

РАДІАЛЬНИЙ СУМАТОР ПОТУЖНОСТІ КУ-ДІАПАЗОНУ

*Омелянко М. Ю., старший викладач; Коломієць А. О., магістр
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна*

Розробка суматорів потужності сантиметрового і міліметрового діапазонів є актуальним завданням, що пов'язане з необхідністю реалізації потрібного енергетичного потенціалу каналів зв'язку та радіолокаційних систем, у яких в якості активних елементів передавачів застосовуються відносно малопотужні, але ефективні з точки зору споживаної потужності, монолітні інтегральні підсилювачі. Достатньо сказати, що ретельно розроблені подібні підсилювачі здатні забезпечити на частотах трьохсантиметрового діапазону безперервну вихідну потужність порядку 100÷300 Вт при ККД більше 40%, що незрівнянно з параметрами аналогічних лампових пристроїв.

Одним з найбільш ефективних шляхів побудови суматорів потужності є просторове сумування потужності, при якому вхідний сигнал одночасно в деякій області електродинамічної системи розділяється на N -гілок з підсилювачами у кожній з них, а тоді у аналогічній області простору підсумовується. Ефективність сумування потужностей (ККД) у цьому випадку залежить тільки від втрат у гілках та від ідентичності плечей, і не залежить від їх кількості. Оскільки параметри сучасних монолітних підсилювачів НВЧ діапазону практично однакові, ККД просторових суматорів наближається до теоретичної межі, рівній:

$$\text{ККД}_{\max} = 10^{-0,1L} \cdot 100\%,$$

де L — втрати в гілках, виражені у децибелах.

Радіальний суматор діапазону 11-14 ГГц, запропонований у [1], є такою реалізацією просторового підсумовування потужності, яка дозволяє просто нарощувати кількість гілок, забезпечити синфазність підсилювальних сигналів незалежно від частоти, а також легко забезпечити відвід тепла від активних елементів.

Темою даної роботи була розробка та дослідження просторового восьмиканального підсилювача діапазону 12-18 ГГц на основі радіальних подільників/суматорів потужності з рівнем вихідної потужності порядку 10 Вт. Будову подільника/суматора потужності показано на рис. 1 (показано топологію подільника потужності; топологія суматора ідентична і розташовується дзеркально).

Видно, що вузлами поділення/сумування потужності є радіальні лінії (РЛ) з діелектричним заповненням матеріалом підкладинки (використовувався полімерний матеріал, товщиною $d=254$ мкм та діелектричної проникністю $\epsilon=2,2$). Зазначені РЛ збуджувалися зовнішніми провідниками вхідної/вихідної коаксіальної лінії (КЛ). Внутрішні провідники КЛ проходять

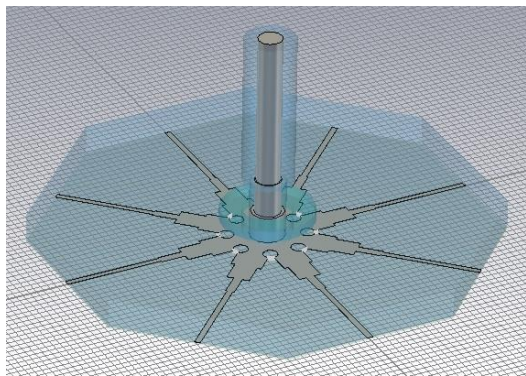


Рисунок 1. Топологія подільника потужності

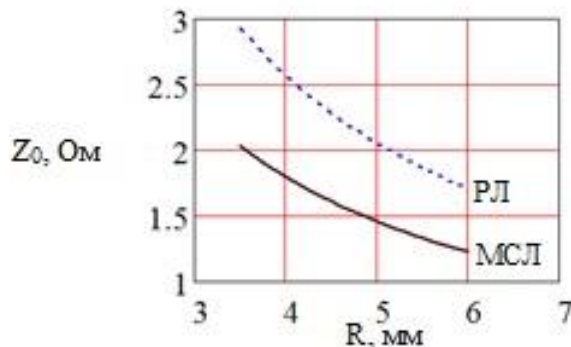


Рисунок 2. Залежності сумарного опору МСЛ і хвильового опору РЛ від величини R

крізь отвори у верхньому шарі металізації РЛ і підкладинки і безпосередньо з'єднується з нижнім шаром металізації. На периферії радіальна лінія розділяється на вісім мікросмужкових ліній (МСЛ), які і є гілками подільника/суматора. Однією з основних проблем при розрахунку радіального подільника/суматора потужності є узгодження вхідного і вихідного портів. Відомо [1], що хвильовий опір РЛ сильно залежить від відстані R від її центру до точки, де розраховується імпеданс Z_0 . Значення Z_0 може бути наближено знайдено зі співвідношення $Z_0 \approx \frac{377d}{2\pi R\sqrt{\epsilon}}$. Оцінюючи Z_0 для R=3,5мм (значення радіусу зовнішнього провідника для 50-омної КЛ), отримуємо $Z_0 \approx 2$ Ом, що робить узгодження з вхідною КЛ в широкому діапазоні частот складним. Відзначимо при цьому, що безпосереднє підключення МСЛ до 45-градусних сегментів РЛ не викликає значного стрибка опорів. Це видно з рис.2, де наведені залежності сумарного опору восьми паралельно підключених до вказаних сегментів МСЛ і хвильового опору РЛ від величини R. Видно, що перепад опорів становить величину порядку 1,5, що не може викликати додаткових складнощів в узгодженні портів суматора. Слабка залежність перепаду опорів РЛ і МСЛ від R дозволяє при розробці вузлів узгодження керуватися тільки одним аргументом: мінімізацією перепаду опорів на ділянці переходу від КЛ до РЛ, для чого величина R повинна бути обрана мінімальною. Межа зменшення розміру R визначається не тільки зовнішнім діаметром збуджуючої КЛ, але і необхідністю установки чвертьхвильових короткозамкнених відрізків щільних ліній між суміжними мікросмужковими плечима, в основі яких встановлені розв'язуючі резистори. З метою уникнути викликаного цим збільшення розміру R в даній роботі було запропоновано замінити чвертьхвильові відрізки на круглі, з малим радіусом, отвори в металізації РЛ. Узгодження низькоомних МСЛ з 50-омними реалізовано за допомогою трисекційних трансформаторів, вихідні розміри яких розраховувалися за відомою методикою, а потім уточнювалися в програмному середовищі "CST MicrowaveStudio". Аналогічні розрахунки були проведені для двохсекційного трансформатора у коаксіальній лінії.

На рис.3 зображені розраховані частотні залежності елементів матриці розсіювання $|S_{i,9}|$, $i=1 \dots 9$ (порт 9 – збуджуючий коаксіальний) розробленого подільника (суматора). Результати експериментального дослідження під'єднаних один за одним подільника і суматора зображені на рис.4.

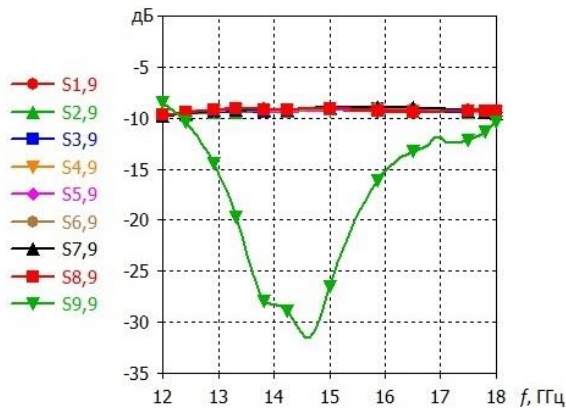


Рисунок 3. Частотні залежності елементів матриці розсіювання

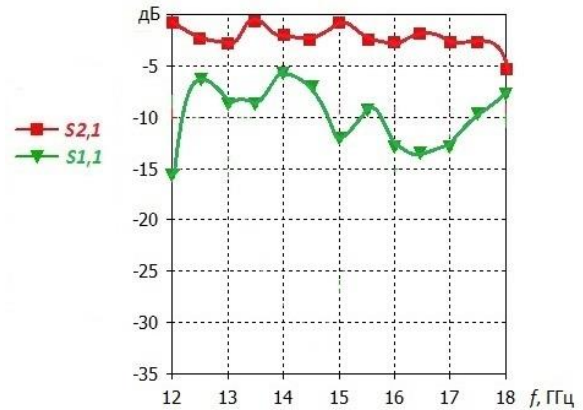


Рисунок 4. Результати експериментального дослідження

Видно, що сумарні втрати в діапазоні частот 12 – 18 ГГц становлять менше 2,5дБ. Зазначимо, що при оцінці ККД підсилювача із цієї величини необхідно виокремити неминучі втрати у МСЛ як середовищі для під'єднання одного підсилювача, які можна оцінити величиною 0,5дБ. Таким чином, можна стверджувати, що очікуваний ККД становитиме $\eta \approx 63\%$.

Перелік посилань

1. Fathy A. E. A SimplifiedDesignApproachforRadialPowerCombiner / A. E. Fathy, S. WooLee, D. Kalokitis // IEEE Trans. on MTT. — 2006. — Vol. 54, No. 1. — P. 247–255.

Анотація

Представлені результати розробки та дослідження просторового восьмиканального суматора потужності сантиметрового і міліметрового діапазонів довжин хвиль побудованого на основі радіальних подільників/суматорів потужності з рівнем вихідної потужності порядку 10Вт. Очікуваний ККД становитиме $\eta \approx 63\%$ у всьому Ku-діапазоні.

Аннотация

Представлены результаты разработки и исследования пространственного восьмиканального суматора мощности сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн построенного на основе радиальных делителей/сумматоров мощности с уровнем выходной мощности порядка 10Вт. Ожидаемый КПД составит $\eta \approx 63\%$ во всем Ku-диапазоне.

Abstract

The results of the development and research of the spatial eight-channel power mixer of centimeter and millimeter wavelength range ranges based on radial dividers / power aggregates with a power output level of 10 W are presented. The expected efficiency will be $\eta \approx 63\%$ throughout the Ku-range.