

сканування АР із елементів Вівальді слабо залежить від частоти і приблизно дорівнює  $45^\circ$  в усьому діапазоні частот. Спостерігається лінійна залежність зміщення ДС від зсуву фаз між елементами. На рис. 7 показана ДС 5-елементної ФАР на частоті 11 ГГц при зсуві фаз між елементами  $90^\circ$ . Саме при зсуві фаз  $90^\circ$  спостерігається максимальне відхилення ДС. При подальшому збільшенні зсуву фаз між елементами АР підвищується рівень бічних пелюсток.

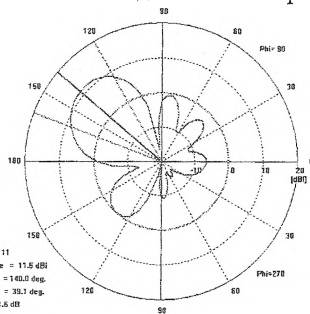


Рис. 7.

### Висновки

В результаті проведених досліджень антени Вівальді, АР і ФАР на її основі показана можливість побудови ширококутових ФАР (з частотним перекриттям 3:1) із широким кутом сканування ( $45^\circ$ ). Досягнуті параметри не є гранично можливими, вони можуть бути покращенні за рахунок оптимізації узгодження збуджувальної МСЛІ з антеною та розкриття антени з вільним простором. З метою збільшення перекриття по діапазону частот подальші дослідження слід зосередити на області нижніх частот.

### Літератури

1. Parameter Study and Design of Wide-Band Wide-scan Dual-Polarized Tapered Slot Antenna Arrays. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 2000;
2. Manual for CST Microwave Studio.

<b>Ключові слова:</b> антена, антенна решітка, антена Вівальді	
Дубровка Ф.Ф., Сушко А.Ю.	Dubrovka F.F., Sushko F.J.
Аналіз антени Вівальді і малоелементних антенних решіток на їх основі	Analysis Vivaldi's antenna and of a small elements antenna array on their base
Представлені результати дослідження характеристик согласования і излучения антени Вівальді і малоелементних фазированих антенних решіток на їх основі.	Results of investigation of radiation and matching characteristics of the Vivaldi antenna and a few element phased array antenna based on it are presented.

УДК 621.382

## АНАЛІЗ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ ЛАВИННО-ПРОЛІТНИХ ДІОДІВ В ГЕНЕРАТОРАХ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ДОВЖИН ХВИЛЬ ЩО ПРАЦЮЮТЬ В ІМПУЛЬСНОМУ РЕЖИМІ

Гуцул А.В., Зоренко О.В.

*Розглянуто вплив конструктивних особливостей генератора та режиму живлення на тепловий режим активної області діода. Показано, що при заданій вхідній потужності визначальними факторами є тривалість імпульсу струму живлення діода та теплові параметри шарів, найближчих до активної області.*

### Вступ. Постановка задачі

Генератори на кремнієвих лавинно-пролітних діодах (ЛПД), що пра-

цюють в імпульсному режимі є на сьогодні найпотужнішими твердотільними джерелами коливань в діапазоні частот 20...300 ГГц. Вони мають малі габарити, надійні, придатні до серійного випуску. Одним з основних факторів, що обмежує максимальну потужність ЛПД є перегрів активної області діода, і як наслідок — незворотній тепловий пробій  $p-n$  переходу. В роботі [1] показано, що кожні  $10^\circ$  перевищення температури над  $200^\circ\text{C}$  зменшують середній час безвідмовної роботи діода на порядок. При температурі вище  $300^\circ\text{C}$  відмови набувають випадкового характеру, оскільки одночасно включається кілька механізмів деградації. Дослідження теплового режиму, методик вимірювання температури активного шару, побудова математичних моделей для розрахунку теплового режиму є актуальною задачею при розробці та конструюванні генераторів на ЛПД.

Відомі методи розрахунку теплової характеристики ЛПД [2] доволі складні, громіздкі, а досліджувані в них моделі не завжди відповідають реальним структурам діодів, що ускладнює їх використання при розрахунках імпульсних ЛПД. Крім того, в методах обчислення нестационарного теплового режиму ЛПД [3,4,5], як правило, немає можливості для визначення максимальної температури активної області залежно від режиму імпульсного живлення (тривалості імпульсу та шпаруватості) та геометричних розмірів мезаструктур і особливостей конструкції генератора [6,7].

Чисельні методи з використанням можливостей сучасних комп'ютерів дозволяють обчислити теплове поле в моделі, яка з високою точністю відповідає реальній конструкції генератора. Метою даної роботи є побудова такої моделі та обчислення теплового режиму активної області діода з її використанням.

### Модель генератора та вихідні дані для моделювання

Моделювання теплових процесів проводилось для генератора 8-міліметрового діапазону, модель якого зображена на рис. 1. Вона складається з генераторної камери 1, діода, який позиціонується в камері за допомогою стакану 3 і закріплюється гайкою 5. До діода належать основа 4, мезаструктура 6, діелектрична втулка 7, виводи діода 8 та кришка 9. Живлення подається на діод через штир 2. Вихідний сигнал передається в наступні каскади по прямокутному хвилеводу перерізом  $7,2 \times 1$  мм. В генераторі застосовується спеціально розроблена мезаструктура.

Для аналізу було обрано 2 режими живлення імпульсним струмом. В обох режимах потужність в імпульсі - 780 Вт, тривалість одного імпульсу — 300 нс. Перший режим — меандр зі шпаруватістю

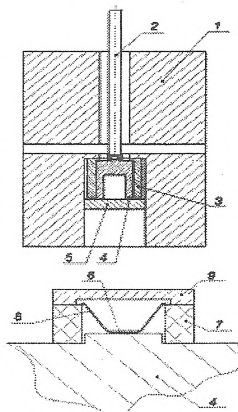


Рис.1

1000, другий — імпульсно-пачковий, шпаруватість в пачці з 10 імпульсів — 500, пауза між пачками — 18 мс.

### Принцип моделювання

Теплове моделювання діода проводилось в середовищі *ePhysics* [8]. Для представлення теплового поля у структурі великого розміру та неоднорідної форми весь об'єкт розбивається на велику кількість тетраедрів — підструктур пірамідальної форми (рис. 2). Поле в кожному елементі представляється окремим поліномом. Цей набір тетраедрів називається сіткою скінченних елементів, або простіше — сіткою. Сітка автоматично генерується для моделі перед обчисленням полів у ній. Для отримання точного опису поля система підбирає розмір кожного елемента так, щоб він був достатньо малим і поле всередині нього можна було однозначно отримати інтерполяцією з вузлових точок. Розв'язувач температурної задачі (стаціонарної чи нестаціонарної) зберігає значення температури в кожній вершині та середній точці кожної грані. Температура всередині кожного тетраедра знаходиться інтерполяцією з цих вузлових точок з використанням функції апроксимації поліномом другого порядку.

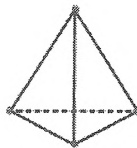


Рис. 2

Для побудови оптимальної сітки *ePhysics* використовує ітераційний процес в якому сітка автоматично вдосконалюється в критичних областях. Спочатку генерується розв'язок для грубої початкової сітки. Після цього система вдосконалює сітку в областях з великою щільністю похибки та знаходить новий розв'язок. Коли обрані параметри точності досягають заданих значень, система закінчує адаптивний цикл. Алгоритм знаходження температурного поля базується на розв'язку рівнянь теплопередачі для кожного елемента сітки.

### Результати розрахунку

На рис. 3 наведена залежність перегріву активної області відносно поверхні камери від часу при нагріві діода за тривалістю імпульсу та при його охолодженні після закінчення імпульсу. Як видно з графіку, перегрів діода при тривалості імпульсу 300 нс досягає  $420^{\circ}\text{C}$ . При температурі навколишнього середовища  $50^{\circ}\text{C}$  та різниці температур між повітрям та поверхнею камери  $20^{\circ}\text{C}$ , що відповідає вимірним значенням. В результаті температура активної області наближається до  $500^{\circ}\text{C}$ , що призводить до незворотнього лавинно-теплового пробою. При заданій потужності в імпульсі його тривалість ба-

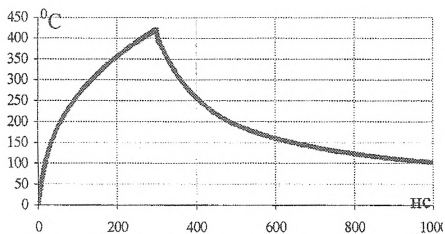


Рис. 3.

жано зменшити до 100 нс. Теплове поле в діоді в кінці імпульсу струму живлення зображене на рис. 4. Як видно, за час дії імпульсу воно поширюється в генераторній камері на відстань, що порівняна з товщиною активної області діода і значно менша за розміри камери.

Розрахунки показали, що за час встановлення режиму додатковий нагрів активної області, обумовлений постійною складовою потужності на діоді при параметрах струму живлення наведених вище складе  $6^{\circ}\text{C}$  при живленні меандром і  $7^{\circ}\text{C}$  в імпульсно-пачковому режимі,

що на два порядки менше перегріву за час дії імпульсу. Проведені дослідження також показали, що покращення теплових параметрів матеріалів камери та стакану в 4 рази разом з виключенням всіх зазорів зменшить додатковий нагрів не більше ніж на 15%. Суттєво зменшити теплове навантаження на діод при заданих параметрах струму живлення можна лише покращенням теплових параметрів прилеглих до діода шарів, наприклад, використанням алмазних основ.

### Висновки

З використанням комп'ютерного числового моделювання розраховано тепловий режим активної області ЛПД з урахуванням особливостей конструкції генератора на його основі. Показано, що перегрів активної області діода за час дії імпульсу струму живлення складає  $420^{\circ}\text{C}$ . При цьому абсолютне значення температури активної області може досягати  $500^{\circ}\text{C}$ . Крім того, показано, що покращення теплових параметрів елементів конструкції генератора, віддалених від активної області діода, при заданих параметрах струму живлення не може бути використане для зменшення теплового навантаження на діод, через сильний перегрів діода робоча тривалість імпульсу при заданій вхідній потужності не може перевищувати 100-150 нс.

### Література

1. Domingos H. Transient temperature rise in silicon semiconductor devices // IEEE Trans. -1975. v. ED-22. N1. p. 20-23.
2. Bowen J.H., Breese M.E. Analytic and experimental techniques for evaluating transient thermal characteristics of TRAPATT diodes//IEEE Trans. -1974. -v. ED-21. N8. p. 480-487.
3. Ясинский К.А. Тепловой режим импульсных генераторных диодов // Радиотехника и электроника -1975. №1. с. 224-226.
4. Крейт Ф., Блек У. Основы теплопередачи // Издательство "Мир". -Москва. -1983.
5. Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел // Ленинград. "Энергия". 1976.
6. Касаткин Л.В., Чайка В.Е. Полупроводниковые устройства диапазона миллимет-

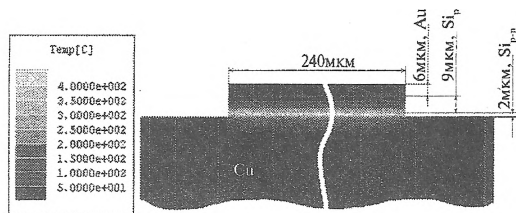


Рис. 4

ровых волн // Изд. "Вебер". Севастополь. 2006.

7 Олейник В.Ф., др. Электронные приборы миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов на основе нанотехнологий//Изд. ООО "ДВ.К.". Киев. 2004.

8 <http://www.ansoft.com/products/tools/ephysics/>.

**Ключові слова:** лавинно-пролітний діод, генератор міліметрового діапазону, техніка НВЧ діапазону

Гуцул А.В., Зоренко А.В.

Gutsul A.V., Zorenko O.V.

Анализ теплового режима лавинно-пролетных диодов в генераторах миллиметрового диапазона длин волн работающих в импульсном режиме  
Рассмотрено влияние конструктивных особенностей генератора и режима питания на тепловой режим активной области диода. Показано, что определяющими факторами являются длительность импульса тока питания диода и тепловые параметры слоев, близких к активной области.

**Thermal conditions analyze of impat diodes in millimeter-wave pulse generators**  
There is influence of generator design features and IMPATT diode supply mode on effective layer thermal conditions being examined in this article. Shown, that current pulse width and thermal properties of layers closest to effective are determinative factors given supply power.

УДК 621.373.12: 621.396.61

**МАЛОШУМЛЯЧИЙ СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТИ ДІАПАЗОНУ 12 ГГц  
ДЛЯ ПРИЙМАЧ-ПЕРЕДАВАЧА ФАЗОМАНІПУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ**

*Цвельх І.С., Омеляненко М.Ю., Коцержинський Б.О.*

*Розроблено синтезатор частоти з низьким рівнем фазового шуму, придатний до автоматизованих процесів виробництва вузлів на друкованих платах. Проведено аналіз ймовірності помилки для каналу передачі даних з 8-PSK модуляцією, що використовує розроблений синтезатор частоти, як гетеродин перетворювачів частоти.*

Використання сучасними системами зв'язку складних видів модуляції, підвищення вимог до ефективності використання частотних ресурсів, переміщення систем зв'язку на все більш високі частоти та їх комерціалізація робить актуальною задачу побудови недорогих малошумлячих джерел коливаних, яка на сьогодні перетворилася на самостійну.

**Результати дослідження**

Проаналізуємо ступінь впливу фазових шумів гетеродинів перетворювачів частоти на

якість каналу передачі фазоманіпульованих сигналів. На рис.1 зображені основні компоненти системи цифрового зв'язку. Сигнал несучої проміжної частоти модулюється

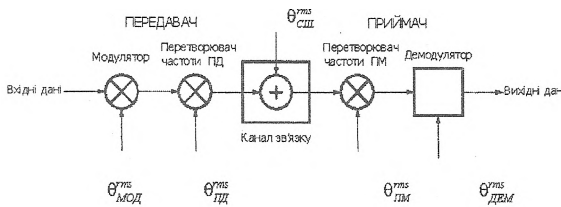


Рис. 1.

потоком вхідних даних і переноситься у діапазон частот вихідного сигналу передавача. Після проходження через канал, де підлягає впливу