

УДК 621.396.966.004.67

С.І. Ющук, С.О. Юр'єв, В.Й. Коломієць, П.С. Костюк
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра фізики

ПЕРЕНАЛАШТОВУВАНИЙ НАДВИСОКОЧАСТОТНИЙ ГЕНЕРАТОР З РЕЗОНАТОРОМ НА ПЛІВЦІ ЗАЛІЗО-ІТРІЄВОГО ГРАНАТА

Ó Ющук С.І., Юр'єв С.О., Коломієць В.Й., Костюк П.С., 2011

S.I. Yushchuk, S.O. Yuryev, V.I. Kolomic, P.S. Kostjuk

RECONFIGURABLE MICROWAVE GENERATOR BASED ON YTTRIUM-IRON GARNET FILM

Ó Yushchuk S.I., Yuryev S.O., Kolomic V.I., Kostjuk P.S., 2011

Розглянута можливість створення переналаштовуваного надвисокочастотного генератора з резонатором на плівці залізо-ітрієвого граната, побудованого за схемою підсилювача, охопленого додатним зворотним зв'язком. Описано принципову схему і конструкцію генератора, наведені його технічні характеристики.

Ключові слова: генератор НВЧ, ферогранатова плівка, фільтр, зворотний зв'язок

Consider establishing reconfigurable microwave generator with resonator based on yttrium-iron garnet film, built in amplifier circuit covered by positive feedback. Schematic circuit design and constructions of the generator are described, given its technical characteristics.

Key words: microwave generator, ferrogarnet film, filter, feedback

Вступ

У надвисокочастотній (НВЧ) техніці широко застосовують генератори з переналаштовуванням за частотою. Елементами переналаштовування використовують варикапи, а також феромагнітні резонатори з магнітним переналаштовуванням, зокрема сферичні резонатори з монокристалів залізо-ітрієвого граната (ЗІГ). Феромагнітний резонатор слугує елементом додатного зворотного зв'язку, резонансна частота якого переважно визначає частоту генерації. У схемах переналаштовуваних НВЧ-генераторів з феромагнітними резонаторами відсутні некеровані коливання, які зазвичай виникають в генераторах з іншими принципами зворотного зв'язку.

У роботі [1] наведена схема генератора, в якому в колі додатного зворотного зв'язку підсилювача ввімкнено смуговий фільтр на сфері ЗІГ. Однак використання сферичних елементів з монокристалів феритів в реальних НВЧ-схемах є трудомістким і складним, оскільки вимагає оброблення монокристалів до сферичної форми, орієнтації сфер в певному кристалографічному напрямку і надійного кріплення їх у хвилеводах [2, 3]. Застосування феритових плівок у НВЧ-техніці замість об'ємних монокристалічних резонаторів знижує виробничі затрати, покращує параметри приладів, дає змогу використати технологію інтегральних схем, зменшує габарити і підвищує надійність НВЧ-вузлів [4, 6].

Нижче повідомляється про використання епітаксійних плівок ЗІГ, вирощених на підкладках з галій-гадолінієвого граната (ГГГ), в смуговому НВЧ-фільтрі, що дозволило реалізувати схему переналаштовуваного транзисторного генератора на одній підкладці.

Теоретичне обґрунтування задачі

На рис. 1 наведена блок-схема генератора, в якому в колі додатного зворотного зв'язку ввімкнено смуговий фільтр з резонатором на плівці ЗІГ. За рахунок втрат фільтра існує слабкий взаємозв'язок між його амплітудно-частотною (АЧ) і фазово-частотною (ФЧ) характеристиками.

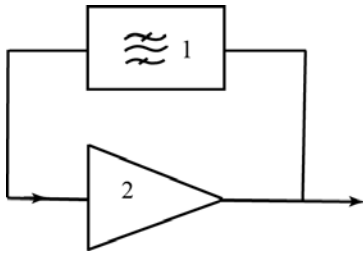


Рис. 1. Функціональна схема генератора:

1 – ЗІГ-фільтр; 2 – підсилювач

У цьому випадку для схеми генератора умова генерації визначається такими співвідношеннями:

$$10 \lg K - L_1 = 0; \quad (1)$$

$$\Delta j_{\Sigma} = \pm 2k\pi, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad (2)$$

де K – коефіцієнт підсилення підсилювача; L_1 – значення резонансних втрат фільтра в дБ; Δj_{Σ} – сумарна різниця фаз від входу підсилювача до виходу фільтра з врахуванням часових затримок в підсилювачі, фільтрах і з'єднувальних лініях.

Вказані умови повинні виконуватись у всьому діапазоні переналаштовування і у всіх режимах експлуатації.

За аналогією з генератором на нижчих частотах вираз (1) є умовою балансу амплітуд, а (2) – балансу фаз. Умова балансу амплітуд наведена для сталого режиму генерації. Для режиму малого сигналу повинна виконуватись умова:

$$10 \lg K - L_1 > 0. \quad (3)$$

Коливання, що виникають, підсилюватимуться до тих пір, поки нелінійності підсилювача за струмом і напругою не зумовлять виконання умови (1) і настання усталеного режиму генерації.

З іншого боку, щоб зворотне передавання з виходу підсилювача на його вхід здійснювалось в основному через фільтр, необхідно, щоб виконувалась нерівність:

$$10 \lg K_{зв.} - L_1 \ll 0 \quad (4)$$

де $K_{зв.}$ – коефіцієнт зворотного передавання підсилювача за рахунок внутрішнього зворотного зв'язку.

Зі співвідношень (1) і (4) отримуємо

$$K \cdot K_{зв.} \ll 1 \quad (5)$$

Отже, формула (5) є необхідно умовою усталеної стабільної генерації за відсутності паразитних (некерованих) частот.

Експериментальні результати і їх обговорення

На рис. 2 наведено принципову схему генератора. До складу генератора входять: двокаскадний підсилювач і смуговий фільтр на плівці ЗІГ.

Підсилювач зібрано на двох транзисторах типу 2Т3115Б-2 за схемою зі спільним емітером. Для зменшення коефіцієнта внутрішнього зворотного зв'язку емітер кожного транзистора безпосередньо з'єднується з корпусом. Для стабілізації режиму з постійного струму застосовані резистори, ввімкнені в коло колектора. Узгоджуючі кола являють собою закорочені на кінці по НВЧ відрізки ліній передачі

довжиною $\approx \frac{l}{10}$, під'єднані до колекторів

транзисторів.

Фільтр на плівці ЗІГ (рис. 3) складається з вхідної і вихідної короткозамкнених компланарних ліній передачі, в області короткого замикання яких розміщено резонатор круглої форми, виготовлений з феритової епітаксійної структури (ФЕС), яка є плівкою ЗІГ товщиною 30 мкм на підкладці з ГГГ.

Плівка ЗІГ перевипромінює енергію з однієї компланарної лінії передавання в іншу. Мінімальні втрати такого

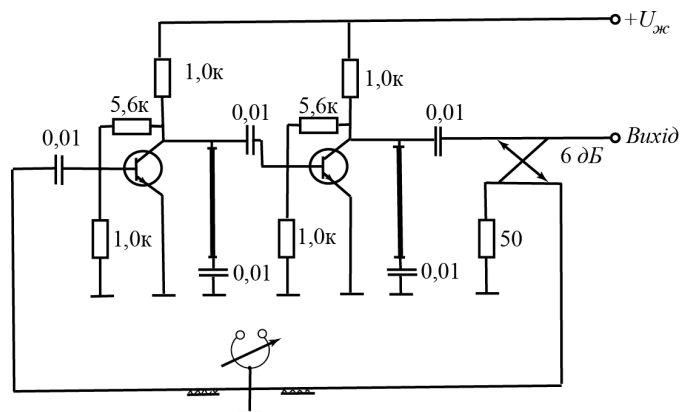


Рис. 2. Принципова схема генератора

фільтра залежать від власних втрат у феритовій плівці і коефіцієнтів зв'язку плівки з компланарними лініями. Втрати в плівці характеризуються шириною лінії феромагнітного резонансу (ФМР). Чим вужча лінія ФМР, тим є меншими магнітні втрати. Робоча частота фільтра визначається напруженістю зовнішнього магнітного поля і намагніченістю насичення матеріалу феритової плівки. Для забезпечення стабільності робочої частоти необхідно, щоб феритова плівка мала однорідний хімічний склад без локальних включень чужих іонів і дефектів.

Для збільшення величини зв'язку і зменшення втрат ширина центральних провідників компланарних ліній поступово звужується, забезпечуючи, отже, необхідний коефіцієнт зв'язку і практично не погіршуючи коефіцієнт стоячої хвилі за напругою.

Вимірювали АЧХ і ФЧХ підсилювача, фільтра і з'єднувальних ліній на окремих макетах цих елементів за допомогою вимірювача комплексних коефіцієнтів передачі РЧ-23 (діапазон вимірювання 1–4 ГГц).

На рис. 4 наведено експериментальні фазочастотні характеристики підсилювача (крива 1), фільтра при трьох фіксованих значеннях частоти налаштування (криві 2), ліній передавання (крива 3), а також фазочастотна характеристика фільтра на резонансній частоті при його переналаштуванні (крива 4). На рис. 4 також наведені сумарні амплітудно-частотні (криві 5) і фазо-частотні (криві 6) характеристики генератора.

Зазвичай умова балансу фаз виконується не на резонансній частоті фільтра, а при деякому розладнанні від неї.

Як видно з рис. 4, на центральній частоті генератора частота генерації збігається з резонансною частотою фільтра ($f_z = f_0$).

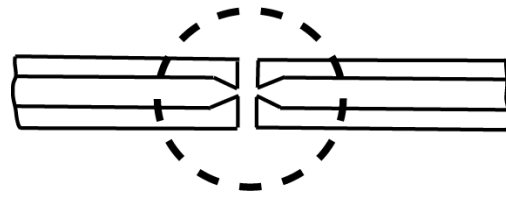


Рис. 3. Топологія фільтра. Пунктирна лінія показує положення ФЕС круглої форми

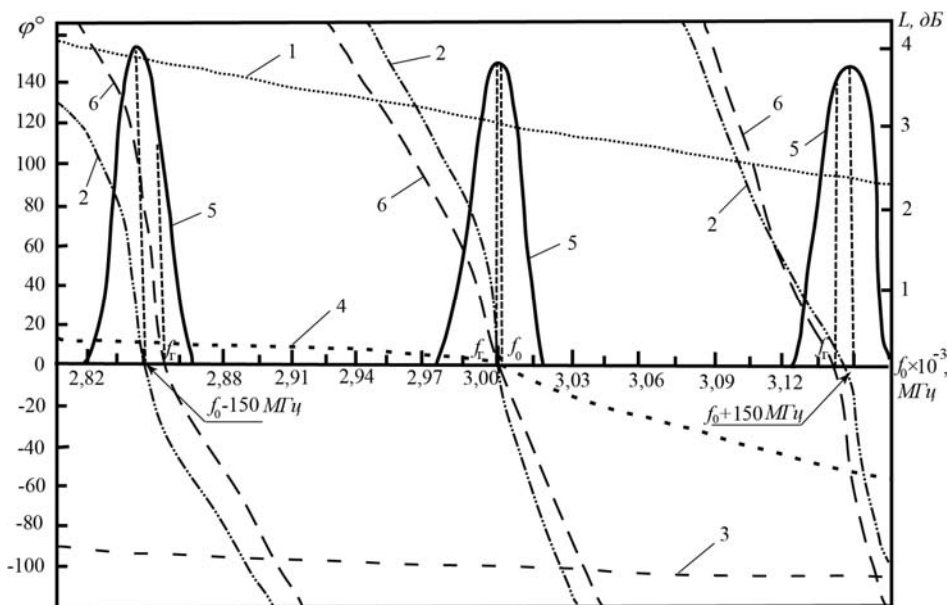


Рис. 4. Експериментальні характеристики генератора:
 1 – ФЧХ-підсилювача; 2 – ФЧХ-фільтра; 3 – ФЧХ-з'єднувальних ліній;
 4 – ФЧХ-фільтра в діапазоні переналаштування; 5 – АЧХ-сумарна; 6 – ФЧХ-сумарна

На частоті фільтра $f_0 - 150$ МГц частота генерації зміщується до вищих частот, а на частоті фільтра $f_0 + 150$ МГц – до нижчих частот. Під час переналаштування генератора його частота генерації переміщається по амплітудно-частотній характеристиці фільтра. Діапазон переналашто-

ування генератора визначається тими частотами, на яких частота генерації переміщається по АЧХ до рівня коефіцієнта передавання $K_{пер.} = 1$.

Практичні результати розробки. Висновки

Схема генератора реалізована на полікоровій підкладці розміром $24 \times 15 \times 0,5 \text{ мм}^3$, причому на одному боці підкладки розміщено двокаскадний підсилювач на мікросмужкових лініях, а на другому – фільтр на компланарних лініях. З'єднання фільтра з підсилювачем виконано золотими перемичками через отвори в полікоровій підкладці. Підкладка в місці розміщення диска з плівкою ЗІГ поміщається в зазор магнітної системи. Магнітна система складається з постійного магніту, який створює номінальне магнітне поле в зазорі, і котушки, яка дозволяє змінювати значення індукції магнітного поля в необхідних межах.

Генератор має такі технічні характеристики:

- основна частота генерації – 3000 МГц ;
- рівень генерованої потужності – $1 \dots 3 \text{ мВт}$;
- межі переналаштування частоти -10% ;
- крутизна переналаштування частоти – $1 \frac{\text{МГц}}{\text{мА}}$;
- пригнічення паразитних коливань – $\geq 50 \text{ дБ}$;
- пригнічення другої гармоніки – $\geq 30 \text{ дБ}$.

Отже, показано можливість створення переналаштовуваного НВЧ-генератора з підсилювачем, охопленим додатним зворотним зв'язком, який забезпечується фільтром, виконаним на основі феритової епітаксійної структури залізо-ітрієвого граната.

1. Тиесс Г., Ренн Д., Дрефке О. Использование ферромагнитного резонанса для перестройки СВЧ-генератора // ТИИЭР. – 1963. – Т. 5, № 51. – С. 882. 2. Яковлев Ю.М., Генделев С.Ш. Монокристаллы ферритов в радиоэлектронике. – М.: Сов. радио, 1975. – 360 с. 3. Ильченко М.Е., Кудинов Е.В. Ферритовые и диэлектрические резонаторы СВЧ – К.: Изд-во Киев. ун-та, 1973. – 173 с. 4. Ющук С.И., Юрьев С.А., Костюк П.С., Бондар В.И. Применение феррогранатовых эпитаксиальных структур в сверхвысокочастотной электронике // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2005. – № 3(57). – С. 22–25. 5. Marcelli R., Rossi M., Degasperis P. Microwave magnetostatic wave coupled resonators // Journ. Magnetism and Magnetic Mater. – 1996. – Vol. 158. – P. 471–472. 6. А. с. 1681345А1 СССР, МКИ Н01 Р1/218. Узкополосный СВЧ-фильтр / П.Е. Зильберман, П.С. Костюк, Б.Т. Семен, В.В. Тихонов и А.В. Толкачев. – №4684934/09; заявл. 24.04.89; опубл. 30.09.91; бюл. № 36. – 2 с.