

ВИСОКОПРОДУКТИВНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ КРІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИЙМАЧІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто основні напрямки розвитку концепції надпровідного інтегрального приймача (НІП), що вимагають істотне поліпшення ряду параметрів приймача. Показано, що використання НІП в задачах радіоінтерферометрії з наддовгою базою, підвищення робочого частотного діапазону приймача за рахунок використання нових типів матеріалів, а також створення матричного приймача на основі НІП вимагають створення широкопasmової (понад 50 МГц), простої і компактної (без використання підсилювачів в петлі зворотного зв'язку) системи ФАПЧ для надпровідного генератора гетеродина (НГД).

Ключові слова: надпровідний інтегральний приймач, ФАПЧ, надпровідний генератор гетеродина.

Abstract

The main directions of the development of the concept of a superconducting integral receiver (SIR), which require a significant improvement in a number of receiver parameters, were considered. It was shown that the use of SIR in the problems of radio interferometry with an overhead base, increasing the working frequency range of the receiver due to the use of new types of materials, as well as the creation of a matrix receiver based on SIR require the creation of broadband (more than 50 MHz), simple and compact (without the use of amplifiers in the loop feedback) of a PLL system for a superconducting heterodyne generator (SHG).

Keywords: superconducting integral receiver, PLL, superconducting oscillator generator.

Вступ

В останнє десятиліття активно розвивається такий напрямок радіофізики, як прийом і обробка сигналів терагерцового діапазону (300 ГГц - 3 ТГц). Складність освоєння даного частотного діапазону обумовлена його проміжним положенням між оптичною і НВЧ спектральною областю; в терагерцевому діапазоні погано працюють як радіофізичні, так і оптичні методи генерації і прийому хвиль. У зв'язку з цим йде активне дослідження нових типів генераторів і детекторів, працездатних в субТГц діапазоні частот.

Одним з найбільш перспективних генераторів ТГц випромінювання є надпровідникової генератор, заснований на довгому джозефсоновському переході (ДДП). Такий генератор на основі плівок ніобію володіє широким діапазоном перебудови (250 - 700 ГГц) і вихідною потужністю, достатньою для накачування НІН-змішувача (близько 1 мкВт); крім того, може бути інтегрований на одну мікросхему зі змішувальними елементами. В ІРЕ ім. В.А. Котельникова створений надпровідникової інтегральний приймач з робочим діапазоном 450-750 ГГц, в якому всі елементи - надпровідникової генератор гетеродина на основі ДДП, НІН-змішувач з приймальною антеною і гармонійний змішувач для фазової стабілізації НГД розташовані на одній мікросхемі. Унікальні характеристики НІП дозволили успішно використовувати його в якості бортового спектрометра в складі міжнародної місії TELIS по дослідженню спектральних ліній деяких атмосферних газів.

Спектральна роздільна здатність будь-якого гетеродинного приймача, головним чином, визначається формою лінії генерації гетеродина. Відомо, що форма лінії випромінювання ДДП близька до лоренцівської кривої, причому ширина лінії на напіввисоті (-3 дБ за

потужністю) може варіюватися в діапазоні від сотень кілогерц до декількох десятків мегагерц. З цією метою ДДП синхронізується з високостабільним опорним синтезатором за допомогою напівпровідникової системи фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), що знаходиться поза криооб'єма при кімнатній температурі (звідси умовна назва «кімнатна система ФАПЧ»). Ширина смуги такої системи обмежена часовими затримками в петлі зворотного зв'язку і становить близько 10 МГц.

Мета роботи. Дослідження властивостей і режимів роботи гармонійного змішувача і фазового детектора в одному елементі, а також створення і оптимізації надширокопasmової системи ФАПЧ на його основі.

Основними задачами роботи є:

- розширення бази надпровідникової мікроелектроніки за рахунок використання тунельного НН-переходу в новому функціональному якості криогенного гармонійного фазового детектора (КГФД);

- дослідження можливості створення інтегральної криогенної системи ФАПЧ для НПП, в якій всі елементи петлі зворотного зв'язку знаходяться в безпосередній близькості від надпровідникового генератора гетеродина;

Основна частина

Розробка НПП для частот 1 ТГц і вище призводить до необхідності використання нових типів ДДП (наприклад, на основі структур NbN / AlN / NbN і NbN / MgO / NbN) з великими щільними напруженнями і, відповідно, з більшою максимально можливою частотою генерації. Очікується, що великі поверхневі втрати в цих структурах приведуть до того, що ширина лінії генерації такого гетеродина значно перевищить 10 МГц. Таку лінію вже неможливо ефективно синхронізувати кімнатною системою ФАПЧ. Таким чином, виникає задача створення системи синхронізації з шириною смуги в кілька десятків мегагерц. Оскільки швидкість поширення сигналу обмежена швидкістю світла, досягнення малих затримок вимагає максимально компактного розташування всіх елементів ФАПЧ, аж до інтеграції їх в один пристрій. Оскільки напівпровідникові прилади при гелієвих температурах не працездатні, використання надпровідникових структур, зокрема, тунельних переходів надпровідник-ізолятор-надпровідник виглядає перспективним для побудови повністю криогенної інтегральної системи ФАПЧ. [3]

Використання НПП в задачах радіоінтерферометрії вимагає низького рівня фазових шумів ДДП. Так, наприклад, оцінки показують, що для інтерферометра проекту Atacama Large Millimeter / submillimeter Array (ALMA) з базою близько 15 км і робочою частотою гетеродина 600 ГГц середньоквадратичний фазовий шум не повинен перевищувати 75 фс. Для досягнення такого рівня шуму необхідно синхронізувати більше 95% потужності випромінювання гетеродина, що може бути реалізовано за допомогою систем ФАПЧ з смугою понад 50 МГц. [2] Тому завдання інтерферометрії також вимагають створення більш ефективних систем стабілізації ДДП.

Серед важливих проблем розвитку ідеї НПП також стоїть завдання створення багатоелементного матричного приймача. Одночасна робота декількох генераторів гетеродина передбачає створення окремої системи ФАПЧ для кожного з ДДП, що, при використанні кімнатної системи ФАПЧ, значно ускладнює і здорожує весь матричний приймач. Отже, і тут ми приходимо до задачі створення більш простої і компактної системи синхронізації з смугою регулювання в кілька десятком мегагерц. [1]

Раніше вже була зроблена спроба створення повністю криогенної системи ФАПЧ для НГД, в якій субТГц сигнал генератора спочатку знижувався на гармонійному НН-змішувачі до проміжної частоти 4 ГГц. Потім ПЧ сигнал посилювався холодним НЕМТ підсилювачем і порівнювався з сигналом опорного синтезатора на фазовому детекторі, роль якого виконував тунельний НН-перехід. Сигнал зворотного зв'язку знову посилювався ще одним НЕМТ підсилювачем і прикладався до керуючого електрода НГД, змінюючи тим самим його миттєву частоту. [5]

Однак, суттєвим недоліком даної системи є необхідність використання НЕМТ підсилювачів в петлі зворотного зв'язку, які мають значні розміри і тепловиділення і не дозволяють розташувати всю систему ФАПЧ досить компактно і реалізувати смугу синхронізації понад 40 МГц. Природним продовженням ідеї криогенної системи ФАПЧ є скорочення петлі зворотного зв'язку за рахунок об'єднання функцій гармонійного змішувача і фазового детектора в одному елементі. [4]

Висновки

Запропоновано ідею функціонального об'єднання фазового детектора і гармонійного змішувача в одному елементі на основі тунельного НІН-переходу і створення на його основі системи фазового автопідстроювання частоти для надпровідникового генератора гетеродина.

Запропонована концепція системи ФАПЧ для НГД, в якій всі елементи схеми зворотного зв'язку знаходяться в безпосередній близькості від криогенного генератора. Вивчено можливість створення інтегральної криогенної системи ФАПЧ.

Апробована ідея створення системи ФАПЧ для НГД на основі криогенного гармонійного фазового детектора. Концепція КГФД може знайти своє застосування при створенні надширокопasmугових систем синхронізації для різних криогенних генераторів терагерцового діапазону, таких як квантові каскадні лазери, Меза-структури BiSCCO, а також для використання НГД в задачах радіоінтерферометрії з наддовгою базою і створення матричного приймача на його основі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Konstantin V. Kalashnikov, Andrey V. Khudchenko, and Valery P. Koshelets "Development of Phase Lock Loop based on Harmonic Phase Detector", 24th International Symposium on Space Terahertz Technology, Moscow, 26-30 April 2014
2. K. Suto and J. Nishizawa, Widely Frequency-Tunable Terahertz Wave Generation and Spectroscopic Application, International Journal of Infrared and Millimeter Waves, 26 (7), p. 937-952., 2005.
3. P.H. Siegel, THz Applications for Outer and Inner Space, 7th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, p. 1-4., 2006.
4. Степанов Е.В. Диодная лазерная спектроскопия и анализ молекул-биомаркеров // М.: Физматлит, 2009.
5. John F Federici, Brian Schulkin, Feng Huang, Dale Gary, Robert Barat, Filipe Oliveira and David Zimdars, THz imaging and sensing for security applications—explosives, weapons and drugs, Semiconductor. Science and Technology, v. 20, - S266–S280, 2005.

Мазур Андрій Володимирович — студент групи ТКС-17мі, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andreymazur2009@gmail.com

Васильківський Микола Володимирович — кандидат технічних наук, доцент кафедри ТКСТБ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Рецзов Олексій Олександрович — студент групи ТКС-17мі, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця,

Mazur Andrii V. - student of the group TKS-17mi, faculty of infocommunications, radio electronics and nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andreymazur2009@gmail.com

Vasilkivskiy Mykola V. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the TKSTB Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Reztsov Olexsiy O. - student of the group TKS-17mi, faculty of infocommunications, radio electronics and nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia