

ФАЗООБЕРТАЧ ПРОХІДНОГО ТИПУ НА П-ПОДІБНОМУ ХВИЛЕВОДІ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»;

Анотація

Запропоновано модель прохідного фазообертача із р-і-п діодами та планерних петлях зв'язку на хвилеводах П-подібної форми. Розглянуті еквівалентні схеми такого фазообертача.

Ключові слова: фазозсувач, хвилевід, р-і-п діод, фазозсувача комірка, фазована антенна решітка.

Abstract

A model of a through-phase shifter with p-i-n diodes and gliding communication loops on U-shaped waveguides is proposed. Equivalent schemes of such a phase shifter are considered.

Keywords: phaseshifter, waveguide, p-i-n diode, retarders cell, phased array antenna.

Вступ

У фазованих антенних решітках (ФАР) радіолокаційних станцій використовуються хвилевідні фазозсувачі на р-і-п діодах [1-3]. Важливою перевагою таких решіток є можливість швидкого огляду простору за рахунок електричного сканування [4-6]. Такі решітки створюють набір дискретних фазових зсувів по всьому розкритву та значну швидкість зміни цих зсувів при порівняно невеликих втратах у потужності [7-10]. Сьогодні тривають потужні розробки у напрямку подальшого розвитку теорії та техніки ФАР та розширення області їх використання [11-15]. Актуальним є використання фазообертачів в якості керованих пристроїв ФАР [16-18]. Існує задача зменшення поперечних розмірів хвилевідних фазозсувачів та збільшення кількості дискретів фаз, оскільки це спричиняє зменшенню антенної решітки. Це можна вирішити конструктивним чином за рахунок використання П-подібного хвилеводу.

Метою роботи є створення моделі П-подібного хвилеводу та аналіз його характеристик за рахунок відбитої потужності від входу фазообертача.

Результати дослідження

Конструктивно хвилевідний фазозсувач прохідного типу є відрізок П-подібного хвилеводу, всередині якого міститься ряд реактивних елементів у вигляді р-і-п діодів із планарною петлею зв'язку (рис. 1).

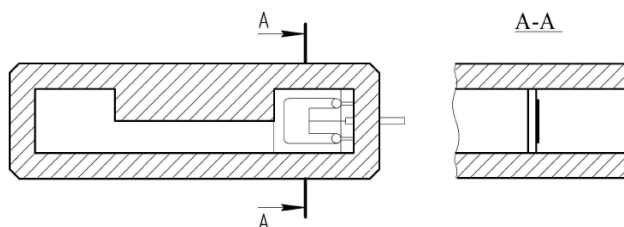


Рис. 1. Симетричний реактивний елемент прохідного типу

Базовим елементом прохідного фазообертача є елементарна фазозсувача комірка, що являє собою дві реактивності розділені відрізком лінії передачі. Кожна реактивність може приймати два значення залежно від полярності напруги, що прикладена до р-і-п діода. Звичайно елементарні фазозсувачі

комірки використовуються для одержання фзових зсувів до 45°. Щоб отримати великі фзові зсуви, наприклад 90° або 180°, необхідні великі реактивності, але у результаті смуга пропускання різко звужується через збільшення коефіцієнта відбиття та зниження точності встановлення фази. Таким чином, для отримання великих фзових зсувів використовують метод каскадного з'єднання декількох елементарних комірок.

На рис. 2 подані еквівалентні схеми реактивного елементу із несиметричною, симетричною однобічною та двобічною планарними петлями зв'язку.

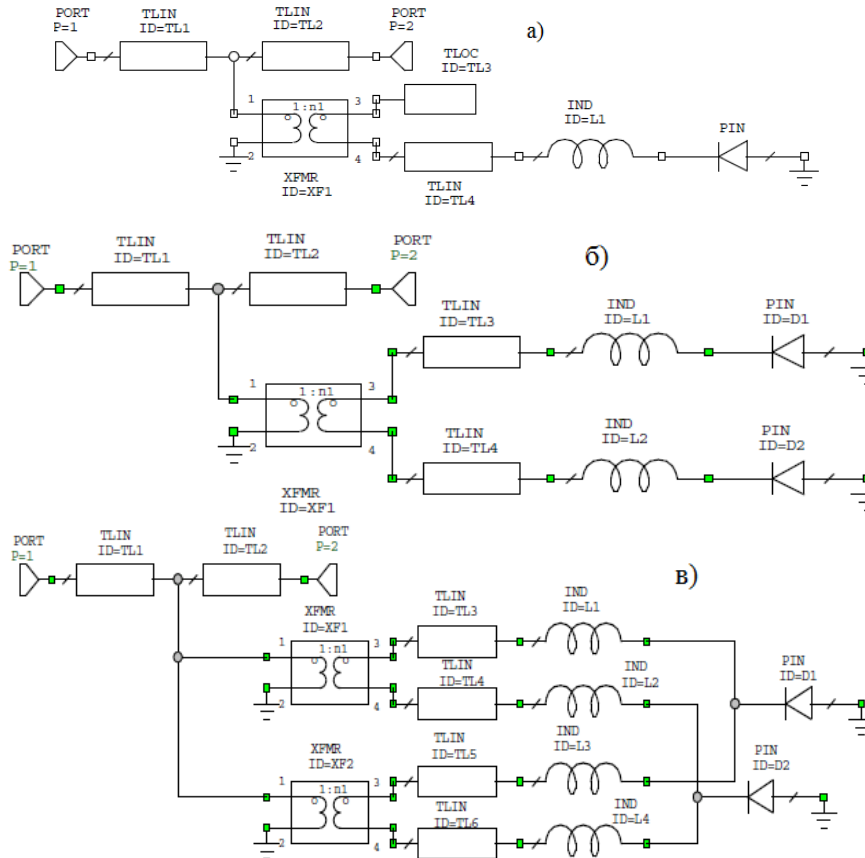


Рис. 2. Еквівалентні схеми реактивного елементу

Фазообертачі, що забезпечують малі зсуви фаз, будують по схемі елементарної фазозсуваючої комірки, а фазозсувачі 90° або 180° утворюють каскадним з'єднанням елементарних комірок із кутом 45°. Елементарна комірка фазозсувача прохідного типу складається із відрізка лінії передачі із хвильовим опором Z_0 та електричної довжини θ , на кінцях якого увімкнені дві змінні провідності Y . Кожна з таких провідностей містить коло р-і-п діода. Відповідно до того чи іншого зсуву діодів змінна провідність приймає два значення Y_1 чи Y_2 , що обумовлює диференційний зсув фази хвилі, що передається.

У випадку розрахунку фазового зсуву у першому наближенні можна не враховувати активні втрати та вважати повні провідності Y чисто реактивними провідностями

$$Y_1 = jB_1; \quad Y_2 = jB_2.$$

Для узгодження в двох станах фази мусить виконуватися умова

$$jB_1 = 0; \quad \theta = \frac{\pi}{2} - \frac{\Delta\varphi}{2}; \quad jB_2 = j \frac{1}{Z_0} \operatorname{tg} \left[\frac{\Delta\varphi}{2} \right],$$

де $\Delta\varphi$ є фазовий зсув, Z_0 є хвильовий опір лінії передачі.

У фазообертачах із навантаженою лінією є два види провідностей: Y та $2Y$, що реалізуються двома видами реактивних елементів: із однобічною та двобічною симетричною петлею зв'язку.

Кожна елементарна комірка може бути увімкнена або вимкнена. Керування станом комірки здійснюється за рахунок р-і-п діодів, що в одній комірці одночасно або закриті або відкриті. Планарна петля зв'язку є несиметричною конструкцією, у якій один вивід навантажений р-і-п діодом,

а інший залишається розімкненим. Для визначення фазового зсуву необхідно знати фази коефіцієнтів передачі $S_{12}=S_{21}$ у двох станах елементарної комірки. Тоді фаза хвилі, що пройшла буде визначатися як різниця фаз S_{12} увімкненого та вимкненого станів.

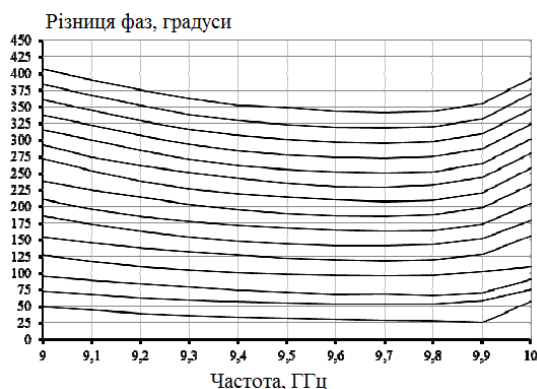


Рис. 3. ФЧХ прохідного фазообертача на 16 положень фази

Конструкція багато дискретного фазообертача на 16 положень фаз складається із ряду послідовно увімкнених елементарних комірок. Із теорії чотириполюсників відомо, що на зсуві двох комірок реактивність має подвоєне значення. Таким чином, на зсуві діелектрична пластина мусить мати двобічну несиметричну петлю зв'язку. ФЧХ такого фазозсувача зображена на рис.3, а рівні відбитої потужності на рис. 4.

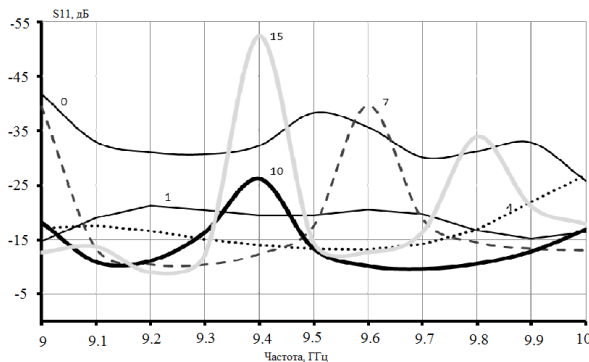


Рис. 4. Рівні відбитої потужності від входу фазообертача

Висновки

Отже, на основі П-подібного хвилеводу можна створювати багатопозиційні фазообертачі на р-п діодах методом еквівалентних схем та електродинамічним моделюванням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Morton M.A. Sources of phase error and design considerations for silicon-based monolithic high-pass/low-pass microwave phase shifters / M.A. Morton, J.P. Comeau, J.D. Cressler, M. Mitchell, J. Papadimitriou // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2006.– Vol. 54, No. 12. – pp. 4032-4040. DOI: 10.1109/TMTT.2006.886162.
2. Булашенко. А.В. Принципи формування променя інтелектуальних антен / А.В. Булашенко // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2010. – №1. – С. 111-120.
3. Замешаева Е.Ю. Дискретные многоразрядные СВЧ фазовращатель и аттенюатор, выполненные на элементах поверхностного монтажа / Е.Ю. Замешаева, П.А. Туральчук, Д.В. Холодняк, М.Д.Д. Парнес, Р.Г.Шифман, И.Б.Вендик // Успехи современно радиоэлектроники. – 2010. – №10. – С. 52-58
4. Булашенко А. В. Багатопробеневі антенні решітки на основі лінз Ротмана / А.В. Булашенко// Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування. – 2010– № 42. – С. 178-186. doi: 10.20535/RADAP.2010.42.178-186.

5. Zameshaeva E. 180° Analogue S-band phase shifter based on composite right/left handed transmission lines / E. Zameshaeva, S. Humbla, D. Stoepel, M. Hein, I. Vendik // Proc. Of 5th Congress on metamaterials, Barcelona, Spain. – 2014.– pp. 358-360.

6. Булашенко А.В. Вибір типу опромінювачів ФАР / А. В. Булашенко // Науково-методична конференція викладачів, співробітників і студентів: тези доповідей, 23 квітня 2009 року / Відп. за вип. Т.М. Гричановська. - Суми : СумДУ, 2009. - Ч.1. - С. 58-60

7. Пільтяй С.І. Інтегрований хвилевідний фазозсувач на основі індуктивних штирів / С.І. Пільтяй, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 82 –83

8. Rebeiz G.M. RF MEMS phase shifters: design and applications / G.M. Rebeiz, J.S. Hayden, G.L. Tan // IEEE Microwave Magazine. – Vol. 3, No. 2 – 2002. – pp. 72-81. DOI: 10.1109/MMW.2002.1004054.

9. Булашенко А.В. Мікрохвильовий фазозсувач із коефіцієнтом перекриття за частотою 3:1 / А.В. Булашенко, С.І. Пільтяй // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 86 –87.

10. Ustinov A.B. Ferrite-ferroelectric hybrid wave phase shifters / A.B. Ustinov, G. Srinivasan, B.A. Kalinikos // Applied Physics Letters. – 2007.– Vol. 90, No.3. – pp. 285-288. DOI: 10.1063/1.2005.2432953.

11. Пільтяй С.І. Широкопasmовий фазозсувач, навантажений закороченою лінією Т-подібної форми / С.І. Пільтяй, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 100 –101.

12. Guo L. Wideband phase shifter with wide phase range using parallel coupled lines and L-shaped networks / L. Guo, H. Zhu, A. Abbosh // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. – 2016.– Vol. 26, No. 8. – pp. 592-594. DOI: 10.1109/LMWC.2016.2587833.

13. Булашенко А.В. Модифікований алгоритм для цифрового формування діаграми спрямованості антенних решіток / А.В. Булашенко// 5-а Міжнародна молодіжна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій РТ-2009», 20-25 квітня 2009р, Севастополь, Україна. – с. 167.

14. Булашенко А.В. Адаптивні цифрові антенні решітки / А. В. Булашенко // Науково-методична конференція викладачів, співробітників і студентів : тези доповідей, 23 квітня 2009 року / Відп. за вип. Т.М. Гричановська. - Суми : СумДУ, 2009. - Ч.1. - С. 44-45.

15. Piltyay S. I. High performance extended C-band 3.4–4.8 GHz dual circular polarization feed system / S. I. Piltyay // Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques, pp. 284–287, May 2017.

16. Piltyay S. I. Enhanced C-band coaxial orthomode transducer / S. I. Piltyay // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2014. – № 57. – С. 35–42.

17. Мосьондз І.О. Хвилевідний ортомодовий перетворювач / І.О. Мосьондз, С.І. Пільтяй // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 90 –91.

18. Булашенко А.В. Аналіз антени витікаючої хвилі / А.В. Булашенко // Освіта, наука та виробництво: розвиток і перспективи : матеріали I Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 21 квітня 2016 р. - Суми: СумДУ, 2016. - С. 179-180.

Діхтярук Іван Іванович — студент групи РС-п91, радіотехнічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, e-mail: kotovan99@i.ua;

Піпаш Іван Іванович — студент групи РА-п91, радіотехнічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ;

Булашенко Андрій Васильович — ст. викл. кафедри теоретичних основ радіотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ.

Diktyaruk Ivan I. — Department of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, email: kotovan99@i.ua;

Pipash Ivan I. — Department of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv;

Bulashenko Andrew V. — senior lecture of the chair of theoretical foundations of radio engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv.