

результатами синтезу із застосуванням компенсації впливу неоднорідності (див. таблицю), частотна залежність КСХ практично збігається з ідеалізованою при двох варіантах під'єднання навантаження (крива 1). Крива 3 відповідає результатам синтезу схеми з 30-омним шлейфом. У всіх наведених вище варіантах схем узгодження шлейф приймався закороченим на кінці, а для розрахунку еквівалентних параметрів трійника використано співвідношення з [8].

**Висновки.** Врахування впливу неоднорідностей в процесі синтезу пристроїв НВЧ дозволяє покращити їх параметри. Запропонований у роботі спосіб компенсації цього впливу для трійникових розгалужень спрощує розробку відповідних методів синтезу цілого ряду пристроїв, до складу яких входять такі розгалуження.

Результати синтезу одношлейфних схем узгодження, виконаного за описаною в роботі методикою, підтверджують ефективність запропонованого еквівалентного наведення трійникових розгалужень і отриманих для нього співвідношень, які доцільно застосовувати в інженерній практиці.

1. Гвоздев В.И., Нефёдов Е.И. *Объемные интегральные схемы СВЧ*. – М.: Наука, 1985. – 256 с. 2. Leighton W.H., Milnes A.G. *Junction reactance and dimensional tolerance effects on X-Band 3-dB directional couplers*. – *IEEE Trans. MTT*, 1971. – V. 19. – № 10. – P. 818 – 824. 3. Vogel R.W. *Effects of the T-junction discontinuity on the design of microstrip direction couplers*. – *IEEE Trans. MTT*, 1973. – V. 21. – № 3. – P. 145 – 146. 4. Оборжицький В.І. Синтез двошлейфного моста на базі смужкових ліній передачі з врахуванням впливу неоднорідностей // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 2002. – № 443. – С. 124 – 126. 5. Ralf Levy. *Derivation of equivalent circuits of microwave structures using numerical techniques*. – *IEEE Trans. MTT*, 1999. – V. 47. – № 9. – P. 1688 – 1695. 6. Werner P.L., Mittra R., Werner D.H. *Extraction of equivalent circuits for microstrip components and discontinuities using the genetic algorithm*. – *IEEE Microwave and Guided wave letters*, 1998. – V. 8. – № 10. – P. 333 – 335. 7. Смит Ф. *Круговые диаграммы в радиоэлектронике (Линии передачи и устройств СВЧ): Пер с англ. М.Н.Бергера и Б.О.Капилевича*. – М.: Связь, 1976. – 144 с. 8. *Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / С.И. Бахарев, В.И. Вольман, Ю.Н. Либ и др.; Под ред. В.И. Вольмана*. – М.: Радио и связь, 1982.

УДК 621.396.67

**Володимир Сторож**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра радіоелектронних пристроїв та систем

## **МОДЕЛЬ ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНОГО МОДУЛЯ НА ОСНОВІ АНТЕНИ-АВТОГЕНЕРАТОРА**

© Сторож Володимир, 2003

**Здійснено моделювання параметрів приймально-передавального модуля на основі антени-автогенератора. Результати розрахунку підтверджені експериментальними дослідженнями.**

**Modeling of the parameters of the transmits-receive module based on the antenna-oscillators has been carried out. Theoretical results were proved experimentally.**

**Вступ.** Якщо проаналізувати науково-технічну літературу останніх років, то стає очевидним значне зацікавлення питаннями розробки та дослідження приймально-передавальних модулів (ППМ) [1–4]. Удосконалення цих пристроїв відбувається за рахунок

впровадження нової елементної бази, нових схемно-технологічних рішень, методів обробки сигналів, а також освоєння більш високочастотного діапазону.

Застосування смужкової та мікросмужкової технологій дозволило значно зменшити габарити й масу цих пристроїв, зробити їх конформними, а також знизити ціну при масовому виробництві.

Інтегрування антени з активною частиною схеми забезпечило покращання вагових, габаритних та енергетичних показників за рахунок відмови від фідерних ліній та елементів узгодження. У результаті створено пристрій з принципово іншими властивостями, оскільки антена стала не тільки системним, але й схемним елементом, який визначає характеристики та параметри усього пристрою.

Залежно від частоти та типу застосовуваних антен, ППМ використовуються для передачі та прийому повідомлень у бездротових локальних мережах зв'язку, в системах вбудованого контролю, радіолокації тощо. На їхній основі можна створювати активні фазовані антенні решітки (АФАР) та ретрансляційні антенні решітки [3].

Серед широкого спектру таких пристроїв окреме місце займають ППМ, виконані на основі антен-автогенераторів (ААГ) на транзисторах [1, 4, 7, 8], у яких антена є схемним елементом коливальної контури автогенератора, визначаючи частоту та потужність випромінюваних коливань. Численні експериментальні дослідження показали, що робоча частота таких пристроїв відрізняється від власної резонансної частоти антени. Вона залежить не тільки від пасивних елементів контуру, але й від реактивних параметрів активного елемента. Тому визначення параметрів ААГ і, зокрема, робочої частоти є актуальною задачею на ранніх стадіях проектування.

**Теоретична частина.** Транзисторний автогенератор можна подати як два чотириполюсники — активний ST та пасивний SP, що замкнені у кільце [5], і описуються S-параметрами (рис. 1).

Антена, виконуючи одночасно роль активного навантаження й реактивного елемента, що визначає робочу частоту, є невід'ємною частиною пасивного чотириполюсника SP. Генерування у схемі виникнуть при умові, що модулі результуючих коефіцієнтів відбиття  $\Gamma_1$  та  $\Gamma_2$  будуть більші за одиницю, а їх аргументи дорівнюватимуть нулю. Для визначення результуючих коефіцієнтів відбиття складемо сигнальний граф схеми, зображеної на рис. 1, який наведемо на рис. 2.

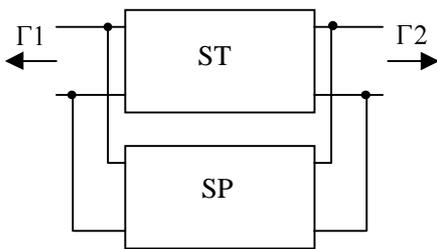


Рис. 1. Структурна схема автогенератора

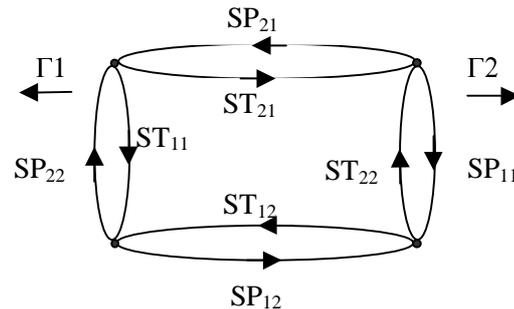


Рис. 2. Сигнальний граф автогенератора

Згідно з методикою, описаною в [6], запишемо вираз для результуючого коефіцієнта відбиття  $\Gamma_1$  сигнального графа (рис. 2.):

$$\Gamma_1 = \frac{ST_{11}(1 - ST_{22}SP_{11}) + ST_{21}SP_{11}ST_{12}}{N}, \quad (1)$$

де вираз у знаменнику

$$N = 1 - ST_{11}SP_{22} - ST_{21}SP_{21} - ST_{22}SP_{11} - ST_{12}SP_{12} - ST_{21}SP_{11}ST_{12}SP_{22} - \\ - ST_{11}SP_{12}ST_{22}SP_{21} + ST_{11}SP_{22}ST_{22}SP_{11} + ST_{21}SP_{21}ST_{12}SP_{12}.$$

Результати розрахунку, згідно з виразом (1), наведено на графіку (рис. 3). Суцільною лінією зображено модуль коефіцієнта відбиття, пунктирною — його аргумент. Для моделювання були використані табличні дані S-параметрів транзистора MRF-941 у частотній області, а також розраховані параметри пасивних елементів схеми ААГ.

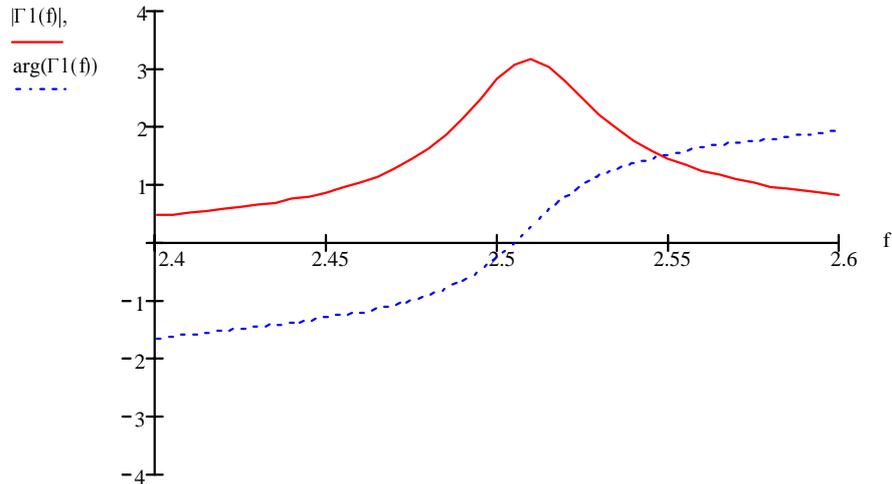


Рис. 3. Залежність модуля й аргумента результуючого коефіцієнта відбиття  $\Gamma_1$  від частоти

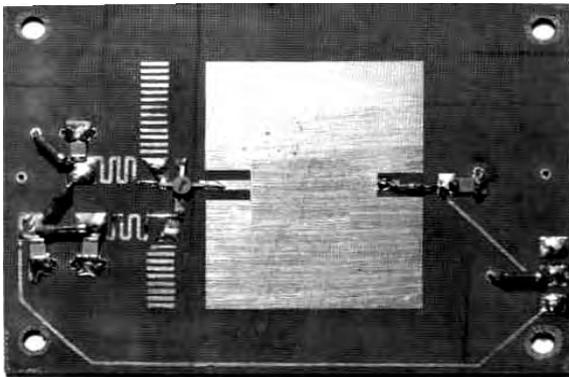


Рис. 4. Досліджуваний макет ППМ на основі ААГ

#### Експериментальна перевірка моделі.

Модель була перевірена на серії макетів ППМ на основі ААГ (рис. 4). Макети були розроблені за принциповою схемою, наведеною у [7]. Одностороння плоска конструкція ППМ, коли антена та активна частина схеми розташовані з одного боку діелектричної підкладки, вибрана за вимогою забезпечення технологічності та дешевизни пристрою при масовому виробництві. Макет виконано на фторопласті ФАФ-4Д товщиною 1,5 мм. Розміри антени становлять: ширина 42 мм, довжина 34 мм. Це відповідає власній резонансній частоті антени 2,69 ГГц. Настроювання на задану частоту генерування

здійснювалося зміною довжин шлейфів у колах бази та емітера транзистора шляхом запаювання контактних площадок. Залежно від довжини шлейфів макети надійно працювали у діапазоні від 2,22 ГГц до 2,65 ГГц. При довжині шлейфа у колі бази 5 мм, а емітера 10 мм робоча частота взірців знаходилась у межах 2,48 – 2,51 ГГц.

Установлено, що  $\arg(\Gamma_1) = 0$  (рис. 3) на частоті 2,505 ГГц. При цьому  $|\Gamma_1| = 3,076$ . Це означає, що на даній частоті у схемі виникне генерування. Якщо не враховувати явища вибігу частоти після подачі живлення на пристрій, яке для досліджуваних макетів не перевищувало 10 МГц, то можна вважати, що результати моделювання добре збігаються з експериментальними даними. Використання у макеті інших типів транзисторів, зокрема, КТ-3115-А2, приводило до зміни частоти генерування у межах  $\pm 3 - 4 \%$ . Розрахунок на

основі аналізу результуючого коефіцієнта відбиття  $\Gamma_2$  дав ті самі значення робочої частоти і тому тут не наводиться.

Підстановка розмірів антени з роботи [4], а саме: ширини 46 мм, довжини 36 мм, що відповідає власній резонансній частоті антени 2,56 ГГц, та незначного коректування довжин шлейфів у колах бази та емітера, привела, згідно з виразом (1), до того самого значення частоти генерування — 2,45 ГГц.

Оскільки в ППМ на основі ААГ антена є елементом коливального контуру, то пристрій буде реагувати на зміну умов випромінення, викликаних зміною параметрів навколишнього середовища або наявністю рухомого об'єкта. Максимальна реакція на зміну умов випромінення в ППМ (рис. 4) була зафіксована в районі частот вищих за 2,6 ГГц. Для цього довжина шлейфа у колі бази була зменшена до 3 мм, а емітера — до 4 мм. У результаті моделювання згідно з виразом (1) була отримана частота 2,607 ГГц, що на 3,3 % нижче за резонансну частоту антени. Модуль результуючого коефіцієнта відбиття при цьому був незначно більшим за одиницю.

**Висновки.** Проведені дослідження показали добру збіжність результатів, отриманих шляхом моделювання та експериментально і корелюються з результатами роботи [4]. Частота генерування у досліджуваних взірцях, як правило, була нижчою за резонансну частоту антени. Це означає, що індуктивний, у даному випадку, імпеданс антени є елементом коливального контуру автогенератора, що збігається з результатами роботи [7]. При певних умовах генерування може виникнути і на частоті вищій за резонансну, але досягти генерування на резонансній частоті антени було неможливо ні експериментально, ні теоретично, що підтверджує достатню точність моделі.

1. Патент США № 4736454. H04B 1/4. INTEGRATED OSCILLATOR AND MICROSTRIP ANTENNA SYSTEM /Vincent A. Hirsch/ 1988. 2. Ю.Л. Соловьев Пат. РФ 2087004. МКИ6 G01S 13/04, H01Q 1/38. Приемно-передающий модуль // Открытия. Изобретения. – 1997. – № 22. 3. Jonatan D Fredrick, Tatsno Itoh “Recent Development in RF Front Ends Based Upon Active Antenna Concepts”, TELSIS 2001, Yugoslavia, 19-21 september 2001. PL1. 4. R.A. Abd-Alhameed, P.S. Excel and E. Elkhazmi desing of integrrated-oscillator active microstrip antenna for 2,45 GHz International Union of Radio Science XXVII General Assembly, Maastricht-2002, 17 – 24 aug 2002. – P. 1118. 5. Активные передающие антенны / Под ред. В.В. Должикова и Б.В. Цыбаева. – М.: Радио и связь, 1984. – С. 6. Силаев М.А., Брянцев С.Ф. Приложение матриц и графов к анализу СВЧ устройств. – М.: Советское радио, 1970. – 248 с. 7. Голинський В., Оборжницький В., Самсонюк О. Розробка та дослідження автодинів на базі антен-автогенераторів // Вісник НУ “Львівська політехніка”, 1996. – № 302. – С. 34 – 36. 8. Сторож В.Г. Пат. України №15339 А H01Q23/00. Активна НВЧ антена, 1997.