

Затверджено
науково-методичною радою ЖДТУ
протокол від «19» листопада 2018 р. №6

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з навчальної дисципліни
**«ГІБРИДНІ ТА МОНОЛІТНІ ІНТЕГРАЛЬНІ ПРИСТРОЇ
МІКРОХВИЛЬОВОГО ДІАПАЗОНУ»**

для студентів освітнього рівня «магістр»
спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітньо-професійна програма «Телекомунікації та радіотехніка»

Розглянуто і рекомендовано
на засіданні кафедри
біомедичної інженерії та
телекомунікацій
протокол від «29» серпня 2018 р. № 1

Розробник: к.т.н., доцент Чухов В. В.

Житомир
2018 р.

Чухов В. В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Гібридні та монолітні інтегральні пристрої мікрохвильового діапазону» для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» – Житомир: ЖДТУ, 2018.– 18 с.

Зміст

Вступ.....	4
Лабораторна робота №1. НВЧ атенюатори.....	5
Лабораторна робота №2. Спрямовані відгалужувачі	13
Література.....	18

Вступ

Метою даних методичних вказівок є допомога студентам у експериментальному дослідженні основних електродинамічних параметрів і характеристик пристроїв мікрохвильового діапазону.

Для виконання лабораторного практикуму у лабораторії організовано робочі місця, кожне з яких розраховане на 3 – 5 студентів. На робочих місцях знаходяться хвилеводи та хвилеводні елементи та необхідні прилади для проведення вимірювань. Безпосередні вимірювання на робочих місцях та їх обробку виконують відповідно до цих методичних вказівок.

До початку лабораторної роботи кожен студент повинен ознайомитись з методичними вказівками даної лабораторної роботи та отримати допуск до її виконання, продемонструвавши викладачу чітке розуміння ходу виконання лабораторної роботи та здавши необхідний мінімум теоретичних знань за темою цієї роботи.

Перед підключенням вимірювальної схеми до електричної мережі підгрупи студентів на робочих місцях повинні продемонструвати викладачу зібрану схему, яку той повинен перевірити. Якщо схему зібрано правильно, то викладач дає дозвіл на її підключення до електричної мережі та власне проведення вимірювань.

Звіт з виконаної лабораторної роботи оформлюється кожним студентом окремо на папері формату А4, з дотриманням вимог оформлення такої документації. Вимоги щодо структури звіту наведено у прикінцевому розділі кожної лабораторної роботи. Після оформлення звіту він захищається студентом у встановленому порядку, після чого такий звіт здається на кафедру.

Лабораторна робота №1

Спрямовані відгалужувачі на хвилеводах

Мета роботи:

1. Практичне ознайомлення з видами, будовою та принципами роботи напрямлених відгалужувачів.
2. Вимірювання перехідного послаблення спрямованого відгалужувача.

1 Короткі теоретичні відомості

У техніці НВЧ *спрямованим відгалужувачем (СВ)* називають чотириплечий пристрій (восьмиполюсник), що здійснює передачу потужності з одного свого плеча (основний тракт) у два інших (основний та вторинний тракти). Четверте плече при цьому залишається не збудженим.

Залежно від ступеня зв'язку вторинного тракту з основним, розрізняють:

- спрямовані відгалужувачі зі слабким зв'язком, які відгалужують незначну частину потужності (такі відгалужувачі широко використовують у вимірювальній техніці);
- мости, які відгалужують рівно половину потужності, тобто ділять вхідну потужність навпіл;
- спрямовані відгалужувачі з повним зв'язком, які передають всю потужність в одне з плечей вторинного тракту.

Найчастіше зустрічаються восьмиполюсники, що мають горизонтальну та вертикальну площини симетрії (рисунок 1.1).

Оскільки його плечі фізично ідентичні, а сам пристрій взаємний, то виконуються такі співвідношення:

$$S_{11} = S_{22} = S_{33} = S_{44} = a ;$$

$$S_{12} = S_{21} = S_{34} = S_{43} = b ;$$

$$S_{13} = S_{31} = S_{24} = S_{42} = c ;$$

$$S_{14} = S_{41} = S_{23} = S_{32} = d .$$

Таким чином, матриця розсіяння симетричного взаємного восьмиполіусника містить чотири незалежних елемента:

$$(\dot{S}) = \begin{pmatrix} a & b & c & d \\ b & a & d & c \\ c & d & a & b \\ d & c & b & a \end{pmatrix} .$$

Якщо багатополіусник узгодити зі сторони одного з плечей, тобто за рахунок введення в конструкцію додаткових елементів, які не порушують симетрію пристрою, добитися рівності нулю коефіцієнта відбиття в одному з плечей (при під'єднанні до решти плечей узгоджених навантажень). то він виявиться узгодженим зі сторони інших плечей, при цьому $a = 0$.

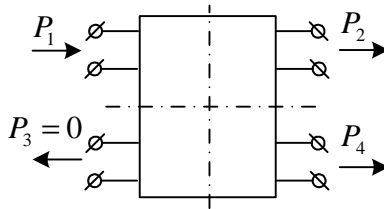


Рисунок 1.1 – Симетричний восьмиполіусник

Вважатимемо, що при збудженні зі сторони плеча 1 частина енергії надходить у плече 2. тоді щоб пристрій був спрямованим відгалужувачем, енергія не має надходити у плече 3 або у плече 4. у першому випадку $c = 0$ (співнаправлений відгалужувач, рисунок 1.2, а), у другому випадку – $d = 0$ (протиспрямований відгалужувач, рисунок 1.2, б).

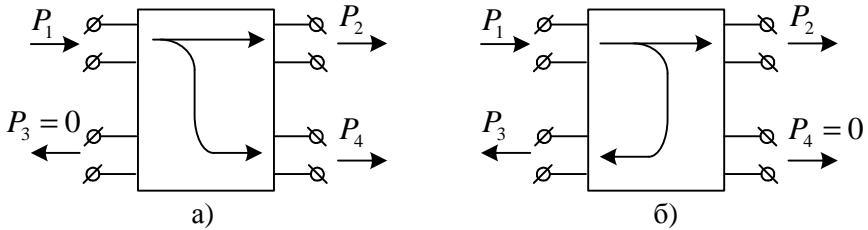


Рисунок 1.2 – Схеми співспрямованого (а) та протиспрямованого (б) відгалужувачів

Матриці розсіяння цих пристроїв такі:

$$(\dot{S}_c) = \begin{pmatrix} 0 & b & 0 & d \\ b & 0 & d & 0 \\ 0 & d & 0 & b \\ d & 0 & b & 0 \end{pmatrix}, (\dot{S}_n) = \begin{pmatrix} 0 & b & c & 0 \\ b & 0 & 0 & c \\ c & 0 & 0 & b \\ 0 & c & b & 0 \end{pmatrix}.$$

Якщо ж втрати у відгалужувачі відсутні, то його матриця розсіяння унітарна, що дає змогу записати $|b| = \sqrt{1 - |d|^2}$ чи $|b| = \sqrt{1 - |c|^2}$.

Підбираючи положення площин відліку, один з елементів матриці розсіяння, наприклад d чи c , можна зробити дійсними (щоб не порушити симетрію пристрою, площини відліку у всіх плечах потрібно перемішувати одночасно на однакові відстані, тобто у такий спосіб можна підібрати фазу лише одного елемента розсіяння матриці розсіяння). Враховуючи умову ортогональності для матриць (\dot{S}_c) і (\dot{S}_n) , отримаємо $b^*d + d^*b = 0$, $b^*c + c^*d = 0$ чи $\text{Re}(bd) = \text{Re}(bc) = 0$. Отже, за дійсних c і d елемент b має бути уявним. Тому матриці ідеальних спрямованих відгалужувачів такі:

$$(\dot{S}_c) = \begin{pmatrix} 0 & \pm i\sqrt{1-d^2} & 0 & d \\ \pm i\sqrt{1-d^2} & 0 & d & 0 \\ 0 & d & 0 & \pm i\sqrt{1-d^2} \\ d & 0 & \pm i\sqrt{1-d^2} & 0 \end{pmatrix},$$

$$(\dot{S}_n) = \begin{pmatrix} 0 & \pm i\sqrt{1-c^2} & c & d \\ \pm i\sqrt{1-c^2} & 0 & 0 & c \\ c & 0 & 0 & \pm i\sqrt{1-c^2} \\ 0 & c & \pm i\sqrt{1-c^2} & 0 \end{pmatrix},$$

де d, c – дійсні числа. Отже, сигнали у „вихідних” плечах відгалужувача зсунуто по фазі на 90° .

Реальні спрямовані відгалужувачі мають матриці розсіювання, які у певному частотному діапазоні наближаються до ідеальних. Їх характеризують такими основними параметрами (визначення наведено для спів напрямленого відгалужувача):

– перехідне послаблення, є відношенням потужності, що надходить у відгалужувач до відгалуженої потужності

$$C = 10 \lg \frac{P_1}{P_4} = -20 \lg |d|;$$

– спрямованість, є відношенням відгалужуваних потужностей: у задане плече і у протилежне до нього плече вторинного тракту

$$D = 10 \lg \frac{P_4}{P_3} = -20 \lg \left| \frac{\dot{S}_{41}}{\dot{S}_{31}} \right|;$$

– робоче затухання

$$L = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} = -20 \lg(1 - |d|^2);$$

– КСХ

$$K_{cm} = \frac{1 + |\dot{S}_{11}|}{1 - |\dot{S}_{11}|}.$$

У робочому діапазоні частот вказані параметри мають значення не гірші заданих.

2 Лабораторна установка

Лабораторна установка складається з панорамного вимірювача КСХН, досліджуваного відгалужувача, атенюатора, детекторної секції, індикатора, з'єднувальних хвилеводів та кабелів.

3 Хід виконання роботи

3.1 Ознайомтесь з лабораторною установкою №1 та підготуйте її до роботи.

3.2 Виміряйте перехідне послаблення напрямленого відгалужувача на фіксованій частоті. Порядок вимірювань наступний.

3.2.1 Складіть схему, зображену на рисунку 1.3.

3.2.2 Виставте на генераторі задану частоту, на атенюаторі – нульове послаблення.

3.2.3 Встановіть стрілку індикаторного приладу на $\frac{1}{2}$ – $\frac{2}{3}$ шкали, запам'ятайте це значення.

3.2.4 Перенесіть детекторну секцію на вихід атенюатора, а на її місце – узгоджене навантаження. Регулюючи затухання атенюатора, добийтеся тих самих показів індикатора, що і в п. 3.2.3.

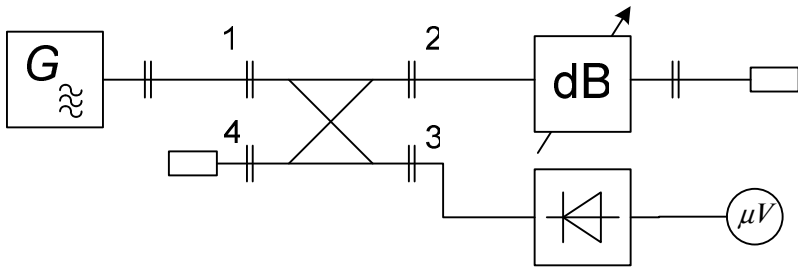


Рисунок 1.3 – Схема №1 для вимірювання перехідного послаблення відгалужувача

Оскільки ці покази індикатора отримують в результаті послаблення хвилі як відгалужувачем, так і атенуатором, то затухання, створюване обома елементами, є однаковим. Тому послаблення атенуатора в цьому випадку дорівнює перехідному послабленню відгалужувача.

3.3 Повторіть п.3.2. для інших частот, заданих викладачем.

3.4 Виміряйте перехідне послаблення цього ж відгалужувача на тих самих частотах за допомогою панорамного вимірювача КСХН. Порядок вимірювань такий.

3.4.1 Відкалібруйте прилад для вимірювання послаблення у смузі частот.

3.4.2 Складіть схему, зображену на рисунку 1.4, де досліджуваним об'єктом є відгалужувач, який включіть так, як показано на рисунку 1.5.



ГХЧ – генератор хитної частоти; ДС₁ – детектор спрямований падаючої хвилі; ДС₂ – детектор спрямований відбитої хвилі

Рисунок 1.4 – Схема №2 для вимірювання перехідного послаблення відгалужувача

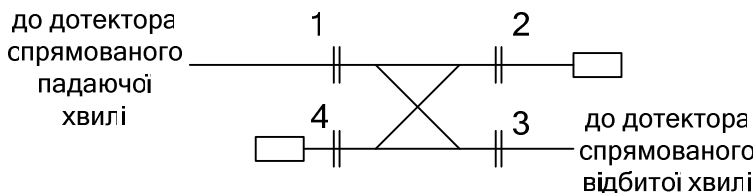


Рисунок 1.5 – Схема підключення відгалужувача до панорамного вимірювача

3.4.3 Виміряйте послаблення на цій частоті.

3.4.4 Повторіть пп. 3.4.1 – 3.4.3 для інших заданих частот.

4 Вимоги до звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

1. Назву, мету та коротке описання ходу виконання роботи.
- Перелік використаних приладів.
2. Результати вимірювань (у табличній та графічній формах) по пп. 3.2 – 3.4.

3. Оцінку похибок результатів, отриманих в п. 3.4 (у табличній та графічній формах).

4. Висновки, у т.ч. порівняння результатів, отриманих в пп. 3.2 – 3.4.

5 Контрольні запитання

1. Що таке СВ? Які види СВ ви знаєте

2. Яка структура матриці розсіяння ідеального СВ?

3. Дайте визначення параметрів СВ: перехідне послаблення, спрямованість, КСХ.

4. Поясніть принцип роботи СВ з зосередженим зв'язком. Які його переваги та недоліки?

5. Поясніть принцип роботи СВ з розподіленим зв'язком. Які його переваги та недоліки?

6. Як за допомогою СВ можна вимірювати КСХ довільного об'єкта?

7. Пояснити різницю між співнапрямленим та протинапрямленим відгалужувачем.

8. Наведіть приклади та поясніть принципи роботи таких відгалужувачів

9. Поясніть методику вимірювання перехідного послаблення СВ, використану у роботі.

10. Чи доцільно для вимірювання КСХ СВ використовувати панорамний вимірювач КСХ?

Лабораторна робота №2

НВЧ атенюатори

Мета роботи:

1. Ознайомлення з видами та будовою механічних НВЧ атенюаторів.
2. Практичне ознайомлення з принципами градування атенюаторів.

1 Короткі теоретичні відомості

Атенюатори – чотириполюсники, що забезпечують плавну чи дискретну зміну внесеного послаблення від мінімального значення A_{\min} до максимального A_{\max} .

Матриця розсіяння ідеального атенюатора має вигляд

$$S = \begin{pmatrix} 0 & e^{-L-i\varphi} \\ e^{-L-i\varphi} & 0 \end{pmatrix},$$

де $L = 10^{A/20}$, φ – зсув фази хвилі в атенюаторі. Значення внесеного послаблення визначається як $A = 10 \lg(P_{\text{ex}}/P_{\text{вих}})$, де P_{ex} , $P_{\text{вих}}$ – потужності хвилі на вході та виході атенюатора.

Рівність нулю діагональних елементів матриці розсіяння означає, що атенюатор має бути узгоджено у кожному плечі. При конструюванні реальних атенюаторів вимагається, щоб затухання у робочій смузі залишалось постійним, коефіцієнти відбиття у плечах не перевищували заданих значень, а зсув фази φ був пропорційний до частоти (бездисперсійний атенюатор). Часто потрібно плавно регулювати затухання – це змінний атенюатор. У цьому випадку зсув фази має якомога менше залежати від послаблення.

Принцип дії більшості атенюаторів базується на введенні у відрізок лінії передачі поглинаючих тіл (рисунок 2.1, а).

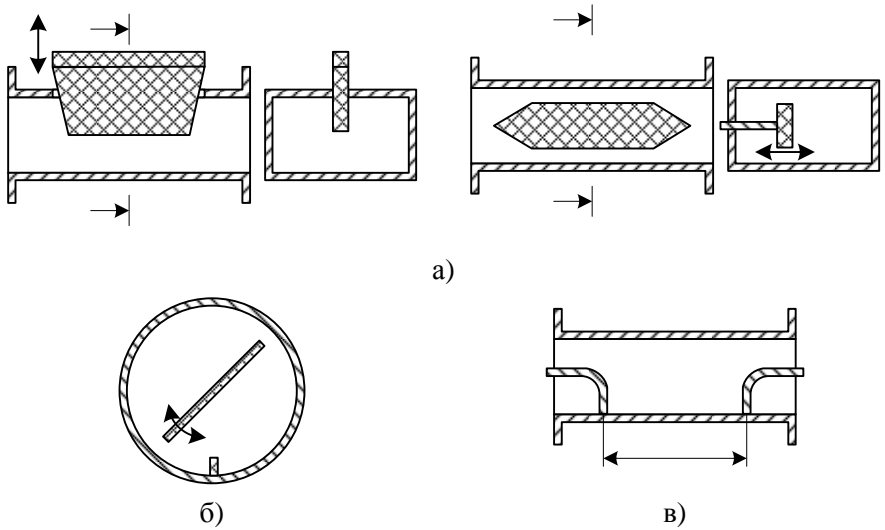


Рисунок 2.1 – Атенюатори: а – з рухомих поглинаючим тілом, б – поляризаційний, в – позамежний

Переміщення цих вкладок з області слабого електричного поля в область сильного дозволяє змінити затухання. Однак при цьому сильно змінюється зсув фази. Використовують також поляризаційні атенюатори (рисунок 2.1, б), у яких поглинаючу пластину розташовано у круглому хвилеводі. Її обертають відносно площини поляризації хвилі H_{11} , фіксацію положення якої здійснюють ребром до стінки хвилеводу.

Для створення змінних атенюаторів також широко використовують явище експоненційного затухання хвилі у позамежному хвилеводі. Основу такого позамежного атенюатора становить відрізок позамежної лінії передачі регульованої довжини (рисунок 2.1, в).

На рисунку 2.2 показано схеми коаксіальних атенюаторів на базі відрізка круглого хвилеводу змінної довжини та малого діаметра, у якому хвилі всіх типів є не поширюваними.

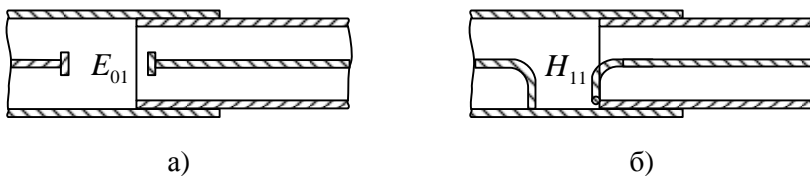


Рисунок 2.2 – Поза межні коаксіальні атенуатори

У схемі рисунка 2.2, а у поза межному круглому хвилеводі збуджується хвиля E_{01} за допомогою ємнісного зонду, а у схемі рисунка 2.2, б – хвиля типу H_{11} за допомогою петлі зв'язку. Послаблені коливання цих хвиль приймаються на другому кінці круглого хвилеводу ємнісним зондом чи петлею зв'язку, що з'єднані з коаксіальним хвилеводом. Оскільки послаблення атенуаторів на поза межних хвилеводах прямо пропорційне до довжини відрізка поза межного хвилеводу, тому його можна змінювати у широких межах.

Поза межні коаксіальні атенуатори неузгоджені, адже послаблення у них обумовлено відбиттям від входів. Перевагами таких атенуаторів є відсутність потреби у калібруванні, оскільки стала затухання у поза межному хвилеводі розраховується аналітично, а недоліком – відсутність узгодження зі сторони обох плечей. Для узгодження цих входів у схеми поза межних атенуаторів вводять поглинаючі елементи, зокрема резистори.

2 Лабораторна установка

До складу лабораторної установки входять: панорамний вимірник КСХН і послаблення; НВЧ-атенуатори; допоміжні пристрої.

3 Хід виконання роботи

3.1 Підготуйте панорамний вимірник КСХН до роботи у смузі його робочих частот.

3.2 Встановіть на шкалу досліджуваного атенюатора шаблон шкали.

3.3 Складіть НВЧ тракт панорамного вимірювача для вимірювання послаблення та підключіть до нього досліджуваний атенюатор.

3.4 Відкалібруйте досліджуваний атенюатор на першій із заданих частот, встановлюючи ним послідовні значення послаблень та наносячи риси на шаблон шкали, з вказівкою відповідного значення послаблення.

3.5 Повторіть калібрування атенюатора для решти заданих частот. Для кожної частоти використовуйте новий шаблон шкали.

Примітка: 1) частоти, на яких здійснюватиметься калібрування, задає викладач;

2) крок зміни послаблення обирайте, беручи за основу шкали серійних атенюаторів.

4 Оцінка похибок вимірювань

Оцінити похибку усередненої градуовальної характеристики (див. п. 5).

5 Розрахункове завдання

Використовуючи результати, отримані при виконанні п. 3.4, 3.5 побудуйте усереднену градуовальну характеристику досліджуваного у лабораторній роботі атенюатора.

6 Вимоги до звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

1. Коротке описання мети і методики проведення роботи.
2. Перелік використаних приладів.
3. Результати вимірювань за п. 3.4, 3.5.
4. Оцінка похибок вимірювань.
5. Розрахункове завдання.

6. Висновки.

7 Контрольні запитання

1. Що таке атенюатор?
2. Яка матриця розсіювання у ідеального атенюатора?
3. Який фізичний зміст такої матриці?
4. Дайте визначення внесеного послаблення.
5. Які вимоги до матриці розсіювання реальних атенюаторів?
6. Опишіть будову та принцип роботи атенюатора з рухомим поглинаючим тілом.
 7. Для чого потрібні скоси на краях поглинаючої вставки у такого атенюатора?
 8. Опишіть будову та принцип роботи поляризаційного атенюатора.
 9. Опишіть будову та принцип роботи позамежного атенюатора.
 10. Які переваги та недоліки таких атенюаторів?

Основна література

1. Нарытник Т. Н., Бабак В. П., Ильченко М. Е., Кравчук С. А. Микроволновые технологии в телекоммуникационных системах. – К.: Техніка, 2000. – 304 с.
2. Микроэлектронные устройства СВЧ / Н. Т. Бова, Ю. Г. Ефремов, В. В. Конин и др. – К.: Техніка, 1984. – 184 с.
3. Микроэлектронные устройства СВЧ: Учеб. пособие для радиотехнических специальностей вузов / Г. И. Веселов, Е. Н. Егоров, Ю. Н. Алехин и др.; Под ред. Г. И. Веселова – М.: Высш. шк., 1988. – 280 с.
4. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи / Л. Г. Гассанов, А. А. Липатов, В. В. Марков, Н. А. Могильченко – М.: Радио и связь, 1988. – 288 с.
5. Информационные технологии в радиотехнических системах: Учеб. Пособие. – 2-е изд., перераб и доп. / В. А. Васин, И. Б. Власов, Ю. М. Егоров и др.; Под ред И. Б. Федорова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 768 с.
6. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ. – М.: Высшая школа, 1988. – 432с.

Допоміжна література

1. Захарія Й. А. Методи прикладної електродинаміки. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 352 с.
2. Кочержевский Г. Н. Антенно-фидерные устройства. – М.: Радио и связь, 1981. – 280 с.

