

**ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
ОБМЕЖУВАЛЬНИХ ВХІДНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ  
ТВЕРДОТІЛЬНИХ МАЛОШУМНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ НВЧ**

Харченко С. О.

Науковий керівник – к.т.н., проф. Сакало С. М.  
Харківський національний університет радіоелектроніки,  
каф. КРіСТЗІ, м. Харків, Україна  
e-mail: serhii.kharchenko@nure.ua

Experience of developing solid-state low-noise UHF amplifiers designed to replace traveling-wave tube in radar receiving channels is presented. Analysis of various types of protective devices at amplifiers inputs is carried out, parameters of production-run equipment is provided.

Використання твердотільних малошумних підсилювачів в мікроелектронному виконанні в сучасних радіолокаційних станціях (РЛС) є проблемою, що вимагає суттєвого обмеження попадання на вхід малошумного підсилювача великої потужності від передавача РЛС [1]. Отже, необхідна наявність ефективного та швидкодіючого обмежувача потужності на вході малошумного підсилювача. Причому перераховані вище вимоги до обмежувача потужності повинні із запасом забезпечувати життєздатність першого каскаду малошумного підсилювача як по тепловому впливу так і по гранично допустимій напрузі на кристалі, як правило, малопотужного транзистора.

Існує кілька способів обмеження потужності на вході малошумного підсилювача. Зупинимося докладніше на перевагах та недоліках двох з них [2]:

- 1) захисний пристрій на обмежувальних  $p-i-n$  - діодах з активним підживленням;
- 2) захисний пристрій на обмежувальних  $p-i-n$  - діодах з пасивним підживленням. Зупинимося докладніше на перевагах та недоліках кожного з рішень.

Одним із шляхів просування захисних пристроїв, що працюють з великими рівнями потужності, в область високих частот є організація активного підживлення обмежувальних  $p-i-n$  - діодів. Цей спосіб дозволяє використовувати на високих частотах діоди з відносно товстою базою, які не працюють у цьому діапазоні частот в режимі автозміщення. Реалізується він в такий спосіб.

У тракті перед  $p-i-n$  - діодом встановлюється детекторний діод, навантаження якого буде сам  $p-i-n$  - діод. При цьому випрямлена детектором напруга призводить до протікання струму через  $p-i-n$  - діод і, отже, до зростання ослаблення високочастотної потужності, що проходить через нього.

Зрозуміло, що у разі застосування детектора, обмеження НВЧ потуж-

ності визначатиметься вже не тільки (а при малих потужностях і не стільки) безпосереднім її впливом на діод, а й чутливістю детектора та величиною струму, яку він забезпечує в навантаженні – перемикальному  $p-i-n$  - діоді .

Використання детектора також сприяє зменшенню інерційності даної схеми. При подачі випрямленої напруги з детектора на  $p-i-n$  - діод, останній відкривається швидше, ніж за безпосередньої дії НВЧ потужності. Однак швидкодії  $p-i-n$  - діода все ж таки іноді буває недостатньо, якщо обмежувач використовується як пристрій захисту приймача, коли потужність надходить у вигляді імпульсів. При цьому за час перемикання  $p-i-n$  - діода частина потужності високого рівня просочується в тракт, що зазвичай є вкрай небажаним. Для того щоб зменшити потужність, що просочується, тобто підвищити швидкість спрацьовування обмежувача, а разом і збільшити загальну розв'язку, за  $p-i-n$  - діодом у тракт поміщується швидкодіючий варакторний діод. У ширококутових пристроях він зазвичай віддалений від  $p-i-n$  - діода на чверть довжини хвилі для середньої частоти робочого діапазону частот.

Застосування детекторів у схемах обмежувачів на діодах, як було зазначено вище, прискорює їхнє відмикання, проте не вирішує іншої важливої проблеми - прискорення процесу розсмоктування накопиченого заряду після закінчення дії НВЧ потужності. Дійсно, практично відсутній шлях для протікання зворотного струму діода, внаслідок чого розсмоктування накопиченого заряду відбувається головним чином за рахунок рекомбінації в базі, тобто досить повільно. Для створення ланцюга протікання зворотного струму паралельно  $p-i-n$  - діоду можна включити опір. Ще більшого ефекту можна досягнути, якщо замість опору включити індуктивність. В індуктивності накопичується енергія під час протікання через діод прямого струму. Коли зміщення напруги, яке створює детектор, зникає, пропадає і магнітне поле, у результаті на затискачах індуктивності виникає електро-рушійна сила зворотного знаку, яка сприяє ефективному розсмоктуванню заряду, накопиченого базою діода.

Якщо рівень падіння потужності занадто великий для детектора, його можна підключити через спрямований відгалужувач. Сигнал, що виробляється діодом, посилюється швидкодіючим відеопідсилювачем і використовується для примусового відмикання обмежувальних  $p-i-n$  - діодів. Подібні захисні пристрої мають істотні недоліки. По-перше, відеопідсилювач різко обмежує швидкодію захисного пристрою загалом. При цьому на вхід малошумного підсилювача просочується досить потужний енергопік, здатний вивести його з ладу. По-друге, елементарна відсутність електроживлення робить малошумний підсилювач з таким захисним пристроєм вразливим перед впливом НВЧ імпульсів від РЛС, що працюють поруч.

З появою на ринку вискоелективних арсенід-галієвих детекторних діодів з бар'єром Шоткі, зазначені проблеми можуть бути вирішені в за-

хисних пристроях з пасивним підживленням. У захисних пристроях такого типу датчик НВЧ енергії (детекторний або змішувальний діод) вбудовується в один із останніх ступенів обмеження як обмежувач. При цьому в початковий момент впливу радіоімпульсу на нього надходить майже вся НВЧ енергія, тому що перші ступені обмежувача, виконані на обмежувальних  $p-i-n$  - діодах, замкнені. Вироблений датчиком струм подається на перші ступені обмеження і відкриває їх, різко полегшуючи перехід обмежувальних  $p-i-n$  - діодів у режим зміщення. Після того, як обмежувальні  $p-i-n$  - діоди відкрилися, вони знижують потужність, що надходить на датчик, оберігаючи його від виходу з ладу. Такий спосіб підживлення обмежувальних  $p-i-n$  - діодів дозволяє використовувати потужні напівпровідникові прилади з товстою базою на частотах до 12 ГГц.

Завдання комплектування сучасних локаторів українського та зарубіжного виробництва у діапазоні робочих частот від 10 МГц до 18 ГГц можна вирішити розробленим малошумного підсилювача 10-см діапазону довжин хвиль. Коефіцієнт шуму малошумного підсилювача з вбудованим захисним пристроєм становить у нормальних умовах 1,6-1,7 дБ, а при температурі корпусу  $+65^{\circ}\text{C}$  - 1,9-2,0 дБ. При цьому на вхід малошумного підсилювача допускається подача імпульсів НВЧ потужністю до 500 Вт, тривалістю до 50 мкс при шпаруватості 100. Коефіцієнт підсилення малошумного підсилювача підтримується постійним в робочому діапазоні температур ( $-50\dots+65^{\circ}\text{C}$ ) з точністю  $\pm 1,5$  дБ, що дозволяє ефективно використовувати систему придушення бічних пелюсток.

#### Список використаних джерел:

1. Air Traffic Control (ATC) PSR sensors operating in the frequency band 2 700 MHz to 3 100 MHz (S band). URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/303300\\_303399/30336402/01.01.01\\_60/en\\_30336402v010101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/303300_303399/30336402/01.01.01_60/en_30336402v010101p.pdf) (дата звернення: 12.02.2024).
2. PIN diode drive circuits optimized for fast switching. URL: <https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/c2292f43-47c7-43e8-82ce-9010b0672ede/content> (дата звернення: 12.02.2024).
3. Gavva, D.S., Strelnitskiy, A.A., Gretskih, D.V., Gorelov, D.Y., Medvedev, E.A. Impact of non-linear switch characteristics on the reconfigured antenna properties. 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018 - Proceedings, 2018, 2018-April, страницы 591–596.
4. D.S. Gavva and A.E. Medvedev, "The effect of non-linear characteristics of the RF switches upon the pattern of the reconfigurable antenna", Telecommunications and Radio Engineering, vol. 13, no. 76, 2017.