

Зміст

1	Хвилі в хвильоводах	2
1.1	1. Вид закону дисперсії хвиль у хвильоводах. Які його асимптоти? .	2
1.2	2. Що таке $f_{кр}$, від чого вона залежить? Які умови поширення? . .	3
1.3	3. Що таке позамежний хвильовід? Що в ньому відбувається?	3
1.4	4. Типи хвиль у хвильоводах.	3
1.5	5. Які особливості ТЕМ-хвилі? У яких хвильоводах вона може поширюватися?	4
1.6	6. Структура полів основної моди в прямокутному хвильоводі. . . .	4
1.7	7. Структура полів основної моди в коаксіальному хвильоводі.	5
1.8	8. Діелектричні хвильоводи, їхні структури й області застосування. .	5
1.9	9. Смушкові хвильоводи, їхні структури й області застосування. . . .	6
1.10	10. Способи збудження хвиль у хвильоводах.	7
1.11	11. На чому заснована можливість схемного представлення хвильоводних елементів? Які необхідні умови потрібні для цього?	7
2	Резонатори	8
2.1	1. Що таке резонатор для НВЧ діапазону, які його особливості, чим він відрізняється від коливального контуру	8
2.2	2. Від чого залежить власна частота резонатора?	9
2.3	3. Чим відрізняється півхвильовий резонатор від чвертьхвильового, які умови резонансу?	10

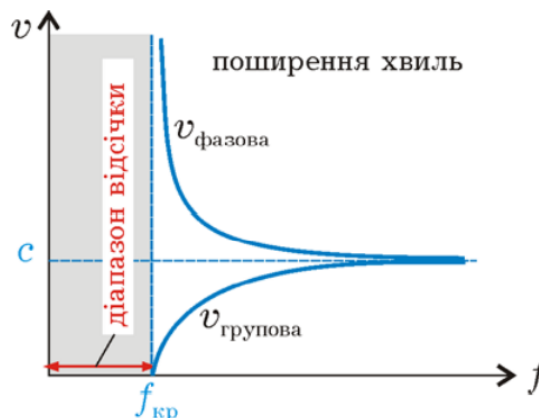
Розділ 1

Хвилі в хвилеводах

1.1 1. Вид закону дисперсії хвиль у хвилеводах. Які його асимптоти?

$$v_{\phi} = \frac{c}{\sqrt{\left(\frac{\lambda_{\text{кр}}}{\lambda}\right)^2}}$$

Співвідношення показує, що фазова швидкість залежить від частоти, і характеризує закон дисперсії для хвилеводу



Особливість даного закону пов'язана з тим, що дійсні значення фазової швидкості, а значить, і нормальне розповсюдження електромагнітних хвиль по хвилеводу можливе лише для області частот $f > f_{\text{кр}}$. Звідси зрозумілим стає фізичний зміст позначення $f_{\text{кр}}$: критична частота – це гранична частота, що поділяє діапазон нормального розповсюдження електромагнітних полів у вигляді хвиль і так званий діапазон відсічки $f < f_{\text{кр}}$.

Закон дисперсії визначає ще одну корисну залежність – групової швидкості від частоти: добуток групової і фазової швидкості дорівнює квадрату швидкості світла $v_{\phi} v_{\text{гр}} = c^2$.

Особливості поведінки електромагнітних полів у режимі відсічки. Якщо будемо намагатися збуджувати хвильовід на частоті, нижчій за критичну, то фазова швидкість, довжина хвилі, а значить, і хвильове число у хвилеводі повинні

бути уявними величинами. Тому хвильові множники в (5.2) приймають форму $e^{\pm|K|z}e^{i\omega t}$, яка показує, що складові поля у всіх точках хвилеводу коливаються синфазно у часі, а амплітуда коливань вздовж хвилеводу спадає експоненціально.

1.2 2. Що таке $f_{кр}$, від чого вона залежить? Які умови поширення?

Критична частота – це гранична частота, що поділяє діапазон нормального розповсюдження електромагнітних полів у вигляді хвиль і так званий діапазон відсічки $f < f_{кр}$.

1.3 3. Що таке поза межний хвилевід? Що в ньому відбувається?

Такою, в котрому волна может распространяться на частоте, меньшей за критическую. Волна распространяется в режиме отсечки ($f_{кр} = 0$). Параметры волны становятся мнимыми величинами

1.4 4. Типи хвиль у хвилеводах.

ТЕ-хвилі характеризуються відсутністю поздовжньої складової електричного поля ($E_z = 0$). Однією з особливостей таких хвиль є те, що відношення поперечних складових електричного й магнітного полів не залежить від координат. Це відношення називається хвильовим опором хвилеводу,

$$Z_0^{TE} = \left| \frac{E_x}{H_y} \right| = \left| \frac{E_y}{H_x} \right| = \frac{E_{\perp}}{H_{\perp}} = \frac{\omega \mu \mu_0}{K} = Z_c \frac{\Lambda}{\lambda} = Z_c / \sqrt{1 - (f_{кр}/f)^2}.$$

ТМ-хвилі характеризуються відсутністю поздовжньої складової магнітного поля ($H_z = 0$). Хвильовий опір хвилеводу для цих хвиль

$$Z_0^{TM} = \left| \frac{E_x}{H_y} \right| = \left| \frac{E_y}{H_x} \right| = \frac{E_{\perp}}{H_{\perp}} = \frac{K}{\omega \epsilon \epsilon_0} = Z_c \frac{\lambda}{\Lambda} = Z_c \sqrt{1 - (f_{кр}/f)^2}$$

ТЕМхвиля ($E_z = H_z = 0$), необхідною умовою існування є рівність $K = k$. Для таких хвиль характерна відсутність дисперсії ($v_{ф} = c$). K – поздовжнє хвильове число

1.5 5. Які особливості TEM-хвилі? У яких хвильоводах вона може поширюватися?

TEMхвиля ($E_z = H_z = 0$), необхідною умовою існування є рівність $K = k$. Для таких хвиль характерна відсутність дисперсії ($v_f = c$).

K – позадовжнє хвильове число

k – хвильове число

Хвилі TEM, розподіл поперечних полів для яких такий саме, як і статичних, за заданої конфігурації хвильоводу мають єдиний розв'язок рівнянь Лапласа і, отже, не мають різновидностей.

Основним типом хвилі для **коаксіального хвильоводу** є TEMхвиля, яка характеризується відсутністю дисперсії і як наслідок - рівністю фазової швидкості й швидкості світла для данного діелектричного середовища. Характер розподілу полів у поперечній площині для TEM-хвиль, що біжать, співпадає з розподілом статичних полів і знаходиться з рівняння Лапласа.

Смушкові лінії передачі та Мікросмушкові лінії Цей тип ліній передачі використовується в основному для поширення TEM-хвиль, для яких фазова швидкість дорівнює швидкості світла у вільному просторі з урахуванням діелектричного заповнення. Проте підвищення частоти вносить зміни у структуру поля, створюючи так звану квазі-TEM хвилю. Префікс «квазі» вказує на наявність позадовжніх складових полів, зростання яких з підвищенням частоти призводить до прояву дисперсії. Причина їх появи описана в розд. 2.3.3 і викликана скінченим опором смужки, який зростає за рахунок скін-ефекту. Інший фактор пов'язаний з перерозподілом енергії між діелектричним та повітряним середовищем і відповідною зміною ефективної діелектричної проникності.

1.6 6. Структура полів основної моди в прямокутному хвильоводі.

хвилі з різноманітними конфігураціями полів їх називають, модами.

Одномодовий режим, тобто на тих частотах, на яких у хвильоводі може розповсюджуватись лише одна мода.

Електричні силові лінії мають лише одну складову і з'єднують широкі стінки. Найбільше значення E_y має у центрі хвильоводу, а на бічних стінках зменшується до нуля. Магнітні силові лінії являють собою замкнені лінії, що лежать в площинах, паралельних широким стінкам. ?????????????????????

1.7 7. Структура полів основної моди в коаксіальному хвилеводі.

Коаксіальний хвилевід – найбільш розповсюджена лінія передачі. Використовуються як тверді, наповнені повітрям хвилеводи (фідери), так і гнучкі, з діелектричним заповненням (коаксіальні кабелі). НЕЕБУ Характер розподілу полів у поперечній площині для ТЕМ-хвиль, що біжать, співпадає з розподілом статичних полів і знаходиться з рівняння Лапласа.

1.8 8. Діелектричні хвилеводи, їхні структури й області застосування.

Альтернативною передавальною лінією у зазначеному діапазоні більш коротких (міліметрових, субміліметрових) довжин хвиль є діелектричний хвилевід. На відміну від металевих, в основу принципу дії в діелектричних хвилеводах покладено явище повного внутрішнього відбивання електромагнітної хвилі, яке спостерігається на межі поділу двох діелектриків (див. розд. 4.3.3.). Характерною особливістю повного внутрішнього відбивання є існування так званої поверхневої хвилі по той бік поверхні відбивання, яка створюється крайовими полями, котрі «провисають» через межу поділу. Амплітуда цієї хвилі спадає з віддаленням від межі, і тим сильніше, чим кут падіння більший за граничне значення (4.40).

Круглий діелектричний хвилевід

Плоский діелектричний хвилевід

Оптоволокно

1.9 9. Смушкові хвилеводи, їхні структури й області застосування.

Перевагами СЛП є:

- хороші масогабаритні параметри;
- технологічність;
- висока надійність, відтворюваність;
- можливість інтеграції елементів із зосередженими та розподіленими параметрами;
- створення на їх основі компактних пристроїв НВЧ тракту різного призначення.

Основними недоліками СЛП є низька максимальна потужність, втрати на випромінювання, що зростають із просуванням у міліметровий діапазон довжин хвиль.

Цей тип ліній передачі використовується в основному для поширення *ТЕМ*-хвиль, для яких фазова швидкість дорівнює швидкості світла у вільному просторі з урахуванням діелектричного заповнення. Проте підвищення частоти вносить зміни у структуру поля, створюючи так звану квазі-*ТЕМ* хвилю. Префікс «квазі» вказує на наявність поздовжніх складових полів, зростання яких з підвищенням частоти призводить до прояву дисперсії. Причина їх появи описана в розд. 2.3.3 і викликана скінченим опором смужки, який зростає за рахунок скін-ефекту. Інший фактор пов'язаний з перерозподілом енергії між діелектричним та повітряним середовищем і відповідною зміною ефективною діелектричною проникністю.

Мікросмушкові лінії

Розрізняють два типи мікросмушкових ліній: симетричні і несиметричні. Симетрична СЛП конструктивно складається з двох металевих площин, що розділені діелектриком зі вставкою металевої смужки.

У *несиметричних* мікросмушкових лініях (МСЛ) застосовують діелектричну підкладку з високим значенням ϵ_d ($\epsilon_d \geq 10$). У порівнянні з повітряним заповненням конструктивні елементи МСЛ мають зменшені у $\sqrt{\epsilon_d}$ разів розміри. МСЛ складається з двох провідників різної ширини, розділених шаром діелектрика. На відміну від симетричної смужкової лінії, МСЛ є більш відкритою направляючою системою, що може розглядатися як її недолік (вплив зовнішніх полів або взаємний вплив полів аналогічних структур). Однак, останнє покладено в основу принципу дії зв'язаних МСЛ, які використовуються для розробки пристроїв НВЧ різного призначення: спрямовані відгалужувачі, фільтри, лінії затримки, узгоджувальні елементи. Мікросмушкові схеми часто розміщують у екрануючому корпусі. На практиці істотного зниження електромагнітної енергії, що випромінюється з МСЛ, досягають п'ятиразовим (і більше) перевищенням ширини заземленого провідника a над відстанню між пластинами h .

Щілинна лінія

Копланарна лінія

У даний час запропоновано велику кількість типів напрямних ліній (у тому числі і смужкові), які крім виконання основного призначення, є гнучким інструментом конструювання елементів, функціональних вузлів, блоків НВЧ різного призначення. Смужкові напрямні системи застосовують у діапазоні 0,1 - 30 ГГц і навіть у міліметровому діапазоні довжин хвиль.

1.10 10. Способи збудження хвиль у хвилеводах.

Найпоширенішими є три способи збудження хвилі:

- штирем (електричний диполь): збуджується змінне електричне поле, яке в свою чергу породжує змінне магнітне поле;
- петлею зв'язку (магнітний диполь): збуджується змінне магнітне поле, яке у свою чергу породжує змінне електричне поле;
- отвором або щілиною (комбінований): збуджується змінне електричне або магнітне поле.

1.11 11. На чому заснована можливість схемного представлення хвилеводних елементів? Які необхідні умови потрібні для цього?

Розділ 2

Резонатори

2.1 1. Що таке резонатор для НВЧ діапазону, які його особливості, чим він відрізняється від коливального контуру

Резонатор є коливальною системою, в якій можливе існування власних коливань на певних частотах, званих резонансними. Резонансні властивості мають різні коливальні системи: натягнута струна, маятник, коливальний контур, пружна пластина, пружина і так далі. Резонансна частота коливальної системи залежить від її параметрів. Так для маятника - важка на нитці - частота власних коливань визначається масою важка і довжини нитки, а у разі коливального контура - номіналами його реактивних компонентів(ємності і індуктивності).

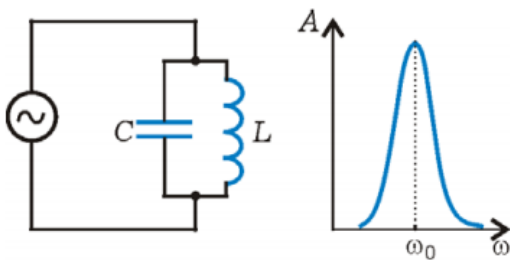


Рис. 6.1. Електронна коливальна система: паралельний коливальний контур

З метою просування в область НВЧ-діапазону - необхідно зменшувати ємність конденсатора і величину індуктивності котушки. Слід зазначити, що коливальний контур використовується на низьких частотах, за яких геометричні розміри коливальної системи істотно менші за довжину хвилі. Це пов'язано з тим, що, по-перше, виготовлення реактивних елементів, що характеризуються мінімальними значеннями зосереджених параметрів, зв'язане з рядом труднощів. По-друге, у НВЧ діапазоні геометричні розміри вказаної системи стають порівнянними з довжиною хвилі, що призводить до випромінювання накопичуваної енергії у навколишній простір і, значить, до втрати резонансних властивостей.

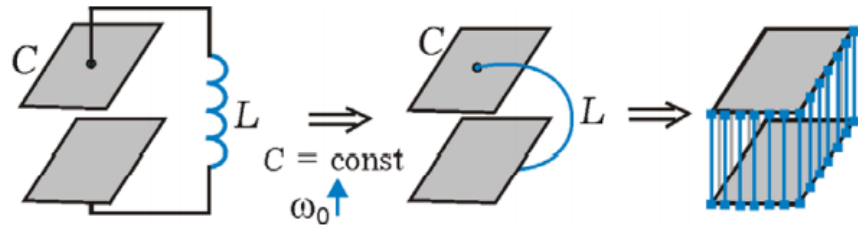


Рис. 6.2. Уявний експеримент побудови коливальної системи НВЧ діапазону

2.2 2. Від чого залежить власна частота резонатора?

$$\left(\frac{2\pi}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2 + \left(\frac{\pi l}{d}\right)^2 = \left(\frac{\omega_0}{c}\right)^2$$

для розрахунку власних частот резонатора

$$\omega_0 = c \sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2 + \left(\frac{\pi l}{d}\right)^2},$$

або у вигляді

$$f_0^{mnl} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{2}{\lambda_{\text{кр}}^{mn}}\right)^2 + \left(\frac{l}{d}\right)^2}. \quad (6.8)$$

Відзначимо важливу особливість отриманого результату. Коливальний контур, як коливальна система, що характеризується однією резонансною частотою, в області НВЧ діапазону модифікується у коливальну систему, що конструктивно представляє порожнистий резонатор, якій відповідає вже нескінченна множина резонансних частот, визначуваних довжиною резонатора і типом хвильової моди.

2.3 3. Чим відрізняється півхвильовий резонатор від чвертьхвильового, які умови резонансу?

Півхвильовий - електрична довжина резонатора має бути кратна числу півхвиль. У такому резонаторі існування резонансних мод практично визначається тільки просторовим набігом фази, яка має бути кратна довжині хвилі, що і забезпечується «півхвильовим» подовжнім розміром резонатора.

$$d = l \cdot \frac{\Lambda}{2}, \quad l = (0), 1, 2, \dots$$

Чвертьхвильовий - довжина резонатора має бути кратна непарному числу чвертей довжин хвиль. У такому резонаторі існування резонансних мод можливе, якщо фаза хвилі зберігається при повторному проходженні нею будь-якої точки з подовжньою координатою z .

$$d = \frac{\Lambda}{4} (2l + 1), \quad l = 0, 1, 2, \dots$$