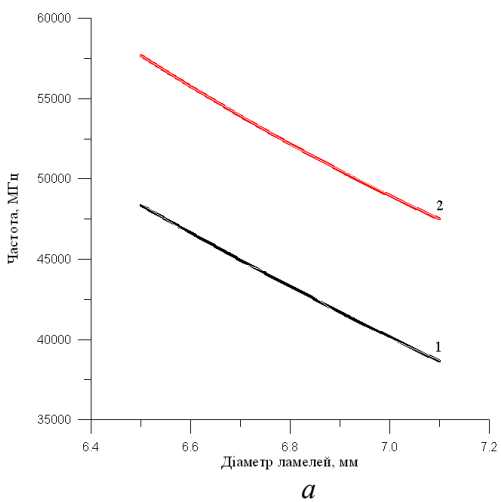


a

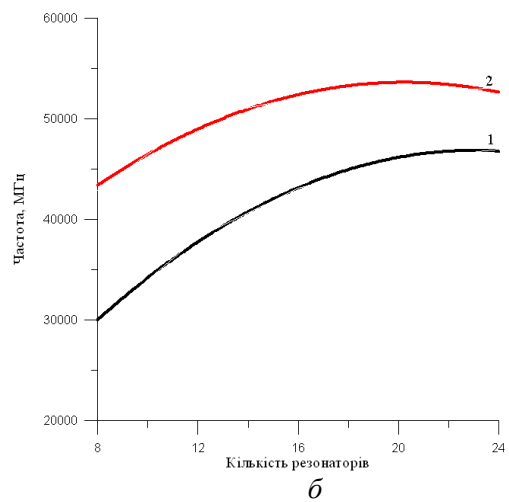


б

Рис. 6



a



б

Рис. 7

Крива 1 відповідає дисперсійній характеристиці приладу з лопатковими резонаторами, крива 2 – зі щілинними резонаторами.

Висновки

В результаті проведених досліджень впливу геометричних параметрів магнетронів і залежності вищезгаданих параметрів від температури матеріалу сповільнюючої системи та вторинно-емісійного катода на частоти генерації на основній та сусідніх модах, та на розділення основної та сусідньої мод можна зробити такі висновки:

– частота, при збільшенні температури електродів, збільшується. Але при роботі на $\pi/2$ виді коливань зміни не перевищують 1 – 1,5 %. Це пояснюється зміною геометричних розмірів простору взаємодії. Оскільки зміни достатньо незначні, то можна вважати, що основні параметри роботи приладу, а саме вихідна потужність та робоча частота, змінюються несуттєво;

– роздільна здатність для $\pi/2-1$ виду коливань 3 мм приладу практично не змінюється, а для $\pi/2+1$ виду при температурі вторинного катода близько 250⁰С дуже різко зростає. Для 6 мм приладу роздільна здатність змінюється достатньо слабко, в межах 10–14 % між $\pi/2$ та $\pi/2-1$ видами коливань. При температурі вторинного катода біля 200⁰С зростає роздільна здатність між $\pi/2$ та $\pi/2+1$ видами коливань з 1 до 5 %. Це пояснюється тим, що розміри вторинно-емісійного катода збільшуються значно сильніше, ніж розміри анодного блоку. А це призводить до істотних змін розмірів простору взаємодії;

– для систем з лопатковими резонаторами роздільна здатність від температури більш помітна, ніж для систем з щілинними резонаторами, тому для систем міліметрового діапазону ліпше робити лопаткові резонатори.

Список літератури: 1. *Магнетрони* сантиметрового діапазона ; пер. с англ. ; под ред. С.А. Зусмановського. – М.: Сов. радио, 1950. – Т. 1. – 420 с. 2. *Электронные СВЧ-приборы со скрещенными полями* ; пер. с англ. ; под ред. М.М. Федорова. – М. : Изд-во иностр. лит., 1961. – Т. 1. – 456 с. 3. *Электронные СВЧ-приборы со скрещенными полями* ; пер. с англ. ; под ред. М.М. Федорова. – М. : Изд-во иностр. лит., 1961. – Т.2. -71 с. 4. *Никитенко А.Н.* Автоматизация проектирования замедляющих систем магнетронов // Материалы 3-й Крымской конф. “СВЧ техника и спутниковый прием”, Севастополь, 20 – 23 сентября 1993 5. *Nikitenko O.M.* Distribution of electrostatic potential in crossed-field system with complex electrodes' configuration // Journal of Microwaves and Optoelectronics, Vol. 2, No. 2, December 2000, PP. 1 – 9 6. *Воловенко М.В., Никитенко О.М.* Влияние температуры на дисперсионные характеристики магнетронов ММДВ // Материалы 17-й Междунар. Крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2004), 10 – 14 сентября 2007 года, Севастополь. – С. 207 – 208.

*Харківський національний
університет радіоелектроніки*

Надійшла до редколегії 03.04.2014