

4. Балюк В.С., Тузов Д.М., Дзюба В.П., и др. Опыт разработки приборов СВЧ энергии народнохозяйственного назначения // Микроволновые технологии в народном хозяйстве/ Под ред. Калинина Л. Г. – Одесса: из-во ОКФА, 1996. – С. 46–52.
5. Кураев А.А. Мощные приборы СВЧ. – М.: Радио и связь, 1986. – 208 с.
6. Гейвандов Л.Н., Барит Н.С., Батущенко В. Н. и др. К вопросу о метрологическом обеспечении трактовых методов определения уровней побочных колебаний ЭВП СВЧ // Н-т. сб. “Методы и средства измерений в области электромагнитной совместимости”. – 1991. – Т. 2. – С. 120–122.
7. Беляев А.В., Карпов В.Н. Подавление колебаний на гармониках магнетрона микроволновой печи “Электроника” композиционным гироманнитным материалом // Н-т. сб. “Методы и средства измерений в области электромагнитной совместимости”. – 1991. – Т. 2. – С. 209–211.
8. Левдикова Т.Л. Трансформирующие цепи на запердельных волноводах // Тр. Сиб. Физ.-техн. ин-та. – 1974. – Вып. 54. – С. 112–117.
9. Павлов О.И., Репа Ф.М. Частотные характеристики трехштыревых систем на основе запердельного волновода // Вестник Киевского политехнического института. Радиотехника. – 1992. – № 29. – С. 36–39.
10. Колесник С.Н., Репа Ф.М. Синтез запердельных резонаторов со штырем прямоугольной формы//Вестник Киев. политехн. ин-та Радиотехника. 1988. №29. С. 33–36.
11. Репа Ф.М. Прямоугольный поперечный штырь в отрезке запердельного волновода // Радиотехника. – 1988. – Т.31. – №8. – С.78–80 (Изв. высш. учебн. заведений).
12. Кабаков Л.Т., Репа Ф.М. Диафрагмы в запердельном волноводе // Радиотехника. – 1978. – Т. 21. – № 8. – С. 81–87 (Изв. высш. учебн. заведений).

<p>Гребеньков И.Н., Репа Ф.М. Улучшение электрических параметров микроволновой печи Проведено исследование внетрактовых излучений генератора бытовой микроволновой печи. Использование фильтра на запердельных волноводах позволило улучшить электрические характеристики печи и удовлетворить требованиям ЭМС.</p>	<p>Grebenkov I.N., Repa F.M. Improvement electrical characteristics of the microwave oven The research of band-off emitting of magnetron generator of microwave oven was carried out. Applying of cutoff waveguide enabled to satisfy the requirements of manufacturer and norms of EMC.</p>
--	---

УДК 621.373.12: 621.396.61: 621.396.62

МАЛОШУМЛЯЧИЙ СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТИ САНТИМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ДОВЖИН ХВИЛЬ

Цвєлих І.С., Омеляненко М.Ю., Коцєржїнський Б.О.

Представлено високостабільний малошумлячий синтезатор частоти 10.7 ГГц для приймально-передавального модуля радіорелейної лінії зв'язку на основі стабілізованого діелектричним резонатором генератора 5.35 ГГц із електричним перестроюванням частоти і транзисторного подвоювача частоти.

Вступ. Постановка задачі

Сучасні системи безпроводового зв'язку висувають жорсткі вимоги до рівня фазових шумів задаючих генераторів приймально-передавальних трактів. Як правило, забезпечення заданих стабільності частоти, рівня шумів та перестроювання частоти досягається методом синтезу частоти [1] на основі схеми з фазовим автопідстроюванням частоти (ФАПЧ). Представлений синтезатор з низьким рівнем шуму побудовано на основі двопетле-

вої схеми з ФАПЧ, що забезпечує ефективне керування частотою НВЧ генератора, високу стабільність і покращення шумових властивостей вихідного генератора при малих відстроюваннях від номінального значення частоти вихідного коливання.

Теоретичні викладки

Для визначення критеріїв для побудови малошумлячого НВЧ генератор, розглянемо фактори, що впливають на його шум. Достовірну оцінку фазового шуму керованого напругою генератора можна отримати на підставі відомих положень лінійного аналізу: рівень спектральної щільності потужності фазового шуму генератора при частоті відстроювання f_n від номінальної частоти генерації f_0 у смугі в 1 Гц, виражений в децибелах по відношенню до потужності коливання на частоті f_0 визначається як

$$L(f_n) = 10 \lg \left\{ \left[1 + \frac{f_0^2}{(2f_n Q_L)^2} \right] \left(1 + \frac{f_c}{f_n} \right) \frac{FkT}{2P_{SAV}} + \frac{2kTRK_0^2}{f_n^2} \right\}, \quad (1)$$

де f_c - частота кута флікер-шуму активного елемента; Q_L - навантажена добротність резонансної системи генератора; F - коефіцієнт шуму активного елемента; kT - $4.1 \cdot 10^{-21}$ Дж при 300 К; P_{SAV} - середня потужність на виході генератора; R - еквівалентний шумовий опір діода, що перестроює; K_0 - коефіцієнт перестроювання генератора.

Аналіз співвідношення (1) показує, що серед параметрів, які визначаються конструктором, навантажена добротність резонансної системи впливає на шумові властивості генератора найбільше. У сантиметровому діапазоні в якості малогабаритної високодобротної резонансної системи для генератора в інтегральному виконанні широко застосовується циліндричний діелектричний резонатор (ДР). Розміри ДР в сантиметровому діапазоні виявляються малими, внаслідок чого його можна інтегрувати до складу генератора. Недоліками ДР вважається пов'язане з їхнім використанням порушення планарності конструкції, а також неможливість повного усунення етапу ладнання генератора.

Розроблений генератор побудовано за схемою зі зворотнім зв'язком, причому навантаження підключається до вільного електроду (емітера) транзистора, чим забезпечується значна розв'язка коливальної системи від навантаження (рис. 1). Така топологія значно зменшує нестабільність частоти, що обумовлена впливом навантаження. Перевагами такої схеми є малі габарити, достатньо проста реалізація електричного перестроювання частоти генерації, мала кількість елементів, що знижує затрати часу та вартість етапу ладнання, якого неможливо уникнути при використанні ДР. В якості активного елемента використано біполярний транзистор AT-41511 (Hewlett-Packard),

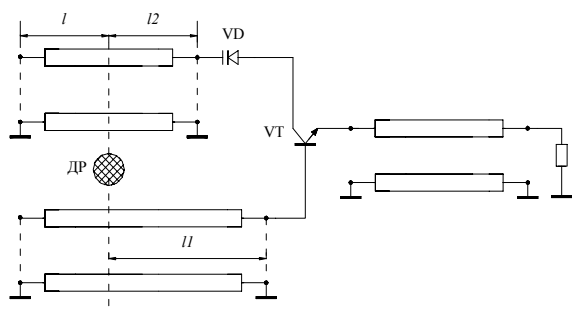


Рис. 1

виконаний в пластмасовому корпусі, який має в необхідному діапазоні частот коефіцієнт шуму $F_{ш} < 3$ дБ та достатній коефіцієнт підсилення на робочій частоті 5,35 ГГц. Схема містить дві лінії передачі, підключені до колекторного та базового кіл транзисторного підсилювача, зв'язаних одне з одним за допомогою ДР. Варактор VD змінює електричну довжину лінії l_2 у колі колектора і здійснює перестроювання частоти генерації. З рис. 1 видно, що кожен із виводів транзистора підключений до окремого кола, так що схема його включення не є схемою з виводом, спільним для входу й виходу, що унеможлиблює зведення схеми до такої, яка є відомим з'єднанням чотириполосників транзистора та пасивних кіл. Для побудови лінійної теоретичної моделі генератора транзистор слід представити як шестиполосник, визначивши його параметри розсіювання, спираючись на довідкові дані щодо параметрів матриці розсіювання транзистора, включеного за схемою зі спільним емітером (останні надаються підприємством-виробником). Розрахункова модель генератора наведена на рис. 2, де $\|S\|$ - матриця розсіювання транзистора як шестиполосника, $\|S_{др}\|$ - матриця розсіювання діелектричного резонатора з каскадно підключеними лініями передачі l_1, l_2 . Довжина l розімкнутих шлейфів лінії передачі (рис. 1) дорівнює чверті довжини хвилі, так що зв'язок із ДР максимальний. Генератор розраховувався шляхом аналізу коефіцієнта відбиття Γ_{3-3} від площини 3-3 (рис. 2), тобто з боку емітера транзистора:

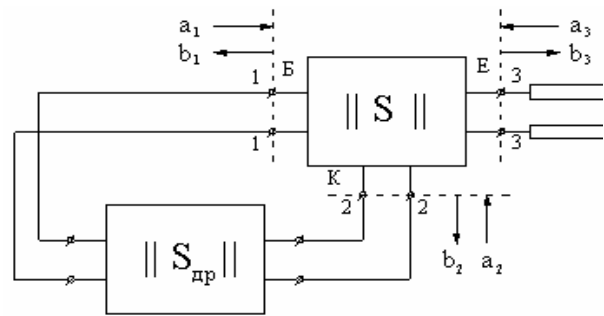


Рис. 2

$$\Gamma_{3-3} = S_{33} + S_{31} \frac{1}{\Delta'} \left[-S_{13} \left(S_{22} - \frac{S_{22др}}{\Delta_{др}} \right) + S_{23} \left(S_{12} + \frac{S_{21др}}{\Delta_{др}} \right) \right] + \quad (2)$$

$$+ S_{32} \frac{1}{\Delta'} \left[-S_{23} \left(S_{11} - \frac{S_{11др}}{\Delta_{др}} \right) + S_{13} \left(S_{21} + \frac{S_{12др}}{\Delta_{др}} \right) \right],$$

$$\text{де } \Delta' = \left(S_{11} - \frac{S_{11др}}{\Delta_{др}} \right) \left(S_{22} - \frac{S_{22др}}{\Delta_{др}} \right) - \left(S_{21} + \frac{S_{12др}}{\Delta_{др}} \right) \left(S_{12} + \frac{S_{21др}}{\Delta_{др}} \right), \Delta_{др} = S_{11др} S_{22др} - S_{12др} S_{21др}$$

$S_{11} \dots S_{33}$ - елементи матриці $\|S\|$, $S_{11др} \dots S_{22др}$ - елементи матриці $\|S_{др}\|$.

Змінюючи розміри l_1 та l_2 , слід досягти значень $|\Gamma_{3-3}|$, які суттєво перевищують одиницю на резонансній частоті ДР. Якщо при відсутності зв'язку з резонатором $|\Gamma_{3-3}|$ виявляється меншим за одиницю, генератор може бути реалізований при відповідному виборі Γ_T вихідного трансформатора опору, вимоги до якого визначаються відомим співвідношенням $\Gamma_{3-3} \Gamma_T = 1$.

Аналіз (2) показує, що $|\Gamma_{3-3}|$ досягає максимуму на резонансній частоті ДР при певній довжині лінії l_1 в колі колектора, причому залежність опти-

мального значення l_1 від коефіцієнту зв'язку практично відсутня, що дає можливість спростити ладнання генератора. Одночасна малість значень l_1 і l_2 обумовлює малі габарити генератора та дозволяє розробити конструкцію генератора, виходячи лише з вимог до екранування ДР. На рис. 3 зображені експериментальні залежності частоти й потужності генерації від керуючої напруги на варакторі, включеному у базове коло генератора каскадно з лінією l_2 . Видно, що перестроювання частоти сягає майже 200 МГц при зміні вихідної потужності в межах 1 дБ.

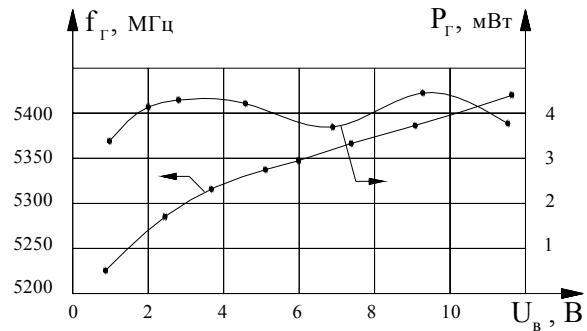


Рис. 3

На рис. 4 зображена структурна схема розробленого синтезатора частоти. НВЧ тракт синтезатора містить стабілізований діелектричним резонатором транзисторний генератор G_2 з варакторним перестроюванням частоти, підсилювач потужності Π , напрямлений відгалуджувач НВ (10 дБ), помножувач частоти на два "x2" та фільтр високої частоти ФВЧ, що відсікає сигнал з частотою $f_0/2=5.35$ ГГц вихідного сигналу генератора G_2 . Синтезатор містить два кільця ФАПЧ. Перше (високочастотне) кільце ФАПЧ побудовано на основі синтезатора частоти Синт., який порівнює відповідно поділені частоти сигналів генераторів G_2 і G_1 . Сигнал помилки через фільтр Φ_1 надходить до варактору генератора G_2 . Друге кільце ФАПЧ охоплює керований напругою генератор G_1 на кварцовому резонаторі. Частота вихідного сигналу G_1 становить $f_{оп1}=121,5$ МГц. Сигнал помилки, який керує частотою генератора G_1 , виробляється фазовим детектором ФД і через фільтр Φ_2 надходить до варакторного кола G_1 . Опорним сигналом у другому колі ФАПЧ слугує сигнал термокомпенсованого генератора на кварцовому резонаторі з частотою $f_{оп2}=13,5$ МГц. Після помножувача частоти на дев'ять ("x9") та полосно-пропускаючого фільтра ППФ сигнал з частотою $f_{оп2} \times 9 = 121.5$ МГц поступає на ФД. Подільник потужності ДП призначений для розподілу потужності сигналу генератора G_1 між першим та другим кільцями ФАПЧ. Відносна нестабільність частоти вихідного сигналу синтезатора з частотою $f_0=10.7$ ГГц визначається нестабільністю коли-

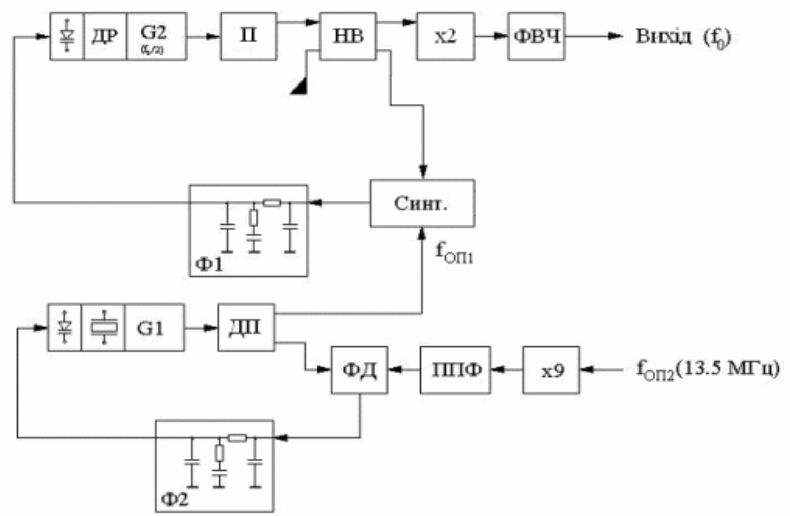


Рис. 4

вості синтезатора з частотою $f_0=10.7$ ГГц визначається нестабільністю коли-

вання опорного термокомпенсованого генератора з частотою $f_{оп2} = 13,5$ МГц, який розміщується у розташованому в приміщенні блоці радіорелейної станції. Результати вимірювань фазового шуму синтезатора наведено на рис. 5. Одержані значення наближаються до результатів, отриманих з використанням більш складних схем побудови синтезаторів [1].

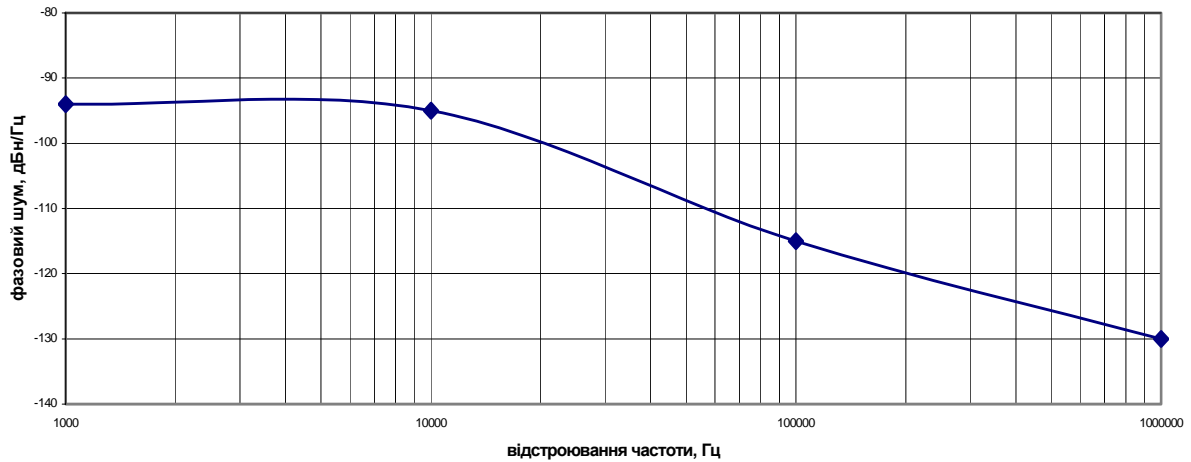


Рис. 5

Висновки

Запропонована схема синтезатора частоти забезпечує високу стабільність частоти та низький рівень фазових шумів при відстроюваннях частоти в межах смуги пропускання петлі ФАПЧ. Фазовий шум у боковій смузі сигналу синтезатора складає -95, -115 та -130 дБн/Гц при відстроюванні частоти на 10 кГц, 100 кГц і 1 МГц, відповідно. Середньоквадратична фазова помилка сигналу становить $0,7^\circ$, що дозволяє використовувати його в складі перетворювачів частоти для передачі сигналів з модуляцією 32-PSK.

Література

1. Gravel J.F. On the conception and analysis of a 12-GHz push-push phase-locked DRO//IEEE Trans. on MTT, vol. 54, jan. 2006, pp. 153-159.

<p>Цвелих И.С., Омеляненко М.Ю., Коцержинский Б.А. Малозумящий синтезатор частоты сантиметрового диапазона длин волн Представлен стабильный малозумящий синтезатор частоты 10.7 ГГц для приемопередатчика радиорелейной линии связи на основе стабилизированного диэлектрическим резонатором генератора 5.35 ГГц с электрической перестройкой частоты и транзисторного удвоителя частоты.</p>	<p>Tsvelikh I.S., Omelyanenko M.Ju. Kotserjinskyi B.A. Low noise frequency synthesizer of a centimeter range wave. A highly stable, low noise 10.7 GHz frequency synthesizer for radio-relay link transceiver is presented. The basic elements of synthesizer are electrically tuned 5.35 GHz dielectric ring oscillator and transistor frequency doubler.</p>
--	---