

ПИТАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЇВ ЗАХИСТУ ВХІДНИХ КІЛ ПРИЙМАЧІВ НВЧ ДІАПАЗОНУ

В роботі розглянуто напрямки оптимізації конструктивних параметрів пасивних захисних пристроїв мікрохвильового діапазону. Пристрої побудовані на базі самокерованого обмежувача потужності. В якості напрямної системи для обмежувача вибрано Н-хвилевід. Це дозволяє створити широкосмугову конструкцію обмежувача. Розглянуто шляхи зниження внесених втрат захисних пристроїв в режимі малого сигналу та збільшення втрат в режимі надходження потужного сигналу. Показано, що за рахунок варіації розмірів гребенів Н-хвилеводу досягається потрібний рівень втрат в режимі малого та високого рівня вхідного сигналу. Відмічено вплив на характеристики пристрою зміни розміру широкої стінки хвилеводу.

Ключові слова: захисний пристрій, самокерований обмежувач, внесені втрати, передавальна характеристика, Н-хвилевод.

Вступ. На сучасному етапі розвитку безпроводних засобів зв'язку має місце інтенсивне освоєння НВЧ - діапазону електромагнітних коливань, пов'язане з ростом робочої частоти засобів до міліметрового діапазону довжин хвиль включно [1].

В той же час в цих діапазонах має місце застосування потужних стаціонарних імпульсних передавальних станцій, що використовуються у складі військових радіолокаційних станцій (РЛС) та у РЛС мобільних об'єктів (на літаках та кораблях).

Таким чином, з урахуванням практично непередбаченої можливості опромінення приймача системи зв'язку імпульсом високої потужності, виникає задача побудови ефективного захисного пристрою (ЗП), у функції якого входить обмеження вхідної потужності, що надходить на чутливі елементи НВЧ приймача. Основою для побудови такого пристрою може бути самокерований обмежувач потужності [2,3,4].

Вибір напрямної системи. У роботі запропоновано та оптимізовано конструкцію захисного пристрою 8-мм діапазону довжин хвиль на основі самокерованого обмежувача потужності з відносним робочим діапазоном частот до 40%.

Визначальним параметром при виборі схеми побудови захисного пристрою є робочий діапазон частот, який у нашому випадку перебиває весь робочий діапазон прямокутного хвилеводу перерізом 7,2x3,4 мм і складає 25.86 - 37.5 ГГц. У такій широкій смузі частот в ЗП вже не можуть використовуватися інтегральні ґратки й інші пристрої, що використовують трансформатори імпедансів на основі відрізків лінії передачі, оскільки ці елементи забезпечують прийнятні характеристики в порівняно вузькій смузі частот (порядку 5 - 10 %).

Очевидно, що необхідна ширина робочої смуги ЗП може бути забезпечена за його реалізації на основі регулярної лінії передачі без використання узгоджувальних резонансних елементів.

Можливі варіанти схем побудови ЗП на основі регулярної лінії передачі наведені в [5,6]. В цій же роботі було визначено, що для створення ЗП з малим значенням загасання в режимі слабкого сигналу необхідно використовувати лінію з хвильовим опором не вищим від 50-100 Ом. Очевидно, що звичайний прямокутний хвилевід мало підходить для цієї мети, оскільки його хвильовий опір має більш високе значення. Крім того, поле електромагнітної хвилі в ньому розподілене практично по всьому перерізу, в той час як активні елементи, що розміщені в прямокутному хвилеводі, можна розглядати, як точкові елементи із зосередженими параметрами. Рівень взаємодії АЕ з електромагнітною хвилею в цьому випадку достатньо низький. Широкосмуговість конструкції досягається за рахунок використання в якості напрямної системи Н-хвилеводу, що плавно переходить у прямокутний хвилевід, а також за рахунок способу розміщення діодів з бар'єром Шотткі (ДБШ) і р-і-п діодів у Н-хвилеводі. Враховуючи складність розрахунків електродинамічної напрямної системи типу Н-хвилеводу з розміщеними в ньому діодами, була проведена оптимізація конструктивних параметрів Н-хвилеводу за результатами експериментальних досліджень.

На рис.1 приведена конструкція розробленого Н-хвилеводу. Хвилевід утворено двома симетрично розташованими гребенями шириною - c та відстанню між ними - d , що містяться в прямокутному хвилеводі. Ширина прямокутного хвилеводу $a = 7,2$ мм, висота $b = 3,4$ мм.

Геометричні розміри Н-хвилеводу були оптимізовані за принципом досягнення максимального загасання в режимі великого сигналу α_3 при збереженні мінімальних втрат у режимі малого сигналу α_6 . Для цього були проведені дослідження залежності цих характеристик від різних параметрів Н-хвилеводу. Так, було встановлено, що зменшення ширини гребенів c призводить до збільшення загасання α_3 в режимі великого сигналу, тобто до поліпшення захисних властивостей пристрою. Однак, при цьому, починаючи з деякого значення, зменшення величини c викликає збільшення втрат у режимі малого сигналу α_6 (рис.2). Таким чином, величина c не може бути зменшена нижче від певного значення c_{zp} , за якого втрати в режимі малого сигналу досягають максимально допустимого значення $\alpha_{zp\ 6}$.

Встановлено, що зменшення зазору d між гребенями призводить до збільшення загасання α_3 в режимі великого сигналу, але при цьому, починаючи з деякого значення, зменшення величини d викликає помітне збільшення втрат у режимі малого сигналу α_6 , що можна пояснити збільшенням внеску мікро - та макронерівностей гребенів у загальні втрати.

Зменшення розміру широкої стінки Н-хвилеводу a до деякого значення e також призводить до збільшення загасання в режимі великого сигналу. Але втрати в режимі малого сигналу в цьому випадку теж дещо зростають, що можна пояснити наближенням до режиму відсічення. При цьому втрати в режимі малого сигналу не повинні були перевищувати задане значення $\alpha_{zp\ 6}$, а втрати в режимі великого сигналу не повинні були бути меншими за величину $\alpha_{zp\ 3}$, яка визначає параметри захисного пристрою.

Визначення відстані між р-і-п діодами та ДБШ у Н-хвилеводі. Для визначення фазової відстані між діодами, що забезпечує малий рівень втрат в широкій смузі частот, було враховано провідність діодів. Таким чином, в роботі були проведені розрахунки початкових втрат L_0 (в режимі малого сигналу) керуючого вузла ЗП, що використовує р-і-п-діоди з $R_s=0$, $C_f=0.05$ пФ, $R_f=20$ кОм для лінії з хвильовим опором $\rho =70$ Ом. Для зниження коефіцієнта стоячої хвилі напруги (КСХН) і збільшення широкосмуговості, відстані l треба вибрати такими, щоб кожен каскад вносив в режимі малого сигналу відносно малі втрати і відбиття, причому відбиття, внесені кожним каскадом, повинно у середньому компенсуватись.

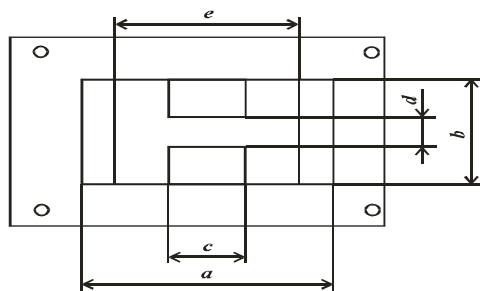


Рис.1. Конструкція Н-хвилеводу, що використовується в ЗП

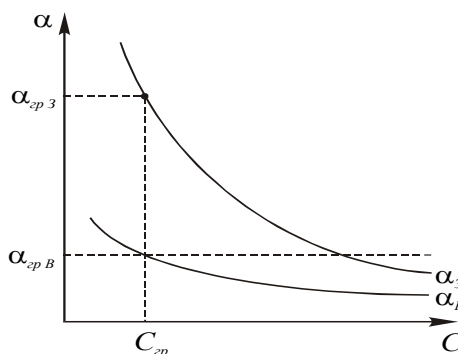


Рис.2. Залежність параметрів ЗП від ширини гребенів

При розрахунках відстань l між діодами враховувалась у вигляді електричної довжини відрізка лінії між діодами на середній частоті діапазону (32 ГГц):

$$\Theta = \frac{2 \cdot \pi \cdot l}{\lambda_{32}},$$

де λ_{32} – довжина хвилі у напрямній системі на частоті 32 ГГц.

На рис.3. наведено залежність початкових втрат для керуючого вузла ЗП від частоти в припущенні, що для р-і-п-діодів виконується умова $R_s=0$. Як видно з графіків, параметр Θ визначає не тільки величину початкових втрат, але і їхню зміну в діапазоні частот.

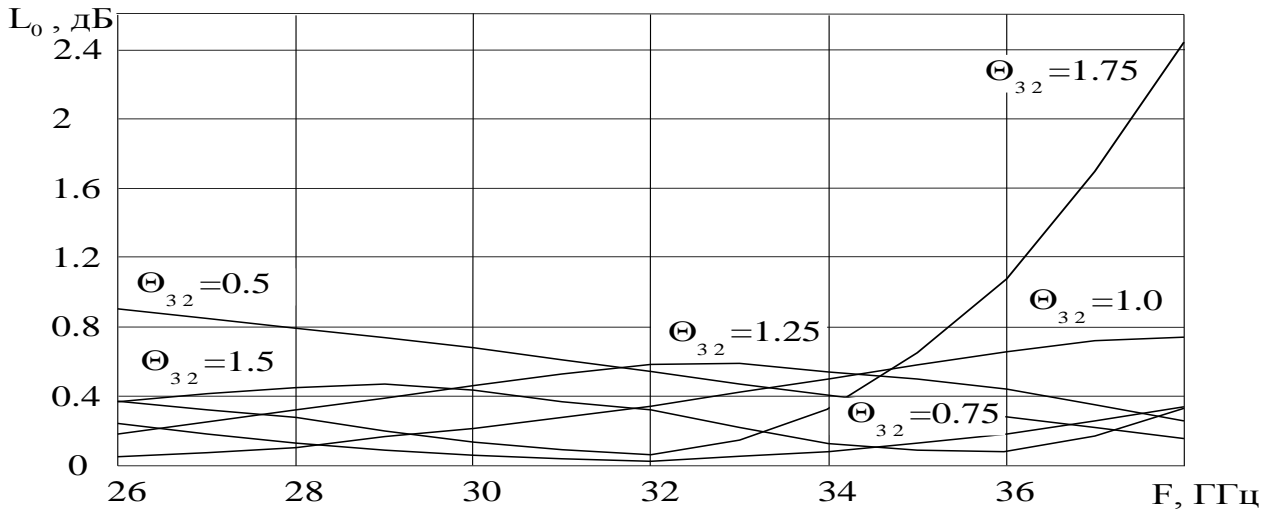


Рис. 3. Залежність початкових втрат від частоти для керуючого вузла ЗП

З приведених результатів випливає, що для забезпечення рівномірних характеристик та невеликих значень початкового загасання у робочому діапазоні частот, відстані між діодами керуючого блоку повинні бути обрані згідно з виразом:

$$l \approx \frac{\lambda_{32}}{8}.$$

В нашому випадку ця величина знаходиться в межах $\sim 0,8$ -1мм.

Для режиму високих рівнів НВЧ-потужності, коли р-і-п-діоди відкриті, вони можуть бути подані як опір R . У цьому випадку керуючий вузол забезпечує наступні значення внесеного загасання $L_{вн}$ в режимі потужного сигналу (табл.1):

Таблиця 1

Залежність внесеного загасання керуючого вузла в режимі потужного сигналу від опору р-і-п-діодів в цьому режимі

R , Ом	2	4	6	8
$L_{вн}$, дБ	73	55	46	40

Як видно з таблиці, керуючий вузол з 4-х р-і-п-діодів в діапазоні наведених величин R забезпечує досить високе значення внесеного загасання.

На рис.4 наведено можливі варіанти схемотехнічної побудови самокерованих обмежувачів потужності на основі регулярної лінії передачі.

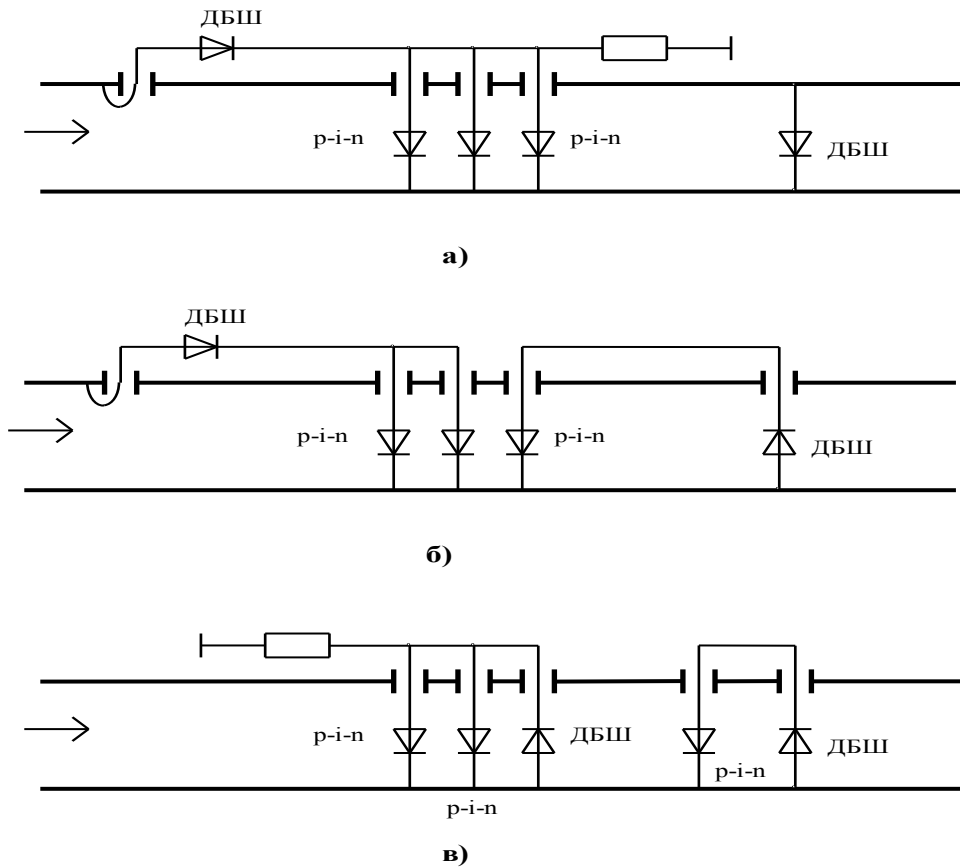


Рис.4. Варіанти побудови ЗП на основі регулярної лінії передачі

Таким чином, для конструктивної побудови ЗП доцільно використати регулярну лінію на Н-хвильоводі. Рівномірність втрат в режимі малого сигналу в цьому випадку та їх величина забезпечуються за рахунок вибору відстані між р-і-п-діодами і параметрами діодів в режимі малого сигналу. Величина внесеного загасання в режимі потужного сигналу визначається, в основному, опором р-і-п-діодів в цьому режимі за фіксованих інших параметрів.

Таким чином, оптимізація конструкції ЗП зводиться до оптимізації багатопараметричної системи, і являє досить складну технічну задачу. Ця задача була вирішена як експериментальним шляхом – за рахунок зміни конструктивних розмірів хвильоводної системи з подальшим вимірюванням характеристик ЗП, так і проведенням теоретичних розрахунків переходу від Н-хвильоводу до хвильоводу з стандартним перерізом 7,2x3,4мм.

Під час проведення експериментального пошуку вибору конструктивних параметрів для мінімізації втрат в режимі малого сигналу в робочому діапазоні частот було зафіксовано перевищення рівня втрат у верхній частині діапазону. Оскільки ЗП конструктивно складався з двох симетричних частин, то для зменшення втрат в режимі малого сигналу через щілини стику в них були виконані чвертьхвильові пази. Після цього рівень втрат в режимі слабого сигналу в робочому діапазоні частот було понижено на величину порядку 0,8-1 дБ.

Крім розробленого захисного пристрою, за такими ж конструктивними принципами можна створювати інші схемотехнічні варіанти побудови ЗП. На рис.5. подано один з можливих варіантів побудови конструкції ширококуткового самокерованого обмежувача потужності з каскадом попереднього захисту.

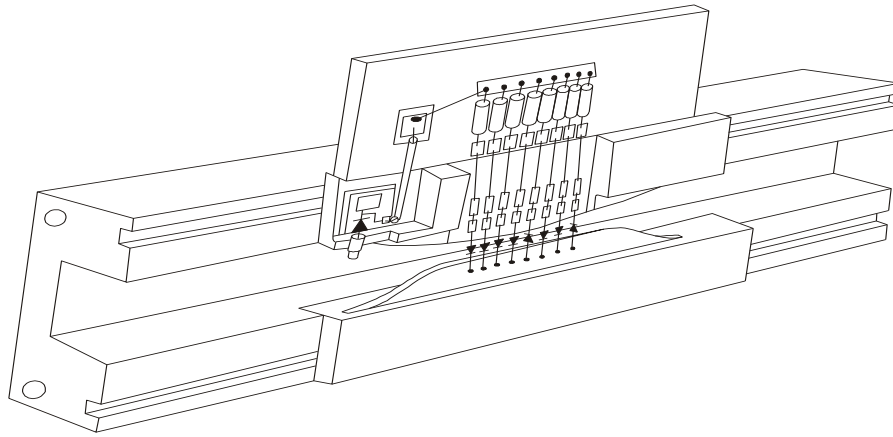


Рис. 5. Конструкція захисного пристрою з каскадом попереднього захисту

Висновки

Як показали результати теоретичних та експериментальних досліджень, оптимальна відстань між діодами, що входять до складу ЗП, складає $\lambda/8$, або 0,8 мм для заданого діапазону частот та регулярної напрямної системи. Тут λ – середня довжина хвилі робочого діапазону частот. Крім того визначено, що виконання чвертьхвильових пазів у вибраній конструкції дозволяє понизити втрати в режимі малого сигналу на 0,8-1 дБ. Результати цієї роботи дозволять підвищити надійність вхідних кіл НВЧ - приймачів безпроводних засобів зв'язку мм-діапазону, що працюють в умовах складної електромагнітної обстановки, а саме - за наявності впливу сильних зовнішніх імпульсних сигналів. Це в свою чергу дасть змогу підвищити надійність мереж зв'язку, в яких використовуються НВЧ приймально-передавальні пристрої [7].

Література

1. Кременецька Я.А. Сучасні тенденції розвитку джерел міліметрового і субміліметрового діапазонів для перспективних систем зв'язку // Вісник ДУІКТ. – 2013. – №2. – С.94-97.
2. Вайсблат А.В. Коммутационные устройства СВЧ на полупроводниковых диодах.-М.: Радио и связь, 1987.-120 с.
3. Кручинин И.В., Орлов О.С., Шипунова Н.В. Твердотельные устройства для ограничения СВЧ мощности// Труды 13-й Международной крымской микроволновой конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» КрыМиКо 2003. – 8-12 сентября, Севастополь: СГТУ (Украина) .- 2003.- С.193-194.
4. F. Jahan, M. Gaevski, J. Deng, R. Gaska, M. Shur, G. Simin. RF power limiter using capacitively-coupled contacts III-nitride varactor // Electronics Letters. – V.48. – Issue 23, 8 November 2012, p. 148-1481
5. Манько О.О. Захист вхідних кіл приймачів радіорелейних станцій мікрохвильового діапазону від потужних імпульсних завад // Сучасний захист інформації. – 2013. – №4. – С. 23 – 27.
6. David Lopez, J.-F. Villimazet, D. Geffroy, J.-L. Cazaux, G. Mouchon, J. Maynard, V. Perrel, M. Amarouali. Ka Band Power Limiter For Satellite Channel Amplifier//2009 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave & Optoelectronic Conference (IMOC 2009),THALES ALENIA SPACE, Toulouse, France P. 200-203.
7. Турупалов В.В. Оцінка функціональної надійності маршруту транспортної мережі // Вісник ДУІКТ. – 2012. – №3. – С.93-96.

Надійшла 17.07.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Вишнівський В.В.