

УДК 621.382.32, 621.373

**ГЕНЕРАЦИЯ ГАРМОНИК В СХЕМЕ МИКРОПОЛОСКОВОЙ
АНТЕННЫ-ГЕНЕРАТОРА, ИНТЕГРИРОВАННОЙ С ВОЛНОВОДОМ,
ВСТРОЕННЫМ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПОДЛОЖКУ**

В.Е. Любченко, В.И. Калинин, В.Д. Котов, Д.Е. Радченко, С.А.Телегин, Е.О. Юневич
Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН,
Фрязинский филиал

Статья поступила в редакцию 18 февраля 2016 г.

Аннотация. Предложена и исследована конструкция автогенератора СВЧ излучения на основе микрополосковой антенны логопериодического типа, интегрированной с полевым транзистором, и волновода, встроенного в диэлектрическую подложку. Геометрия волновода выбрана таким образом, чтобы для основной гармоники антенны-генератора он был запредельным. Методом конечных разностей во временной области проведено компьютерное моделирование, которое позволило получить распределение СВЧ энергии в резонаторной и волноводной частях генератора на различных частотах. В результате экспериментального исследования макета получена генерация на частоте 27 ГГц с мощностью 100 мкВт.

Ключевые слова: СВЧ, автогенератор, интегрированный в подложку волновод, логопериодическая антенна, полевой транзистор.

Abstract. Microwave oscillator, based on the microstrip log-periodic antenna integrated with field-effect transistor and substrate integrated waveguide (SIW) is investigated. SIW geometry provides the oscillator fundamental frequency cutting off. Electric field distribution at the fundamental and second harmonic frequencies is obtained via FDTD method. Second harmonic oscillation at 27 GHz with 100 uW output power is experimentally obtained.

Key words: microwave, oscillator, substrate integrated waveguide, log-periodic antenna, field-effect transistor.

Введение

Интегрированный (встроенный) в подложку волновод (Substrate Integrated Waveguide – SIW) представляет собой линию передачи, которая состоит из диэлектрической пластины, ограниченной двумя параллельными металлическими покрытиями и двумя рядами металлических цилиндров. Конструкция обладает рядом достоинств: малые потери, малый вес и размеры, высокая добротность резонаторов, механическая прочность [1]. Она нашла применение в различных устройствах, в том числе и в автогенераторах СВЧ диапазона [2, 3]. В настоящей работе показана возможность создания СВЧ генератора на основе SIW-волновода и интегрированной с полевым транзистором микрополосковой логопериодической антенны с выводом излучения на второй гармонике основной частоты.

Конструкция генератора

Конструкция генератора состоит из двух металлизированных с одной стороны диэлектрических пластин, соединенных между собой металлизированными отверстиями (рис. 1).

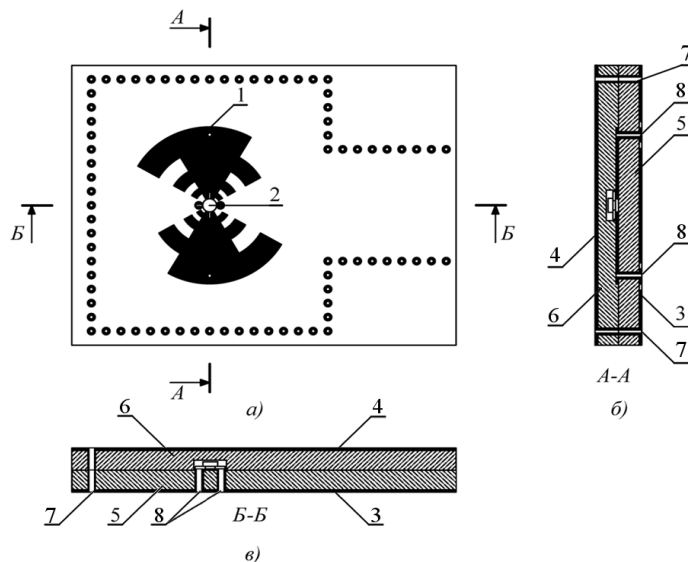


Рис.1. Конструкция СВЧ генератора на основе волновода интегрированного в подложку. 1 - логопериодическая антенна; 2 - транзистор; 3,4 - внешняя металлизация; 5, 6 – диэлектрические пластины; 7,8 – металлизированные отверстия [4].

На поверхности одной из пластин размещена зубчатая логопериодическая антенна. Генератор построен по схеме с общим истоком, положительная обратная связь образуется за счет индуцированного излучения на лепестке антенны, соединенном с затвором транзистора.

Собственные частоты закрытого SIW-резонатора определяются по формуле [5]:

$$f_{mnk} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\mu_r\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{w_{eff}}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{h}\right)^2 + \left(\frac{k\pi}{l_{eff}}\right)^2}, \quad (1)$$

где $l_{eff} = l - 1.08\frac{d^2}{p} + 0.1\frac{d^2}{l}$ – эффективная длина резонатора.

Резонансные частоты логопериодической антенны расположенной на диэлектрической подложке можно найти исходя из геометрии антенны (рис. 2).

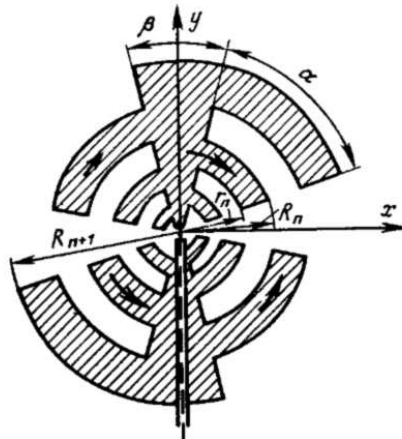


Рис.2. Логопериодическая антенна [6].

Из рисунка видно, что длина n-го зубца равна

$$l_n = \frac{(R_n + r_n)}{2} \alpha = \frac{\lambda_{eff}^n}{4}, \quad (2)$$

где $\lambda_{eff}^n = \frac{\lambda_n}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$ – эффективная длина волны;

$\epsilon_{eff} \approx \frac{\epsilon_r + 1}{2}$ – эффективная диэлектрическая проницаемость.

Тогда длина волны излучения в воздухе $\lambda_n = 2(R_n + r_n)\alpha\sqrt{\epsilon_{eff}}$. С учетом этой формулы получим нижнюю возможную частоту:

$$f_1 = \frac{c}{2(R_1 + r_1)\alpha\sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{c\sqrt{\tau}}{2R_1(\sqrt{\tau} + 1)\alpha\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3)$$

Стоит заметить, что при выборе безразмерного периода $\tau = 2$ существует резонансный контур для второй гармоники от частоты по первому зубу. При этом собственным частотам антенны соответствуют высшие моды SIW-резонатора, там, где их спектр сильно сгущается.

Для более детального исследования конструкции было проведено электромагнитное моделирование конструкции автогенератора на расчетную частоту около 11 ГГц методом конечных разностей во временной области (FDTD) [7, 8]. Расчетные коэффициенты отражения и обратной связи приведены на рис. 3.

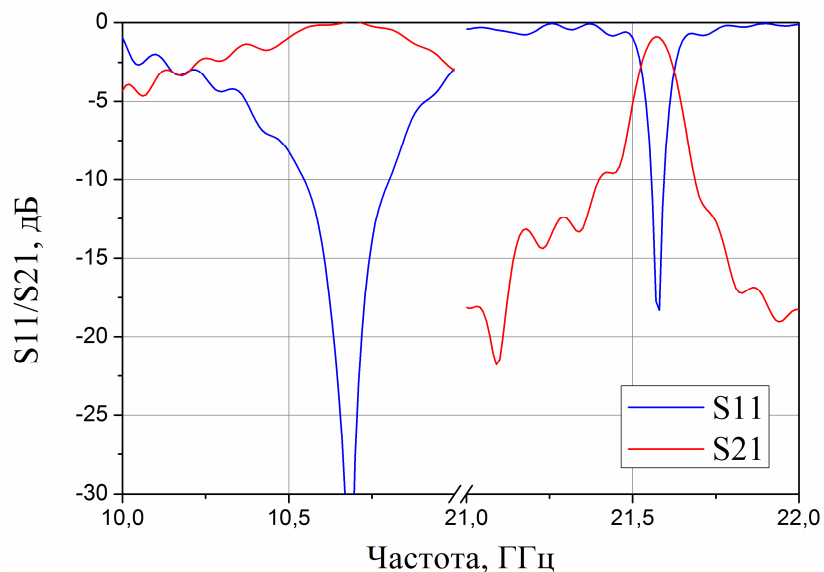


Рис.3. Коэффициент отражения и обратной связи.

При достаточном коэффициенте усиления транзистора и при подстройке электрической длины обратной связи возможно создание. При этом SIW-волновод для первой гармоники является запердельным, вторая же гармоника беспрепятственно в нем распространяется (рис. 4).

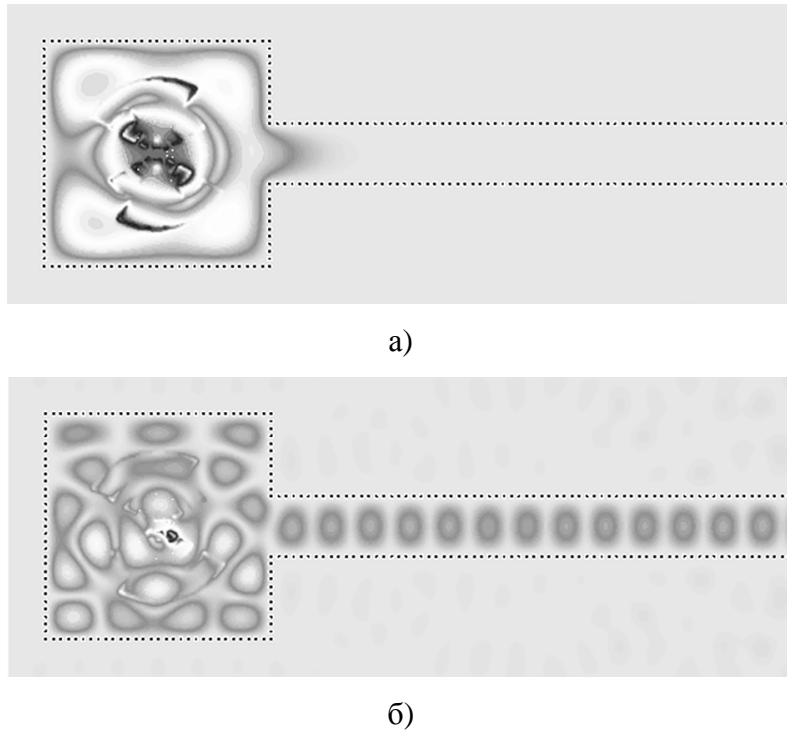


Рис.4. Распределение энергии на первой (а) и второй (б) гармонике.

Результаты эксперимента

Для апробации идеи был создан макет SIW-генератора на расчетную частоту около 13,5 ГГц по первой гармонике. Материалом диэлектрической подложки служил Arlon AD255. В качестве активного элемента использовался полевой транзистор NE350184с с коэффициентом усиления 13,5дБ на частоте 20ГГц. Измерение мощности производилась с помощью ваттметра МЗ-22А. На конце SIW-волновода был сделан скос, что позволяло совмещать его с полым металлическим волноводным трактом. На выходе SIW-волновода наблюдалось излучение на частоте 27 ГГц с мощностью порядка 100 мкВт.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-07-00107-а.

Литература

- [1] Донец И. В. Электродинамический анализ интегрированного в подложку волновода //Электромагнитные волны и электронные системы. – 2008. – Т. 13. – №. 5.

- [2] Cassivi Y., Wu K. Low cost microwave oscillator using substrate integrated waveguide cavity //Microwave and Wireless Components Letters, IEEE. – 2003. – Т. 13. – №. 2. – С. 48-50.
- [3] Zhong C. et al. Ka-Band Substrate Integrated Waveguide Gunn Oscillator //Microwave and Wireless Components Letters, IEEE. – 2008. – Т. 18. – №. 7. – С. 461-463.
- [4] Любченко В.Е., Радченко Д.Е., Телегин С.А., Юневич Е.О. Микрорасположенная антенна-генератор. Патент на полезную модель №156623 с приоритетом от 23 июня 2015г. Зарегистрирован в Госреестре полезных моделей РФ 16.10.2015г.
- [5] Ahmad B. H., Sabri S. S., Othman A. R. Design of a compact X-Band substrate integrated waveguide directional coupler //International Journal of Engineering and Technology (IJET). – 2013. – Т. 5. – №. 2. – С. 1905-1911.
- [6] Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ: Учебник для радиотехнических специальностей вузов //М.: Высш. школа. – 1988.
- [7] Жердев Д. А., Фурсов В. А. Высокопроизводительное моделирование распространения электромагнитного поля с использованием технологии CUDA //Сборник трудов международной научной конференции Параллельные вычислительные технологии. – 2013. – С. 338-345.
- [8] Jin J. M. The finite element method in electromagnetics. – John Wiley & Sons, 2014.