

УДК 621.3.082.1

Зенив И.О., к.т.н.; Крылов В.М.; Мырадов А.Х.

## ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЙ ГЕТЕРОДИН ЧЕТЫРЕХСАНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН НА ДИОДЕ ГАННА С ШИРОКОЙ ПОЛОСОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ

**Zeniv I.O., Krylov V.M., Miradov A.Kh. High-stable heterodyne of four-centimeter range of waves on a Gunn diode with a wide band of mechanical frequency tuning.**

While creating wide-band ultrahigh-frequency generators on solid-state active elements, a problem arises with the stabilizing resonator.

The design of a highly stable heterodyne on a Gunn diode with an extended band of mechanical frequency tuning is considered. The absence of particularly pronounced resonance manifestations in the scheme of the active element in the region of its coupling with a stabilizing high-resonator resonant equipped with resonant absorbing loads determines the broad lane of mechanical reorganization. A special construction of the rebuilding rod ensures high frequency stability in the temperature range and frequency stability when mechanically activated.

The unevenness of output power in the range of up to 12% is not more than 2 dB. The use of thermal compensation reduces the temperature coefficient of frequency (TCF) of the generator to  $1,5 \times 10^{-6}$  unit/  $^{\circ}\text{C}$  in the range of changes in external temperature from  $-60^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ .

**Keywords:** local oscillator, generator, range, Gunn diode, mechanical adjustment, load, frequency

**Зенив И.О., Крылов В.М., Мырадов А.Х. Високостабільний гетеродин чотирьохсантиметрового діапазону хвиль на діоді Ганна з широкою смугою механічної перебудови частоти.** Розглянута конструкція високостабільного гетеродина на діоді Ганна з розширеною смугою механічної перебудови частоти. Відсутність особливо виражених резонансних проявів в схемі активного елемента в галузі зв'язку його зі стабілізуючим високочастотним резонатором, оснащеним резонансними поглинаючими навантаженнями, визначає широку смугу механічної перебудови. Особлива конструкція штока перебудови забезпечує високу стабільність частоти в діапазоні температур і стійкості частоти при механічному впливі.

**Ключові слова:** гетеродин, генератор, діапазон, діод Ганна, механічна перебудова, навантаження, частота

**Зенив И.О., Крылов В.М., Мырадов А.Х. Високостаби́льный гетеродин четырёхсантиметрового диапазона волн на диоде Ганна с широкой полосой механической перестройки частоты.** Рассмотрена конструкция высокостаби́льного гетеродина на диоде Ганна с расширенной полосой механической перестройки частоты. Отсутствие особо выраженных резонансных проявлений в схеме активного элемента в области связи его со стабилизирующим высокочастотным резонатором, оснащённым резонансными поглощающими нагрузками, определяет широкую полосу механической перестройки. Особая конструкция штока перестройки обеспечивает высокую стабильность частоты в диапазоне температур и устойчивости частоты при механическом воздействии.

**Ключевые слова:** гетеродин, генератор, диапазон, диод Ганна, механическая перестройка, нагрузка, частота

### Вступлення

**Постановка задачі.** При створенні широкодіапазонних свехвисокочастотних (СВЧ) генераторів на твердотельних активних елементах виникає проблема зв'язи їх со стабілізуючим резонатором [1, 2]. Крім того, що потребується вибір способу включення резонатора в схему генератора [3], необхідно учитивати резонансні явлення в схемі волноводно – штыревой камеры совместно с елементами конструкції корпусу діода [4, 5]. Обычно они существенно сужают диапазон перестройки и приводят к увеличению неравномерности выходной мощности в рабочей полосе, и усложняет настройку генератора, что особенно проявляется в миллиметровом диапазоне волн.

© Зенив И.О., Крылов В.М., Мырадов А.Х., 2018

*Нерешенные вопросы.* Для расширения рабочего диапазона приходится вводить элементы дополнительной подстройки либо вводить поглощающий элемент, уменьшающий добротность диодной камеры. В первом случае усложняется вопрос устойчивости работы генератора в диапазоне частот, а во втором - уменьшается выходная мощность генератора.

*Цель и способы решения задачи.* В случае сантиметрового диапазона волн, учитывая несоизмеримость размеров корпуса диода и диодной камеры, можно допустить установку активного элемента непосредственно у окна связи диодной камеры с резонатором [6, 7]. Высота волновода диодной камеры занижена, так как ее добротность влияет на диапазон перестройки генератора. Расстояние от центра штыря токовода диода до задней стенки диодной камеры выбирается равной четверти длины волны в волноводе для средней частоты предполагаемого диапазона перестройки генератора.

### Изложение основного материала исследования

В данной работе приведена нами конструкция генератора четырехсантиметрового диапазона волн, свободного от указанных недостатков и устойчиво работающего в диапазоне частот до 12%. Резонатор включен в генератор по схеме «на проход». Выбор конструкции элемента перестройки позволяет простым способом осуществить эффективную термокомпенсацию в широком интервале температур.

Генератор (рис. 1) состоит из трех основных узлов: широкополосной диодной камеры с активным элементом, высокодобротного стабилизирующего резонатора с антипаразитными поглощающими щелями, устройства механической перестройки частоты. Выходная мощность регулируется размерами отверстия связей резонатора с выходным волноводом (выходной волновод генератора на рис 1 не указан).

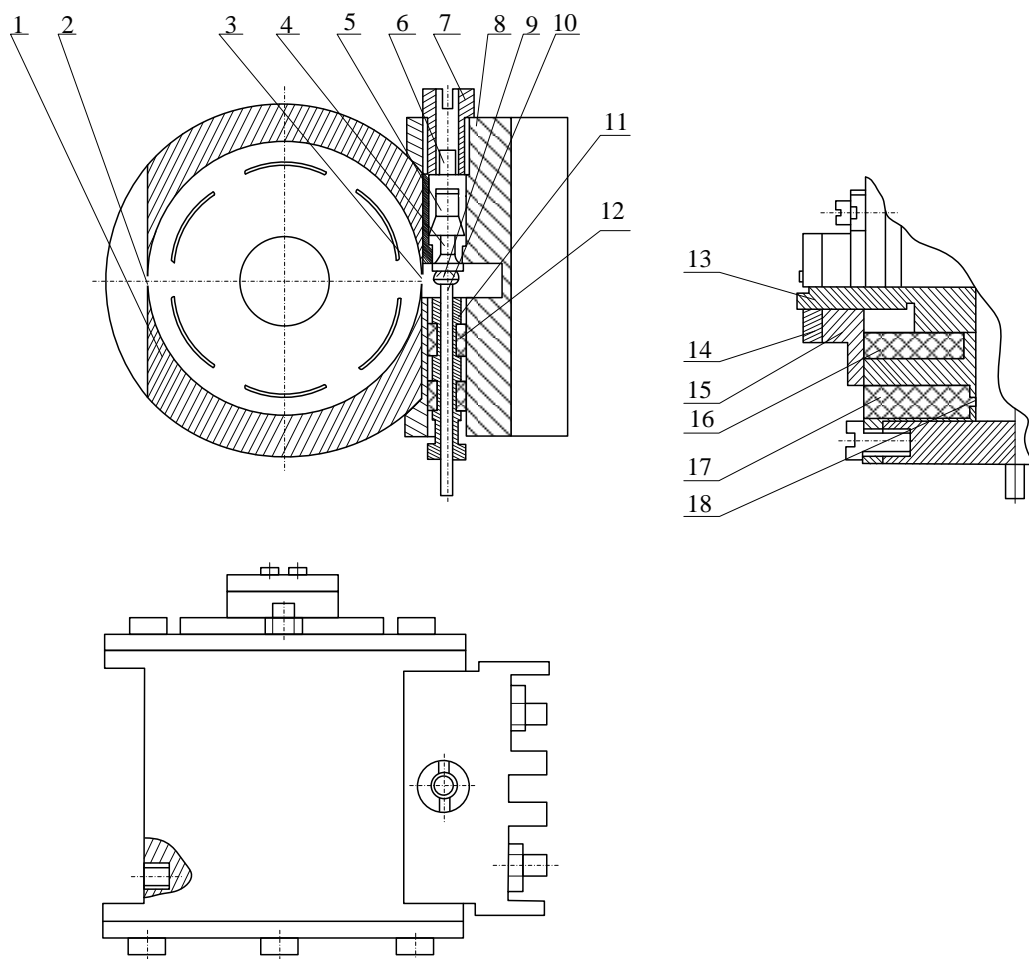


Рис. 1. Конструкция гетеродина (генератора)

Условные обозначения:

- 1 - корпус резонатора;
- 2 – отверстие связи с выходным волноводом (2:4 мм);
- 3 - отверстие связи с диодной камерой (3:12 мм);
- 4 - диод Ганна;
- 5 - цанга внутренняя;
- 6 - цанга внешняя;
- 7 - винт затяжной;
- 8 - диодная камера;
- 9 - контактная пружина;

- 10 - токовод;
- 11 - фильтр питания;
- 12 - втулка из материала - ферроэпоксид;
- 13 – шток;
- 14 – контргайка;
- 15 - гайка неподвижная;
- 16 - втулка уплотняющая (из фторопласта);
- 17 - поглощающая вставка ( материал - ферроэпоксид);
- 18 - отверстие связи с резонансной поглощающей нагрузкой

Характерными особенностями данного прибора является включение диода Ганна 3A725В (диапазон 7 - 8,24 ГГц,  $P \geq 100$  мВт) непосредственно у образующей цилиндрического резонатора, работающего на типе колебания  $H_{011}$  и включение поглощающих щелей в боковой стенке резонатора.

Резонатор генератора цилиндрический с соотношением внутреннего диаметра к высоте равным 54:42 мм. Материал - сплав 32 НКД (суперинвар). Внутренняя поверхность посеребрена, полирована и окончательно обработана методом электро -гальванического хонингования.

Окна связи с диодной камерой прямоугольное, размеры его 3:12 мм, и расположение выбрано таким, чтобы на рабочей частоте возбуждались колебания  $H_{011}$ . Щелевые поглощающие устройства расположены на боковой стенке в виде сегментов в количестве 6 штук по окружности, соответственно максимумам магнитного поля  $H_{112}$ . Каждая щель заполнена ферроэпоксидной смесью с  $\varepsilon = 6$ . Длина щели выбрано резонансной, для колебания  $H_{112}$  с учетом  $\varepsilon$  наполнителя.

Окно связи с нагрузкой выполнено прямоугольным 2:4 мм.

Диодная камера (16) представлена в виде закороченного четверть - волнового отрезка волновода с заниженной в два раза высотой по сравнению с стандартной 5 мм.

Активный элемент- диод Ганна (13) вставлен в цанговый зажим медного патрона, который установлен в отверстии в диодной камере, которая совмещена с радиатором. Тепло отводится от диода через цанговый патрон на внешний радиатор.

Питание на активный элемент поступает через двухзвенный четверть - волновой фильтр, на входе которого установлена шайба из поглощающего материала.

Механизм перестройки частоты резонатора (и соответственно – генератора, ибо частота генератора почти совпадает с частотой резонатора) выполнен в виде штока. Направляющее устройство для штока обеспечивает перемещение его в полости резонатора с максимальной устойчивостью при вибрациях.

Термокомпенсация генератора выполняется подбором материала и размерами штока (латуни ЛС-54), стакана (инвар 36Н) и самого резонатора. Выбор определенных длин этих составных деталей способствует перемещению штока при изменении температуры, компенсирующие изменение частоты за счет изменения диаметра резонатора.

Резонансные частоты резонатора могут быть определены графическим способом [8].

Из уравнения видно:

$$\lambda_R = \frac{\lambda_k}{\sqrt{1 + \left(\frac{p\lambda_k}{2h}\right)^2}}, \quad (1)$$

где  $\lambda_R$  - резонансная длина волны (в свободном пространстве),  $\lambda_k$  - критическая длина волны данного типа,  $p$  – число полуволн, укладываемых вдоль резонатора ( $h$  – высота резонатора).

$$\left(\frac{D}{\lambda_R}\right)^2 = \left(\frac{D}{\lambda_k}\right)^2 + \frac{p^2}{4} \left(\frac{D}{h}\right)^2, \quad (2)$$

Зависимость величины  $\left(\frac{D}{\lambda_R}\right)^2$  от  $\left(\frac{D}{h}\right)^2$  графически изображается прямой, которая при  $\frac{D}{h} = 0$  выходит из точки, соответствующей  $\left(\frac{D}{\lambda_k}\right)^2$ , и крутизна наклона которой определяется коэффициентом  $\frac{p^2}{4}$ .

Согласно графику (рис. 2) изменения резонансных длин различных типов колебаний цилиндрического резонатора от его высоты, свободная от других колебаний перестройка резонансной волны резонатора на типе колебания  $H_{011}$  проходит до пересечения с линией перестройки колебания  $H_{112}$ . Ширина диапазона перестройки частоты генератора при этом достигает 12 % по отношению к центральной частоте генератора.

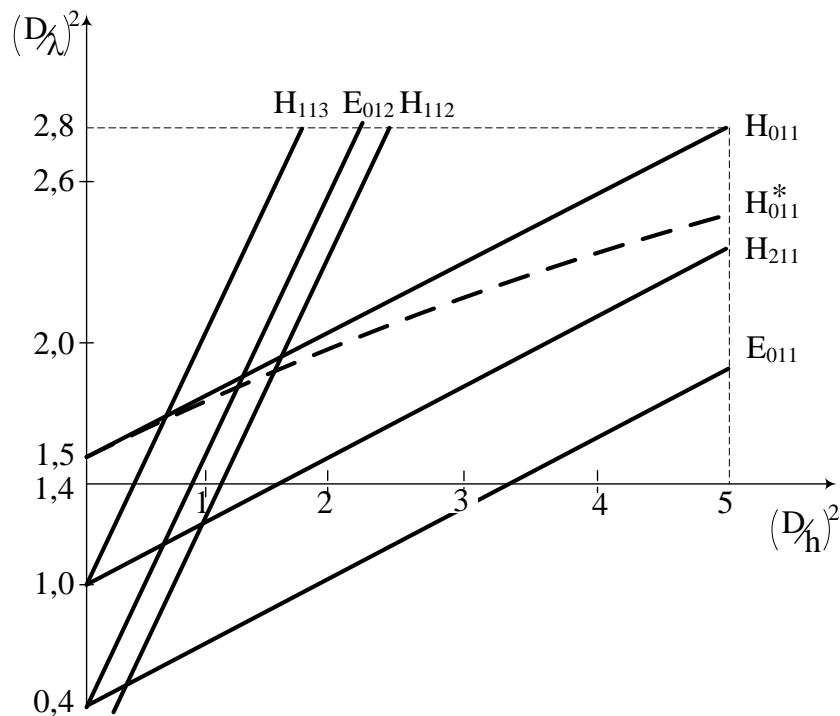


Рис. 2. График изменения резонансных длин волн  $(D/\lambda)^2$  цилиндрического резонатора от высоты  $(D/h)^2$

$H_{011}^*$  - изменение резонансной длины резонатора (соответственно - частоты генератора) от рабочей длины – расстояния между торцом штока и задней стенкой цилиндрического резонатора при замене плоского поршня штоком.

Дальнейшее расширение диапазона перестройки в сторону длинных волн (до 22 %) приводит к увеличению перепадов по мощности, что связано с работой антипаразитных нагрузок в щелях.

Соотношение диаметра штока и внутреннего диаметра резонатора, влияет как на точность установки частоты, так и на величину диапазона перестройки. Данные соотношения –  $D_{рез}/D_{поршня} = 42/20$  мм приводит к достижению диапазона перестройки генератора до 12 % при уровнях  $P/P_0 = 0,6$  и при  $P_0 = 15$  мВт. При изменении питающего

напряжения на  $\pm 0,5\text{В}$  (что указывает на крутизну электрической перестройки по напряжению) изменения частоты составляет 60 кГц/В.

Значение ТКЧ генератора в диапазоне температур от  $-60^\circ\text{C}$  до  $+85^\circ\text{C}$  не превышает  $1,5 \times 10^{-6}$  ед/С°.

В табл. 1 представлены частотно-модулированные (ЧМ) шумы генератора в центре полосы перестройки  $f = 8$  ГГц в доплеровском диапазоне частот.

Таблица 1. Частотно-модулированные шумы генератора при  $f = 8$  ГГц

$\Delta f$ , кГц	2	5	10	20	40	80	100
N, дБ/Гц	-90	-107	-116	-124	-131	-138	-144

### Выводы

Собственная добротность резонатора после электрогальванического хонингования порядка 20 000.

Разработанная конструкция твердотельного генератора на диоде Ганна обеспечивает высокую стабильность частот (с малыми ЧМ шумами) при воздействии внешних дестабилизирующих факторах, прост в настройке.

### Список использованной литературы

1. Царапкин Д.П. Генераторы СВЧ на диодах Ганна.-М.:Радио и связь,1982.-112 с.
2. Давыдова Н.С., Данюшевский Ю.З. Диодные генераторы и усилители СВЧ.-М.:Радио и связь,1986.-184 с.
3. Выровой С.И., Гуменный С.Н., Цвирко Ю.А. Сравнение одноконтурных схем стабилизации генераторов на активных двухполюсниках. Электронная техника серия 1. Электроника СВЧ вып. №3 1976 г. с. 47-58.
4. Лукомский В.П., Олейник Е.И. Измерения параметров эквивалентной схемы корпуса СВЧ диода в миллиметровом диапазоне длин волн. Электронная техника серия 1. Электроника СВЧ. Вып. 5 1978. с. 52-59.
5. Выровой С.И., Гуменный С.Н., Цвирко Ю.А Адмитансные характеристики диода Ганна в волноводно – штыревой камере. Электронная техника серия 1. Электроника СВЧ вып. №7 1978 г. с. 38.
6. Гуменный С.Н., Крылов В.М., Полулях А.Г., Многоканальный стабилизированный генератор на диоде Ганна Спецэлектроника Сер.1 Вып 8 1982 с.27
7. Крылов В.М. Генератор на диоде Ганна с непосредственным включением активного элемента в стабилизирующий генератор. Доклад на семинаре /конференции «Опыт разработки и применение радиоизмерительных приборов и систем» 24-26 апр.1984 года г. Киев.
8. Х. Мейнке, Ф.В. Гундлах // Радиотехнический справочник. Том 1. Радиодетали, цепи с сосредоточенными параметрами, линии передачи, воловоды, резонаторы, антенны, распространение радиоволн. Перевод с немецкого. Государственное энергетическое издательство. Москва. Ленинград. 1960 г.

### Автори статті

**Зенів Ірина Онуфрїївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Крилов Володимир Михайлович** – старший викладач кафедри телекомунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Мирадов Азат Ходжамірадович** – студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

### Authors of the article

**Zeniv Iryna Onufriivna** - candidate of Science (technic), assistant professor, of telecommunication technologies chair, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Krylov Volodymyr Mikhailovich** - senior lecturer, of telecommunication technologies chair, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Myradow Azat Hojamyradovic** - student, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 29.10.2018 р.

Рецензент: к.т.н., доцент А.О. Макаренко