

ПРИЛАДИ

УДК 621.371

Р.В. Антипенко, к.т.н., доц.

Г.О. Мірських, к.т.н., доц.

О.І. Рибін, д.т.н., проф.

Національний технічний університет України «КПІ»

ВІДГАЛУЖУВАЧІ-З'ЄДНУВАЧІ НА КООКСІАЛЬНИХ ЛІНІЯХ ПЕРЕДАЧІ

Наведено конструкції та результати дослідження, запропоновано методіку проектування направлених відгалужувачів на основі напівжорстких коаксіальних ліній передачі, що випускаються серійно. Відгалужувачі пристосовані для одночасного вирішення завдань відгалужування енергії і з'єднання окремих НВЧ вузлів апаратури.

Вступ. Відгалуження частини потужності НВЧ сигналу із тракту його передачі (з метою паралельного оброблення, контролю та ін.) є одним із найбільш поширених завдань, які необхідно вирішувати в процесі проектування радіотехнічних систем різноманітного призначення. Зазвичай, це завдання вирішується за допомогою направлених відгалужувачів (НВ). Різноманітність завдань та конструкцій радіоелектронної апаратури породжує різноманітність конструкцій НВ. Дана стаття присвячена дослідженню кількох конструкцій відгалужувачів на зв'язаних коаксіальних лініях (КЛ).

Аналіз основних досліджень та публікацій. Конструкцій НВ існує велика кількість, а методи їх розрахунку добре відомі [1, 2]. Залежно від діапазону частот, необхідних характеристик, конструктивних вимог НВ можуть реалізовуватися на різних типах ліній передачі: мікросмушкових, коаксіальних, хвилеводних та ін.

Компанії-виробники надають можливість придбати НВ у вигляді вже готових конструкцій та інтегральних схем [3]. Хоча, необхідно сказати, що готові відгалужувачі не завжди мають прийнятні характеристики та не завжди відповідають конструктивним вимогам конкретної радіоелектронної системи. Тому, завдання індивідуального проектування НВ, розробка нових ефективних методів розрахунку є ще достатньо актуальним.

Існує один клас НВ, якому не приділили достатньо уваги розробники НВЧ систем. В умовах реального виробництва досить часто виникає завдання внести термінові зміни в готову, закінчену конструкцію радіоелектронної системи, додавши НВ, наприклад, для моніторингу вихідного сигналу однієї із підсистем.

Отже, в такій ситуації необхідна технологічна конструкція НВ, що може бути швидко виготовлена та просто інтегрована в конструкцію практично будь-якого радіоелектронного пристрою. Розрахунки таких НВ повинні бути максимально простими та мати достатню точність. Також, одним із вирішальних є критерій вартості конструкції, що повинна бути мінімальна в заданих умовах застосування НВ.

У даній публікації розглянута задача відгалуження потужності в НВЧ тракті, що містить різні вузли, з'єднані між собою напівжорсткими коаксіальними лініями (КЛ) передачі, що випускаються серійно [4]. В цьому випадку пропонується інтегрувати НВ у вказані лінії шляхом їх відповідного оброблення та з'єднання. Такі НВ не вимагають додаткових елементів для включення в тракт НВЧ, вирізняються високою технологічністю та стійкістю до дій зовнішніх дестабілізуючих факторів (температура, вологість, вібрація та ін.), а також вимагають мінімальних витрат для вирішення завдань відгалуження НВЧ енергії.

Враховуючи споживчі властивості запропонованих НВ, їх доцільно називати відгалужувачами-з'єднувачами (ВЗ), що найбільш точно відображає їх функціональне призначення, роль та місце в загальній класифікації НВ.

Викладення основного матеріалу. Для проведення досліджень використана напівжорстка КЛ РК50-2-25. Діаметр внутрішнього провідника лінії становить 0,68 мм, внутрішній діаметр зовнішнього провідника – 2,2 мм, зовнішній діаметр – 2,7 мм. Внутрішні та зовнішні провідники КЛ виготовлені з міді, а діелектричне заповнення – із фторопласту. Згідно із технічними умовами, така КЛ може буди зігнута із мінімальним радіусом, що дорівнює 5 мм.

Вибір саме такої КЛ не є принциповим для вирішення завдання створення НВ, а обумовлений технологічними можливостями та завданням досягнення необхідних характеристик в заданій смузі частот.

Для реалізації НВ два відрізки КЛ необхідно відповідним чином зігнути (два варіанти форми згину наведено на рисунку 1), обробити в області згину та з'єднати один з одним. Поперечний переріз НВ в місці оброблення КЛ показано на рисунку 2.

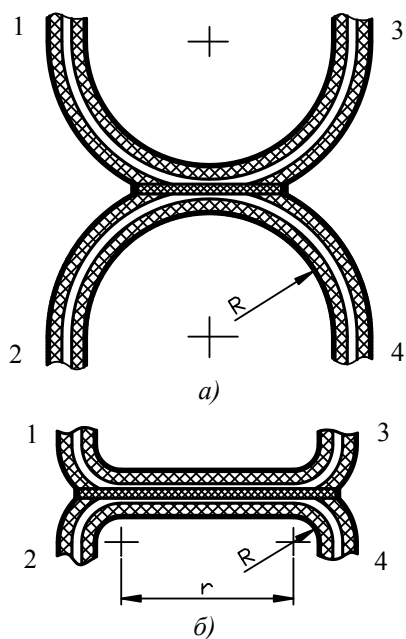


Рис. 1. Можливі варіанти конструкцій НВ

З'єднання елементів НВ можна виконати, наприклад, за допомогою паяння. За необхідності, для зменшення зв'язку між лініями, в області згину можливо встановлення додаткової діелектричної прокладки (рис. 2, а). Оброблена область згину і є областю зв'язку, що формує ВЗ.

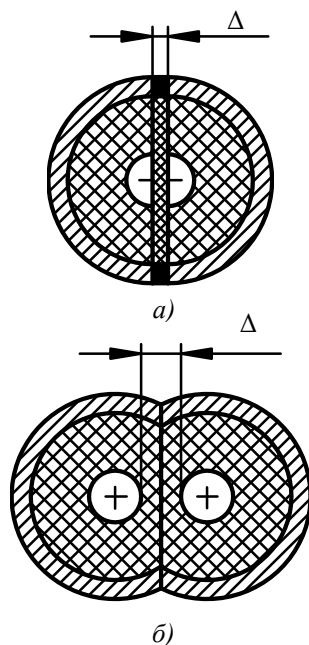


Рис. 2. Поперечний переріз НВ в області зв'язку:
 а – напівкруглі провідники з додатковою діелектричною вставкою;
 б – круглі провідники

Методами чисельного моделювання проведено теоретичні дослідження запропонованих структур. Отримано частотні залежності елементів матриці розсіювання структури [S]. На рисунках 3 та 4 показані частотно залежності, що отримані кусково-лінійною апроксимацією результатів чисельного моделювання НВ в окремих точках діапазону.

На рисунку 3 показано частотні залежності елементів матриці [S] ВЗ з круглими провідниками (рис. 2, б) при різних значеннях відстані між ними Δ .

На рисунку 4 надано частотні залежності елементів $[S]$ для ВЗ з напівкруглими внутрішніми провідниками (рис. 2, а) при різних значеннях відстані між ними Δ . Причому, рисунку 4, а-в відповідають конструкції НВ показані на рисунку 1, а та 4, з-е відповідають конструкції рисунка 1, б.

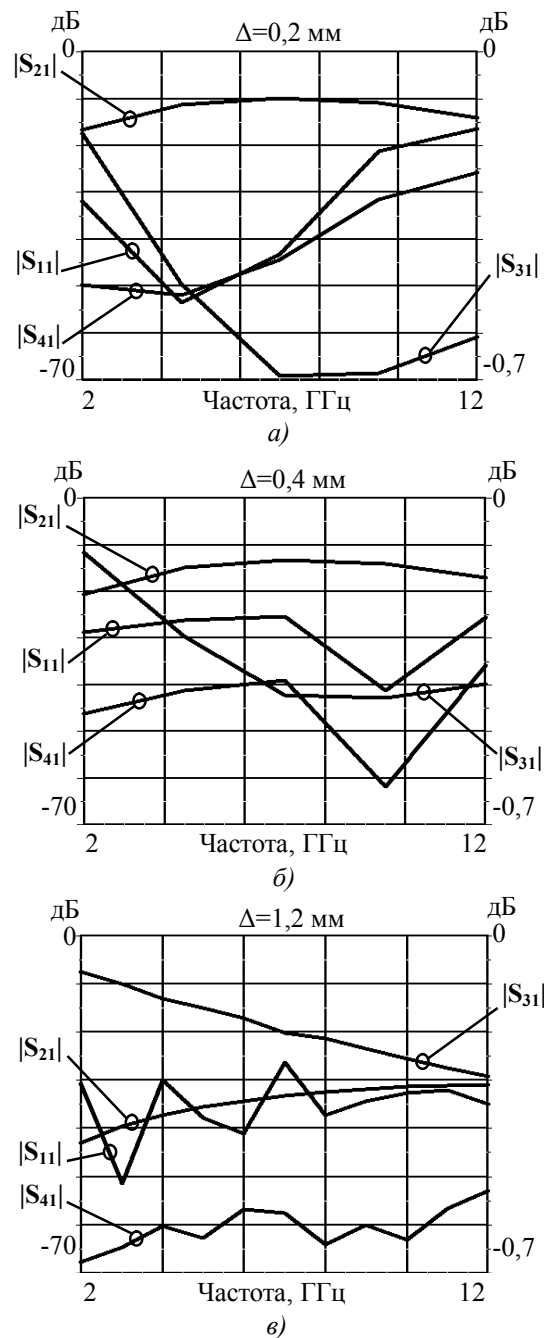


Рис. 3. Частотні залежності елементів матриці $[S]$ структури з напівкруглими внутрішніми провідниками для різних значень відстані між ними Δ (радіус вигину $KLR = 24,65$ мм)

Як відомо [1, 2], основними етапами проектування НВ є вибір типу ліній передачі, конфігурації та розрахунок геометричних розмірів області зв'язку ліній передачі. Проведені дослідження та розроблена із врахуванням конструктивних особливостей застосованих ліній передачі (РК50-2-25) технологія виготовлення запропонованих ВЗ дозволили сформулювати базові положення відносно вибору конфігурації області зв'язку:

- область, що показана на рисунку 2, а, краще використовувати при проектуванні НВ з перехідним затуханням C_0 від 3 до 10 дБ, а область рисунку 2, б бажано використовувати за умови $C_0 \geq 10$ дБ;
- якщо конфігурація КЛ відповідає рисунку 1, а, то технологічно важко реалізувати НВ із середньою

частотою робочого діапазону f_0 менше 6 ГГц;

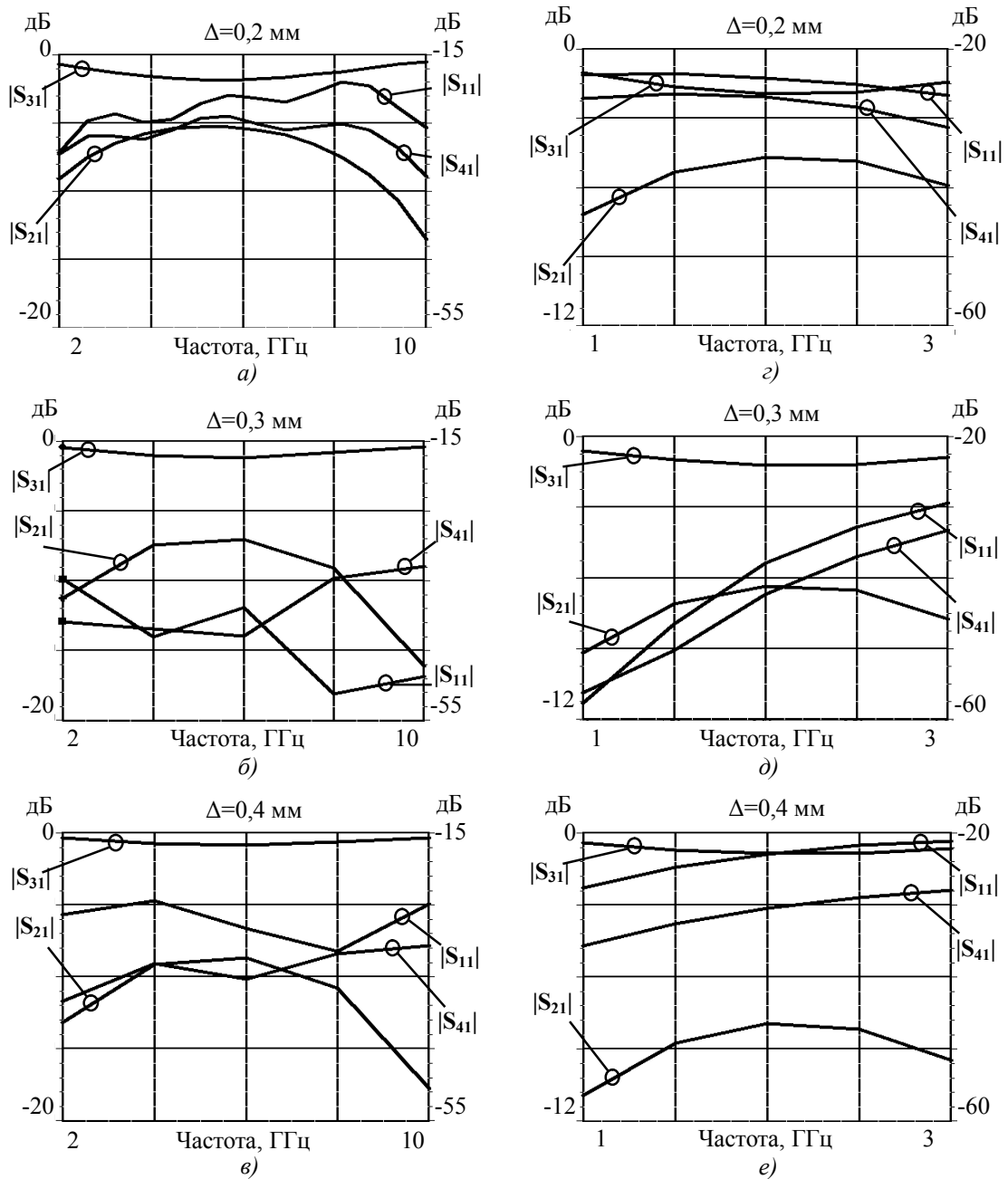


Рис. 4. Частотні залежності елементів матриці $[S]$ структури з напівкруглими внутрішніми провідниками для різних значень відстані між ними Δ

(а, б, в – вигин КЛ відповідає рис. 1, а;

г, д, е – вигин КЛ відповідає рис. 1, б)

- якщо конфігурація КЛ відповідає рисунку 1, б, то технологічно просто реалізувати НВ з f_0 починаючи з 3 ГГц. Верхнє значення f_0 обмежується перетворенням із конструкції, показаної на рисунку 1, в конструкцію, показану на рисунку 1, а ($r = 0$).

Доцільно звернути увагу на послідовність операцій та технологічні особливості виготовлення запропонованих ВЗ:

- 1) вигин та фрезерування КЛ відповідно до обраної форми області зв'язку (рис. 1, 2);
- 2) встановлення прокладки в області зв'язку (за необхідності);
- 3) накладання на область зв'язку обплетення з луженого дроту або стрічки;
- 4) паяння області зв'язку.

Розрахунок області зв'язку може бути проведений безпосередньо методами параметричного синтезу на основі чисельного моделювання електродинамічної структури НВ. Проте складність області зв'язку, з точки зору електродинаміки (малі зазори між провідниками), призводить до значних апаратних затрат та часу на розрахунок. В той же час, проведені дослідження показали, що чутливість елементів матриці розсіювання $[S]$ до зміни геометричних розмірів області зв'язку, при дотриманні розробленої технології виготовлення, невелика. Це дозволило запропонувати графоаналітичну методику проектування НВ, що може з успіхом використовуватися, якщо в процесі проектування задаватися такими параметрами, як перехідне затухання C_0 та діапазон робочих частот Δf , залишаючи поза увагою інші параметри – КСХН та направленість.

Виходячи з таких припущень отримані залежності перехідного затухання C_0 від величини зазора Δ для різної конфігурації поперечного перерізу провідників КЛ в області зв'язку. Ці залежності наведено на рисунку 5.

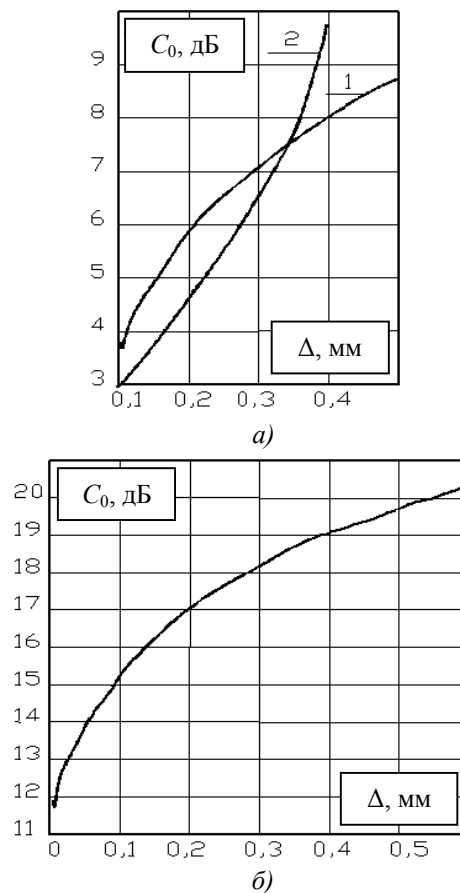


Рис. 5. Залежність перехідного затухання $|S_{21}|$ від величини зазора Δ :
 а – напівкруглі провідники, що використовуються в діапазоні більше (крива 1)
 або менше (крива 2) 6 ГГц; б – круглі провідники в області зв'язку

Можна рекомендувати таку послідовність проектування ВЗ:

1) вибрати конфігурацію поперечного перетину НВ в області зв'язку та конфігурацію вигину КЛ, опираючись на наведені вище положення та досягнутий (в конкретних умовах) рівень технології виготовлення таких відгалужувачів;

2) виходячи із середньої довжини хвилі робочого діапазону λ_0 та вибраної конфігурації, необхідно розрахувати геометричні характеристики НВ R та r (рис. 1), при цьому:

- якщо поперечний переріз області зв'язку відповідає рисунку 2, а, то при вигині КЛ відповідно до рисунка 1, а – $\lambda_0 = 9,33\sqrt{R+1,52}$, мм, а при формі вигину КЛ згідно із рисунком 1, б – $\lambda_0 = 5,66r + 9,33\sqrt{R+1,52}$, мм. Співвідношення для λ_0 отримані із рішення відповідної геометричної задачі із врахуванням геометричних розмірів та характеристик КЛ РК50-2-25;

- якщо поперечний переріз області зв'язку відповідає рисунку 2, б, то при фіксованому значенні $R = 5$

мм до значень перехідного затухання $C_0 \approx 20$ дБ можна прийняти $\lambda_0 = 5,66 r$, мм;

3) за заданим перехідним згасанням C_0 необхідно розрахувати зазор Δ між провідниками в області зв'язку, використовуючи відповідні графіки (рис. 5). Залежності отримані за результатами теоретичних та експериментальних досліджень.

Висновки. Відповідно до наведених рекомендацій з розрахунку та виготовлення НВ було спроектовано та виготовлено ряд відгалужувачів із різними параметрами. Отримані характеристики наведено в таблиці 1.

Дослідження показали, що запропонована методика забезпечує задовільну точність проектування відгалужувачів даного класу і може бути рекомендована для широкого застосування.

Таблиця 1

Характеристики відгалужувачів

Δf , ГГц	2...4	2...4	3...6	3...6	4...8	9...18
C_0 на частоті f_0 , дБ	3,5±0,3	10±1	3±0,3	13±1,3	6±1	3,5±0,6
Розв'язка, дБ	≥ 17	≥ 22	≥ 20	≥ 28	≥ 16	≥ 12
КСХН	≤ 1,4	≤ 1,4	≤ 1,6	≤ 1,6	≤ 1,6	≤ 1,7

ЛІТЕРАТУРА:

1. Маттей Д.Л. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т. 1 : пер. с англ. / Д.Л. Маттей, Л.Янг, Е.М.Т. Джонс. – М. : Связь, 1971.
2. Маттей Д.Л. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т. 2 : пер. с англ. / Д.Л. Маттей, Л.Янг, Е.М.Т. Джонс. – М. : Связь, 1972.
3. IF/RF&MICROWAVE components guide. Mini-Circuits. Edition 2010.
4. Microwave cables and assemblies. General catalogue//Huber+Suhner AG, Edition 2007. – Pp. 17–42.

АНТИПЕНКО Руслан Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіоприймання та оброблення сигналів радіотехнічного факультету Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- антени та пристрої НВЧ;
- методи цифрового оброблення сигналів.

Тел.: (044)406–85–78.

E-mail: r_anti@ukr.net

МІРСЬКИХ Георгій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіоприймання та оброблення сигналів радіотехнічного факультету Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- антени та пристрої НВЧ.

Тел.: (044)454–90–40.

E-mail: mirskih@i.ua

РИБІН Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор кафедри радіоприймання та оброблення сигналів, декан радіотехнічного факультету Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- антени та пристрої НВЧ;
- методи цифрового оброблення зображень, розпізнавання образів.

Тел.: (044)454–96–77.

E-mail: rybin@rtf.kpi.ua

Подано 04.08.2011

