

УДК 621.396.06

Н.С. Антоненко

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ВИМОГ ДО ЗАХИСНИХ ПРИСТРОЇВ БОРТОВИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ВІД ПОТУЖНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

У роботі проведено аналіз стану сучасних захисних пристроїв бортових радіотехнічних телекомунікаційних систем від потужних електромагнітних випромінювань. Розглянуто ефективність впливів потужних електромагнітних випромінювань на елементну базу радіотехнічних телекомунікаційних систем та на умови її функціонування. Обґрунтовано вимоги до захисних пристроїв і запропоновано підхід до рішення задачі підвищення ступеня захищеності приймальних трактів бортових радіотехнічних телекомунікаційних систем від потужних електромагнітних випромінювань.

**Ключові слова:** радіотехнічні і телекомунікаційні системи, засоби захисту, потужне електромагнітне випромінювання, джерела іонізації радіоізотопного типу.

### Вступ

**Загальна постановка проблеми.** У технологічно розвинених країнах серйозна увага приділяється питанням генерування потужних електромагнітних випромінювань (ЕМВ) (1 ГВт та більше). Використання генераторів потужних ЕМВ дозволяє забезпечити передачу інформації на великі відстані та може бути застосоване в різних галузях народного господарства, зокрема в космічній галузі, для навігації тощо.

Проте при потрапленні в зону впливу таких генерувальних систем інших радіоелектронних засобів (РЕЗ), що використовуються, наприклад, для прийому інформації супутниковими системами, може статися не лише порушення процесу прийому інформації, але і порушення функціональної цілісності приймальних трактів радіотехнічних і телекомунікаційних систем (РТіТС), що застосовуються в першу чергу на літальних апаратах (ЛА) різного призначення.

Для підвищення ступеня захищеності приймальних трактів РТіТС використовуються різні методи і пристрої. Проте, як показав аналіз, на сьогодні відсутні ефективні захисні пристрої приймальних трактів, що здатні протистояти потужним ЕМВ, зокрема, в НВЧ діапазоні.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Для підвищення ступеня захищеності прийомних трактів радіотехнічних і телекомунікаційних систем використовуються різні методи і пристрої, проте, як показав аналіз [1 – 7], в даний час відсутні ефективні захисні пристрої прийомних трактів, здатні протистояти потужним електромагнітним випромінюванням, зокрема, в надвисокочастотному (НВЧ) діапазоні.

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є обґрунтування основних вимог щодо забезпечення захисту бортових радіотехнічних телекомунікаційних систем від потужних електромагнітних випромінювань.

### Результати досліджень

Потужне ЕМВ має деструктивний вплив на елементну базу РТіТС та на умови її функціонування [7, 8]. Враховуючи, що величина щільності потоку енергії випромінювання в дальній зоні джерела випромінювання є пропорційною квадрату похідної струму в антені:

$$|\Pi| = E^2 / 2Z_0 \propto (dI/dt)^2,$$

де  $Z_0$  – імпеданс вільного простору, то ефективність впливу джерела, з енергетичної точки зору, є обернено пропорційною тривалості імпульсу і його фронту.

До найбільш небезпечних видів електромагнітних випромінювань слід віднести випромінювання ультракороткої тривалості (УКТ), створювані наступними типами джерел штучного походження:

потужні високовольтні модулятори,  
надширококутові випромінювачі радіолокаційних засобів високої роздільної здатності,  
газові розряди і перехідні процеси, ініційовані потоками частинок високої енергії або лазерного випромінювання.

Взаємодія випромінювань УКТ з РТіТС проявляється якісно інакше, ніж випромінювання великої тривалості або стаціонарне випромінювання. Це обумовлено малими часами впливу в порівнянні з характерними часами релаксаційних механізмів у матеріалах і напівпровідникових структурах радіо-

технічних і телекомунікаційних систем і їх компонентів.

З іншого боку, цей вид впливового чинника, зважаючи на малу тривалість імпульсу, характеризується більшою шириною спектра, що зумовлює високу проникаючу здатність і інтенсивний характер впливу сигналів УКТ, що поширюються в структурах пристрою.

Це призводить до того, що сигнали УКТ, незважаючи на відносно більш низький енергетичний потенціал, в ряді випадків можуть виявитися більш ефективним деструктивним чинником, ніж традиційні НВЧ електромагнітні сигнали.

Стан радіотехнічних і телекомунікаційних систем під впливом потужного ЕМВ характеризується наступними рівнями, що визначають ступінь працездатності системи.

По зростанню впливу розрізняють чотири рівні [9, 10]:

I – рівень, що характеризує нормальну роботу системи;

II – рівень, при якому виникають тимчасові порушення штатного режиму;

III – рівень стійких збоїв;

IV – рівень ураження.

У результаті взаємодії НВЧ імпульсу з елементами і вузлами електронної апаратури можуть спостерігатися два основних ефекту енергетичного типу, що призводять до тимчасового або катастрофічного відмови в роботі об'єктів. Перший з них пов'язаний з наведенням на конструктивних елементах (висновки напівпровідникових елементів, смужки друкованих плат і т.д.) НВЧ потужності, яка, у свою чергу, призводить до електричних перевантажень («антенний ефект»). Другий механізм пов'язаний з безпосереднім взаємодією імпульсу зі структурою напівпровідникового елемента.

Істотний вплив на працездатність елементів радіоелектронного пристрою можуть надати наведення НВЧ імпульсу на кабельні лінії, антенно-фідерні пристрої та міжблочні з'єднання. Крім того, наведені напруги можуть змінити режими роботи вузлів, що призведе до тимчасового або катастрофічного відмови в цілому.

Відповідно до результатів комплексних експериментів з дослідження змін в електронних приладах РТіТС [9], викликаних впливом потужного НВЧ імпульсу УКТ наведено в табл. 1, отримані порогові значення напруженості поля, що призводять до пошкоджень різних рівнів.

Таблиця 1

Граничні значення напруженості поля, що призводять до пошкоджень різних рівнів

| Рівень змін | Тип деградаційних змін | Тип електронного приладу | Ев, кВ/см       |                         |
|-------------|------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|
|             |                        |                          | Пасивний        | Активний                |
| 1           | Функціональна відмова  | Корпуси ІС, ТТЛ, МОП     | 8               | 0.3<br>0.6<br>0.3 ÷ 0.4 |
| 2           | Стала зміна параметрів | ТТЛ, МОП                 | 0.8 ÷ 15<br>0.5 | 1.8<br>0.1              |
| 3           | Необоротна відмова     | ТТЛ, МОП                 | 4<br>2.5 ÷ 15   | 1.4 ÷ 1.8<br>0.1 ÷ 4    |

На відміну від впливів деградаційного типу, дія досить слабкого сигналу УКТ на чутливі елементи РТіТС може також призводити до нестабільної роботи системи і збільшення часу її релаксації до стану адекватного прийому інформації. Найбільш істотно ці ефекти проявляються у вхідних і підсилюючих каскадах, і до основних факторів їх виникнення слід віднести:

– спотворення спектру і затримка сигналів УКТ у хвилеводному тракту, захисних пристроях з резонаторами, смугових фільтрах, елементах узгодження тракту і т.д.;

– збудження довгоживучих стохастичних коливань при обмеженні потужності імпульсів УКТ в пороговому пристрої захисту;

– неідеальне узгодження елементів прийомопідсилювального тракту, що приводить до появи від-

дзеркалень і збудженню довгоживучих стохастичних коливань;

– збудження довгоживучих стохастичних коливань, обумовлене взаємодією в активних елементах прийомопідсилювального тракту різних спектральних груп сигналів УКТ.

Розробка методу захисту і відповідно до них розробка захисних пристроїв для бортових РТіТС є одним з найважливіших умов, що забезпечують необхідні технічні та експлуатаційні характеристики апаратури, її надійність, а також надійність самих захисних пристроїв в умовах наявності різного роду перенапруг в ланцюгах радіоелектронної апаратури. У відповідності з визначеними вище умовами відмови елементної бази РТіТС, а також надійним функціонуванням апаратури, захисні пристрої повинні задовольняти наступним загальним вимогам.

Технічні характеристики і параметри захисних пристроїв (ЗП) за відсутності перехідних процесів не мають впливати на характеристики функціональних блоків і пристроїв, в яких вони використовуються.

Рівень напруги перехідного процесу в точках підключення захисного пристрою під час дії імпульсу має бути максимально близьким до нормального рівня напруги, що діє до перевантаження.

Надійність захисного пристрою має бути не нижче надійності блоків і пристроїв, які підлягають захисту.

Швидкодія захисних пристроїв має бути максимально можливою, щоб забезпечити якісний захист при великих швидкостях зміни напруги перехідних процесів.

Габарити і вага захисних пристроїв мають бути значно менше габаритів і ваги апаратури, що захищається.

Параметри і характеристики ЗП мають відповідати вимогам по стійкості до впливу механічних, кліматичних факторів, що пред'являють до апарату-

ри, і мати гарантійний наробіток не менше заданого ресурсу на дану апаратуру.

ЗП не мають призводити до трансформації і спотворень корисного сигналу.

Необхідність створення захисних пристроїв, що витримують вплив імпульсної НВЧ потужності, яка доходить до одиниць кВт, і безперервної НВЧ потужності - до кількох сотень Вт.

Захисні пристрої мають споживати мінімальну енергію [8 – 10].

Найбільш повно сформульованим вимогам відповідає метод захисту прийомних трактів бортових радіотехнічних і телекомунікаційних систем від електромагнітних випромінювань, в основу якого покладено ефект утворення у вхідних колах хвилеводного типу плазмового проміжку за допомогою використання радіоактивної речовини і відбитку (або поглинання) падаючої електромагнітної хвилі в плазмовому проміжку.

Структурну схему ЗП бортових радіотехнічних і телекомунікаційних систем на основі цього методу представлено на рис. 1.

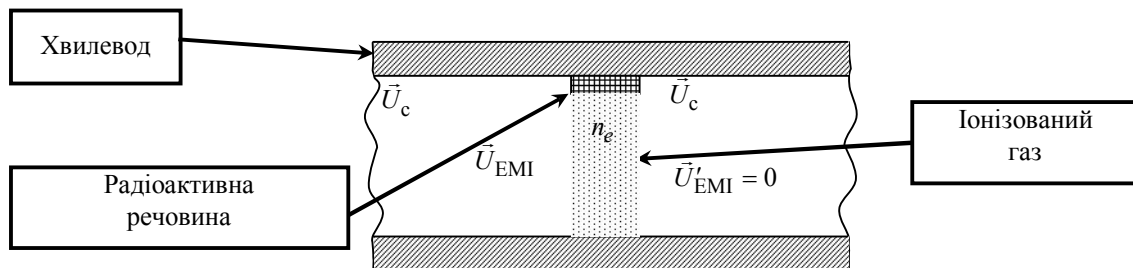


Рис. 1. Структурна схема захисного пристрою

Цей підхід до захисту бортових РТіТС від впливу потужних електромагнітних випромінювань НВЧ діапазону в першому наближенні дозволяє задовольнити всі вимоги, пропонувані до захисних пристроїв радіоелектронної апаратури.

В основу розробки методу захисту може бути покладена кінетична теорія, зокрема метод кінетичного рівняння [11]. Для дослідження середовища поширення потужних електромагнітних НВЧ імпульсів в газовому середовищі (атмосфері) доцільно використовувати кінетичне рівняння Больцмана - Крука, вирішуючи яке можна визначити вплив потужного електромагнітного випромінювання на основні макроскопічні параметри іонізованої середовища.

Такий підхід дасть можливість визначити умови виникнення пробою і простежити динаміку зміни напруженості поля і розвиток розряду в цьому полі, а також динаміку імпульсу температури.

Крім того, у відомій літературі є відсутніми дані по проходженню через плазму імпульсів НВЧ поля, мало вивчений характер поглинання енергії

поля в залежності від величини відношення частоти зіткнень електронів з нейтралами і частоти електромагнітного імпульсу [12].

Для отримання повної картини процесів взаємодії НВЧ імпульсів з атмосферою, поряд з використанням аналітичного математичного аналізу, необхідно використовувати методи чисельного моделювання.

У роботах, присвячених пробою в газових середовищах, є відсутнім критерій пробою при проходженні через нього НВЧ імпульсу [13].

## Висновок

Метод захисту бортових радіотехнічних і телекомунікаційних систем від впливу потужних електромагнітних випромінювань є доцільним розробити на основі створення замикачів (обмежувачів) радіозотопного типу.

## Напрямки подальших досліджень

Для задоволення вимог практики по забезпеченню захисту бортових радіотехнічних телекому-

нікаційних систем від потужних електромагнітних випромінювань необхідно вирішити такі наукові завдання:

- розробити метод захисту бортових РТіТС від впливу потужних електромагнітних випромінювань;
- проаналізувати основні процеси в газових НВЧ розрядах і розробити методику визначення залежності пробивної напруги від макроскопічних властивостей іонізованої середовища;
- дослідити проходження через плазму потужних імпульсів НВЧ поля;
- обґрунтувати вибір критерію пробою в повітрі при проходженні через нього НВЧ імпульсу і оцінити ефективність методу захисту РТіТС на основі створення замикачів радіоізотопного типу;
- розробити принципи побудови захисних пристроїв бортових РТіТС від впливу потужних електромагнітних випромінювань;
- експериментально оцінити проходження електромагнітного імпульсу через іонізоване середовище.

### Список літератури

1. Ситнов Х.В. Направления модернизации российского вооружения / Х.В. Ситнов // Военный парад. – 2000. – №5. – С. 5-6.
2. Силкин А.И. Универсальные беспилотники / А.И. Силкин, А.Б. Бренер, А.В. Дробышевский // Независимое военное обозрение. – 2003. – №4. – С. 4.
3. Рудов В.И. Воздушный компонент американской системы ПРО на ТВД / В.И. Рудов // Зарубежное военное обозрение. – 1998. – №5. – С. 18-61.
4. Крутов А.В. Защитное устройство малого уровня мощности / А.В. Крутов, В.А. Митмен, А.С. Ребров // В кн. 12-я Международная Крымская конференция «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии». Материалы конференции. – Севастополь, 2002. Вебер, 2002. – С. 93.

риалы конференции. – Севастополь, 2002. Вебер, 2002. – С. 93.

5. Электронные приборы СВЧ на быстрой циклотронной волне электронного потока / Ю.А. Будзинский, С.В. Быковский, С.П. Кантюк и др. // Радиотехника. – 1999. – №4. – С. 32.
6. Комплексованные усилители с циклотронной защитой для приемников РЛС / Ю.А. Будзинский, С.В. Быковский, С.А. Вильдманов и др. // XI Международная Крымская конференция «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь, 2001. – С. 190-191.
7. Авторское свидетельство №325202 (СССР), способ защиты радиоэлектронной аппаратуры. Коныхин Г.Ф., Коныхин К.Н., Верецагин В.Л. и др. Заявлено 26.02.09, опубл. 01.04.91.
8. Мецерыков С.М. Метод защиты входных цепей приемных трактов бортовых радиоэлектронных систем от воздействия от мощных СВЧ импульсных электромагнитных излучений / С.М. Мецерыков // ЕЕJET.1/2 (13) 2005. – С. 53-61.
9. Гуревич А.В. Ионизованный слой в газе (в атмосфере) / А.В. Гуревич // Успехи физических наук, 1980. – Т. 132. – Вып. 4. – С. 685-690.
10. Gould L., Roberts L.W. // Appl. Phys., 1956. – V.27. – H.1162.
11. Карфидов Д.М. О влиянии предионизаций на пробой. / Д.М. Карфидов, Н.А. Лукина, К.Ф. Сергейчев // Физика плазмы. – 1981. – №7. – С. 312.
12. McDonald. Сверхвысокочастотные пробои в газе / McDonald. – М.: Мир, 1969. – 231 с.
13. Браун С. Электронные процессы в плазме газового разряда / С. Браун. – М.: Госатомиздат, 1961. – С. 97.

Надійшла до редколегії 10.02.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.І. Барсов, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

### ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ЗАЩИТНЫМ УСТРОЙСТВАМ БОРТОВЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОТ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Н.С. Антоненко

В работе проведен анализ состояния современных защитных устройств бортовых радиотехнических телекоммуникационных систем от мощных электромагнитных излучений. Рассмотрена эффективность влияния мощных электромагнитных излучений на элементную базу радиотехнических телекоммуникационных систем и на условия ее функционирования. Обоснованы требования к защитным устройствам и предложен подход к решению задачи повышения степени защищенности приемных трактов бортовых радиотехнических телекоммуникационных систем от мощных электромагнитных излучений.

**Ключевые слова:** радиотехнические и телекоммуникационные системы, средства защиты, мощное электромагнитное излучение, источники ионизации радиоизотопного типа.

### RATIONALE THE BASIC REQUIREMENTS FOR PROTECTIVE DEVICES ON-BOARD RADIO TELECOMMUNICATION SYSTEMS FROM POWERFUL ELECTROMAGNETIC RADIATION

N.S. Antonenko

The scientific task concerning development of method of receiving sections protection of the on-board radio development of super-high-frequency range to the range from influence of powerful E-field has been decided in this article. Efficiency of influences of powerful electromagnetic radiations is considered on the element base of the radio engineering telecommunication systems and on its operating conditions. Grounded requirements to the protective devices and offered approach to the decision task of increase of degree of protected of receiving highways of the side radio engineering telecommunication systems from powerful electromagnetic radiations.

**Keywords:** radio technical and television systems, facilities of defense, powerful E-field radiation, sources of ionization of radioisotope type.