

ЗАСТОСУВАННЯ ЯВИЩА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ НАДПРОВІДНОСТІ ТА ЕФЕКТУ ДЖОЗЕФСОНА ДЛЯ ПОБУДОВИ ГЕНЕРАТОРІВ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ ХВИЛЬ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розглянуто особливості роботи генераторів терагерцового діапазону на основі ефекту Джозефсона та високотемпературної надпровідності. Наведено аналітичні вирази для визначення ширини лінії генерації та визначення динамічного опору переходу Джозефсона.

Ключові слова: генератор, перехід Джозефсона, високотемпературна надпровідність, динамічний опір.

Abstract

The peculiarities of the operation of terahertz generators based on the Josephson effect and high-temperature superconductivity are considered. Analytical expressions for determining the width of the generation line and determining the dynamic resistance of the Josephson junction are given.

Keywords: generator, Josephson junction, high-temperature superconductivity, dynamic resistance

Вступ та постановка задачі дослідження

Терагерцовий діапазон знаходиться на шкалі електромагнітних хвиль (ЕМХ) між діапазоном надвисоких частот (НВЧ), оптичним інфрачервоним діапазоном і частково перекриває високочастотну частину НВЧ діапазону та низькочастотну частину ГЧ – діапазону.

Терагерцові хвилі мають свою специфіку взаємодії з газами атмосфери, рідинами та різними твердими матеріалами, яка проявляється в суттєвій відмінності ослаблення, пропускну здатності, розсіювання, відбиття та випромінювання цих хвиль у порівнянні з оптичними хвилями [1,2,3]. Ця специфіка визначає ті завдання, які мають бути розв'язані з використанням терагерцового діапазону в сукупності з хвилями оптичного та надвисокочастотного діапазонів, що широко застосовуються в різних галузях науки та техніки.

В терагерцовому спектральному діапазоні незадовільно працюють, як радіотехнічні методи, так оптичні методи і, як наслідок цього, відсутні ефективні джерела випромінювання та високочутливі приймальні пристрої.

Застосування ЕМХ терагерцового діапазону, який дає можливість використовувати надзвичайно велику смугу частот до 2900 ГГц, яка в 100 разів перевищує смугу частот НВЧ діапазон і відкриває значні резерви реалізації телекомунікаційних систем з надзвичайно високою пропускну здатністю до 10 і 100 Гбіт/с.

Розробка джерел випромінювання та приймачів коливань у терагерцовому діапазоні буде визначати значний прогрес у сфері спектрального аналізу та дасть змогу безпомилково ідентифікувати будь-які відомі речовини та їх з'єднання, де б вони не знаходились, чи в живих клітинах, чи в космосі.

Тому актуальними є задачі, направлені на розробку та дослідження джерел випромінювання та високочутливих приймальних пристроїв у терагерцовому діапазоні.

Метою цієї праці є розробка та дослідження генератора терагерцового діапазону на базі високотемпературної надпровідності та ефекту Джозефсона.

Розв'язання задачі

В праці [4] показано, що перспективним методом побудови генераторів терагерцового діапазону є використання переходів Джозефсона (ПД), характеристична частота яких може становити кілька сотень ГГц у випадку застосування низькотемпературної надпровідності (НТНП) для побудови ПД та кілька терагерц у випадку високотемпературної надпровідності (ВТНП). Особливістю таких генераторів є те, що вони здатні перелаштовуватись за частотою шляхом зміни напруги на переході. Залежність частоти генерації від напруги можна розрахувати за виразом [3]

$$f_0 = \frac{2qU_0}{h},$$

де q – заряд електрона, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – приведена стала Планка.

Частоту f_0 називають джозефсоновською частотою. Слід зазначити, що навіть при дуже малих напругах, прикладених до переходу, частота досить висока, при $U_0 = 10$ мкВ вона становить приблизно 4,83 ГГц.

Одним із важливих параметрів таких генераторів є ширина лінії генерації, яка є відносно великою, що ускладнює застосування таких генераторів у приймальних пристроях високої чутливості. [4]

В роботі отримано вираз для розрахунку ширини лінії генерації та її залежності від величини критичного струму та динамічного опору у випадку застосування ВТНП

$$\Delta f = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{2e}{\hbar} \right)^2 R_d^2 \left[e(I_n + 2I_s) + \frac{2I_0^2 KT}{U(I_n + 2I_s)} \right]$$

де R_d – диференціальний опір в робочій точці воль-амперної характеристики ПД;

I_n і I_s – нормальна та надпровідна складові струму.

Для визначення динамічного опору ПД використовувався вираз для вольт-амперної характеристики [5]

$$R_d = \frac{R_{ш} \cdot R_n}{R_{ш} + R_n} \frac{I}{\sqrt{I^2 - I_0^2}}$$

де $R_{ш}$ – опір шунта резистивно-зашунтованого ПД.

Досліджено залежність частоти генерації та ширини лінії генерації від критичного струму та напруги на переході.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] М. Ю. Ільченко, С.О. Кравчук. *Телекомунікаційні системи*. Монографія. Київ. Наукова думка. 2017, 736 с.

[2] И. И. Соловьев. *Сверхпроводящие квантовые интерферометры для устройства приема сигнала и обработки информации*. Дис.доктора наук. М. 2018. 350 с.

[3] М. М. Будник, Ю. В. Пустовіт, О. В. Прокопенко. *Надпровідникова електроніка: Електронний навчальний посібник*. Київ, ФРЕКС КНУ імені Тараса Шевченка, 2020. 205с.

[4] М. Ю.Торгашин Разработка и исследование джозефсоновских генераторов терагерцевых диапазонов на основе распределенных туннельных переходов: дис. канд. наук М.:2013, 140 с.

[5] В.М. Кичак Генератори допоміжних сигналів на базі переходів Джозефсона. / В.В. Кичак, М.Д. Гузь, А.В. Вергелюк. – « Вісник Національного технічного університету України «КПІ» Серія – Радіотехніка, радіоапаробудування. -2014.-№57, С121 – 127.

Кичак Василь Мартинович — д-р техн. наук, професор, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Макогон Віталій Іванович – к.т.н., асистент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vim1986@i.ua

Нікітович Діана Вікторівна — аспірант, спеціальності 172-Телекомунікації та радіотехніка, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: diananikitovych@gmail.com

Kychak Vasyl Martynovich - Dr. Tekhn. Sciences, professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Vitaliy Makogon - Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor, Department of infocommunication systems and technologies, Vinnytsia National Technical University

Diana Nikitovitch - graduate student, majoring in 172-telecommunications and radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, diananikitovych@gmail.com