

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни

“ Електронні пристрої НВЧ та квантові пристрої ”

для студентів спеціальності 8090701 “Радіотехніка”

всіх форм навчання

2004

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Електронні пристрої НВЧ та квантові пристрої” для студентів спеціальності 8090701 “Радіотехніка” всіх форм навчання / Укладачі: Логачова Л.М., Бугрова Т.І. – Запоріжжя:ЗНТУ, 2004.-36 с.

Укладачі: Логачова Л.М., ст. викладач каф. радіотехніки
Бугрова Т.І., ст. викладач каф. радіотехніки

Рецензент: доц., к.т.н. В.П.Дмитренко

Відповідальний за випуск: ст. викладач каф. РТ Т.І.Бугрова

Затверджено
на засіданні кафедри радіотехніки

Протокол № 3 від 12 лютого 2004 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДБИВНОГО КЛІСТРОНА.....	4
2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАМПИ РУХОМОЇ ХВИЛІ ТИПУ О.....	12
3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАМПИ ЗВОРТНЬОЇ ХВИЛІ ТИПУ О.....	19
4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОРЕЗОНАТОРНОГО МАГНЕТРО- НА.....	25
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	31
ДОДАТОК А. ВКАЗІВКИ ПО ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬ- НОЇ АПАРАТУРИ.....	32
ДОДАТОК Б. ПРИСТРОЇ НВЧ, ВИКОРИСТОВУВАНІ В ЛАБО- РАТОРНИХ СТЕНДАХ.....	34
ДОДАТОК В. ПАСПОРТНІ ДАНІ ДОСЛІДЖУВАНИХ ПРИЛА- ДІВ.....	36

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДБИВНОГО КЛІСТРОНА

Мета роботи – ознайомитися з конструкцією і принципом дії відбивного клістрона, дослідити умови збудження і можливості перестроювання частоти генеруючих коливань, вивчити вплив навантаження на характеристики клістрона.

1.1 Короткі теоретичні відомості

Відбивний клістрон – це малопотужний генератор НВЧ коливань. Принцип роботи його оснований на перетворенні енергії електронного потоку в енергію НВЧ при короткочасній взаємодії потоку з полем. Відбивний клістрон складається з електронної гармати, об'ємного резонатора, зазор якого пронизується цим потоком, і відбивача. Резонатор виконує дві функції: модулює швидкість електронів і відбиває НВЧ енергію від модульованого по щільності потоку.

Принцип дії клістрона полягає в наступному. Однорідний по щільності і швидкості електронний потік, сформований електронно-оптичною системою приладу, прискорюється за допомогою постійної напруги U_0 , прикладеної між катодом і резонатором, і потрапляє в зазор резонатора. У високочастотному резонаторі за рахунок ударного збудження виникають слабкі гармонійні коливання НВЧ $U(t) = U_1 \cdot \sin \omega t$, частота яких близька до власної частоти резонатора. Ці коливання створюють у зазорі високочастотну напругу, під дією якої відбувається модуляція електронів по швидкості. Внаслідок різниці у швидкості електронів на виході резонатора вони проходять у просторі між резонатором і відбивачем різні шляхи. На просторово-часовій діаграмі (рис.1.1) відзначені найбільш характерні електрони 1-4, що пролітають зазор резонатора при максимальних і нульових значеннях високочастотної напруги. Рух електронів у постійному гальмуючому полі після резонатора на просторово-часовій діаграмі відображено параболічними кривими. Електрон 1, що одержав максимальне прискорення в резонаторі, ближче всіх підлітає до відбивача до повної зупинки. Раніше всіх повертається в зазор резонатора електрон 3, швидкість якого зменшується при прямому прольоті резонатора, оскільки на нього діє максимальне гальмуюче високочастотне поле.

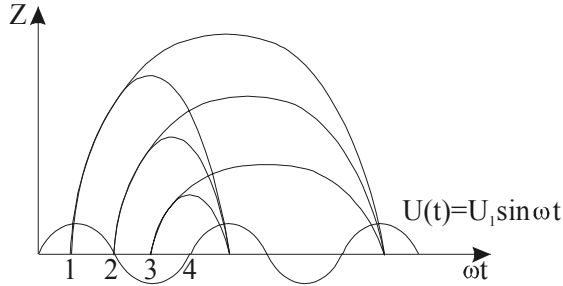


Рисунок 1.1 - Просторово-часова діаграма відбивного клістрона

У результаті швидкісної модуляції електрони 1 і 3 групуються навколо електрона 2, що пролітає резонатор у момент зміни фази від прискорюючого півперіоду до гальмуючого. Підібравши величини постійних напруг на резонаторі та відбивачі, можна добитися, щоб згусток електронів приходив до сіток резонатора у той момент, коли поле НВЧ коливань у зазорі гальмує. Пролітаючи між сітками резонатора, згусток електронів гальмується і тим самим підтримує НВЧ коливання, що виникли в резонаторі.

Максимум енергії, що віддається, буде при амплітудному значенні змінної напруги. Цьому режимові відповідає кут прольоту

$$\Theta_{omn}^n = \frac{3}{2}\pi + 2\pi n = 2\pi\left(n + \frac{3}{4}\right), \quad (1.1)$$

де $n = 0, 1, 2, \dots$ - ціле число, що визначає номер зони генерації.

Основні параметри відбивного клістрона визначають з рівняння групування, яке можна отримати, скориставшись елементарною кінетичною теорією відбивного клістрона

$$\omega t_2 = \omega t_1 + \Theta_0 + \Theta_1 + X \sin \omega t_1, \quad (1.2)$$

де Θ_0 - кут прольоту незбудженим електроном простіру групування;

Θ_1 - кут прольоту незбудженим електроном зазору між сітками резонатора;

$$X = MU_1 \frac{(\Theta_0 - \Theta_1)}{2U_p} - \text{параметр групування};$$

$$M = \sin \frac{\left(\frac{\Theta_1}{2}\right)}{\left(\frac{\Theta_1}{2}\right)} - \text{коефіцієнт взаємодії};$$

Середню за період потужність, що віддається електронним потоком полю резонатора, визначають з рівняння

$$P = -MI_0 U_1 J_1(X) \sin(\Theta_0 + \Theta_1), \quad (1.3)$$

де I_0 – постійний струм; $J_1(X)$ – функція Бесселя першого порядку.

У режимі сталих коливань виконується умова

$$G_{повн} + G_{ел} = 0, \quad (1.4)$$

де $G_{повн}$ – активна провідність коливного контуру і навантаження; $G_{ел}$ – активна провідність електронного потоку.

Використовуючи (1.3), умови балансу амплітуд для відбивного клістрона можна записати:

$$-MI_0 U_1 J_1(X) \sin(\Theta_0) = \frac{1}{2} G_{ел} U_1^2, \quad (1.5)$$

звідки

$$G_{ел} = -\frac{2MI_0 J_1(X)}{U_1} \sin(\Theta_0) \quad (1.6)$$

Через те, що $X = \frac{MU_1 \Theta_0}{2U_p}$,

тоді

$$G_{ел} = -\frac{I_0}{U_p} M^2 \frac{J_1(X)}{X} \Theta_0 \sin \Theta_0. \quad (1.7)$$

Відповідно до отриманої формули $G_{ел}$ має вигляд зростаючої синусоїди при зміні кута прольоту Θ_0 (рис.1.2).

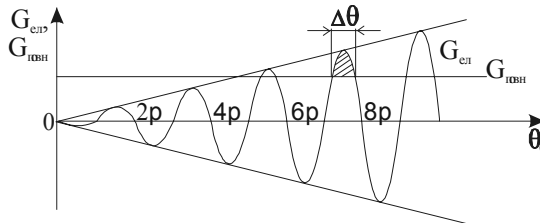


Рисунок 1.2 - Залежність електронної і повної провідності від кута прольоту

Повна провідність $G_{повн}$ не залежить від кута прольоту Θ_0 і тому паралельна осі абсцис. У заштрихованих ділянках рисунка 1.2 від’ємна електронна провідність $G_{ел}$ за абсолютним значенням перевищує повну провідність. На них задовольняється амплітудна умова самозбудження $G_{ел} + G_{повн} \leq 0$. Таким чином, в інтервалах кутів $\Delta\Theta$ (і відповідних їм інтервалах напруг на відбивачі) виникають зони генерації.

При зміні напруги на відбивачі в межах зони генерації відбувається зміна частоти відбивного клістрона. Це явище називається електронною перестройкою частоти. Електронну перестройку прийнято характеризувати двома параметрами: крутизною та діапазоном. Під крутизною електронної перестройки розуміють відношення збільшення частоти до збільшення напруги на відбивачі

$$S = \frac{\Delta\omega}{\Delta U_{отр}}$$

у центрі зони генерації, де залежність $f(U_{отр})$ - лінійна. Під діапазоном електронної перестройки розуміють область частот, у межах якої вихідна потужність змінюється не більш ніж у два рази від максимальної в центрі зони.

1.2 Опис лабораторної установки

Структурна схема лабораторної установки приведена на рис.1.3. Вона містить у собі:

1. Досліджуваний клістрон (4).
2. Блок живлення клістрона (2), що дозволяє регулювати напругу на резонаторі U_p у межах 250...350 В, а також напругу на відбивачі U_0 у межах 0...400 В.
3. Подвійний хвилеводний трійник з рухомим короткозамикачем у плечі Е (3), що дозволяє змінювати величину навантаження клістрона.
4. Хвилеводний перемикач на два положення. У положенні 1 до подвійного хвилеводного трійника підключаються узгоджене навантаження. У положенні 2 – рухомий короткозамикач.

5. Вимірювач потужності (лабораторний) з термисторною секцією 8.
6. Хвилемір (6), призначений для виміру довжини хвилі генератора.
7. Калібрований аттенюатор (7) призначений для регулювання рівня потужності, що надходить у вимірювач потужності.

1.3 Порядок виконання роботи

1. Атенюатор 7 встановити на максимальне загасання.
2. Ввімкнути вимірювач потужності, дати прогрітися, установити нуль приладу. Ввімкнути вентилятор охолодження клістрона.
3. Хвилевідний перемикач встановити в положення 1.
4. Ввімкнути блок живлення клістрона, дати прогрітися на протязі 5 хв.

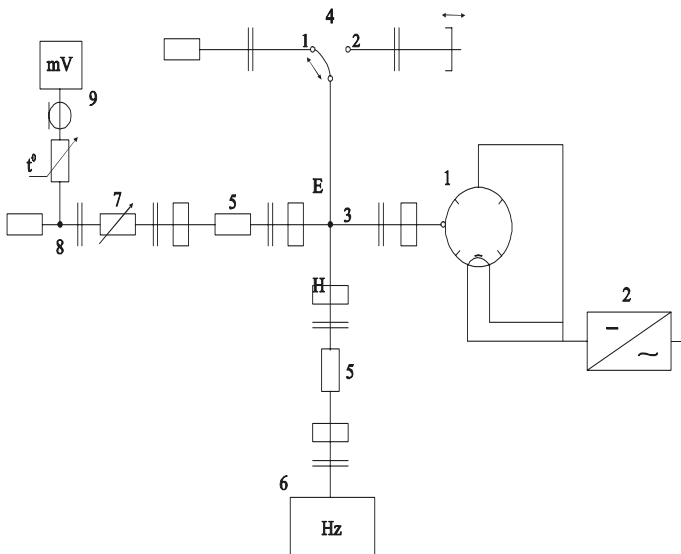


Рисунок 1.3 - Структурна схема лабораторної установки для дослідження відбивного клістрона

5. Встановити напругу на резонаторі U_p , рівну номінальній.
6. Встановити напругу на відбивачі U_0 , рівну максимальній $|U_0| \leq 400B$.

7. В трьох перших зонах генерації клістрона зняти залежність $P = F_1(U_0)$ при постійній напрузі на резонаторі.

Для цього необхідно:

- плавно зменшуючи U_0 , стежити за показаннями індикатора хвилеміра. Зафіксувати виникнення коливань;
- зменшуючи загасання атенюатора, домогтися впевнених показань вимірювача потужності;
- плавно змінюючи значення U_0 , у межах зони генерації відзначити ті значення U_0 , при яких
 - а) виникають (зникають) коливання в клістріні;
 - б) клістрон генерує потужність $0,5P_{max}$;
 - в) клістрон генерує максимальну потужність P_{max} .

Таким чином, для кожної зони генерації буде знято 5 точок (початок зони; $0,5P_{max}$; P_{max} ; $0,5P_{max}$; кінець зони).

Виміряти P_{max} і I_p для центра кожної зони (I_p – струм резонатора).

Результати дослідів занести в таблицю і побудувати графіки $P = F_1(U_0)$ для трьох зон генерації.

Розрахувати електронний ККД для центрів досліджених зон:

$$\eta_{el} = \frac{P_{max}}{I_0 U_p},$$

де I_0 – постійний струм катода;

U_p – напруга на резонаторі.

8. Визначити для першої і другої зон генерації діапазон електронної перестройки частоти коливань, які генеруються клістроном. Для цього необхідно, змінюючи напругу на відбивачі, вимірити за допомогою хвилеміра частоту генеруємих коливань у першій і другій зонах у трьох точках $0,5P_{max}$; P_{max} ; $0,5P_{max}$.

Результати вимірів занести в таблицю. За даними таблиці для першої і другої зони побудувати графіки $P = F_2(U_0)$. Визначити діапазон електронної перестройки Δf за рівнем $0,5$ максимальної потужності P_{max} .

9. Дослідити залежність $P = F_3(U_p)$ при постійній напрузі U_0 на відбивачі.

Для цього необхідно:

- встановити значення U_0 , що відповідає центру першої зони;
- для першої зони виміряти значення потужності P при різних значеннях U_p .

Результати вимірів занести в таблицю. За даними таблиці побудувати графік $P = F_3(U_p)$, $I_p = F_4(U_p)$.

10. Дослідити залежність потужності і частоти коливань в центрі першої зони від зміни фази навантаження $P = F_5(\Delta\varphi)$, $f = F_6(\Delta\varphi)$. Для цього необхідно:

- хвилеводний перемикач встановити в положення 2 (див. рис.1.3);
- змінюючи U_0 , знайти центр першої зони;
- обертанням ручки короткозамикача домогтися різкого зменшення величини (зриву) коливань, зафіксувати оцінку шкали короткозамикача;
- плавно зміщуючи положення короткозамикача, виміряти в декількох точках потужність і частоту генеруємих коливань. Зсув продовжувати доти, поки знову не відбудеться різке зменшення величини коливань. Результати вимірів занести в таблицю. За даними таблиці побудувати графіки $P = F_5(\Delta\varphi)$, $f = F_6(\Delta\varphi)$.

При виконанні даного пункту $\Delta\varphi$ варто розрахувати по формулі:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_{xв}} \cdot \Delta l,$$

де $\lambda_{xв}$ - довжина хвилі в хвилеводі;

Δl - зсув положення короткозамикача.

Довжина хвилі основного типу:

$$\lambda_B = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}},$$

де λ_0 - довжина хвилі у вільному просторі, $a = 23$ мм – розмір широкої стінки хвилеводу.

1.4 Зміст звіту

1. Структурна схема.
2. Параметри досліджуваного клістрона.
3. Таблиці результатів вимірів.
4. Графіки експериментальних залежностей: $P = F_1(U_0)$, $f = F_2(U_0)$, $P = F_3(U_p)$, $I_0 = F_4(U_p)$, $P = F_5(\Delta\varphi)$, $f = F_6(\Delta\varphi)$.
5. Розрахунок ККД, діапазону електронної перестройки частоти коливальних, які генеруються клістроном.
6. Короткі висновки по виконаній роботі.

1.5 Контрольні питання

1. Поясніть конструкцію та принцип роботи відбивного клістрона. (Просторово-часова діаграма).
2. Рівняння швидкості модуляції електронного потоку. Коефіцієнт модуляції.
3. Поясніть процес групування по щільності. Написати рівняння групування. Привести графіки залежності $\omega'_2(\omega'_0)$ при різних значеннях параметра групування.
4. Поясніть значення коефіцієнта взаємодії, параметра групування, оптимального кута прольоту.
5. Конвекційний та наведений струми. Форма конвекційного струму при різних значеннях X .
6. Спектральний склад конвекційного і наведеного струмів.
7. Баланс фаз і баланс амплітуд відбивного клістрона.
8. Поясніть умови самозбудження відбивного клістрона.
9. Що таке пусковий струм і як він залежить від номера зони генерації?
10. Поясніть явище електронної перестройки частоти.
11. Крутизна електронного перестроювання частоти. Як вона змінюється по зонах генерації.
12. Поясніть залежність електронного ККД від параметра групування, від напруженості на відбивачі U_0 .
13. Поясніть зміну потужності та частоти від зміни навантаження G_n та добротності Q .
14. Параметри відбивного клістрона.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛРХ ТИПУ О

Мета роботи – вивчити конструкцію і схему вмикання ЛРХ і дослідити її основні характеристики.

2.1 Основні положення

Лампа рухомої хвилі типу О (ЛРХО) – це малошумлячий підсилювач НВЧ коливань. Типова конструкція малопотужної ЛРХО являє собою скляний балон, з однієї сторони якого поміщена електронна гармата, а з іншого боку – колектор. Між електронною гарматою і колектором знаходяться спіральна сповільнююча система та поглинач, що служить для запобігання самозбудження. Зв'язок із вхідним і вихідним хвилеводами здійснюється за допомогою елементів зв'язку, що приєднані до кінців спірала. Сама лампа міститься всередині соленоїда, що створює фокусує магнітне, спрямоване уздовж осі спірала поле.

Принцип роботи ЛРХО заснований на тривалій взаємодії електронного потоку з НВЧ полем. Сфокусований електронний потік проходить уздовж осі спірала сповільнюючої системи, на вхід якої через відрізок хвилеводу та узгоджуючий пристрій подаються НВЧ коливання. Ці коливання поширюються по спірала у вигляді рухомої хвилі.

Сповільнююча система служить для зменшення фазової швидкості v_ϕ електромагнітної хвилі до швидкості електронного потоку v_0 . На рис. 2.1 наведений графік розподілу поздовжньої складової електричного поля рухомої хвилі, у системі координат, що рухається зі швидкістю v_ϕ . За умови $v_0 = v_\phi$ електрони, що потрапили в прискорюючий напівперіод поля, збільшують свою швидкість, а електрони, що попадають у гальмуючий напівперіод поля, сповільнюються. Таким чином, відбувається модуляція електронного потоку по швидкості. Цю функцію виконує початкова ділянка сповільнюючої системи.

В міру руху електронного потоку уздовж лампи в місцях переходу електричного поля від прискорюючого напівперіоду до гальмуючого утворюються електронні згустки, тобто відбувається модуляція електро-

ного потоку по щільності. Якщо $v_0 = v_\phi$, то електронні згустки, рухаючись синхронно з хвилею, не будуть передавати енергію полю, якщо ж швидкість електрона буде трохи більше фазової швидкості хвилі (умови фазового синхронізму $v_0 \geq v_\phi$), то згустки змістяться в сповільнюючий напівперіод височастотного поля й у результаті сповільнення будуть віддавати полю свою кінетичну енергію. Максимальне підсилення електромагнітної хвилі при її взаємодії зі згрупованим електронним потоком буде мати місце в тому випадку, коли електрони під час руху уздовж усієї довжини сповільнюючої системи не виходять з гальмуючого напівперіоду поля.

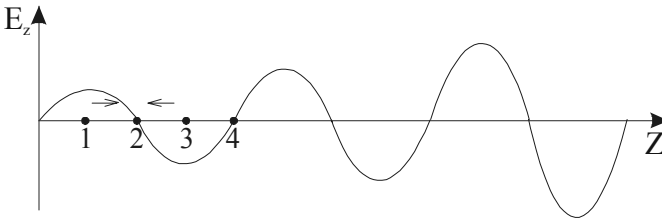


Рисунок 2.1- Розподіл напруженості електричного поля рухомої хвилі

При самому загальному розгляді взаємодії електронів з полем передбачалося, що v_ϕ залишається постійною величиною. Однак v_ϕ у сповільнюючій системі без електронного пучка («холодна» система) відрізняється від v_ϕ у сповільнюючій системі з електронним пучком («гаряча» система). Модульований по щільності електронний потік, взаємодіючи із сповільнюючою системою, створює в ній наведений струм, що призводить до зміни параметрів сповільнюючої системи. При цьому v_ϕ в сповільнюючій системі з електронним потоком трохи менше, ніж у системі без електронів.

Відповідно до лінійної теорії в присутності електронного потоку в ЛРХО поширюється чотири парціальні хвилі, постійні поширення яких $\Gamma = \alpha + j\beta$ є комплексними величинами й обчислюються по наступним формулам:

$$\begin{aligned}
 \Gamma_1 &= \frac{\sqrt{3}}{2} C \beta_{el} + j \beta_{el} \left(1 + \frac{C}{2}\right), \\
 \Gamma_2 &= -\frac{\sqrt{3}}{2} C \beta_{el} + j \beta_{el} \left(1 + \frac{C}{2}\right), \\
 \Gamma_3 &= j \beta_{el} (1 - C), \Gamma_4 = -j \beta_{el} \left(1 - \frac{C^3}{4}\right)
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

де $\beta_{el} = \frac{\omega}{v_0}$ - електронне хвильове число;

$C = \sqrt[3]{R_{3\phi} \frac{I_0}{4U_0}}$ - параметр посилення;

$R_{3\phi}$ - опір зв'язку сповільнюючої системи.

Як впливає з приведених формул, фазові швидкості хвиль різні і визначаються зі співвідношення

$$v_{\phi p}^{(i)} = \frac{\omega}{\beta_i} \tag{2.2}$$

де i - номер парціальної хвилі,

β_i - фазова стала i -ї парціальної хвилі.

Поздовжні складові напруженості електричного поля парціальної хвилі можуть бути записані у вигляді

$$E_z^{(i)} = E_{zm}^{(i)} e^{-\alpha_i z} e^{j(\omega t - \beta_i z)} \tag{2.3}$$

Підставляючи в цей вираз значення α_i і β_i , можна помітити, що амплітуда першої парціальної хвилі ($i = 1$) зменшується, а другої – ($i = 2$) зростає при поширенні цих хвиль уздовж осі Z . Амплітуди третьої і четвертої парціальних хвиль залишаються незмінними. Отже, тільки друга парціальна хвиля характеризує процес посилення в ЛРХО.

Лінійна теорія дозволяє визначити коефіцієнт підсилення ЛРХО в лінійному режимі. При досить великій довжині l ЛРХО амплітуда другої парціальної хвилі стане багато більше амплітуд двох інших хвиль. Тому, нехтуючи першою і третьою парціальними хвилями, коефіцієнт підсилення визначається як відношення амплітуди другої парціальної хвилі на вході ($Z = l$) до амплітуди сигналу на вході ($Z = 0$):

$$K_U = \frac{E_{zm}^{(z)}(l)}{E_{zm}^{(z)}(0)}. \quad (2.4)$$

Підставляючи в цю формулу значення амплітуд, одержуємо наступний вираз для коефіцієнта підсилення:

$$K_U = \frac{1}{3} \exp\left(\frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \beta_{el} Cl\right). \quad (2.5)$$

або, виражаючи коефіцієнт у децибелах, одержуємо формулу

$$K = -9.54 + 47.3CN, \quad (2.6)$$

де N - число довжин хвиль, що укладається уздовж сповільнюючої системи.

2.2 Опис лабораторної установки

Структурна схема лабораторної установки зображена на рис.2.2.

Вона містить у собі:

1. Генератор НВЧ коливач.
2. Калібрований перестроюваний коаксіальний атенуатор, призначений для зміни в широких межах вхідної потужності ЛРХО.
3. Коаксіальний атенуатор з постійним загасанням, рівним 15 дБ.
4. Термісторна секція вимірювача потужності.
5. Вимірювач потужності (лабораторний), призначений для контролю вхідної потужності генератора.
6. Феритовий вентиль.
7. Лампа рухомої хвилі типу УВ1-БШ з фокусуною магнітною системою.
8. Блок живлення ЛРХО і фокусуною системи.
9. Термісторна секція вимірювача потужності.
10. Вимірювач малої потужності типу М4-2, призначений для виміру вихідної потужності ЛРХО.

2.3 Порядок виконання роботи

1. Ввімкнути вимірювач потужності 5, встановити стрілку вимірювача на нуль.
2. Ввімкнути генератор НВЧ коливань і дати прогрітися протягом 5 хвилин.
3. Встановити максимальне загасання атенуатора порядку 100 дБ.
4. Відповідно до інструкції по експлуатації приладів підготувати вимірювач потужності М4-2 і генератор до роботи.
5. Ввімкнути блок живлення ЛРХ. Для цього необхідно:
 - ввімкнути вентилятор охолодження фокусуєчої системи;
 - ввімкнути тумблер «Мережа». В результаті подається напруга живлення накалу ЛРХО;
 - через 4...5 хвилин після прогріву накалу ЛРХ ввімкнути тумблер «Анод». У результаті на електроди ЛРХ подається висока напруга.
6. За допомогою ручок регулювання напруги U_k , U_{a1} , U_{a2} , $U_{зnp}$, становить номінальні значення напруг (див. паспортні дані ЛРХО).

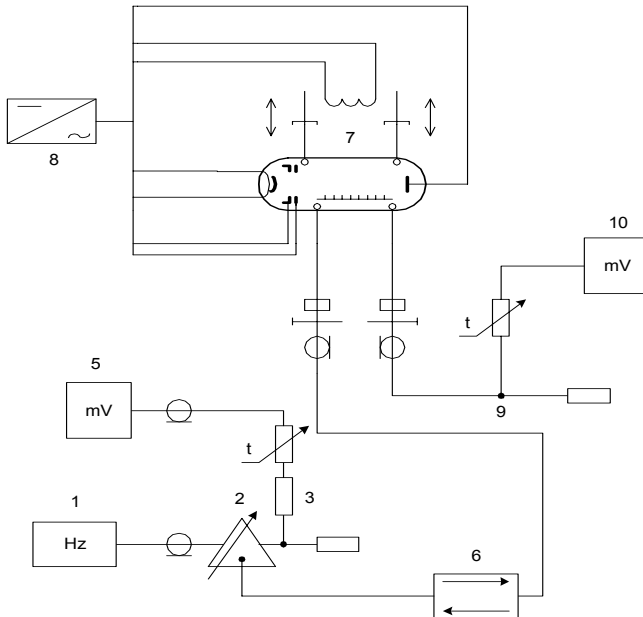


Рисунок 2.2 - Структурна схема лабораторної установки для дослідження ЛРХ типу О

7. Зняти амплітудну характеристику $P_{вих} = F_1(P_{вх})$ при постійній частоті вхідного сигналу.

Для цього необхідно:

- встановити на генераторі частоту $f = 2600$ МГц і домогтися максимального значення вихідної потужності генератора;
- за допомогою вимірювача потужності (лабораторного) виміряти вихідну потужність генератора. Врахувати, що потужність генератора послаблюється атенюатором на 15 дБ;
- зменшуючи загасання перебудовуємого атенюатора 2, підвищуємо потужність, що подається на вхід ЛРХО.
- Зняти показання вимірювача потужності, підключеного до входу ЛРХО. Потужність на виході лампи з'являється при загасанні атенюатора, меншому 60 дБ. Для підвищення чутливості приладу використовувати режим балансового виміру потужності. Розбаланс фіксувати при натиснутій кнопці чутливості.

Дані вимірів занести в таблицю і побудувати графіки:

$$P_{вих} = F_1(P_{вх}), \quad K_p = F_2(P_{вх})$$

де K_p - коефіцієнт підсилення по потужності.

8. Зняти амплітудно-частотну характеристику ЛРХО $P_{вих} = F_3(f)$ при постійній вхідній потужності. Для цього необхідно:

- встановити атенюатор 2 на максимальне загасання;
- встановити на генераторі середню частоту ЛРХ ($f = 2600$ МГц);
 - зменшити загасання атенюатора 2 до одержання максимальної вихідної потужності ЛРХО. Відзначити значення вхідної потужності ЛРХО ($P_{вх}$) по вимірювачеві потужності 5. Надалі загасання атенюатора не змінювати;
 - змінюючи частоту генератора в межах 2000...3000 МГц, вимірити рівень сигналу ($P_{вх}$) на виході ЛРХО через 100 МГц. При цьому змінюючи загасання внутрішнього атенюатора генератора за допомогою вимірювача 5, підтримувати постійний рівень потужності ЛРХО.

Результати вимірів занести в таблицю і побудувати графік $P_{вих} = F_3(f)$. Розрахувати смугу пропускання ЛРХО за рівнем $0,5P_{вих\ max}$

9. Зняти залежність $K_P = F_4(U_{упр})$ при постійних частоті і рівні вхідного сигналу. Для цього необхідно:

- встановити максимальне загасання атенюатора;
- встановити середню частоту $f = 2600$ МГц і домогтися максимальної вихідної потужності генератора;
- зменшуючи загасання атенюатора домогтися появи максимальної потужності на виході ЛРХО;
- змінюючи ручкою регулювання $U_{упр}$ напругу на керуючому електроді в межах $0...30$ В, виміряти вихідну потужність. Дані вимірів занести в таблицю. За даними таблиці побудувати графік.

2.4 Зміст звіту

1. Структурна схема лабораторної установки.
2. Паспортні дані досліджуваної ЛРХО.
3. Таблиці і графіки експериментальних залежностей

$$P_{вих} = F_1(P_{вх}), \quad K_P = F_2(P_{вх}), \quad P_{вх} = F_3(f),$$

$$K_P = F_4(U_{упр}).$$

4. Розрахунок смуги пропускання.
5. Короткі висновки по лабораторній роботі.

2.5 Контрольні питання

1. Принцип широкосмугового підсилювання НВЧ сигналу.
2. Які типи сповільнюючих систем застосовують у ЛРХО і якими параметрами характеризують сповільнюючі системи?
3. Що таке просторової гармоніки? Їхні параметри.
4. Що таке дисперсія? Її види.
5. Поясніть будову та принцип дії ЛРХО
6. Поясніть основні положення лінійної теорії ЛРХО.
7. Як залежить коефіцієнт підсилення і ККД від параметрів сповільнюючої системи?

8. Поясніть форму амплітудної характеристики ЛРХО
9. Поясніть форму амплітудно-частотної характеристики ЛРХО.
10. Які фактори впливають на коефіцієнт шуму ЛРХО і якими методами зменшують ці шуми?
11. Перелічіть основні параметри ЛРХО. Назвіть їхні типові значення.

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЗХ ТИПУ О

Мета роботи – вивчити конструкцію і схему включення ЛЗХ і досліджувати її основні характеристики.

3.1 Основні положення

Лампа зворотної хвилі типу О (ЛЗХО) – це широкодіапазонний генератор НВЧ коливань з електронною перестройкою частоти. ЛЗХО складається з електронної гармати, сповільнюючої системи, поглинач, колектора, фокусууючого пристрою та пристрою для виведення енергії.

Сповільнююча система розміщена між електронною гарматою і колектором. У колекторного кінця сповільнюючої системи розташований поглинач, а у катодного - елемент зв'язку з хвилеводом. За допомогою елемента зв'язку у навантаження відводиться потужність, що генерується. Фокусууючий пристрій призначений для створення осьового магнітного поля, що забезпечує фокусування електронного потоку, який проходить уздовж сповільнюючої системи.

Принцип роботи ЛЗХО заснований на тривалій взаємодії електронного потоку з НВЧ полем, що поширюється по сповільнюючій системі. НВЧ поле в сповільнюючій системі може бути представлене у вигляді сукупності рухомих хвиль (просторових гармонік), що мають різні амплітуди і різні по напрямку і величині фазові швидкості, але однакову частоту.

У ЛЗХО рух енергії електромагнітної хвилі відбувається назустріч рухові електронного потоку, тобто від колекторного до катодно-

го кінця лампи. Тому взаємодія електронного потоку відбувається з полем просторової гармоніки, напрямом фазової швидкості якої протилежний до напрямку групової швидкості, тобто до напрямку переносу енергії. Така просторова гармоніка називається зворотньою. При виконанні умов фазового синхронізму, тобто у випадку, коли фазова швидкість зворотньої просторової гармоніки близька до швидкості електронного потоку, потік і електромагнітна хвиля рухаються синхронно. У результаті впливу електромагнітного поля відбувається модуляція електронів по швидкості. Електрони, що потрапили в прискорюючий напівперіод хвилі, прискорюються, а електрони, що потрапили в гальмуючий, гальмуються. Тому в місцях переходу електромагнітного поля від позитивного напівперіоду до негативного утворюються згустки електронів, тобто відбувається модуляція електронів по щільності. Якщо швидкість електронів дорівнює фазовій швидкості зворотньої просторової гармоніки, то згустки електронів будуть розташовані в області, де напруженість поля дорівнює нулю і тому взаємодія між полем і електронним потоком відбуватися не буде. Якщо ж швидкість електронного пучка буде трохи більше фазової швидкості, то згустки змістяться в область гальмуючого напівперіоду електромагнітного поля, і отже, будуть гальмуватися, віддаючи кінетичну енергію НВЧ полю, що приведе до збільшення його амплітуди.

Рух енергії НВЧ поля назустріч електронному потокові в ЛЗХО призводить до виникнення позитивного зворотнього зв'язку, тому що при русі електромагнітної хвилі до катодного кінця її амплітуда в результаті взаємодії з електронним потоком збільшується, а збільшення амплітуди викликає поліпшення групування електронів, що у свою чергу викликає збільшення амплітуди НВЧ поля і т.д.

Для виникнення коливань у ЛЗХО необхідно виконання амплітудних і фазових умов самозбудження. Амплітудна умова зв'язана з величиною струму електронного пучка. При малій величині струму пучка I_0 перестає виконуватися амплітудна умова самозбудження коливань. Залежність генеруючої потужності і коефіцієнта підсилення ЛЗХ від постійного конвекційного струму пучка I_0 якісно зображена на рис. 3.1.

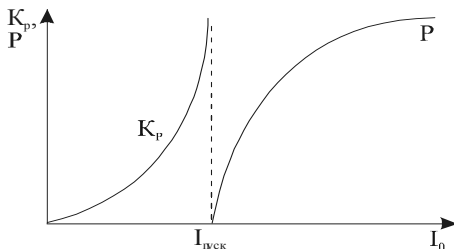


Рисунок 3.1 - Залежність коефіцієнта підсилення і генеруючої потужності ЛЗХ від струму пучка при $U_0 = const$.

Пусковий струм

$$I_{\text{пуск}} \approx 0,124 \frac{U_0}{R_{зв} N^3}, \quad (3.1)$$

де N – електрична довжина сповільнюючої системи це – число сповільнених довжин хвиль, що укладається уздовж сповільнюючої системи;

$R_{зв}$ – опір зв'язку сповільнюючої системи.

Фазові умови самозбудження коливань у ЛЗХ зв'язують з умовою найкращої передачі енергії від електронного потоку НВЧ полю. Вони можливі в тому випадку, якщо утворений згусток електронів не виходить з гальмуючого напівперіоду поля хвилі. Це означає, що різниця між зміною фази хвилі по довжині системи і кутом прольоту згустку повинна складати π . Можливі також режими, при яких різниця фаз складає $\pi + 2\pi n$.

$$\frac{\omega l}{v_{\text{фр}}} - \frac{\omega l}{v_0} = (2n + 1)\pi, \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (3.2)$$

Число n називається порядком коливання або номером зони коливань.

З урахуванням звичайної залежності швидкості v_0 від постійної прискорюючої напруги $U_{\text{кер}}$.

$$v_0 = \sqrt{\frac{2qU_{\text{кер}}}{m}}. \quad (3.3)$$

З виразу (3.2) можна одержати наступну формулу:

$$\omega = \frac{(2n+1)\pi}{l \left(\frac{1}{V_{фр}} - \sqrt{\frac{m}{2qU_{кер}}} \right)} \quad (3.4)$$

З (3.4) випливає, що ЛЗХО має кілька зон генерації, які характеризуються різними номерами $n=0,1,2,\dots$. Цю формулу можна використовувати для визначення частоти генеруємих коливань у різних зонах, якщо відома дисперсія зворотної просторової гармоніки. Найбільшу вихідну потужність забезпечує зона $n=0$, тому що при цьому найбільш повно використовується довжина сповільнюючої системи.

Залежність частоти генеруємих коливань від напруги прискорення називається електронною перестройкою частоти. Це – головна перевага ламп зворотної хвилі.

3.2 Опис лабораторної установки

Структурна схема лабораторної установки зображена на рис. 3.2. Вона містить у собі:

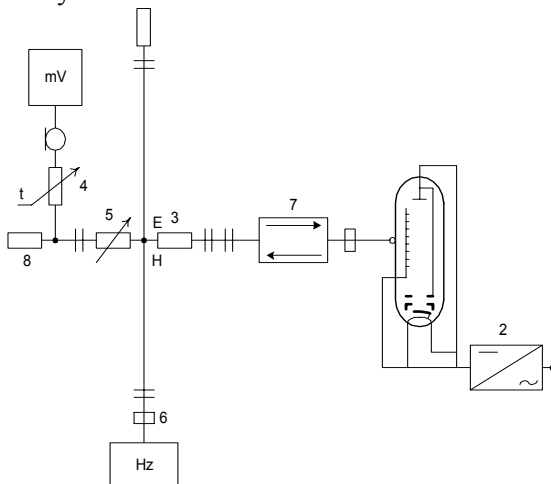


Рисунок 3.2 - Структурна схема лабораторної установки для дослідження ЛЗХ типу О

1. Досліджувану лампу зворотної хвилі (1).

2. Блок живлення (2) досліджуваної лампи, що дозволяє регулювати напругу на фокусуєчому електроді U_{ϕ} у межах 0...50 В та напругу прискорення $U_{\kappa_{ef}}$ на сповільнюючій системі у межах 200...450 В.

3. Феритовий вентиль (7).

4. Подвійний хвилевідний трійник (3), призначений для підключення хвилеміра і термісторної секції до досліджуваної лампи.

5. Калібрований атенюатор (5), призначений для регулювання потужності, що надходить у термісторну секцію.

6. Термісторна секція (4).

7. Вимірювач потужності (8).

8. Хвилемір (6).

3.3 Порядок виконання роботи

1. Атенюатор (5) встановити на максимальне загасання.

2. Ввімкнути вимірювач потужності, відкалібрувати прилад відповідно до інструкції. Ввімкнути вентилятор охолодження ЛЗХО.

3. Ввімкнути блок живлення ЛЗХО, дати прогрітисся 5хв.

4. Для трьох значень (двох крайніх і одного середнього) напруги на фокусуєчому електроді U_{ϕ} зняти залежність частоти та потужності генеруючих коливань від напруги на сповільнюючій системі:

$$P = F_1(U_k), \quad f = F_2(U_k).$$

Для цього необхідно:

- встановити номінальну напругу на фокусуєчому і керуючому електродах;

- плавно змінюючи загасання атенюатора, домогтися упевнених показань вимірювача потужності та індикатора хвилеміра;

- зробити відлік потужності і довжини хвилі;

- повторити пп.4.1 – 4.3 для декількох значень керуючої напруги;

- результати досвіду занести в таблицю.

5. Зняти залежність пускового струму $I_{пуск}$ від напруги на сповільнюючій системі $U_{\kappa_{ef}}$:

$$I_{пуск} = F_3(U_{\kappa_{ef}})$$

Для цього необхідно:

- встановить напругу $U_{\kappa_{ef}}$;

- плавно зменшуючи U_{ϕ} , зафіксувати момент виникнення генерації і відзначити відповідне значення струму. Контроль за генерацією здійснюється по індикатору хвилеміра;

- повторити пп.. 5.1 – 5.3 для декількох значень $U_{\kappa_{\text{эф}}}$;

- результати досвіду занести в таблицю.

3.4 Зміст звіту

1. Структурна схема лабораторного стенда.
2. Параметри досліджуваного приладу.
3. Таблиці результатів вимірів.
4. Графіки експериментальних залежностей:

$$P = F_1(U_k), \quad f = F_2(U_k), \quad I_{\text{пуск}} = F_3(U_k)$$

5. Короткі висновки по роботі.

3.5 Контрольні питання

1. Конструкції сповільнюючих систем, які застосовуються в ЛЗХО?

2. Що таке просторової гармоніки? Їхні параметри, властивості.

3. Розповісти про пристрій і принцип дії ЛЗХО у підсилюючому режимі.

4. Принцип дії ЛЗХО у генераторному режимі.

5. Які просторові гармоніки є робочими в ЛЗХО?

6. Що таке пусковий струм?

7. У чому полягає умова балансу фаз і амплітуд у ЛЗХО?

8. Що таке електронна перестойка частоти?

9. Якими параметрами характеризують електронну перестройку частоти?

10. Чим обумовлений позитивний зворотній зв'язок у ЛЗХО?

11. Що таке умова фазового синхронізму?

12. Поясніть процес модуляції електронного потоку по швидкості і групування по щільності.

13. Поясніть залежність вихідної потужності від напруги прискорення.

14. Поясніть залежність частоти генеруємих коливань від напруги прискорення.

15. Види коливань в ЛХЗО. Залежність вихідної потужності від виду коливань.

16. Які фактори впливають на величину діапазону електронної перестойки частоти ЛЗХО?

17. Область застосування й основні параметри ЛЗХО.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОРЕЗОНАТОРНОГО МАГНЕТРОНА

Мета роботи – ознайомитися з конструкцією і принципом роботи магнетрона, вивчити характеристики і параметри магнетрона і вплив навантаження на потужність і частоту генеруємих коливань.

4.1 Короткі теоретичні відомості

Магнетрон – це генератор НВЧ коливань середньої і великої потужності. Конструктивно магнетрон складається зі згорнутої в кільце і замкнутої на себе сповільнюючої системи, яка є анодом, і циліндричного катоду. Уздовж осі приладу прикладене постійне магнітне поле. Анод, як правило, заземлений, а катод знаходиться під великою від'ємною напругою. Магнітне поле перпендикулярне до електричного поля. Вивід НВЧ енергії здійснюється за допомогою петлі зв'язку від одного з резонаторів.

Рух електронів у схрещених електричному і магнітному полях описується рівнянням

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = -q(\vec{E}_0 + [\vec{v}\vec{B}]), \quad (4.1)$$

де – m -маса електрона;

q – заряд електрона; \vec{v} - швидкість;

\vec{E}_0 - напруженість електричного поля;

\vec{B} - індукція магнітного поля.

Рішенням цього рівняння є траєкторія, що називається епіциклоїдою.

Принцип роботи магнетрона полягає в наступному. У результаті флуктуацій швидкостей електронів, що вилітають з катода в просторі взаємодії між анодом і катодом, виникають слабкі електромагнітні коливання. Ці коливання можна математично представити у вигляді нескінченної суми просторових гармонік. При виконанні умови синхронізму ($V_{\phi_{n,p}}$) = V_n , де n – номер виду коливання, p – номер просторової гармоніки, $V_n = \frac{E_0}{B}$ – переносна швидкість, починається ефек-

тивна взаємодія електронів з полем. Радіальна, або поперечна складова поля, викликає деяке групування електронів у гальмуючих областях, а азимутальна, або поздовжня складова, почне зміщувати електрони до анода, змушуючи електрони в гальмуючому напівперіоді віддавати свою потенційну енергію полю. Електрони, що почали взаємодію з полем в областях прискорення, рухаються до катода, не встигаючи відібрати багато енергії у поля. Тому переважає передача енергії електронів полю, що приводить до росту поля та посиленню його впливу на електронний потік.

Через кінцеву товщину електронного скупчення і нерівномірного впливу поля на верхні та нижні шари електронів виникають пульсації границі хмари електронів, що у сталому режимі досягають анода. Просторовий заряд, утворений електронами, має форму спиць, що обертаються навколо катода з постійною кутовою швидкістю. Число спиць дорівнює числу сповільнюючих областей НВЧ поля в просторі взаємодії.

Умовою резонансу в кільцевій системі магнетрона є ціле число довжин хвиль, що укладаються по довжині кільця. Цю ж умову можна виразити через різницю фаз коливань φ у будь-яких двох сусідніх резонаторах. При обході уздовж всього кола по внутрішній поверхні анода повний зсув фази в замкнутому кільці повинен бути кратним 2π :

$$\varphi_n N = 2\pi n, n=0, 1, 2, \dots \quad (4.2)$$

де N – число резонаторів у коливальній системі магнетрона.

Цей вираз називається умовою циклічності. З (4.2) випливає, що різниця фаз коливань у резонаторах може приймати тільки дискретні значення, обумовлені співвідношенням

$$\varphi_n = \frac{2\pi n}{N} \quad (4.3)$$

Види коливань у магнетроні характеризують числом n або безпосередньо величиною фазового зсуву φ_n . У випадку $n = N/2$ в сусідніх резонаторах коливання знаходяться в протифазі. Цей вид називається π -видом і є основним робочим видом коливань магнетронів.

Частота генеруємих коливань магнетрона визначається резонансною частотою коливальної системи:

$$\omega_n = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 + \frac{C_1}{2C}(1 - \cos \varphi_n)}}, \quad (4.4)$$

де $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, L, C – еквівалентні індуктивність і ємність резонаторів,

C_1 – ємність між сегментами анода і катодом.

Самозбудження магнетронів відбувається при виконанні умови балансу фаз і балансу амплітуд. Баланс фаз впливає з умови синхронізму $(V_\phi)_{np} = V_u$. Анодна напруга, що забезпечує синхронізм для n -го типу коливань p -й просторової гармоніки, зв'язана з індукцією магнітного поля співвідношенням

$$U_a = \frac{\omega_n (r_a^2 - r_\kappa^2)}{2(n + pN)} B. \quad (4.5)$$

Робочою просторовою гармонікою є нульова гармоніка $p=0$. Залежність (4.5) описує лінії, що називаються пороговими прямими. Вони відповідають виконанню умови самозбудження багаторезонаторного магнетрона.

4.2 Опис лабораторної установки

Структурна схема експериментальної установки зображена на рис. 4.1. Вона містить у собі:

1. Досліджуваний магнетрон (1).
2. Блок живлення магнетрона (2), що дозволяє регулювати напругу накалу та напругу на анодному блоці магнетрона.

3. Подвійний хвилевідний трійник (3) з рухомих короткозамикачем в E -плечі. Короткозамикач дозволяє змінювати фазу навантаження магнетрона.

4. Хвилевідний перемикач (4) на два положення. У положенні 1 до подвійного хвилевідного трійника підключається узгоджене навантаження, у положенні 2 – рухомий короткозамикач.

5. Фіксовані атенуатори для послаблення рівня потужності в хвильовому тракті.

6. Хвилемір (6), призначений для виміру довжини хвилі.

7. Калібрований перестроюваний атенуатор (5).

8. Термісторна секція (8).

9. Вимірювач потужності (лабораторний).

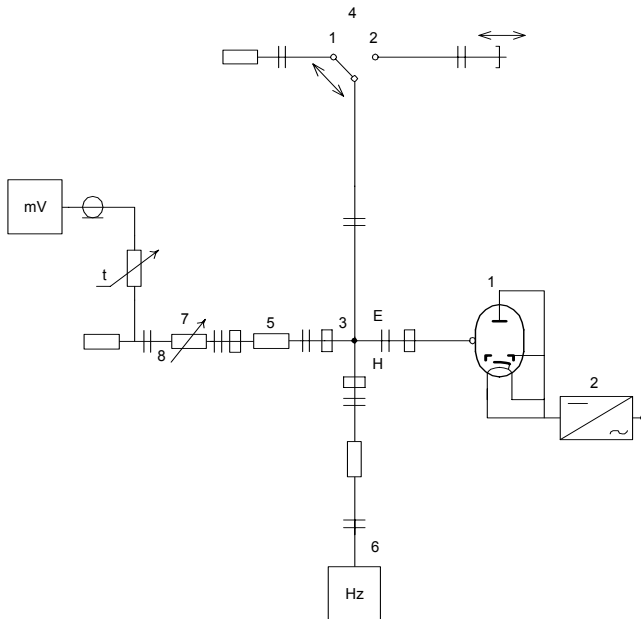


Рисунок 4.1 - Структурна схема лабораторної установки для дослідження багаторезонантного магнетрона

4.3 Порядок виконання роботи

1. Хвилевідний перемикач 4 встановити в положення 1 (рис. 4.1.)
2. Атенуатор 7 встановити на максимальне загасання.

3. Ввімкнути вимірювач потужності 9 і дати прогрітисся, установити нуль приладу.

4. Ввімкнути вентилятор охолодження магнетрона.

5. Ввімкнути блок живлення магнетрона. Встановити напругу накала $U_n = 6,3B$. Дати прогрітисся в 2...3 хв., потім встановити напругу накала $U_n = 4,6B$. Встановити напругу U_a , рівну номінальній (див. паспортні дані приладів).

6. Зняти залежність вихідної потужності P та частоти f від струму I_0 . Для цього необхідно:

- встановити номінальне значення напруги на аноді магнетрона;
- зменшуючи загасання атенюатора, домогтисся відхилення стрілки індикатора потужності на середину шкали;
- для декількох значень (не менш 3) напруг (струму) анода вимірити потужність і частоту коливань, генеруємих магнетроном.

Відзначити значення порогові (U_{nop}) і критичної ($U_{кр}$) напруг, при яких відповідно виникають і спадають коливання, генеруємі магнетроном.

Дані вимірів занести в таблицю. За даними таблиці побудувати графіки

$$P = F_1(I_a); f = F_2(I_a); I_a = F_3(U_a).$$

Обчислити значення ККД $\eta = \frac{P}{(I_a U_a)}$ і побудувати графік $\eta = F_4(I_a)$.

При розрахунку потужності НВЧ коливань необхідно врахувати величину ослаблення атенюаторами, а також той факт, що у вимірювач потужності надходить тільки третя частина потужності, що генерує магнетрон.

7. Дослідити вплив фази навантаження на потужність і частоту коливань, генеруємих магнетроном. Для цього необхідно:

- встановити номінальне значення анодної напруги;
- хвилевідний перемикач встановити в положення 2;
- обертаючи ручку короткозамикача, домогтисся різкого зменшення потужності коливань, зафіксувати зсув шкали короткозамикача;

- плавно зміщаючи положення короткозамикача, виміряти в декількох точках потужність і частоту генеруючих коливань;
- зсув короткозамикача продовжити доти, поки знову не відбудеться різке зменшення потужності коливань.

Результати вимірів занести в таблицю. За даними таблиці побудувати графіки $P=F_5(\Delta\varphi)$, $f=F_6(\Delta\varphi)$. При виконанні даного пункту варто розраховувати $\Delta\varphi$ відповідно до значення до п.10 лабораторної роботи № 1.

4.4 Зміст звіту

1. Структурна схема лабораторної установки.
2. Параметри досліджуваного магнетрона.
3. Таблиці результатів експериментів.
4. Графіки залежностей:

$$P = F_1(I_a), f = F_2(I_a), I_a = F_3(U_a), \eta = F_4(I_a), \quad P = F_5(\Delta\varphi),$$

$$f = F_6(\Delta\varphi).$$

Привести значення $(U_{пор})$ і $(U_{кр})$.

5. Короткі висновки по проробленій роботі.

4.5 Контрольні питання

1. Що таке прилади типу М чим вони відрізняються від приладів типу О?
2. Розповісти про конструкції та властивості коливальних систем магнетронів.
3. Які види коливань можуть існувати в магнетроні? Що таке π -вид?
4. Поясніть побудову і принцип роботи магнетрона.
5. Поясніть рух електронів у схрещених електричному та магнітному полях у статичному режимі.
6. Поясніть взаємодію електронів з подовжньою і поперечною складовими НВЧ поля.
7. Поясніть процес утворення електронних спиць у магнетроні.
8. Що таке парабола критичного режиму?
9. Рівняння циклоїди, види коливань в магнетроні.
10. Поясніть умови самозбудження коливань у магнетроні.

11. Що таке порогові прямі?
12. Що таке порогові та критичні напруження, потенціал синхронізації?
13. У чому полягає стабілізація робочого виду коливань у магнетроні?
14. Які методи застосовуються для стабілізації робочого виду коливань?
15. Поясніть вплив навантаження на частоту і потужність коливань у магнетроні.
16. Перелічіть основні параметри і характеристики магнетронів.
17. У яких областях науки та техніки застосовуються магнетрони.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Андрушко Л.М., Бурмистенко В.М. Электронные и квантовые приборы СВЧ. – М.: Связь, 1974. – 191с.
- 2 Васильев В.Н. Электронные и квантовые приборы СВЧ. – М.: Связь, 1972. – 255с.
- 3 Лебедев И. В. Техника и приборы сверхвысоких частот. Т. 2. – М.: Высш. шк., 1972. – 433с.
- 4 Левитский С.М., Кошечая С.В., Вакуумная и твердотельная электроника СВЧ. – К.; - Выща. шк. 1986. – 272с.
- 5 Федоров Н.Д. Электронные и квантовые приборы СВЧ. – М.: Атомиздат, 1974. – 238с.
- 6 Электронные приборы СВЧ / Под ред. В.Н. Березина, В.С. Буряка. – М.: Высш. шк., 1985. – 296с.
- 7 Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника. /Под ред. проф. Н.Д. Федорова: Учебное пособие – М.: Радио и связь, 1998.–500 с.

Додаток А
ВКАЗІВКИ ПО ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ

Хвилемір середньої точності типу 35-ИМ

Прилад 35-ИМ призначений для виміру довжини хвилі генераторів трьохсантиметрового діапазону хвиль, що працюють у режимі безперервних та імпульсно-модульованих коливань. Діапазон виміру частоти 7800-11200МГц/довжина хвилі $\lambda = 38,2 - 26,8\text{мм}$, при цьому на вході хвилеводу повинна бути забезпечена середня потужність не менш 100 мкВт.

Робоче положення приладу горизонтальне. Всі елементи керування приладом розміщені на передній панелі. Ручка настройки хвилеміра і вихідний фланець хвилеводу виведені збоку.

Для підготовки приладу до роботи необхідно:

встановити ручку «Загасання» в положення найбільшого загасання атенюатора;

встановити перемикач виду індикації в положення «Прилад»;

ввімкнути досліджуваній генератор і ручкою «Загасання»

встановити показання приладу в межах 10-15мкА;

ручкою «Настроювання детектора» домогтися максимальних показань приладу (ручкою «Загасання» підтримувати показання приладу в межах середини шкали);

ручкою «Загасання» встановити по приладу 25мкА.

Для виміру частоти (довжини хвилі) генератора після підготовки до роботи і настроювання хвилеміра необхідно:

обертаючи ручку настроювання хвилеміра, домогтися мінімуму показань індикатора (настроювання камери в резонанс відповідає зменшенню показань приладу приблизно вдвічі). Мінімум показань встановити якомога точніше;

зняти показання лімбів хвилеміра. На повільно обертовому лімбі (ліворуч) відрахувати цілі значення міліметрів і їхньої половинки, а на швидко обертовому (праворуч) – десяті і соті частки міліметра. Ціна одного великого ділення швидко обертового лімба відповідає 0,01мм переміщення поршня;

обертаючи ручку хвилеміра в колишньому напрямку, домогтися другого настроювання камери в резонанс. Записати показання лімбів при другому настроюванні камери;

підрахувати довжину хвилі генератора, що визначається в міліметрах подвоєною різницею показань лімбів при першому і другому настроюваннях камери в резонанс.

Вимірювач малої потужності (лабораторний)

Прилад призначений для виміру потужності НВЧ коливань у діапазоні частот, обумовленому параметрами виносної термісторної секції.

Для підготовки приладу до роботи необхідно:

відключити від термісторної секції джерело НВЧ потужності, встановити атенюатор, включений перед термісторною секцією на максимальне загасання;

ввімкнути тумблер живлення приладу;

встановити ручками «Уст. 0» нуль приладу.

Для виміру потужності необхідно:

зменшуючи загасання атенюатора, домогтися відхилення стрілки приладу приблизно на середину шкали;

за графіком, зображеному на рис.5.1, і загасанню атенюатора визначити значення вимірюваної потужності.

У процесі вимірів необхідно перевірити нуль приладу, виконуючи операції, зв'язані з підготовкою приладу до роботи.

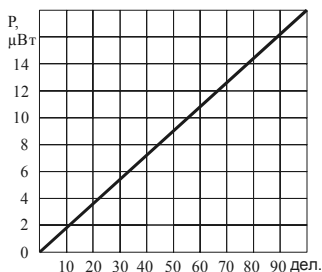


Рисунок А.1 - Калібровочний графік до вимірника малої потужності (лабораторного)

Додаток Б ПРИСТРОЇ НВЧ, ВИКОРИСТОВУВАНІ В ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДАХ

Узгоджене навантаження

Узгоджене навантаження призначене для забезпечення режиму рухомої хвилі в хвилеводному тракті. Конструктивно вона представляє відрізок лінії передачі, в одному з кінців якого поміщений поглинаючий матеріал, що забезпечує практично повне загасання електромагнітної хвилі, що надходить у лінію.

Поглинаючий атенуатор

Атенуатор поглинаючого типу призначений для регулювання рівня потужності в НВЧ тракті і являє собою відрізок лінії передачі, в яку вводиться один або кілька діелектричних пластин, покритих шаром поглинаючого матеріалу (графіту, ніхрому й ін.). З метою зменшення відображень кінці пластини з поглинаючим шаром плавно скошені. Під впливом електричного поля в шарі з поглинаючого матеріалу наводиться струм провідності, що викликає збільшення загасання в лінії передачі. Загасання, внесені атенуатором, визначається за формулою

$$L = 10 \lg \frac{P_{вх}}{P_{вих}} \text{ дБ},$$

де $P_{вх}$ і $P_{вих}$ - відповідно потужність на вході і виході атенуатора.

Розрізняють регульовані і фіксовані атенуатори. Фіксовані атенуатори забезпечують визначене значення загасання. У регульованих атенуаторах рівень загасання змінюється в широких межах переміщенням пластини з поглинаючим шаром у поперечній площині лінії передачі.

Рухомий короткозамикаючий поршень

Рухомий короткозамикаючий поршень призначений для регулювання довжини короткозамкнутої лінії передачі. Конструктивно

він представляє відрізок лінії передачі, в одному з кінців якої розміщений короткозамкнутий поршень. Електромагнітна хвиля, що надходить у лінію передачі, цілком відбиває від короткозамкнутого поршня. Змінюючи положення поршня, можна змінити фазу електромагнітної хвилі на вході короткозамкнутої лінії передачі.

Подвійний хвилевідний трійник

Подвійний хвилевідний трійник призначений для розподілу НВЧ потужності. Конструктивно він представляє чотирьохплечне хвилеводне розгалуження, вододіюче тією властивістю, що при порушенні кожного з чотирьох плечей моста енергія в одне з вихідних плечей не надходить, а енергія, що надійшла в кожне з двох вихідних плечей, що залишилися, дорівнює половині енергії, поданої на вхід.

Феритовий вентиль

Вентилем, або ізолятором, в техніці НВЧ називають пристрій, що володіє тією властивістю, що внесене їм загасання залежить від напрямку руху хвилі через вентиль. В залежності від робочого діапазону, конструкції і рівня потужності втрати у вентилі при поширенні хвилі в одному напрямку лежать у межах 0,1...1 дБ, а при поширенні в зворотному напрямку досягає 10...70 дБ.

Термісторна секція

Термісторна секція використовується для виміру НВЧ потужності і являє собою відрізок передавальної лінії, в один з кінців якої включений термістор. Під дією НВЧ потужності, що поглинається в термісторі, його опір зменшується. По ступені зменшення опору визначається рівень НВЧ потужності.

Додаток В
ПАСПОРТНІ ДАНІ ДОСЛІДЖУВАНИХ ПРИЛАДІВ

Відбивний клістрон типу К 54

1. Напруга накалу – 6,3 В.
2. Напруга на резисторі – 300 В.
3. Напруга на відбивачі – 50...400 В.
4. Струм накалу – 0,8...1,2 А.
5. Струм катода – 50 мА.
6. Струм відбивача - 10 мкА.
7. Вихідна потужність не більш 50 мВт.
8. Діапазон електронного перестройки частоти не більш 5 МГц

Лампа рухомої хвилі УВ1 - БШ

1. Напруга накалу – 2,4 В.
2. Напруга керуючого електрода – 10 В.
3. Напруга першого анода – 55 В.
4. Напруга другого анода – 345 В.
5. Напруга колектора – 450 В.
6. Струм накалу – 0,5 А.
7. Струм другого анода – 5 мкА.
8. Струм колектора – 300...500мкА.
9. Напруженість магнітного поля соленоїда – $4.4 \cdot 10^4$ А/м.

Лампа зворотньої хвилі типу ОВС – 5

1. Напруга накалу – 6,3 В
2. Напруга керуючого електрода – 300 В.
3. Напруга фокусууючого електрода – 0...8 В.
4. Струм накалу – 0,6 А.
5. Струм керуючого електрода – 25 мА.
6. Струм катода – 45 мА.
7. Вихідна потужність не більш 30 мВт
8. Робочий діапазон довжин хвиль – 3,1...3,3 см.

Багаторезонаторний магнетрон типу М857

1. Напруга накалу – 6,3 В.
2. Анодна напруга – 600 В.
3. Струм анода – 85 мА.
4. Вихідна потужність – 11,6 Вт.