

УДК 621.372.544

Манько О. О., д.т.н.

(Державний університет телекомунікацій, м. Київ. +380 (67) 408 67 80. manko_kiev@mail.ru)

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИСТРОЇВ ЗАХИСТУ ВХІДНИХ КІЛ ПРИЙМАЧІВ НАДВИСОКИХ ЧАСТОТ

Манько О. О. Моделювання передавальних характеристик пристроїв захисту вхідних кіл приймачів надвисоких частот. В роботі розглянуто принципи моделювання передавальних характеристик пасивних захисних пристроїв мікрохвильового діапазону. Пристрої побудовані на базі самокерованого обмежувача потужності. Розглянуто два варіанти побудови захисних пристроїв. Один з них містить каскад попереднього захисту. Наведено результати розрахунку залежності потужності вихідного сигналу від рівня вхідного. Показано, що наявність попереднього каскаду позитивно впливає на передавальні характеристики пристрою. Використання отриманих результатів дозволить підвищити надійність вхідних кіл приймачів надвисоких частот радіорелейних станцій мм-діапазону, що працюють в умовах складної електромагнітної обстановки, за наявності впливу потужних зовнішніх імпульсних сигналів.

Ключові слова: радіорелейна станція, захисний пристрій, мікрохвильовий діапазон, моделювання, самокерований обмежувач, внесені втрати, передавальна характеристика

Манько А. А. Моделирование передаточных характеристик устройств защиты входных цепей приемников сверхвысоких частот. В работе рассмотрены принципы моделирования передаточных характеристик пассивных защитных устройств микроволнового диапазона. Устройства построены на базе самоуправляемого ограничителя мощности. Рассмотрены два варианта построения защитных устройств. Один из них содержит каскад предварительной защиты. Приведены результаты расчета зависимости мощности выходного сигнала от уровня входного. Показано, что наличие предварительного каскада положительно влияет на передаточные характеристики устройства. Использование полученных результатов позволит повысить надежность входных цепей приемников сверхвысоких частот радиорелейных станций мм-диапазона, которые работают в условиях сложной электромагнитной обстановки, при наличии влияния мощных внешних импульсных сигналов.

Ключевые слова: радиорелейная станция, защитное устройство, микроволновый диапазон, моделирование, самоуправляемый ограничитель, внесенные потери, передаточная характеристика

Manko O. O. Modeling of transfer characteristics of protection devices of input circuits microwave receivers. In this work the principles of modeling the transmission characteristics of passive protective device of microwaves range are considered. The devices are based on a self-controlled power limiter. Two variants of protective devices construction are considered. One of variants comprises a preliminary stage of protection. The results of calculation of output signal power dependence from the input are shown. It has been shown, that the presence of the preliminary stage has a positive effect on the transmission characteristics of the device. Using these results will improve the reliability of the input circuits microwave receivers of mm-range radio relay stations, which operate in complex electromagnetic environment, in the presence of the influence of powerful pulsed signals.

Keywords: radio relay station, protective device, microwave range, modeling, self-controlled limiter, insertion losses, transmission characteristics

Вступ. Постановка задачі. На сучасному етапі розвитку безпроводних засобів зв'язку має місце інтенсивне освоєння діапазону надвисоких частот (НВЧ-діапазону) електромагнітних коливань, пов'язане з ростом робочої частоти засобів та пристроїв зв'язку аж до міліметрового діапазону довжин хвиль включно [1]. Створюються нові типи радіорелейних систем передачі, удосконалюються супутникові інформаційні системи.

В той же час в цих діапазонах має місце застосування потужних стаціонарних імпульсних передавальних станцій, що використовуються у військових радіолокаційних станціях (РЛС) дальнього виявлення, аеродромних РЛС, а також передавальних станцій малої і середньої потужності, що використовуються 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. Захисний пристрій повинен знаходитися в постійній готовності, не перешкоджати проходженню слабких сигналів, виконувати свої функції при відключенні живлення приймача. Основою для побудови такого пристрою може бути самокерований обмежувач потужності [2, 3, 4].

Основна частина. Однією з основних характеристик ЗП є передавальна характеристика – тобто залежність величини вихідної потужності від значення вхідної. Ця характеристика, зокрема, визначається параметрами керуючого вузла на *p-i-n*-діодах та діодної збірки (детекторного вузла), виконаного на діодах з бар'єром Шоттки (ДБШ). Таким чином, ці дані повинні бути враховані при моделюванні пристрою. Виходячи з цього, за вихідні дані для розробки математичної моделі ЗП в даній роботі було взято вольтамперну характеристику (ВАХ) діодного вузла, виконаного на ДБШ (Рис. 1). Крім того, було використано експериментально отриману залежність внесеного загасання *p-i-n*-діодної збірки (керуючого вузла) від струму керування (Рис. 2).

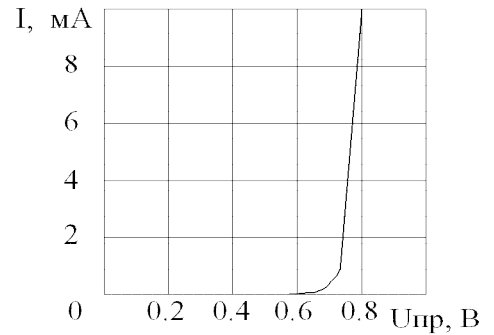


Рис. 1. ВАХ збірки ДБШ

Схемну побудову ЗП було взято на основі конструкції, наведеної на Рис. 3. Для *p-i-n*-діодної збірки (керуючого вузла) струм, випрямлений збіркою ДБШ (детекторним вузлом), буде керуючим струмом – $I_{кер}$. Протікаючи через *p-i-n*-діодну збірку, він буде визначати рівень загасання, яке вона вносить в тракт ЗП.

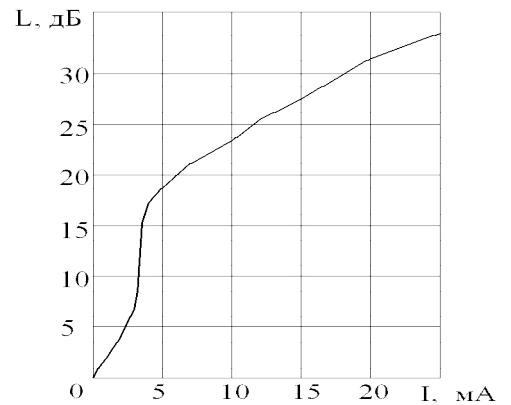


Рис. 2. Залежність загасання *p-i-n*-

Для побудови розрахункової моделі вольт-амперна характеристика ДБШ була апроксимована кусочно-неперервною лінійною функцією (Рис. 4.).

Залежність загасання *p-i-n*-діодної збірки від керуючого струму також була апроксимована кусочно-неперервною лінійною функцією (Рис. 5).

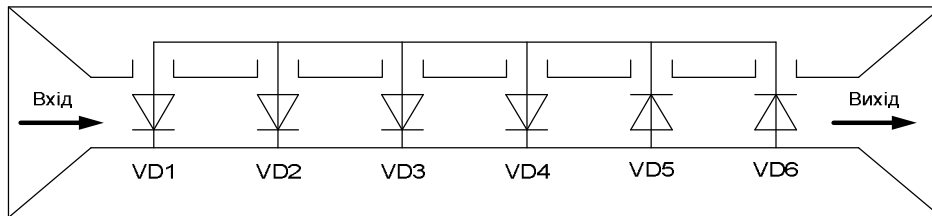


Рис. 3. Схемна побудова захисного пристрою

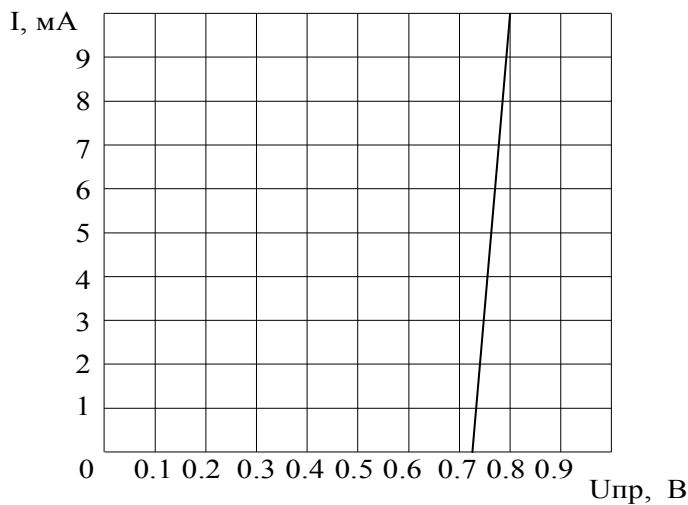


Рис. 4. Апроксимація ВАХ збірки (детекторного вузла) ДБШ

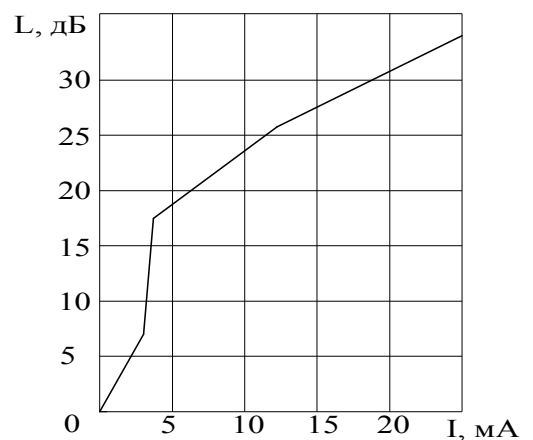


Рис. 5. Апроксимація залежності загасання *p-i-n*-діодної збірки від керуючого струму

Для розрахунку передавальної характеристики необхідно перейти від вольт-амперної характеристики збірки ДБШ до ватт-амперної.

В нашому випадку ця залежність буде мати вигляд:

$$I_{кер} = 1.376 \cdot P_{погл} - 1.003, \text{ де } P_{погл} - \text{НВЧ потужність, що подається на збірку ДБШ.} \quad (1)$$

Залежність $I_{кер}$ від потужності НВЧ сигналу, що підводиться до збірки ДБШ, представлена на Рис. 6.

Алгоритм розрахунку є алгоритмом покрокового наближення і полягає в наступному [5].

1) На першому кроці за величиною падаючої на вхід ЗП (вхідної) НВЧ-потужності $P_{вх}$ визначається прикладена до детекторної збірки потужність $P_{погл}$:

$$P_{погл} = K_{зв} \cdot P_{вх}, \quad (2)$$

де $K_{зв}$ – коефіцієнт зв'язку збірки ДБШ з лінією, що визначає, яка частина падаючої НВЧ-потужності прикладається до детекторної збірки.

2) З виразу (1) визначається струм детекторної збірки $I_{кер}$, що є керуючим струмом для керуючого вузла на $p-i-n$ -діодах. За апроксимуючими виразами визначається загасання L , внесене керуючим вузлом. Падаюча на детекторний блок $P'_{вх}$ потужність у цьому випадку, з урахуванням L , буде визначатися як

$$P'_{вх} = P_{вх} \cdot 10^{-0.1 \cdot L}. \quad (3)$$

3) Далі визначається $I'_{кер}$ і розрахунок повторюється доти, поки після виконання n -го циклу не виконається умова:

$$|I_{кер}^n - I_{кер}^{n-1}| \leq \varepsilon, \quad (4)$$

де ε – наперед задане додатне число, що визначає точність обчислення.

За аналогічним принципом був побудований алгоритм для моделювання роботи схеми з двома каскадами захисту, один з яких є попереднім каскадом з відгалужувачем, виконаним згідно з [6] та Рис.7 (перший каскад) і розрахованим на спрацьовування за великих рівнів вхідних потужностей, а другий – виконаний згідно з Рис. 3.

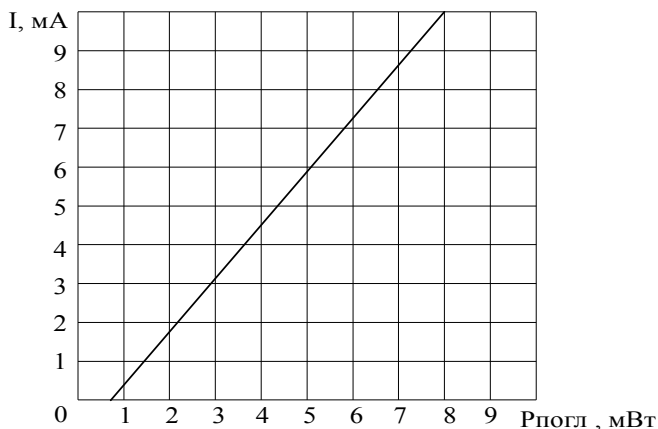


Рис. 6. Залежність $I_{кер}$ від поглинутої збіркою ДБШ потужності

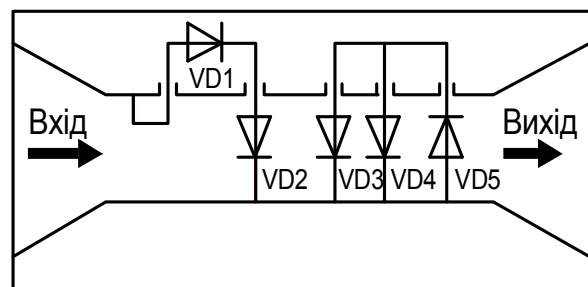


Рис. 7. Електрична схема комбінованого 2-каскадного обмежувача

Результати числового моделювання. Серед численних схемотехнічних побудов каскадів хвилеводних конструкцій самокерованих обмежувачів потужності можна виділити два основних варіанти: коли вузол діодів з бар'єром Шотткі, що керують атенуатором у вигляді збірки з $p-i-n$ діодів, розташовано перед такою збіркою в напрямку від входу і підключено до тракту ЗП через відгалужувач, і коли вузол ДБШ розташований за збіркою.

Інколи використовують комбіноване поєднання двох і більше каскадів з цих варіантів (Рис. 7). На виході ЗП в окремих випадках встановлюють ДБШ, що підключений до гребенів Н-хвилеводу і виконує функцію остаточного обмеження імпульсу, який просочився після попередніх каскадів. При цьому рівень обмеження потужності цього діоду залежить від висоти потенціального бар'єру ДБШ [7].

З використанням описаного вище алгоритму, були проведені розрахунки характеристик ЗП для різних режимів його роботи при двох способах побудови: першого – коли ДБШ розташовані за збіркою з $p-i-n$ діодів (Рис. 3), та комбінованого 2-каскадного варіанта (Рис. 7) – з використанням попереднього каскаду ЗП з відгалужувачем.

За вихідні дані для розрахунків були взяті вольтамперні характеристики конкретних типів ДБШ і експериментально отримані залежності ослаблення $p-i-n$ аттенуаторів від керуючого струму. На Рис.8 представлені характеристики ЗП, що являє собою конструкцію, виконану згідно з Рис. 3, з розташуванням ДБШ за $p-i-n$ діодним аттенуатором.

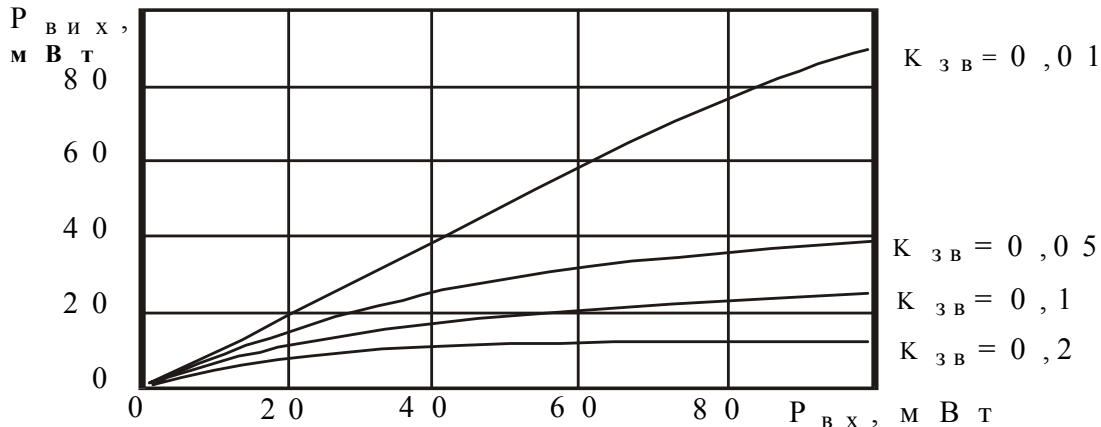


Рис. 8. Передавальні характеристики однокаскадного ЗП

Рівень вхідного сигналу при цьому змінювався в межах від 0 до 0,1 Вт. Як випливає з графіків, збільшення коефіцієнта зв'язку $K_{зв}$ до 0,2 дозволяє одержати ЗП з рівнем обмеження вхідного сигналу порядку 10-12 мВт [8]. Характеристики двокаскадного пристрою, що відповідає схемі, приведений на Рис.7, представлені на Рис. 9 та 10 для різних значень $K_{зв1}$ (для VD5) і $K_{зв2}$ (для VD1). Рівень вхідної потужності $P_{вх}$ при цьому змінювався в межах 0...1 Вт.

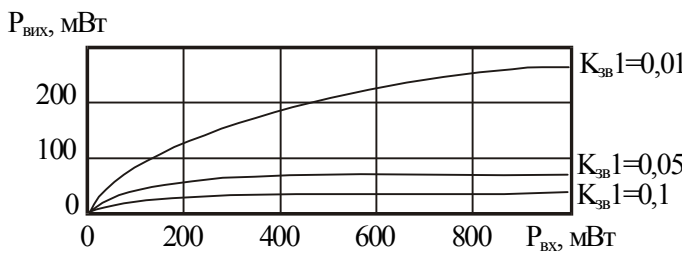


Рис. 9. Передавальні характеристики 2-каскадного обмежувача для $K_{зв2}=0,001$

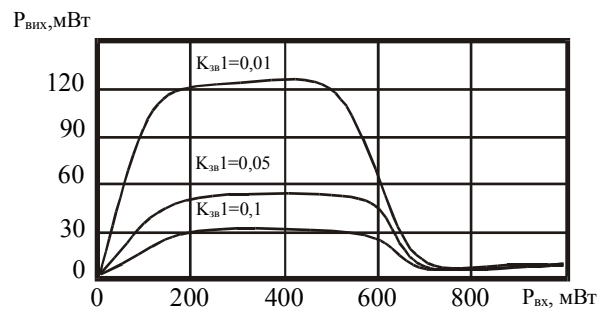


Рис. 10. Передавальні характеристики 2-каскадного обмежувача для $K_{зв2}=0,005$

Як видно з графіків, при малому значенні $K_{зв2}$ і рівнях вхідної потужності, що сягають 1Вт, перший каскад (VD1,VD2) практично не має впливу на хід характеристик (Рис. 9), у той час як зі збільшенням $K_{зв2}$ відбувається спрацювання першого каскаду в розглянутому діапазоні вхідної потужності (Рис. 10). У цьому випадку, після деякого наростання вихідної потужності $P_{вих}$ і стабілізації її значення відбувається різке зниження $P_{вих}$ при подальшому збільшенні вхідної, починаючи з деякого значення $P_{вх}$ [8].

Різницю в поведінці передавальних характеристик можна пояснити тим, що в першому випадку, внаслідок малого значення $K_{зв}$, рівень вхідної потужності, що подається на VD1, виявляється недостатнім для його спрацювання, і характеристики ведуть себе подібно передавальним характеристикам, зображеним на Рис. 8. З урахуванням того, що

ДБШ дуже критичні до значення потужності, що подається на них, 2-каскадна схема краща у випадках підвищеного рівня вхідної потужності, коли спрацювання першого каскаду з відносно малим коефіцієнтом зв'язку охороняє від ушкодження ДБШ другого каскаду з відносно великим коефіцієнтом зв'язку.

Висновки

Розроблено порівняно просту методику, що дозволяє проводити розрахунок передавальних характеристик досить складних багатокаскадних самокерованих обмежувачів потужності. Застосування запропонованих схем побудови захисних пристроїв дозволяє зберегти на високому рівні шумові характеристики НВЧ-приймачів, захищаючи змішувальні діоди від впливу потужних імпульсних завад.

Результати цієї роботи дозволять підвищити надійність вхідних кіл НВЧ-приймачів радіорелейних станцій мм-діапазону, що працюють в умовах складної електромагнітної обстановки, а саме, – за наявності впливу потужних зовнішніх імпульсних сигналів. Це призведе також до підвищення надійності мереж зв'язку, що містять у своєму складі радіорелейні станції [9].

Література

1. Кременецька Я. А. Сучасні тенденції розвитку джерел міліметрового і субміліметрового діапазонів для перспективних систем зв'язку / Я. А. Кременецька // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2013. – №2. – С.94-97.
2. Вайсблат А. В. Коммутационные устройства СВЧ на полупроводниковых диодах / А. В. Вайсблат. –М.: Радио и связь, 1987. – 120 с.
3. 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
4. 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.
5. Каток В. Б. Теоретическое исследование характеристик самоуправляемого ограничителя мощности / В. Б. Каток, А. А. Манько // Труды III-й Международной конференции по электросвязи, телевизионному и звуковому вещанию «УкрТелеКонф-97». – Одесса, 9-12 сентября 1997 г. – С. 381-384.
6. Кручинин И. В. Твердотельные устройства для ограничения СВЧ мощности / И. В. Кручинин, О. С. Орлов, Н. В. Шипунова // Труды 13-й Международной крымской микроволновой конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» КрыМиКо 2003. – Севастополь: СГТУ, 8-12 сентября 2003 г. – С. 193-194.
7. Шнитников А. С. Проектирование диодного СВЧ ограничителя с низким уровнем выходной мощности / А. С. Шнитников, В. Г. Виноградов, Н. Б. Гудкова // Труды 13-й Международной крымской микроволновой конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» КрыМиКо 2003. – Севастополь: СГТУ, 8-12 сентября 2003 г. – С. 181-182.
8. Каток В. Б. Численное моделирование характеристик самоуправляемого ограничителя мощности / В. Б. Каток, А. А. Манько, Д. А. Соловьев // Труды 10-й Международной крымской микроволновой конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» КрыМиКо 2000. – Севастополь: СГТУ, 11-15 сентября 2000 р. – С.156-157.
9. Турупалов В. В. Оцінка функціональної надійності маршруту транспортної мережі / В. В. Турупалов// Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2012. – №3. – С. 93-96.