УДК 621.37

АНАЛІЗ СТРУКТУРИ СУБГАРМОНІЧНИХ ЗМІШУВАЧІВ ДЛЯ РАДІОЛІНІЙ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ

Наритник Т.М., Бондарчук С.О., Вальчук Д.С., Єрмаков А.В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: bondserg8@ukr.net

Analytical review of subharmonic mixers for terahertz range radio links

The paper considers the main principles of subharmonic mixers design, shows their advantages. The mathematical model of subharmonic mixer is described. Conducted the work algorithm of frequency converter.

Пріоритетним напрямком розвитку телекомунікаційних систем є збільшення пропускної здатності. Цього можна досягти кількома шляхами, одним із яких є збільшення смуги частот, що використовується системою передачі інформації. Перехід у терагерцовий діапазон частот дозволить спростити процедуру виділення великих смуг частот, оскільки даний діапазон є практично не освоєним на даний час. Динамічний розвиток елементної бази радіоелектронних пристроїв надає можливість розробляти принципово нові пристрої та системи для роботи у даному діапазоні. Розробка радіотракту радіорелейної лінії терагерцового діапазону є актуальною задачею, оскільки така система буде мати суттєві переваги, такі як висока пропускна здатність, висока завадозахищеність і низьке споживання енергії [4].

Проте існує проблема із генерацією сигналів терагерцового діапазону, яка полягає у відсутності високостабільних опорних генераторів, що, в свою чергу, значно ускладнює процес реалізації приймально-передавального тракту. Одним із варіантів рішення даної проблеми є використання перетворювача частоти. Найбільшою його перевагою є простота реалізації, а такі проблеми як низька вихідна потужність таких перетворювачів можна вирішити використанням підсилювачів потужності, які на даний час активно розробляються, а на ринку уже існують робочі прототипи.

Перетворювач частот являє собою пристрій для переносу спектру сигналу в інший діапазон частот зі збереженням закону модуляції. Тому в перетворювачах використовується нелінійний елемент і гетеродин, що забезпечує режим роботи перетворюючого пристрою. В якості нелінійного елементу найчастіше використовується напівпровідниковий діод із бар'єром Шотткі. Іншим варіантом є використання резонансно-тунельного діода на основі двобар’єрної гетероструктури, що має антисиметричну вольтамперну характеристику [1].

Розглянемо структурну схему субгармонічного змішувача (рис. 1). У ньому відбувається змішування сигналів радіочастоти (РЧ) або проміжної частоти (ПЧ) з другою гармонікою гетеродину. Таким чином, нелінійний пристрій (діод, металевий напівпровідниковий польовий транзистор та ін.) виконує як змішування, так і помноження частоти [2].

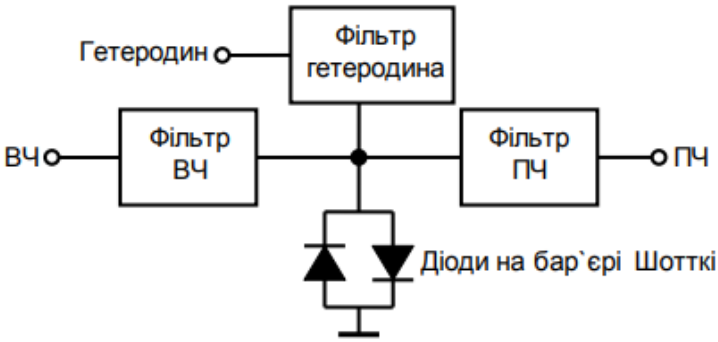

Рис. 1. Структурна схема субгармонійного змішувача

З метою реалізації субгармонійної схеми перетворювача з накачкою на половинній частоті в якості нелінійного елементу використані два діоди, що включені зустрічно-паралельно. Таке включення формує N-подібну результуючу вольт-амперну характеристику, симетричну відносно початку координат (рис. 2). Дана обставина зумовлює зміну параметрів нелінійного елементу з частотою вдвічі більшою ніж частота гетеродина [3].

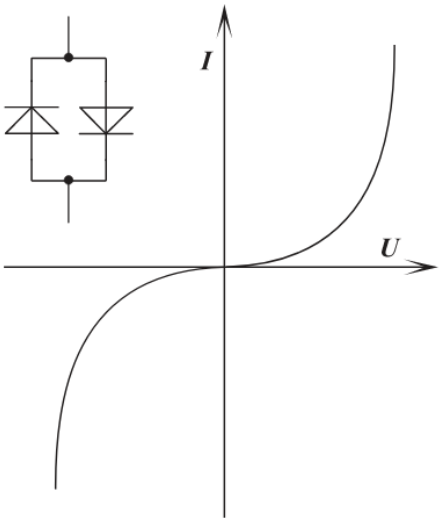

Рис. 2. Результуюча вольт-амперна характеристика двох зустрічно включених діодів Шотткі

Даний перетворювач може працювати як у режимі перетворення «вгору», так і у режимі перетворення «вниз», різниця полягає у тому, на які входи будуть подаватися сигнали. Наприклад, для перетворення «вгору» корисний

сигнал подається на вхід ПЧ, а вихідний високочастотний сигнал знімається на виході ВЧ. Розглянемо математичну модель такого змішувача при режимі перетворення «вгору» за умови, що результуючу ВАХ буде представлена у вигляді кубічної апроксимуючої функції.

Тоді $I_д = AU_д^3$, де $I_д$ - результуючий струм на виході діодного каскаду;
$U_д$ - результуюча напруга на виході діодного каскаду;
A - коефіцієнт пропорційності.

Напруга $U_д$ являє собою суму напруги сигналу гетеродину та напруги сигналу з входу ПЧ: $U_д = U_{пч\ макс} \cos(\omega_{пч} t + \varphi_{пч}) + U_{гет\ макс} \cos(\omega_{гет} t + \varphi_{гет})$. Після піднесення даної суми до кубу та виконання тригонометричних перетворень отримаємо одну із складових:
$0.75\ AU^2_{гет\ макс} U_{пч\ макс} \cos((2\omega_{гет} + \omega_{пч})t + \varphi_{гет} + \varphi_{пч})$.

Дана складова знаходиться на частоті, що є сумою 2 гармоніки гетеродину та частоти сигналу ПЧ. Звідси можна зробити висновок про один із основних недоліків даного методу – втрати потужності при перетворенні, оскільки з'являється коефіцієнт 0.75, а піднесення до квадрату завжди призводить до втрати потужності.

Отже, субгармонічний змішувач є хорошим варіантом вирішення проблеми перетворення частоти за умов відсутності високостабільного генератора. Переваги субгармонічного змішувача перекривають його недоліки, а збільшення елементної бази радіоелектронних пристроїв терагерцового діапазону дозволить ще більше спростити процес реалізації даного перетворювача.

Література

1. Madjar A. Novel General Approach for the Optimum Design of Microwave and Millimeter Wave Subharmonic Mixers // IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques – 1996. - VOL. 44, NO. 11. – P. 1997-2000.
2. Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Радзиховский В.Н., Кузьмин С.Е., Лутчак А.В. Проектирование передающего и приемного радиотрактов радиорелейных систем терагерцового диапазона // Электросвязь. – 2016. – №2. – С. 42-49.
3. Авдєєнко Г.Л., Ільченко М.Ю., Наритник Т.М., Ємаков А.В., Лутчак О.В. Перетворювач частоти для прийомопередавача безпроводової телекомунікаційної системи фіксованого зв'язку терагерцового діапазону // Проблеми телекомунікацій. – 2017. - № 1(20). – С. 38-49.
4. Наритник Т.М. , Єрмаков А.В., Бондарчук С.О., Вальчук Д.С. Аналіз терагерцових технологій та їх застосування для створення інноваційних розробок // Проблеми телекомунікацій. – 2017. – № 1 (20). – С. 50 - 56.