

**В.В. ВОЛОХІН**, аспірант НТУ „ХПІ”

### **ДЖЕРЕЛА ПОТУЖНОСТІ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ХВИЛЬ НА ДІОДАХ ГАННА**

В статті розглянуті конструкції діодних джерел потужності міліметрового діапазону хвиль. Проаналізовано основні класи діодів надвисокої частоти (НВЧ). Також приведені основні характеристики відомих частотно-стабілізованих автогенераторів міліметрового діапазону хвиль на діодах Ганна і ЛПД.

In article are considered designs of the diode power sources of millimeter range of the waves. The main classes ORF-diode (over radio frequency) are analysed. The main features of known frequency-stabilized free-running oscillator of millimeter range of the waves on diode Ganna and IMPATT-diode are brought.

В роботах [1 - 4] пропонується використовувати відкритий біконічний резонатор в якості датчика раннього виявлення ожеледно-поморозевих утворень (ОПУ) на лінії електропередавання. Але при цьому постає досить серйозна проблема генерації електромагнітних хвиль для роботи резонатора з використанням низькоенергетичних джерел живлення.

Активне освоєння міліметрового діапазону хвиль в останні роки, створення в цьому діапазоні високоточних радіолокаційних і навігаційних систем, радіометричних пристроїв, комунікаційних систем різного призначення, приладів для наукових досліджень, численних пристроїв технологічного контролю, медичної апаратури і т.п. значною мірою пов'язане з побудовою в цьому діапазоні напівпровідникових генераторів і підсилювачів на діодах. Ці прилади виявилися ефективними джерелами електромагнітних коливань, що забезпечують (в однодіодних конструкціях) середні рівні потужності від одиниць Ват у діапазоні 20 – 40 ГГц до сотень міліват на частотах понад 100 ГГц і десятки Ват в імпульсному режимі роботи. З використанням напівпровідникових діодів створені генератори із широким діапазоном електронної перебудови частоти (понад 30%), малощумливі гетеродини прийомних пристроїв з високою чутливістю, потужні високостабільні генератори імпульсної й безперервної дії в режимі автоколивань і зовнішньої синхронізації.

Сімейство НВЧ-діодів може бути в основному розділено на два основних класи: а) діоди, засновані на ефекті Ганна або діоди з міждолинним переносом електронів (transferred electron devices – TED); б) діоди, що використовують проліт електронів при різних механізмах їхньої інжекції в область прольоту. Залежно від механізму інжекції ці діоди відомі як лавино-пролітні діоди при інжекції за рахунок лавинного пробою – ЛПД (Impact avalanche transit time – IMPATT); діоди з інжекцією за рахунок тунельного

ефекту (tunnel transit time – TUNNETT); діоди з бар'єрною інжекцією *p-n*-переходу (barrier transit time – BARITT). До зазначених класів не можуть бути віднесені тунельні діоди (TD) і резонансно-тунельні діоди (RTD). У діапазоні міліметрових хвиль ці діоди розвивають дуже малі потужності.

Значне збільшення енергетичних характеристик діодів Ганна й розширення їхнього робочого діапазону частот до 300 ГГц досягнуте при побудові цих діодів на основі фосфіду індію (InP). Застосування цього матеріалу дозволило значно збільшити ККД діодів на частотах менших 100 ГГц (до величин 15 – 20%) і значно збільшити рівні потужності на частотах понад 100 ГГц. Арсенід-галієві (GaAs) ЛПД, діоди Ганна й TUNNETT діоди на основі арсеніду галію й фосфіду індію характеризуються рівнями шуму на 10–15 дБ меншими, ніж кремнієві ЛПД [5]. Порівняльні дані наведено на рис. 1.

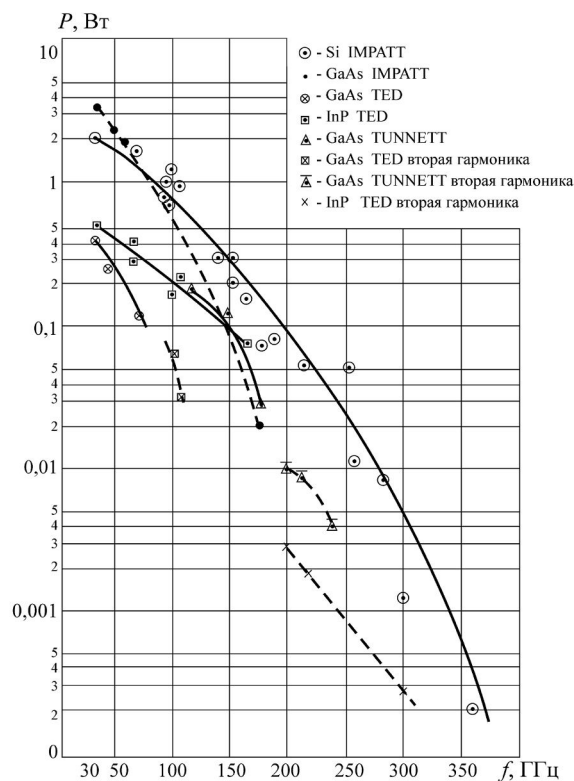


Рисунок 1 – Досягнуті станом на 2000 рік рівні потужностей діодів безперервної дії в діапазоні частот

Значний інтерес представляє можливість побудови генераторів Ганна із широким діапазоном механічної перебудови частоти при установці діода в резонаторі, зв'язаному щільним зв'язком з хвилевідним навантаженням. Конструкція такого генератора з перебудовою частоти в діапазоні 13,25–38,5 ГГц приведена на рис. 2 [6]. На рис. 2: 1 – діод Ганна; 2 – хвилевід прямокутного (або круглого) перетину зменшеної висоти; 3 – індуктивний штир; 4 – фільтр у лінії живлення діода; 5 – діелектричний стрижень перебудови частоти; 6 – хвилевід прямокутного стандартного перетину; 7 – індуктивна діафрагма. Резонатор виконаний на основі напівхвильового відрізка хвилеводу прямокутного перетину зменшеної висоти, пов'язаного з корисним навантаженням за допомогою індуктивної діафрагми. Перебудова частоти здійснюється зануренням діелектричного стрижня в порожнину резонатора при фіксованих розмірах резонатора. При побудові таких генераторів не потрібне створення спеціальних конструкцій діодів – можуть застосовуватися уніфіковані конструкції.

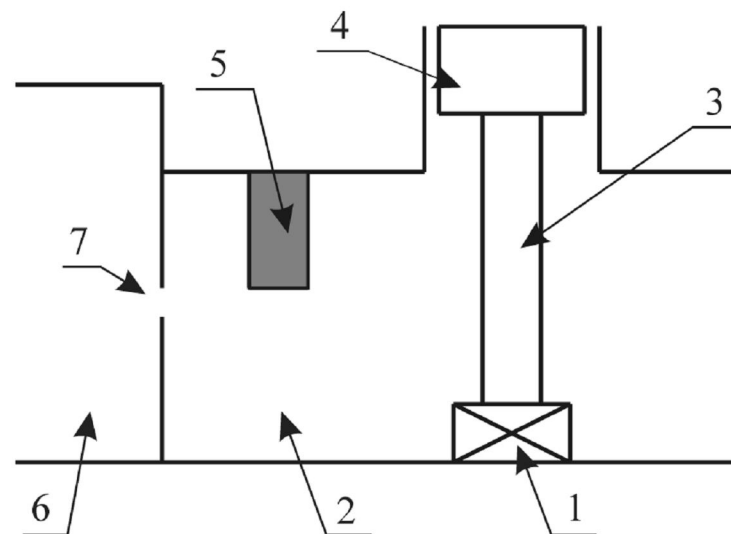


Рисунок 2 – Конструктивна схема широкодіапазонного генератора Ганна з механічною перебудовою частоти діелектричним стрижнем у резонаторі хвилеводного типу

Найбільш високі результати по стабілізації частоти в діапазоні 33–36 ГГц досягнуті при використанні автогенераторів з об'ємним резонатором на основі GaAs діодів Ганна [6,7]. Ці генератори зібрані за схемою із прохідним циліндричним резонатором, збуджуваному на основній частоті. Створення

більш високочастотних автогенераторів на діодах Ганна вимагає переходу на інші напівпровідникові матеріали (насамперед InP). З урахуванням рис.1 можна вважати, що діоди Ганна на основі InP у діапазоні частот до 150 ГГц характеризуються величинами шуму такими ж як й GaAs діоди в області більш низьких частот.

Застосування ЛПД у частотно стабілізованих генераторах міліметрового діапазону дозволяє значно збільшити рівень вихідної потужності. Однак, у режимі максимальної потужності, рівень шуму генераторів на ЛПД (ГЛПД) на 10-15 дБ вище, ніж в оптимізованих генераторах на діодах Ганна (ГДГ). Шумові характеристики ГЛПД можуть бути істотно поліпшені й наближені до характеристик ГДГ, при роботі в режимі зі зменшеним струмом живлення й, відповідно, зменшеним рівнем потужності генератора. Максимальна частотна стабільність і відповідно мінімальні фазові шуми ГЛПД досягаються при оптимізації схеми побудови генератора.

У таблиці 1 приведені основні характеристики відомих частотно-стабілізованих автогенераторів міліметрового діапазону хвиль на діодах Ганна і ЛПД.

Таблиця 1

№ п/п	Тип діода	Діапазон частот, ГГц	Потужність, Вт	Інтервал температур, °С	Нестабільність частоти, МГц/°С	Маса, г	Фірма країна
1	ДГ GaAs	13-36	0,1	-50...+50	0,1	200	"Оріон", Україна; "Світлана" Росія
2	ЛПД Si,SD	13-36	0,1	-60...+70	0,16	50	"Оріон", Україна
3	ЛПД Si,DD	13-36	0,5	-50...+50	0,1	200	"Оріон", Україна
4	ДГ GaAs	16,5-40	0,2	0...+60	0,15	226	Millitech, USA
5	ДГ GaAs	40-60	0,1	0...+60	0,2	170	Millitech, USA
6	ЛПД GaAs	94	0,27	-	-	-	Tech.Univ Munchen

Генератори, параметри яких наведені в рядках 4, 5, мають значний фазовий шум. Це можливо пояснюється неоптимальністю схеми їхньої побудови, а також настроюванням, спрямованим на досягнення максимальної потужності, а не частотної стабільності. Значна середня потужність генератора 3 обумовлена застосуванням двопротинного кремнієвого ЛПД із оптимальною резонансною трансформацією його імпедансу при використанні

монтажних елементів корпусу діода. Висока частотна стабільність цього генератора забезпечена застосуванням стабілізуючого резонатора циліндричної форми, збуджуваного на хвилі типу  $TM_{010}$ . У генераторі, параметри якого приведені в рядку 6, з метою зменшення розмірів і маси застосований циліндричний резонатор на хвилі основного типу  $TE_{111}$ . У варіанті без перебудови частоти маса цього приладу дорівнює 20 г, а його об'єм – 3 см<sup>3</sup> [7 - 9].

Будь-який із генераторів, параметри яких приведені в рядках 1,2 і 3, можна використовувати для збудження ЕМП у біконічному резонаторі. Вони мають досить широкий діапазон робочих температур, незначну нестабільність частоти та генерують потрібні потужності. Крім того, усі вони виготовлені в Україні, а деякі з них генерують електромагнітні хвилі на потрібній моді.

### Висновки:

1. Встановлена можливість генерації низькоенергетичних електромагнітних коливань з використанням малопотужних джерел живлення в діапазоні від сотень міліват до декількох Ват;
2. Показано, що параметри відомих частотно-стабілізованих автогенераторів міліметрового діапазону хвиль на діодах Ганна підходять для використання при побудові датчика виявлення ожеледі на основі біконічного резонатора.

**Список літератури:** 1. Шевченко С.Ю., Волохін В.В. Оцінка можливості використання даних державних метеостанцій для контролю стану об'єктів електричних мереж // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. №21 – С. 143-147. 2. Лебединський І.Л., Шевченко С.Ю., Волохін В.В. Способы и устройства предупреждения гололедно-изморозевых образований // Вісник Сумського державного університету.–2008.– № 2.–С.21-25. 3.Шевченко С.Ю., Волохін В.В. Моделирование розподілу електромагнітних полів у відкритому біконічному резонаторі // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – 2008. – № 20. – С. 65-69. 4.Шевченко С.Ю., Волохін В.В. Розрахунок електромагнітних полів у відкритому біконічному резонаторі // Енергетика та електрифікація – Київ, 2008 – № 11. С. 36-44. 5.Касаткин Л. В., Чайка В. Е. Полупроводниковые устройства диапазона миллиметровых волн. – Севастополь: Вебер, 2006. — 319 с.: ил. 6.К.В.Vassilevski, A.V.Zorenko, K.Zecentes. Experimental observations of microwave oscillation produced by pulsed SiC-IMPATT diode. Electronic Letters. 2001, vol. 37, no. 7, pp. 1173–1175. 7.С.П.Ракутин, Н.Ф.Карушкин, Л.В.Касаткин, Ю.А.Цвирко и др. Твердотельные компоненты для перспективной радиоэлектронной аппаратуры ММ и субММ диапазоновдлин волн. 10th International Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo 2000), Украина. 2000, с. 33–36. 8.WEB–сайт АО «Светлана», Россия. <http://www.brown.nord.nw.ru/svetlana>, 2003. 9.Каталог фирмы Millitech. Corp. USA. “Millimeter wave product” 1995 ed.