

УДК 621.396

С.М. Власік

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ РОЗШИРЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОАКСІАЛЬНИХ КАБЕЛІВ В ЗРАЗКАХ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

В статті обґрунтована роль коаксіальних кабелів при зменшенні електромагнітних полів пунктів управління та зразків озброєння та військової техніки. Проведено аналіз та визначені проблеми застосування коаксіальних кабелів. Показано, що для визначення технічних параметрів коаксіальних кабелів при експлуатації доцільно застосовувати аналізатори ланцюгів. Запропоновані можливі варіанти вирішення проблем вимірювання параметрів коаксіальних кабелів.

**Ключові слова:** коаксіальний кабель, технічні характеристики, процес експлуатації, аналізатор ланцюгів.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Зараз військова теорія розробляє та досліджує, а військова практика інтенсивно перевіряє концепції війн чергового шостого покоління, яке в корені відрізняється від попередніх четвертого та п'ятого. У війнах шостого покоління вирішальна роль відводиться високоточній звичайній ударній і оборонній зброї, а не великій кількості сухопутних військ [1, 2]. Уся потужність агресора буде спрямована на безумовне ураження об'єктів економіки противника шляхом завдання потужних авіаційних ударів і масованих ударів непілотованої високоточної зброї різного базування, в умовах глобального або регіонального інформаційного протиборства.

Оскільки у війнах шостого покоління не передбачається громіздких наземних дій і використання живої сили у великих кількостях, то швидше за все вони не носитимуть затяжного характеру. Увесь процес озброєної боротьби протікатиме компактно, швидкоплинно, у вигляді завдання масованих ударів високоточною зброєю по військово-економічних об'єктах, з широким застосуванням засобів радіоелектронної боротьби [2].

Найбільш ефективним методом вогневого ураження противника з застосуванням високоточної зброї є вибірковий метод ураження, який оснований на ураженні лише найбільш важливих об'єктів угруповання військ противника в межах вогневих можливостей засобів вогневого ураження. Головна увага при цьому приділяється ураженню об'єктів системи управління військами та зброєю, а також зразків озброєння та військової техніки (ОВТ), зразків високоточної зброї. Тому одним з головних методів захисту пунктів управління та ОВТ від високоточної зброї є маскуваність їх електромагнітних полів. А це можливо, в першу чергу, за рахунок застосування коаксіальних кабелів.

**Аналіз публікацій.** Основне призначення коаксіального кабелю – передача сигналу в різних

областях техніки: системи зв'язку; мовленнєві мережі; комп'ютерні мережі; антенно-фідерні системи; автоматизовані системи управління; системи дистанційного управління, вимірювання та контролю; системи сигналізації та автоматики; системи об'єктивного контролю та відеоспостереження; канали зв'язку різних радіоелектронних пристроїв мобільних об'єктів (суден, літальних апаратів тощо); внутрішньоблокові та міжблочні зв'язку в складі радіоелектронної апаратури; канали зв'язку; військова техніка [3 – 5]. Однак на сьогодні застосування коаксіальних кабелів в зразках озброєння обмежено частотним діапазоном (до 18 ГГц) та проблемами з визначенням технічних характеристик кабелів в процесі експлуатації [6]. Тому в статті розглядаються достоїнства застосування коаксіальних кабелів в системах військового зв'язку та зразках ОВТ, обґрунтовуються пропозиції щодо визначення технічних характеристик кабелів під час експлуатації з метою розширення області їх застосування.

**Мета статті.** Стаття направлена на обґрунтування пропозицій щодо визначення технічних характеристик коаксіальних кабелів в процесі експлуатації, що дозволить розширити область їх застосування в зразках озброєння та військової техніки та пунктах управління, знизити рівень електромагнітних полів ОВТ. А це підвищить рівень захисту ОВТ і пунктів управління від високоточної зброї противника.

### Основна частина

Електромагнітне поле коаксіального кабелю зосереджене в просторі між провідниками струму, тобто зовнішнього поля немає, і тому втрати коаксіального кабелю на випромінювання в навколишній простір практично відсутні (рис. 1). Оскільки зовнішній провідник одночасно служить електромагнітним екраном, що захищає електричне коло струму від впливів ззовні, коаксіальний кабель має високий перешкодозахист і має відносно малі втрати енергії сигналів, які передаються.

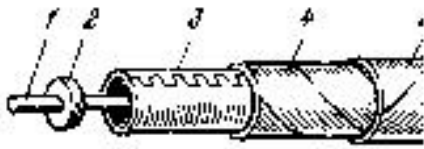


Рис. 1. Коаксіальний кабель:

1 – внутрішній провідник; 2 – ізоляція (сплошний поліетилен); 3 – зовнішній провідник; 4 – оболонка (світлостабілізований поліетилен)

Силкові лінії магнітного поля розташовані в коаксіальній парі в вигляді концентричних окружностей; поза коаксіальної пари магнітне поле відсутнє. Електричне поле в коаксіальній парі також замикається по радіальним напрямкам між провідниками а і б, а за її межами дорівнює нулю (рис. 2).

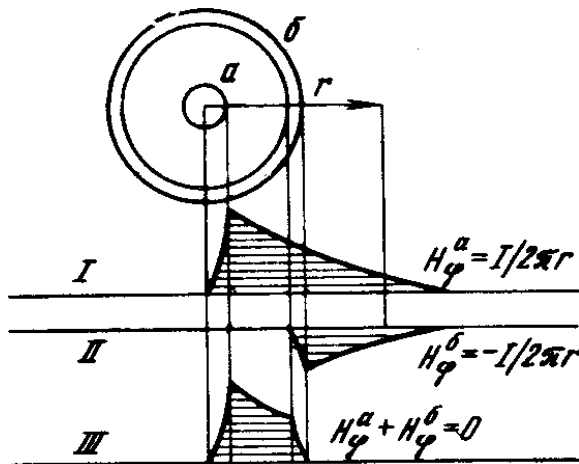


Рис. 2. Магнітне поле коаксіального ланцюга: I – поле провідника а; II – поле провідника б; III – поле кабелю

На рис. 3 представлені електромагнітні поля коаксіального та симетричного ланцюгів. Як видно з рисунка, електромагнітне поле коаксіальної пари повністю замикається в ній, а силкові лінії електричного поля симетричної пари діють на досить значній від неї відстані. Відсутність зовнішнього електромагнітного поля (рис. 3, б) обумовлює основні переваги коаксіальних кабелів: широкий діапазон частот, велике число каналів, захищеність від перешкод і можливість організації однокабельного зв'язку.

В симетричних ланцюгах із-за наявності зовнішнього електромагнітного поля виникають вихрові струми в сусідніх ланцюгах і оточуючих металевих масах (свинцевій або алюмінієвій оболонці, екрані тощо) і частина енергії розсіюється в вигляді втрат на тепло (рис. 3, а), тобто дає демаскуючий фактор для теплових головок самонаведення.

Основними параметрами коаксіального кабелю є: хвильовий опір, коефіцієнт стоячої хвилі

(КСХ), втрати в кабелі, електрична міцність і стійкість до зовнішніх впливів.

КСХ характеризує ступінь узгодження лінії передачі високочастотної енергії (коаксіального кабелю) з навантаженням. Ідеальний випадок, коли опір навантаження дорівнює хвильовому опору кабелю (фактично КСХ завжди більше 1).

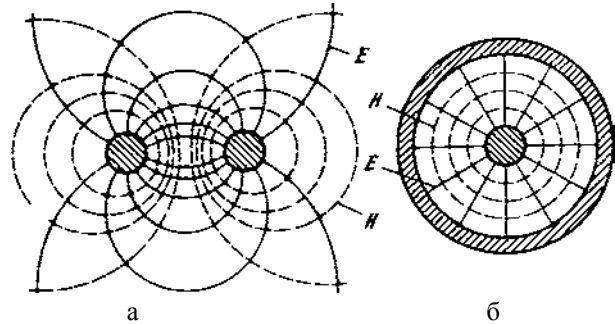


Рис. 3. Електромагнітне поле симетричного (а) і коаксіального (б) ланцюгів

Електрична міцність коаксіального кабелю обмежується допустимим струмом, що проходить через центральний провідник. Наприклад, для радіостанцій з потужністю передавального пристрою 25 Вт допускається використовувати кабелі з діаметром центрального провідника не менше 1 мм.

В процесі експлуатації коаксіальний кабель, насамперед, піддається впливу вологи і з часом може значно погіршити свої характеристики. Тому, в процесі експлуатації необхідно контролювати основні технічні характеристики коаксіальних кабелів з метою підтримання їх технічної справності.

Вимірювання хвильового опору коаксіальних трактів, а також коефіцієнтів віддзеркалення (КВ) або КСХ, як параметрів, що характеризують хвильовий опір тракту, є одними з головних для радіовимірювань вищої точності. Саме хвильові тракти є матеріальною основою, по якій розповсюджується електромагнітне коливання, і використовуються в будь-якій радіоапаратурі надвисокочастотного (НВЧ) діапазону. Стрімкий розвиток технологій в цій галузі за останні роки привів до того, що радіовимірювання в цій області стикається з наступними проблемами [6].

Основна проблема пов'язана з тим, що відбувається поступове збільшення частотного діапазону, використовуваного в сучасній техніці, з одночасним переходом з хвилевідних трактів в коаксіальні. Якщо 20 років тому серійні прилади працювали в коаксіальних трактах на частотах до 18 ГГц і в хвилевідних трактах в діапазоні частот 18 – 40 ГГц, то тепер серійні прилади працюють в коаксіальних трактах до 40...60 ГГц. Крім того, розроблені коаксіальні тракти на діапазон частот до 110 ГГц. Коаксіальні тракти відрізняє від хвилевідних більша зручність в роботі (по-перше, їх робочий діапа-

зон частот починається від постійної напруги, по-друге, вони гнучкіші та простіші при виготовленні комутаційних пристроїв).

Проблемою, пов'язаною із збільшенням частотного діапазону коаксіальних трактів, є те, що виготовлення як серійних, так і еталонних засобів вимірювань в цих трактах можливо лише в декількох країнах світу (США, Німеччина, Японія, Великобританія), що веде до втрати деякої незалежності в національних системах забезпечення єдності вимірювань.

Окрім цього, існує проблема механічної сумісності стандартизованих вітчизняних і імпортованих коаксіальних роз'ємів, зв'язана не стільки з геометрією трактів, скільки з параметрами різьбових з'єднань (метричні і дюймові різьблення). Наприклад, імпортований роз'єм „вилка” типу N не сумісний з вітчизняним роз'ємом „розетка” типу 7/3,04 мм, а у зворотний бік механічна сумісність є.

Аналіз методів вимірювань дозволив визначити, що для вимірювання характеристик коаксіальних кабелів слід застосовувати метод безпосередньої оцінки, для чого необхідно використовувати скалярні чи векторні аналізатори ланцюгів (САЛ і ВАЛ відповідно), або метод порівняння з еталонними мірами повного опору (метод заміщення), де в якості компаратору використовувати САЛ або ВАЛ.

Аналізатори ланцюгів призначені для оцінки повного опору або характеристик розсіювання активних і пасивних схем, таких як підсилювачі, перетворювачі частоти, антенні комутатори, фільтри, комутаційні пристрої, атенюатори та багато інших компонентів. Схеми можуть мати один порт (вхід або вихід) або багато портів.

ВАЛ є найбільш могутніми в своїй групі, оскільки вони вимірюють і показують повний набір амплітудних і фазових характеристик схеми. До цих параметрів відносяться S-параметри, передавальні функції, амплітуда та фаза, КСХ, загасання, що вноситься, або посилення, ослаблення, групова затримка, втрати на віддзеркалення або КВ. Зазвичай за допомогою ВАЛ проводять вимірювання в діапазоні частот від 100 кГц до 110 ГГц. ВАЛ включають джерело сигналу розгортки (іноді вбудований), аналізатор сигналів для розділення прямого та зворотного тестових сигналів, а також високочутливий фазово-когерентний приймач із здвоєним каналом, забезпечений відеодисплеєм для показу векторної діаграми (наприклад, діаграми Сміта) залежності сигналу від частоти в досліджуваному діапазоні. Виміряні в радіочастотному та мікрохвильовому діапазонах параметри зазвичай розглядаються як характеристики розсіювання (S-параметри), що прийняте в більшості систем автоматичного проектування [5, 6].

До достоїнств ВАЛ можна віднести великий динамічний діапазон вимірювань (80-90 дБ), а до недоліків, складність виготовлення НВЧ обладнання та високу вартість.

До достоїнств САЛ можна віднести значно простіший вимірювальний тракт НВЧ, а до недоліків менший динамічний діапазон вимірювань та більші похибки вимірювань в порівнянні з ВАЛ.

Сучасні векторні аналізатори ланцюгів володіють малою похибкою і великим динамічним діапазоном вимірювання коефіцієнта передачі, віддзеркалення, повного опору. Проте, з ряду причин точність вимірювання може відрізнитися від очікуваної, яка наведена в нормативно-технічній документації на прилад. Застосування прецизійних наборів мір у поєднанні з різноманітними методами калібрування не дозволяють підвищити точність вимірювання, якщо кабелі, що сполучають пристрій, що перевіряється (тестується), і аналізатор, мають погане екранування та чутливі до вигинів і переміщень. Використання неякісних з'єднувачів, встановлених на кабель, може вивести з ладу як прецизійні з'єднувачі еталонних навантажень, так самі пристрої, що перевіряються.

Збільшення точності приладів можна досягти шляхом застосування якісних екранованих кабелів з'єднання, усуненням неідеальності вимірювачів (неспрямованість, розузгодження, нелінійність) за допомогою повної математичної корекції при калібруванні по зразковим мірам комплексного КВ.

Розглянемо можливі варіанти вирішення проблем вимірювання параметрів коаксіальних кабелів.

По-перше, необхідно узаконити в області військових радіовимірювань використання методу вимірювання КСХ навантажень, що повіряються, шляхом компарування із зразковими навантаженнями, де в якості компаратора використовується ВАЛ, по зразковим навантаженням проводиться його калібрування, а похибка методу визначається в основному похибкою зразкових мір.

По-друге, необхідно розширити застосування в якості калібрувальних і зразкових міри хвилевого опору, які прив'язані до основних одиниць системи СІ: метру, секунди, амперу.

По-третє, необхідно упровадити методику елементного визначення залишкових похибок векторних вимірювачів ланцюгів після їх калібрування. При цьому пропонується використовувати для розрахунків наступну модель похибок аналізатора ланцюгів після калібрування:

$$U_{VRC} = D + T \cdot \Gamma + 2M \cdot \Gamma + R_{VRC}, \quad (1)$$

де  $U_{VRC}$  – покази аналізатору ланцюгів;

$D$  – ефективна спрямованість;

$\Gamma$  – вимірюваний коефіцієнт віддзеркалення;

T – нелінійність вимірювача;

M – ефективне узгодження входу;

$R_{VRC}$  – випадкові похибки вимірювання, що полягають у визначенні ефективної спрямованості та коефіцієнта віддзеркалення входу вимірювача після калібрування.

Розрахунки параметрів за формулою (1) засновані на наступному ефекті. Якщо ВАЛ відкалібрований правильно, то додавання ідеальної повітряної лінії без втрат між входом вимірювача та калібрувальною мірою не приведе до зміни значення, яке виміряне вимірювачем, модуля коефіцієнта віддзеркалення калібрувальної міри в порівнянні з процедурою калібрування (зміниться тільки фаза). Якщо калібрування проведене не ідеально, то виникне залишкова похибка. Залишкову похибку можна виміряти, завдяки зміні фазових співвідношень між вектором залишкової похибки та вектором параметрів калібрувальної міри із-за вставленої повітряної лінії. При гойданні частоти вимірювача відбуватиметься постійна зміна фази, що приводить до ефекту пульсації вимірюваного значення в діапазоні частот. По амплітуді отриманих пульсацій можна провести оцінку залишкової похибки вимірювача після калібрування.

Таким чином, виконання запропонованого набору рішень дозволить в найкоротші терміни та при мінімальних витратах створити систему забезпечення вимірювань хвилевих опорів в коаксіальних трактах в найбільш затребуваному для ОВТ діапазоні частот до 40 ГГц, а також закласти основи для забезпечення інших видів високочастотних вимірювань в коаксіальних трактах.

## Висновки

В статті показано, що для зменшення електромагнітних полів пунктів управління та зразків

ОВТ доцільно використовувати коаксіальні кабелі. Для визначення технічних характеристик коаксіальних кабелів в процесі експлуатації необхідно застосовувати аналізатори ланцюгів, а для збільшення точності аналізаторів необхідно усунути неідеальності вимірювачів (неспрямованість, розузгодження, нелінійність) за допомогою повної математичної корекції при калібруванні по зразковим мірам комплексного коефіцієнта віддзеркалення, повного опору. Крім того збільшення точності досягається використанням не тільки мір короткого замикання, холостого ходу та відрізків ліній, але також будь-яких інших мір з відомими значеннями модуля та фази коефіцієнта віддзеркалення.

## Список літератури

1. Системы управления летательными аппаратами (баллистическими ракетами и их головными частями) / Г.Н. Разорёнов, Э.А. Бахрамов, Ю.Ф. Титов; под ред. Г.Н. Разорёнова. – М.: Машиностроение, 2003. – 584 с.
2. Средства поражения и боеприпасы / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др.; под общ. ред. В.В. Селиванова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.
3. Поляков В.Т. Посвящение в радиоэлектронику / В.Т. Поляков. – М.: Радио и связь, 1998. – 221 с.
4. Гальперович Д.Я. Радиочастотные кабели / Д.Я. Гальперович, А.А. Павлов, Н.Н. Хренков. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 335 с.
5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. – М.: Высшая школа, 2000. – 462 с.
6. Пивак А.В. Измерение волнового сопротивления коаксиальных трактов / А.В. Пивак // Мир измерений. – 2007. – № 3. – С. 7-11.

Надійшла до редколегії 24.04.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ОБОСНОВАНИЕ ПУТЕЙ РАСШИРЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОАКСИАЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ В ОБРАЗЦАХ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

С.Н. Власик

*В статье обоснована роль коаксиальных кабелей при уменьшении электромагнитных полей пунктов управления и образцов вооружения и военной техники. Проведен анализ и определены проблемы применения коаксиальных кабелей. Показано, что для определения технических параметров коаксиальных кабелей при эксплуатации целесообразно применять анализаторы цепей. Предложены возможные варианты решения проблем измерения параметров коаксиальных кабелей.*

**Ключевые слова:** коаксиальный кабель, технические характеристики, процесс эксплуатации, анализатор цепей.

## GROUND OF WAYS OF EXPANSION OF APPLICATION OF COAXIAL CABLES IN STANDARDS OF ARMAMENT AND MILITARY TECHNIQUE

S.M. Vlasik

*In the article the role of coaxial cables is grounded at diminishing of the electromagnetic fields of points of management and standards of armament and military technique. An analysis is conducted and the problems of application of coaxial cables are certain. It is shown that for determination of technical parameters of coaxial cables during exploitation it is expedient to apply the analyzers of chains. The possible variants of decision of problems of measuring of parameters of coaxial cables are offered.*

**Keywords:** coaxial cable, technical descriptions, process of exploitation, analyzer of chains