

ПРИСТРОЇ НА БАЗІ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ НАДПРОВІДНИКІВ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У статті викладено результати аналізу сучасного стану приладів обробки сигналів на базі високотемпературних надпровідників.

Ключові слова: смуговий фільтр, фазообертач, лінія затримки, резонатор, високотемпературний надпровідник.

Abstract

The article presents an analysis of the current state of signal processing devices based on high-temperature superconductors.

Keywords: bandpass filter, phase shifter, delay line, a resonator, a high-temperature superconductor.

Вступ

Різке зростання популярності мобільних систем зв'язку призвело до того, що мобільні телефони - абонентські термінали (АТ) - стали більш доступними, компактними і недорогими. Зменшити потужність, що випромінюється АТ, а отже, зменшити негативний вплив на головний мозок і збільшити години роботи АТ без підзарядки можна збільшивши чутливість і селективність приймально-передавального тракту базової станції стільникового зв'язку (СЗ). Це призводить до збільшення зони охоплення БС і збільшення ємності мережі, що позначається на зменшенні вартості інфраструктури оператора СЗ. Зменшення потужності, випромінюваної АТ, можна здійснити за рахунок мінімізації шумів вхідних каскадів приймача і зменшення спотворень приймально-передавального тракту. Засобом для вирішення поставленого завдання є використання елементів, виконаних на основі високотемпературних надпровідників (ВТНП): антени, фільтри, резонатори, мультиплексори, змішувачі, лінії затримки. Властивості ВТНП, такі як відсутність втрат на постійному струмі і невеликі втрати на змінному, дають можливість передачі сигналів з мінімальними спотвореннями, що дозволяє використовувати ВТНП-елементи в системах мобільного радіозв'язку.

Метою роботи є аналіз сучасного стану розвитку пристроїв на базі високотемпературних надпровідників.

Результати дослідження

Для смугового фільтру, повністю виготовленого на ВТНП-плівках, втрати, що вносяться, є функцією поверхневого опору плівки, тангенса кута діелектричних втрат в підкладці і співвідношенням потужності розсіювання в корпусі до потужності, накопиченої в діелектрику, яке залежить від конструкції фільтру. Проте кінцеві втрати визначаються числом елементів фільтру і сумарним значенням коефіцієнта передачі, які задають смугу пропускання. Найбільшу перевагу використання ВТНП-плівок можна забезпечити при створенні фільтрів з великим коефіцієнтом прямокутності (вузька смуга пропускання, велике число ланок і високий коефіцієнт передачі).

Як приклад можна привести мікросмуговий фільтр для приймального тракту системи мобільного зв'язку, розроблений фірмою Matsushita [1]. Основні вимоги до фільтру — малі втрати, що вносяться, і висока крутизна частотної характеристики, забезпечують дуже високу чутливість і вибірковість. Цей фільтр складається з чотирьох ланок. Він виготовлений на $Tl_2Ba_2Ca_3Cu_3O_7 - X$ - плівках товщиною 700 нм, що осаджуються на обидві сторони $LaAlO_3$ - підкладки товщиною 0,5 мм. Для фор-

мування малюнка використовується звичайний процес фотолітографії з подальшим іонно-променевим витравлюванням. ВТНП-плівка на зворотному боці підкладки служить для заземлення. Частотні характеристики: втрати, що вносяться, при температурі 77 К — 0,4 дБ, зворотні втрати в смузі пропускання — зверху — 10 дБ. Для порівняння, втрати фільтру такої ж конфігурації, в якому замість ВТСП-плівки використовується золото, склали 19 дБ (при 77 К), а його габарити удвічі більше.

Наступний приклад 8-полюсний вузькосмуговий фільтр, розроблений фахівцями Denso Corporation (Japan) з $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, - X -плівки на підкладці з MgO [3]. Виміряна АЧХ представлена на рис. 1.

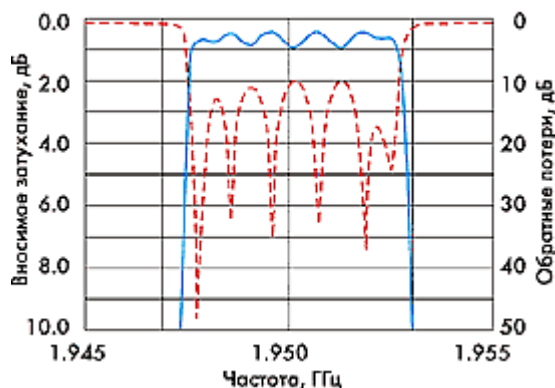


Рисунок 1 – АЧХ 8-полюсного вузькосмугового фільтру

Центральна частота пропускання — 1,95 ГГц. Смуга пропускання фільтру - 5 МГц. Нерівномірність АЧХ в смузі пропускання — не більше 0,5 дБ, загасання — близько 0,35 дБ.

Фільтр є ланцюжком з восьми пов'язаних напівхвильових резонаторів, що мають змінний коефіцієнт зв'язку : $k = f(U)$, $k = (2,5; 1,8; 1,6; 1,4)$. Особливість цього фільтру полягає в тому, що при ширині смуги пропускання $D_f = 2,5\%$ АЧХ фільтрів для різних значень добротності Q ($Q = 5000, 10\ 000, 100\ 000$) трохи відрізняються один від одного. Вузькість смуги пропускання і висока добротність є перевагою використання ВТНП-фільтрів. Проте при $D_f = 0,25\%$ АЧХ-фільтрів відрізняються один від одного за величиною загасання корисного сигналу в смузі прозорості : при $Q = 5000$ загасання складає - 1,5 дБ, а при $Q = 100\ 000$ втрати що вносяться, не перевищують - 0,2 дБ. Таким чином, для досягнення високих характеристик добротності фільтрів повинна мати значення до 100 000, тоді як у традиційних фільтрів ця величина обмежена декількома тисячами.

Резонатори. Це одні з найбільш важливих пасивних мікроелектронних компонентів НВЧ-діапазону. Вважається, що застосування ВТНП керамічних плівок в резонаторах дозволить знизити шумовий сигнал в 100 і більше разів, а смугу пропускання зменшити більш ніж в 10 разів. Проте найвищу добротність мають об'ємні резонатори, виготовлені з металевих ВТНП [1].

Необхідність покриття великих територій з малою щільністю абонентів, вимагають великих рівнів пікової потужності (до тисяч ватів). Для досягнення поставленого завдання фільтри в традиційному виконанні не застосовуються в силу виродження надпровідності у ВТНП-плівці. Найбільш відповідним в даному випадку являється використання дискових ВТНП-резонаторів, працюючих з коливаннями виду TM_{010} і текучими радіально ВЧ-струмами [2]. Якщо для фільтрів приймальних пристроїв велике значення мають малі габарити, то однією з основних вимог до фільтрів передавальних пристроїв є велика допустима потужність, що пропускається. На думку деяких фахівців [1], при створенні компактних планарних фільтрів з дуже високою добротністю (більше 10^5) і допустимою потужністю 50 кВт або більш перспективне використання дискових резонаторів. Ця концепція використовувалася американськими і європейськими ученими, які розробили фільтри на базі $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, - X і $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_3\text{O}_7$ - X плівок. При цьому досягається вираш, у 8-10 разів в габаритах і масі при заміні традиційних об'ємних резонаторів на дискові з ВТНП-плівками .

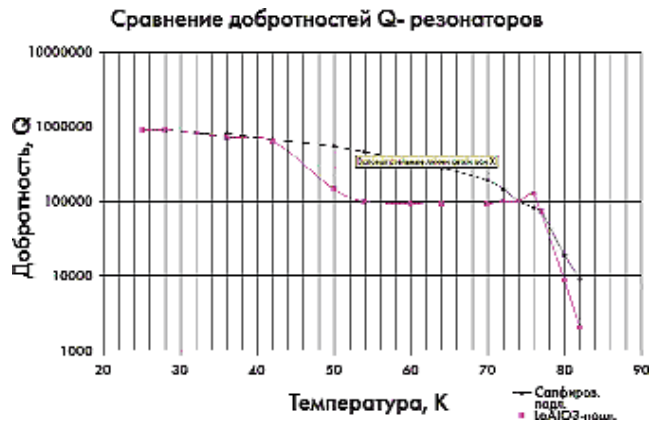


Рисунок 2 – Порівняння добротностей Q - резонаторів

Може бути зроблено припущення про досяжні робочі характеристики дискового резонатора і різних типів фільтрів ґрунтуючись на вимірній величині критичного магнітного поля [2]. При 60 К дуже хороші ВТНП-плівки дозволяють отримувати величину критичного поля близько 150 А/см це відповідає критичній циркулюючій потужності величиною 1125 Вт і 235 Вт для сапфірової і LaAlO₃ - підкладок товщиною 0,5 мм відповідно на частоті 2 ГГц. На рис. 2 зображена температурна залежність добротності (режим ТМ₀₁₀) ненавантаженого дискового резонатора від температури при різному матеріалі підкладки. Очевидно, що використання сапфірової підкладки є прийнятнішим, ніж LaAlO₃, оскільки добротність слабо змінюється в широкому температурному діапазоні [3].

Фазообертачі знаходять широке застосування в різних НВЧ-пристроях. Переналаштовувани фазообертачі розробляються на основі сегнетоелектриків. При зміні діелектричної проникності сегнетоелектрика під впливом електричного поля відбувається зміна фази сигналу, що проходить. Зазвичай як сегнетоелектрик використовується SrTiO₃, а для створення провідників — ВТНП-плівка. При 30 К фазовий зсув складає 28°[4].

У магнітопереналаштовуваному фазообертачі мікросмугова лінія зв'язана з феритовим (ЗП) осердям. Меандрова структура, довжина і ширина якої складають відповідно 2,5 і 0,5 см, на частоті 10 ГГц при 77 К забезпечує фазовий зсув 700°.

Лінії затримки використовуються для забезпечення затримки сигналу від пікосекунд до мікросекунд при його мінімальному послабленні. Тому ВТНП-лінії затримки кращі за лінії на традиційних металах. У відрізку лінії надпровідника послаблення може бути на три порядки нижче, ніж в золотому провіднику тієї ж довжини і з таким же поперечним перерізом. Для отримання максимальної затримки в заданому об'ємі мікросмугові ВТНП-лінії можна виготовляти у вигляді меандру або спіралі на тонких діелектричних підкладках, а вже з них створювати багатоярусну структуру. Щоб запобігти перехресним спотворенням між різними лініями, необхідно формувати поверхню заземлення (а ще краще дві, розташовані симетрично по обидві сторони від провідників мікросмугової лінії).

Фірма Superconductor Technologies виготовила лінію затримки на 1 нс на Tl₂Ba₂CaCu₂O_x кераміці. ВТНП-плівка наноситься на LaAlO₃ — підкладку за допомогою ексимерного лазера. Малюнок лінії затримки сформований за допомогою фотолітографії. Довжина і ширина лінії затримки складають 13,9 см і 50 мкм відповідно. Результати зіставлення з робочими характеристиками еквівалентної мідної лінії затримки на частоті 3,29 ГГц виявилися наступними: при 77 К ВТНП лінія затримки має в 10 разів менші втрати [5].

Висновки

Аналіз пристроїв на базі надвисокотемпературних провідників показав, що використання ВТНП дозволяє значно покращити характеристики. Так лінія затримки на ВТНП має до 10 разів менше втрати ніж мідна лінія. Фазообертач на ВТНП дозволяє забезпечити фазовий зсув до 700 градусів. А фільтри на базі ВТНП мають добротність до 100 000, а втрати що вносяться, не перевищують - 0,2 дБ

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гусева Л. Високотемпературні надпровідники. — «Електроніка: Наука, Технологія, Бізнес», 2/1999.
2. On Optimum Design of Planar Microwave Components under Linearity Constraints. Alexey Shitvov, Dmitry Kozlov, Alexander Schuchinsky. Accepted for Proceedings of the 9th International Workshop on Multipactor, Corona and Passive Intermodulation (MULCOPIM '17), 5 - 7 April 2017, ESA/ESTEC, 2017.
3. Xuehui Guan, Compact Triple-Band High-Temperature Superconducting Filter Using Coupled-Line Stepped Impedance Resonator /Xuehui Guan, Yang Peng, Haiwen Liu, Jiuhuai Lei, Baoping Ren, Feng Qin, Pin Wen, Fan Liu, Yande Liu// IEEE Transactions on Applied Superconductivity. –vol 26, -2016.
4. Патент США US9509274 B, 18.09.2014, Superconducting phase-shift system// Патент США US9509274 / Ofer Naaman, Mohamed Osama Abutaleb.
5. J Jia, G Zhao, Fabrication of superconducting YBa₂Cu₃O_{7-x} delay lines by a chemically modified sol-gel method / J Jia, G Zhao, L Lei, Q Huang, L Liu // Ceramics International – 2015.

Козін Дмитро Олегович — студент групи ТКП-136, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: dimako962@yandex.ua

Науковий керівник: **Кичак Василь Мартинович** – доктор технічних наук, професор кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kychak@inrtzp.vntu.edu.ua

Dmitro O. Kozin - Department of infocommunications, electronics and nanosystems, Vinnytsia, e-mail: dimako962@yandex.ua

Supervisor: **Kychak V. Vasyl** -Ph.D.(Eng.), Associate Professor of Computer and Telecommunication Equipment, Vinnytsia, e-mail: kychak@inrtzp.vntu.edu.ua