

## **ТЕХНОЛОГІЇ НАДПРОВІДНИХ ПРИЙМАЧІВ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ**

**Кичак В. М., Васильківський М.В.**

*Вінницький національний технічний університет, Україна*

*E-mail: mvasylkivskiy@gmail.com*

### **Technologies of superconducting terahertz receivers**

The development of physical principles for constructing passive thermal imagers of the terahertz frequency range based on superheterodyne receivers is described.

В даний час існує велика кількість різноманітних приймачів і джерел випромінювання терагерцового діапазону, які продовжують розвиватися і вдосконалюватися, але вже зараз стан розробок досягнув такого рівня, що такі характеристики як надійність і чутливість приймачів, потужність і стабільність джерел випромінювання, можливість промислового виготовлення, вартість виготовлення дозволяють планувати їх використання не лише в проектах астрономічних досліджень, але і при конструюванні приладів, які використовуються в повсякденному житті людини.

Однією з областей застосувань, в якій терагерцові приймачі та джерела випромінювання можуть зайняти гідне місце, є використання їх для отримання зображення об'єктів за допомогою радіохвиль (системи радіосканування зображень) [1]. Важливими потенційними застосуваннями терагерцових систем радіосканування зображень [2] є їх використання для авіаційної безпеки [2-5], навігації в умовах обмеженої видимості, екологічного моніторингу [6], вулканології [3], виявленні прихованої під одягом зброї [3], медицині [4,5], астрономії [6], інтроскопії промислових конструкцій, пасивній локації довільних об'єктів [3].

Існує кілька різних підходів до побудови терагерцової системи радіосканування зображень. Всі системи, що розробляються в даний час, діляться на активні і пасивні. У першому випадку об'єкт спостереження опромінюється сигналами терагерцового діапазону, а обладнання реєстрації приймає відбите від об'єкта випромінювання. Пасивна система радіосканування зображення реєструється власне теплове випромінювання об'єкта спостереження.

Основною перевагою першого методу є знижені вимоги по чутливості до приймача випромінювання, проте використання активних методів в ряді випадків є небажаним, наприклад в медицині та службах безпеки.

Для пасивних систем радіосканування зображень полягає на зчитуванні зображення по власному тепловому випромінюванню тіл. В цьому випадку такі пасивні системи радіосканування називаються тепловізорами [3]. При створенні пасивної системи радіосканування необхідно використовувати приймачі з високою чутливістю. Існуючі розробки пасивних терагерцових систем радіосканування (тепловізорів) базуються в основному на схемах приймачів

прямого детектування. Застосування супергетеродинного приймача дозволяє використовувати спектральну інформацію про теплове випромінювання об'єктів спостереження, що в свою чергу дозволяє визначати хімічний склад цих об'єктів, а значить має великий практичний інтерес з точки зору застосування терагерцового тепловізора в медичних системах і службах безпеки.

Крім цього, супергетеродинний приймач дозволяє отримувати інформацію про розподіл фази в фокальній площині об'єкта, а значить, за допомогою такого приладу можливо без використання складної оптики розглядати зрізи, розташовані на різній глибині об'єкта, що спостерігається тільки завдяки математичній обробці амплітудних і фазових розподілів сигналу в площині приймача [4].

Серед найбільш розвинених змішувачів терагерцового діапазону частот можна виділити змішувачі на діодах з бар'єром Шотткі, змішувачі на основі нелінійності тунельного переходу надпровідник-ізолятор-надпровідник (НІН змішувач) і змішувачі на ефекті електронного розігріву в тонких надпровідних плівках (НЕВ змішувач).

Змішувач на ефекті розігріву електронів в резистивному стані надпровідників [5] характеризується підвищеною чутливістю одночасно з досить широкою смугою перетворення, а також потребує низьку потужність гетеродина при субмікронних розмірах чутливого елемента. Він є досить перспективним елементом приймача терагерцового діапазону частот, так як не має частотних обмежень та не містить реактивної компоненти, що полегшує завдання узгодження змішувача з різними типами квазіоптичних антен.

В якості гетеродина найбільш придатним для використання в інтегральних схемах є генератор на в'язкому перебігу джозефсонівських вихрів (FFO) [4, 5], який характеризується вузькою смугою генерації і допускає використання схем фазового автопідстроювання частоти. Потужність сучасних FFO достатня для накачування НЕВ і НІН змішувачів [6].

В даний час не існує аналогів пасивним супергетеродинним тепловізорам терагерцового діапазону. Тому, дослідження фізичних основ роботи такого пристрою є важливим завданням, актуальність якого визначається широкими можливостями застосування і затребуваністю систем радіосканування терагерцового діапазону в таких важливих областях як медицина, інтроскопія промислових конструкцій, повітряна і морська навігація в умовах низької видимості, пожежна охорона, служби екологічного моніторингу та системи безпеки. Актуальність цієї роботи пов'язана з необхідністю детального дослідження чутливих приймачів терагерцового діапазону частот для забезпечення можливості побудови сучасних систем радіосканування зображень [7].

Важливими параметрами супергетеродинного приймача за умови його використання в приймачі тепловізора є флуктуаційна чутливість і часова стабільність приймача. Підвищення часової стабільності при роботі в широкій смузі ПЧ для супергетеродинного приймача є важливим завданням, рішення

якого необхідно для забезпечення високої чутливості приймача за час отримання кадру системи побудови радіозображень.

Наукова новизна роботи полягає в дослідженні вузлів пасивної супергетеродинної тепловізійної схеми терагерцового діапазону частот, а також в оцінюванні флуктуаційної чутливості НІН і НЕВ змішувачів, вивченні впливу паразитних впливів і досягненні граничних значень флуктуаційної чутливості приймачів. Крім цього, новизна роботи пов'язана з використанням цифрових методів обробки сигналу в реальному часі для збільшення часової стабільності супергетеродинних приймачів [8].

Супергетеродинний приймач має ряд переваг в порівнянні з приймачем прямого детектування, а саме: можливістю вимірювання спектральних характеристик теплового випромінювання об'єктів, що спостерігаються в пасивному режимі, а також отриманням інформації про фазу сигналу.

Найбільш перспективні технології побудови приймачів терагерцового діапазону частот на використанні НЕВ змішувачів і НІП (надпровідний інтегральний приймач на базі НІН змішувача і інтегрованого з ним гетеродина FFO) оскільки на частотах вище 1,2 ТГц, кращі характеристики показує НЕВ змішувач, а на частотах нижче - НІН змішувач.

#### Література

1. *Ожегов Р. В., Горшков К. Н., Окунев О. В., Гольцман Г. Н.* Сверхпроводниковый смеситель на эффекте электронного разогрева как элемент матрицы системы построения тепловых изображений. // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36, № 21. С. 70–77.
2. *Ozhegov R. V., Gorshkov K. N., Gol'tsman G. N. et al.* Stability of terahertz receiver based on superconducting integrated receiver. // Superconducting Science and Technology. 2011. no. 24. P. 035003.
3. *Ожегов Р. В., Горшков К. Н., Гольцман Г. Н. и др.* Флуктуационная чувствительность и временная нестабильность сверхпроводникового интегрального приемника для тепловизора терагерцового диапазона. // Научно-техническая конференция-семинар по фотонике и информационной оптике / Научная сессия НИЯУ МИФИ. Москва: 2011. С. 144–145.
4. *Ожегов Р. В., Горшков К. Н., Смирнов К. В. и др.* Терагерцевый тепловизор на базе сверхпроводящего интегрального приемника для применений в системах безопасности. // Прикладная сверхпроводимость 2010. Москва: 2010.
5. *Ozhegov R. V., Gorshkov K. N., Smirnov K. V. et al.* Terahertz Imaging System based on Superconducting Integrated Receiver. // SET-159 Special- ists Meeting on "Terahertz and Other Electromagnetic Wave Techniques for Defence and Security". Vilnius, Lithuania: 2010.
6. *Кичак В. М.* Квантові приймачі для терагерцового спектру частот / В.М. Кичак, І.А. Самолюк, М.В. Васильківський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП\_18\_2018), XVIII міжнародна науково-технічна конференція, 8-13 червня 2018 р. – Матеріали – Одеса. – 2018 с. 212.
7. Оцінювання впливу спектральної щільності флуктуацій струму на ширину лінії генерації переходу джозефсона / [В. М. Кичак, В. В. Кичак] // Вісник Вінницького політехнічного інституту «ВНТУ». — Серія «Радіоелектроніка та радіоелектронне апаратобудування». — 2015. — № 6. — С. 153—158.
8. *Васильківський М. В., Самолюк І. А.* «Дослідження джозефсонівських наносистем на основі ВТНП», Матеріали конференції «XLVIII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2019)», Вінниця, 2019.