

Випромінювання подається на модулятор М, далі сигнали всіх спектральних каналів подаються на оптичний WDM – мультиплексор, після якого груповий сигнал N спектральних каналів передається в оптичне волокно через широкосмуговий підсилювач потужності.

Схема компенсації ПМД, що показана штриховою лінією на (рис. 2), дозволяє оперативно реагувати на зміну ДГЗ. В якості модулятора використовується електрооптичний кристал. Під дією керуючої напруги кристал змінює двозаломлення, причому різниця показників заломлення швидкої і повільної осей залежить від величини прикладеної напруги. Для схеми компенсації ПМД потрібно, щоб модулятор дозволяв реалізувати різницю часу поширення швидкої і повільної складових в межах від 0 до $2\pi/\omega$, де ω – кутова частота оптичного сигналу. Зрозуміло, що для різної довжини хвилі оптичної несучої буде і різне значення прикладеної напруги для отримання однакової різниці ходу.

Аналізатор на виході ОВ вимірює значення ДГЗ в даний момент. Якщо значення ДГЗ перевищує максимально допустиме, то по зворотному каналу передається сигнал на зміну вхідного еліпса поляризації. На модулятор в покроковому режимі подаються фіксовані значення напруги, а на виході аналізатора визначається ДГЗ сигналу. Передача даних ведеться неперервно на кожному еліпсі поляризації вхідного сигналу. Після проходження одного циклу вимірювань (зміна відносного зсуву фаз кристала від 0 до 2π з заданою кількістю кроків) на модуляторі встановлюється таке значення напруги, при якому ДГЗ на виході волокна приймало мінімальне значення, і цей вхідний стан поляризації зберігається до того моменту, поки значення ДГЗ знову не перевищить допустимого. Такий алгоритм компенсації використовується для кожного спектрального каналу окремо, незалежно один від одного [5].

Висновки. Розглянутий вище метод компенсації поляризаційної модової дисперсії в волоконно-оптичних лініях корпоративних систем зв'язку зі спектральним ущільненням каналів дозволяє зменшити вплив нелінійних ефектів, міжмодової дисперсії, джиттера та підвищити пропускну здатність і швидкість передачі цифрових потоків інформації оптичних транспортних систем.

Література

1. Починається реалізація польсько-австралійського інвестпроект з розробки золотих родовищ в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://geografica.net.ua/news/pochinaetsja_realizacija_polsko_avstralijskogo_investproektu_z_rozrobki_zolotikh_rodovishh_v_ukrajini/2011-09-21-1528.
2. Нікіфоренко К.Б. Дослідження взаємних впливів в оптичних каналах DWDM систем / К.Б. Нікіфоренко, Ю.М. Панченко // Наукові записки УНДІЗ. – 2011. – № 1 (17). С. – 64–68.
3. Поляризаційно модова дисперсія [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.fiberman.ru/articles/fiber-optical/polarization-mod-dispersion/>.
4. Олексін М.І. Модель оптичної транспортної системи на основі технології DWDM / М.І. Олексін, Є.М. Чернихівський // Радіоелектроніка та телекомунікації: [зб. наук. пр.] відп. ред. Б.А. Мандзій. – Л. : Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2008. – 212 с.
5. Олексін М.І. Вплив дисперсії і нелінійних ефектів оптичного волокна на параметри транспортних систем : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.12.02 "Телекомунікаційні системи та мережі" / М.І. Олексін. – Одеса 2009. – 23 с.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.
Надійшла 7.2.2012 р.

УДК 621.396.12

В.Б. РУДНИЦЬКИЙ, А.В. СПИВАК
Хмельницький національний університет

ОБҐРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСНОГО ПРИБОРУ НВЧ ПРИЙМАЧІВ НА ОСНОВІ НАДПРОВІДНИХ СТРУКТУР

В статті розглядаються основні вимоги до захисних пристроїв приймачів НВЧ діапазону, що будуються на основі високошвидкісних енергозалежних надпровідникових структур та визначені основні критерії оцінки їх ефективності в умовах надкороткоімпульсних електромагнітних впливів.

The article deals with the basic requirements for protective devices UHF receiversthat are based on high-energy-dependent on conducting structures and the basiccriteria for evaluating their effectiveness in ultrashort electromagnetic pulse effects.

Ключові слова: діапазон, хвилевід, радіоелектронна апаратура.

Одним із перспективних напрямів розробки захисних пристроїв приймачів НВЧ діапазону є використання у вхідних хвилевідних трактах вставок зі спеціальних матеріалів, що характеризуються чутливою до інтенсивності електромагнітного поля провідністю. Такими матеріалами є високотемпературні надпровідники [1, 3], в яких за певних температурних умов достатньо швидко може змінюватись власна провідність при змінній інтенсивності електричного поля на їх поверхні. Існує багато робіт цього напрямку,

присвячених методологічному аспекту розробки та застосування таких захисних пристроїв, проте існує потреба в розробці методичних підходів оцінки ефективності їх застосування і саме цим питанням присвячена дана стаття.

На основі аналізу роботи [2] можна сформулювати основні умови підвищення захищеності радіоелектронної апаратури (РЕА), за рахунок застосування захисного пристрою: технічні характеристики і параметри захисних пристроїв при відсутності імпульсів електромагнітного випромінювання (ІЕМВ) не повинні впливати на функціональні характеристики приймачів, в яких вони застосовуються; рівень напруги і струму під час дії ІЕМВ на виході захисного пристрою повинен бути максимально близьким до нормального рівня напруги і струму; швидкодія захисного пристрою повинна бути максимально можливою, щоб забезпечити якісний захист при більших швидкостях зміни напруги і струму в колі, викликаних ІЕМВ.

Грунтуючись на вище перерахованих умовах підвищення захищеності РЕА, використовуючи основні властивості високотемпературних надпровідників і проведені в [1] дослідження тривалості фазового S-N переходу, визначимо основні умови підвищення захищеності РЕА. За рахунок введення захисного пристрою, побудованого на основі надпровідної смужки, умови підвищення захищеності мають наступний вигляд:

$$\begin{cases} v_N(t) \geq v_\Phi(t), t_{c1} \leq t < t_{c2}; \\ P_{S-N}(t) \ll P_{bx}(t), t_{c1} \leq t < t_{c2}; \\ P_n(t) \ll P_{bx}(t), t_{c2} \leq t_i, \end{cases} \quad (1)$$

де $v_\Phi(t)$ – фазова швидкість поширення електромагнітної хвилі уздовж надпровідної смужки;

$v_N(t)$ – швидкість збільшення нормальної області;

$P_{bx}(t)$ – потужність електромагнітного сигналу на вході надпровідної смужки;

$P_{S-N}(t)$ – потужність електромагнітного сигналу на виході надпровідної смужки в момент фазового S-N переходу;

t_{c1}, t_{c2} – час досягнення струмом величин I_{c1} і I_{c2} відповідно;

$P_n(t)$ – потужність електромагнітного сигналу на виході надпровідної смужки, що перебуває в нормальному стані.

Співвідношення фазової швидкості поширення електромагнітної хвилі уздовж надпровідної смужки в момент фазового S-N переходу і швидкості руху N-області характеризує інерційність захисного пристрою. Якщо величина $v_\Phi(t)$ перевищує швидкість руху N-області, то фазовий S-N перехід відбувається із запізненням, в результаті чого виникає можливість проникнення небезпечного рівня сигналу через захисний пристрій. Тому виконання першої нерівності у вираженні (1) є необхідною умовою здійснення захисту.

Для дослідження виконання першої нерівності у виразі (1) розглянемо процес розповсюдження електромагнітного сигналу по надпровідній смужці в момент S-N переходу ($t_{c1} \leq t < t_{c2}$).

В момент часу t_{c1} , коли струм, що протікає через надпровідну смужку, досягає значення I_{c1} , електромагнітна хвиля проникає в надпровідник на глибину l_1 . Магнітне поле, що огинає надпровідну смужку (вектор B спрямований перпендикулярно напрямку поширення струму), викликає аннігіляцію надпровідних носіїв заряду на краях смужки в шарі шириною $I_N(t)$. Зі збільшенням струму величина $I_N(t)$ зростає, поки в момент часу t_{c2} струм не досягне значення I_{c2} , для якого

$$I_N(t_{c2}) = W/2. \quad (2)$$

Для цього випадку абсолютна діелектрична $\epsilon_a(t)$ і абсолютна магнітна $\mu_a(t)$ проникливості будуть дорівнювати

$$\epsilon_a(t) = \epsilon_0 \left(\frac{i(t)}{I_{c1}} \right), \quad \mu_a(t) = \mu_0 \left(\frac{I_{c1}}{i(t)} \right) \quad (3)$$

де ϵ_0, μ_0 – електрична і магнітна постійні.

Вибираючи для електромагнітного впливу співвідношення $\Delta\omega t_i = \pi$, запишемо вирази для визначення коефіцієнтів згасання $\alpha(t)$ і зсуву фази $\beta(t)$:

$$\alpha(t) = \frac{\pi}{t_i} \sqrt{\frac{\mu_0 t_i I_{c2} l}{2\pi S U_m (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t})}}, \quad (4)$$

$$\beta(t) = \frac{\pi}{t_i} \sqrt{\frac{\mu_0 \epsilon_0}{2}} \sqrt{2 + \frac{t_i I_{c1} l}{(\pi \epsilon_0 S U_m (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t}))^2}}. \quad (5)$$

Тоді швидкість поширення фронту хвилі

$$v_{\Phi}(t) = \frac{1}{\sqrt{\frac{m_0 e_0}{2} \sqrt{2 + \frac{t_i I_{c1} l}{(\mu_0 S U_m (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t}))^2}}}} \quad (6)$$

Швидкість збільшення нормальної області [1] можна визначити як

$$v_N(t) = \frac{d\lambda_N}{dt} = \frac{d\lambda_l^2}{h I_{c1} dt} \quad (7)$$

або

$$v_N(t) = \frac{\lambda_l^2 \sqrt{U_m} (a_2 e^{-a_2 t} - a_1 e^{-a_1 t})}{h I_{c1} \sqrt{A} \sqrt{e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t}}} \quad (8)$$

Порівнюючи вираз (8) з виразом (6) для швидкості руху N-області і враховуючи, що

$$\frac{\mu_0 \epsilon_0}{2} \ll \frac{(\mu_0 t_i I_{c1} l)^2}{(2\pi S U_m (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t}))^2},$$

одержимо

$$v_{S-N}(t) = \beta v_{TM}(t) \frac{(a_2 e^{-a_2 t} - a_1 e^{-a_1 t})}{(e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t})}, \quad (9)$$

де
$$b = \frac{I_l^2}{h I_{c1} \sqrt{A}} \sqrt{\frac{m_0 I_{c1} l}{2\pi S}}$$

На рис.1 і 2 для прийнятих певних розрахункових значень, представлені часові залежності фазової швидкості поширення електромагнітної хвилі уздовж надпровідної смужки і швидкості збільшення нормальної області в момент фазового S-N переходу.

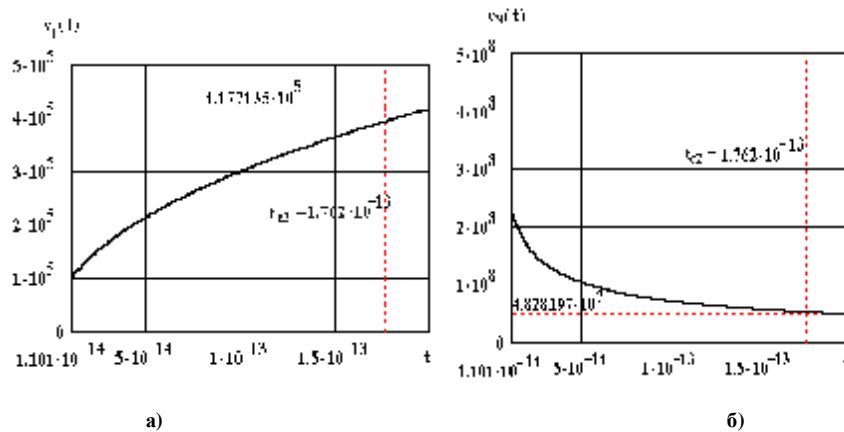


Рис. 1. Залежність фазової швидкості поширення електромагнітної хвилі уздовж тонкої надпровідної плівки (а) та швидкості збільшення нормальної області в тонкій надпровідній плівці (б) від часу

Порівнюючи розрахункові залежності, представлені на рис.1 і рис. 2 слід зазначити, що швидкість збільшення нормальних областей досить висока і набагато перевищує фазову швидкість поширення електромагнітної хвилі, що забезпечує малу тривалість існування змішаного стану для тонкої плівки (закінчення фазового переходу показане штриховою лінією) а отже, виконується нерівність

$$v_n(t) > v_{\Phi}(t)$$

що свідчить про малу інерційність захисного пристрою, тобто випередження величини $v_n(t)$ у порівнянні з $v_{\Phi}(t)$ не дає можливості проникнення небезпечного сигналу через надпровідний захисний пристрій.

Іншим критерієм ефективності захисного пристрою є співвідношення вхідної і вихідної потужностей захисного пристрою в момент фазового S-N переходу. Даний критерій ефективності обумовлений нелінійною зміною величини активного опору надпровідної смужки від нуля до величини R_N , що допускає можливість проникнення небезпечного сигналу у вхідні пристрої РЕА на інтервалі часу, коли $R_{S-N}(t) > R_N$.

Потужності електромагнітного впливу на вході $P_{bx}(t)$ і виході $P_{S-N}(t)$ захисного пристрою (тонкої надпровідної плівки) у момент фазового S-N переходу можна визначити з виразів [1]:

$$P_{S-N}(t) = \sqrt{\frac{U_m^3}{A} (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t})}, \quad (10)$$

$$P_{bx}(t) = \frac{U_m^2}{R} (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t})^2. \quad (11)$$

Часова залежність потужності вхідного сигналу на інтервалі часу $t_{c1} \leq t < t_{c2}$ представлена на рис. 2. Зіставляючи (10) і (11), отримуємо співвідношення

$$P_{S-N}(t) = \frac{(e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t})}{\sqrt{A}} \sqrt[4]{P_{bx}(t)^3 R^3}. \quad (12)$$

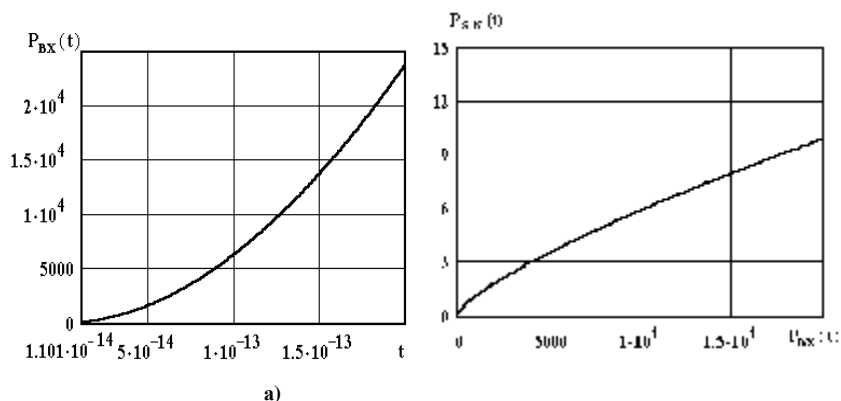


Рис. 2. Часова залежність потужності вхідного сигналу (а) та залежність ослаблення потужності вхідного сигналу тонкою надпровідною плівкою, що перебуває в змішаному стані

Таким чином, відповідно (12), для надпровідного захисного пристрою в момент фазового $S-N$ переходу виконується нерівність

$$P_{S-N}(t) \ll P_{bx}(t).$$

Останнім критерієм ефективності є співвідношення потужностей електромагнітного впливу на вході захисного пристрою в момент N -стану і на виході. Даний критерій ефективності обумовлений визначенням ступеня ослаблення небезпечного сигналу захисним пристроєм, що перебуває у ненадпровідному стані.

Враховуючи, що в N -стані активний опір R_N на три порядки перевищує опір навантаження, потужність ослабленого сигналу на виході захисного пристрою можна записати

$$P_n(t) = U_m^2 \frac{(e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t})^2}{R_N} = P_{bx}(t) \frac{R_H}{R_N}. \quad (13)$$

Тобто ступінь ослаблення вхідного сигналу визначається величиною активного опору надпровідної смужки в N стані, який можна підвищити збільшивши її довжину.

Таким чином, виконання третьої умови у виразі (1) $P_n(t) \ll P_{bx}(t), t_{c2} \leq t < t_i$ залежить від виконання нерівності $R_N \gg R_H$

Таким чином, для тонкої надпровідної плівки швидкість руху N -областей перевищує фазову швидкість поширення електромагнітної хвилі уздовж надпровідної смужки в момент фазового $S-N$ переходу, а це свідчить про відсутність інерційності захисного пристрою. Стосовно захисту по потужності, то вона на виході захисного пристрою навіть в момент фазового $S-N$ переходу набагато менше, чим на вході, що свідчить про ефективність його роботи.

Література

1. Капура И.А. Разработка метода защиты радиозлектронной аппаратуры от воздействия мощных ЭМИ на основе высокотемпературных сверхпроводников / И.А. Капура, Г.Ф. Коняхин, А.М. Сотников // Збірник наукових праць. ХУПС, 2010. – Вип. 4 (26). – С. 71–73.
2. Пат. UA №54770 “Пристрій для захисту приймача, МПК (2009) Н05К 9/00, 25.11.2010, Бюл. №22, 2010р., Коняхин Г.Ф., Верещагин В.Л., Капура І.А., Сотніков О.М.
3. Ропий А.И. Сверхвысокочастотные защитные устройства / Ропий А.И., Старик А.М., Шутов К.К.. М. : «Радио и связь», 1993. – 128 с.

Рецензент: д.т.н. Шинкарук О.М.
Надійшла 14.2.2012 р.