

**Створення
мобільних комбінованих
телекомунікаційних систем
з використанням
тропосферних засобів
електронних комунікацій**



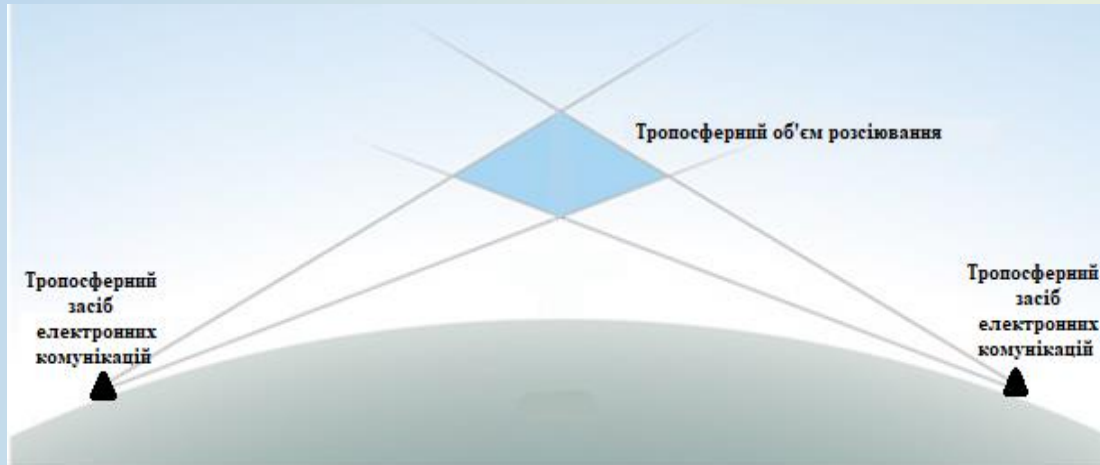
Авторський склад роботи

«Створення мобільних комбінованих телекомунікаційних систем з використанням тропосферних засобів електронних комунікацій»

1. ГЛАДКИХ Валерій Миколайович – к.т.н., завідуючий кафедри безпеки інформаційно-комунікаційних систем Національної академії СБ України
2. ЛУТЧАК Олексій Віталійович – провідний інженер-електронік спеціального конструкторського бюро "Укроборонсервіс"
3. ПОЧЕРНЯЄВ Віталій Миколайович – д.т.н., професор, професор кафедри безпеки інформаційно-комунікаційних систем Національної академії СБ України
4. РУДАКОВ Володимир Іванович – д.т.н., провідний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
5. САЙКО Володимир Григорович – д.т.н., професор, професор кафедри телекомунікаційних систем та мереж Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут
6. СИВКОВА Наталія Максимівна – доктор філософії, доцент кафедри безпеки інформаційно-комунікаційних систем Національної академії СБ України
7. ТИМЧЕНКО Павло Борисович – головний інженер підприємства ТОВ "ВАТ Олімп"
8. ЧЕРНЯК Андрій Миколайович – д.ю.н., ректор Національної академії СБ України

Мета роботи

Метою роботи є збільшення стійкості, надійності, пропускну здатності, завадозахищеності та багатодіапазонності мобільних засобів зв'язку спеціального призначення на основі створення мобільних комбінованих телекомунікаційних систем з використанням тропосферних засобів електронних комунікацій



Принцип тропосферного зв'язку,
як фрагмент дії мобільних комбінованих телекомунікаційних систем

Актуальність роботи



В роботі запропоновано новий тип мобільних комбінованих телекомунікаційних систем, що відрізняються технологічною новизною, зокрема побудовою антенно-фідерних трактів на частково заповнених діелектриком прямокутним хвилеводах, в порівнянні з відомими мобільними радіосистемами. Отримали подальший розвиток тропосферні засоби електронних комунікацій на основі створення малогабаритних високошвидкісних заводо захищених та вузлових «точка-багатоточка» цифрових тропосферних засобів.

Не кожна країна у світі володіє «секретами» технологій цифрових тропосферних засобів електронних комунікацій. Це «п'ятірка» держав, серед яких і Україна. Аналіз закордонних джерел свідчить про участь у розробці та модернізації цифрових систем тропосферного зв'язку провідних військово-промислових корпорацій США у сфері радіоелектроніки, таких як, Raytheon, General Dynamics, Comtech Systems. Терміни розробки у зазначених виробників з презентацією дослідних зразків Замовнику зменшено до двох-трьох років. Основними напрямками розробки є підвищення швидкості передавання інформації та зменшення масо-габаритних параметрів станцій. Тому, створення мобільних комбінованих телекомунікаційних систем з використанням тропосферних засобів електронних комунікацій, на наш погляд, являється актуальною та своєчасною задачею.



Наукова та технологічна новизна, практична значимість

Наукова новизна: 1) вперше в світовій практиці створена аналітична теорія частково заповнених хвилеводів, в яких діелектрик не торкається стінок, та запропонована теорія побудови пристроїв на частково заповнених діелектриком хвилеводах з нелінійними елементами із застосуванням апарату спеціальних функцій математичної фізики: функції Матьє, гіпергеометричні функції Гаусса, вироджені гіпергеометричні функції,

G-функції Мейера, функції Бесселя, функції Ейрі, функції Лежандра, еліптичні функції, ортогональні багаточлени; 2) вперше в Україні запропоновано спосіб побудови фільтруючих пристроїв із підвищеною частотною вибірковістю на основі використання метаматеріалів; 3) розвинуто методи боротьби з міжсимвольною інтерференцією в багатопробієвих каналах із завмираннями через їх опис повними еліптичними інтегралами та тета-функціями; 4) удосконалено спосіб автоматичного регулювання потужності передавача НВЧ та розвинуто спосіб завадостійкого прийому багатопозиційних сигналів на основі методу регуляризації по Тихонову; 5) запропоновано підвищення розвідзахищеності створених в роботі систем на основі методу виявлення атак на мультимедійний трафік та його захисту від несанкціонованої зміни змісту.

Технологічна новизна 1) запропоновано новий тип мобільних комбінованих телекомунікаційних систем; 2) отримали подальший розвиток тропосферні засоби електронних комунікацій на основі створення мобільних високошвидкісних завадозахищених та вузлових «точка-багаточка» цифрових тропосферних засобів, тому в умовах бойових дій при потужному радіоелектронному подавленні тропосферний зв'язок може виявитися єдиним засобом управління військами та зброєю; 3) запропоновано частково заповнені діелектриком прямокутні хвилеводи в якості хвилеводних трактів для передачі великих потужностей НВЧ; 4) впроваджено в тропосферні засоби спосіб просторово-рознесеної передачі; 5) залучено високошвидкісний модем тропосферного зв'язку; 6) використано метаструктури в НВЧ пристроях спеціального призначення.

Практична значимість роботи полягає у впровадженні тропосферних засобів електронних комунікацій типу Р-412МУ в мобільних комбінованих системах (тропосферно-радіорелейних, тропосферно-космічних, тропосферно-іоносферних). Вперше в Україні створено Технічні умови, Робочу конструкторську документацію, Експлуатаційну документацію таких засобів техніки зв'язку.

Чому тропосферний зв'язок є складовою мобільних комбінованих телекомунікаційних систем?

Автоматизована система управління військами, як відомо, повинна відповідати вимогам стійкості, надійності та живучості. Платформою такої системи повинна бути транспортна мережа зв'язку. За сукупністю тактико-технічних характеристик (мобільність, пропускна спроможність, дальність зв'язку, завадозахищеність, можливість встановлення зв'язку через «голову супротивника») тропосферний зв'язок має незаперечні переваги перед іншими типами зв'язку, а за відсутності національної системи супутникового зв'язку та військової системи космічного зв'язку розумної альтернативи тропосферному зв'язку в Україні не існує.



Тому, Україна може «перевідкрити» еру тропосферного зв'язку, базуючись на ще збереженому науково-технічному і виробничому потенціалі.



Концепція створення мобільних комбінованих телекомунікаційних систем



Концепція полягає в реалізації декількох можливих варіантів:

- ✓ єдина система управління, контролю та діагностики з імітаторами сигналів;
- ✓ єдина система частотоформування;
- ✓ єдиний передавальний тракт НВЧ;
- ✓ єдина система електропостачання;
- ✓ комбінації з запропонованих вище варіантів.



Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція



Мобільна цифрова тропосферна станція



Мобільна цифрова радіорелейна станція



Ознакою такого типу станції являється як мінімум єдина система управління, контролю та діагностики для двох компонент – тропосферної та радіорелейної.

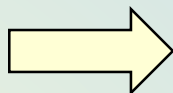
Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція



- ✓ Діапазони частот: 4,4 ... 4,8 ГГц, 5,85...6,425 ГГц, 6,425...7,11 ГГц, 7,25...7,75 ГГц, 7,9...8,4 ГГц
- ✓ Пропускна здатність тропосферної лінії: до 100 Мбіт/с в залежності від кліматичних та сезонних умов
- ✓ Пропускна здатність радіорелейної лінії: не менше 622 Мбіт/с
- ✓ Вірогідність помилкового прийому та надійність зв'язку для тропосферної лінії: $BER = 10^{-6}$ при $T\% = 98\%$
- ✓ Вірогідність помилкового прийому та надійність зв'язку для радіорелейної лінії: $BER = 10^{-10}$ при $T\% = 99\%$

Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція

Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція
створена на базі радіорелейної станції Р-409



Варіант конструктива на базі РРС Р-409



Діапазон роботи цифрової тропосферної
компоненти: 4,4 ... 4,8 ГГц
Діапазон роботи цифрової радіорелейної
компоненти: 240 ... 480 МГц
Пропускна здатність тропосферної лінії:
до 100 Мбіт/с
Пропускна здатність радіорелейної лінії:
не менше 155 Мбіт/с



Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція

Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція створена на базі радіорелейної станції Р-414

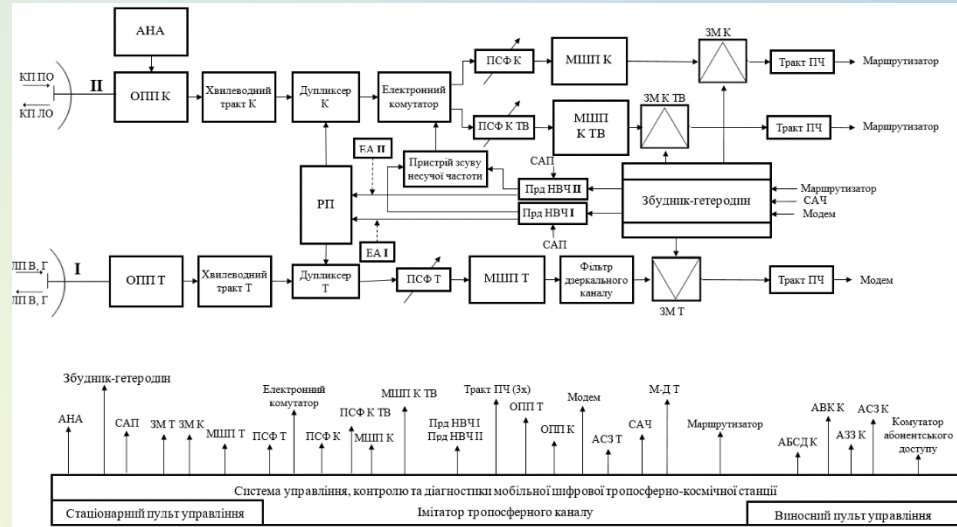
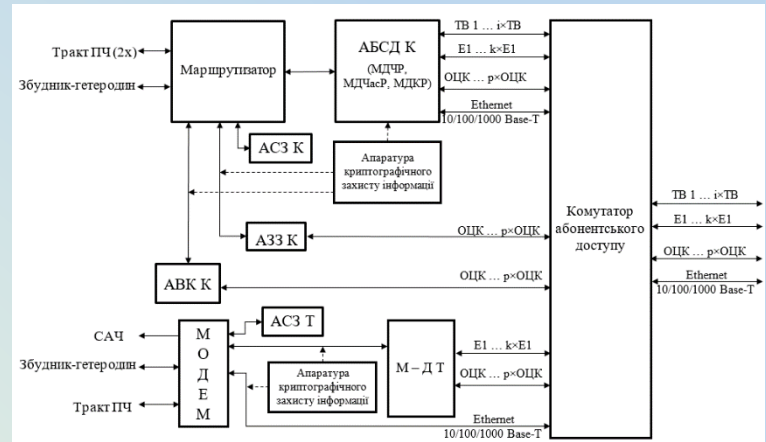


Варіант конструктива на базі апаратної машини РРС Р-414

- ✓ Діапазони частот: 4,4 ... 4,8 ГГц, 5,85...6,425 ГГц, 6,425...7,11 ГГц, 7,25...7,75 ГГц, 7,9...8,4 ГГц
- ✓ Пропускна здатність тропосферної лінії: до 100 Мбіт/с
- ✓ Пропускна здатність радіорелейної лінії: не менше 622 Мбіт/с
- ✓ Вірогідність помилкового прийому та надійність зв'язку для тропосферної лінії: BER= 10^{-6} при T%=98%
- ✓ Вірогідність помилкового прийому та надійність зв'язку для радіорелейної лінії: BER= 10^{-10} при T%=99%



Мобільна цифрова тропосферно-космічна станція

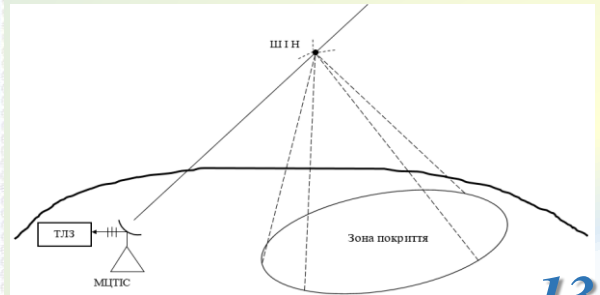
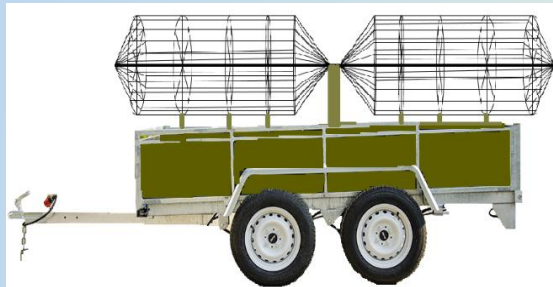
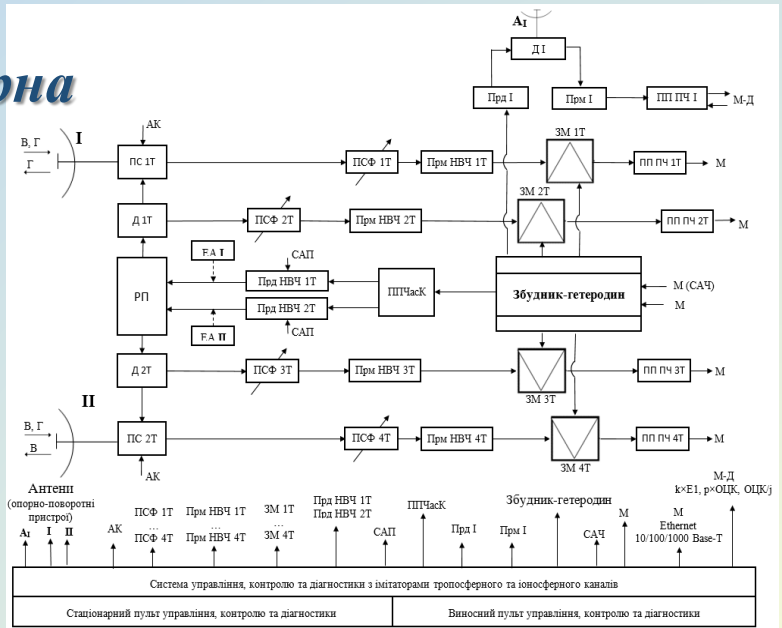


Мобільна цифрова тропосферно-іоносферна станція

Відмітимо, що іоносферний зв'язок здійснюється за рахунок потужного електромагнітного випромінювання через штучні іонізовані неоднорідності.

При симплексному режимі роботи можлива передача сигналів телевізійного мовлення на території площею $\sim 6 * 10^5$ км², тобто територіях, що дорівнюють площі території України. Це актуально для територій, що тимчасово окуповані.

Комбінована тропосферно-іоносферна станція функціонує одночасно в принципово різних частотних діапазонах: тропосферна компонента на сантиметрових хвилях; іоносферна компонента на декаметрових хвилях.



Мобільний високошвидкісний тропосферний засіб електронних комунікацій



Авто типу “jeep” транспортує напівприцеп з антенною системою, прийомо-передавачем, модемом, мультиплексором, виносним пультом управління, такелажем, акумулятором, мінімальним запасом пального для станції електроживлення, кабелем зв’язку.

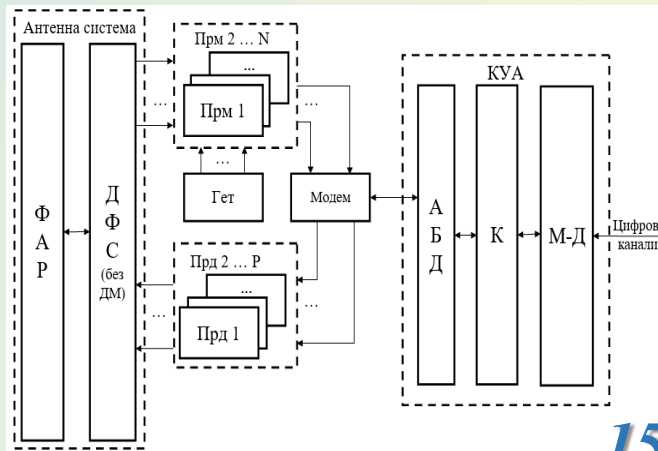
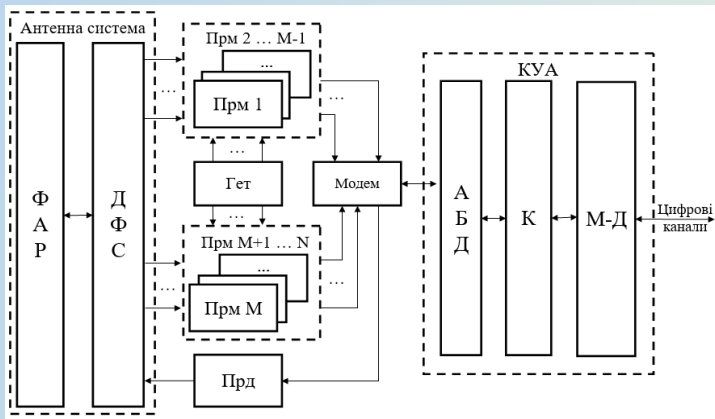
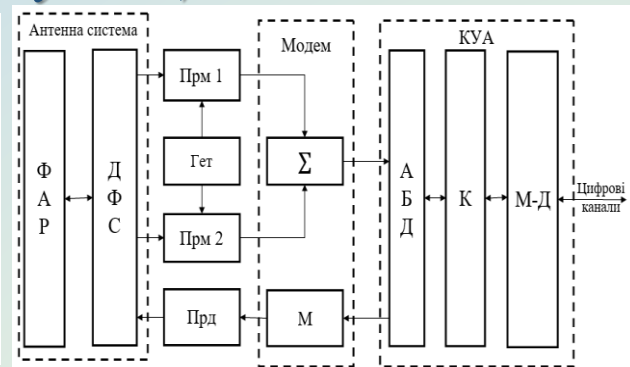
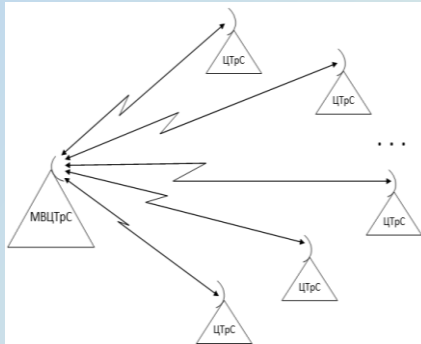
В салоні авто знаходяться станція електроживлення (2*4кВт), ЗПІ, елементи життєдіяльності екіпажу, засоби протихімічного захисту, фільтровентиляційне устаткування, резервний пульт управління, що з’єднується з обладнанням по кабелю (виносний пульт управління з’єднується з обладнанням по радіоканалу).



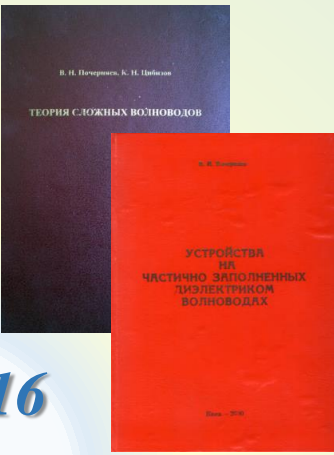
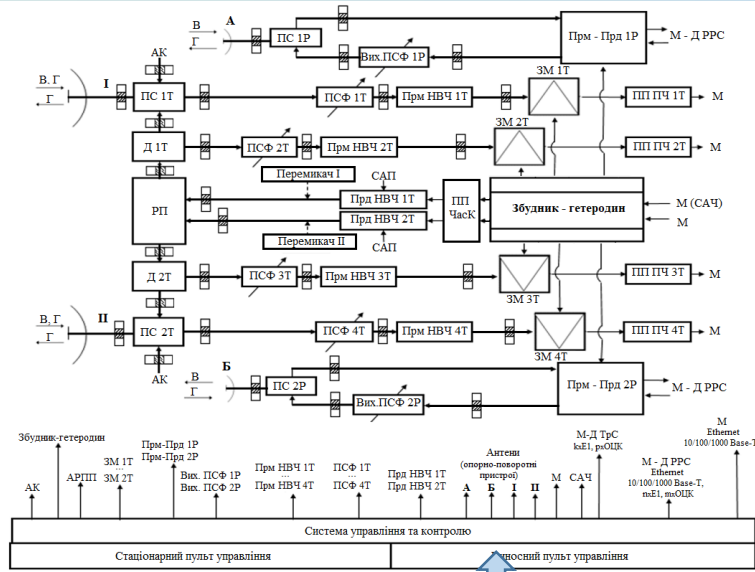
Даний варіант мобільного високошвидкісного тропосферного засобу електронних комунікацій забезпечує життєдіяльність екіпажу в різних кліматичних умовах (від сурової зими до спекотного літа) за рахунок оснащення салону авто типу «jeep»; автономність виконання бойових завдань; можливість використання просторово-рознесеного прийому; зручність транспортування групового ЗПІ, засобів індивідуального захисту, такелажу, станцій електроживлення; можливість використання антен великого діаметру (якщо на тринозі, то конструкція антени великого діаметру повинна бути розбірною).



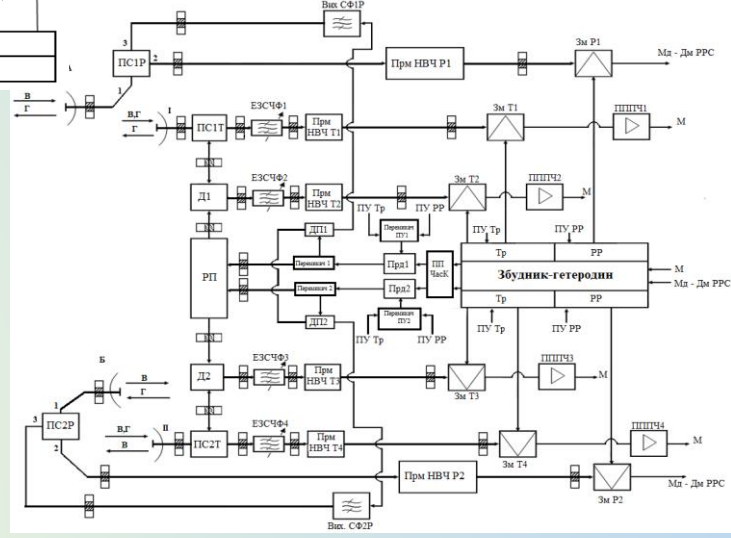
Мобільний вузловий «точка-багатоточка» тропосферний засіб електронних комунікацій



Реалізація антенно-фідерного тракту мобільної комбінованої тропосферно-радіорелейної станції на частково заповнених діелектриком хвилеводах

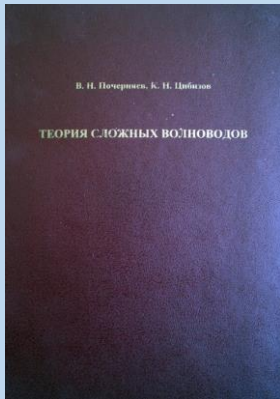


Варіанти побудови антенно-фідерного тракту на частково заповнених діелектриком хвилеводах і пристроях на їх основі



Аналітична теорія частково заповнених діелектриком хвильоводів

Аналітична теорія заснована на використанні апарату спеціальних функцій математичної фізики: функції Мат'є, гіпергеометричні функції Гаусса, вироджені гіпергеометричні функції, функції Мейєра, функції Бесселя, функції Лежандра, еліптичні функції, ортогональні багаточлени.



Власна скалярна функція квазі- H_{10} хвилі ЧЗДПХ:

$$\bar{\psi}_{h_{10}} = \left(\sqrt{128/a b (64 + q^2 + p^2 + q^2 p^2)} \right) C e_1(q, \xi) C e_0(p, \eta),$$

де $C e_1, C e_0$ - парні функції Мат'є першого та нульового порядку;
 q, p - параметри заповнення ЧЗДПХ; a, b - широка та вузька стінка прямокутного хвильоводу відповідно; ξ, η - узагальнені поперечні координати

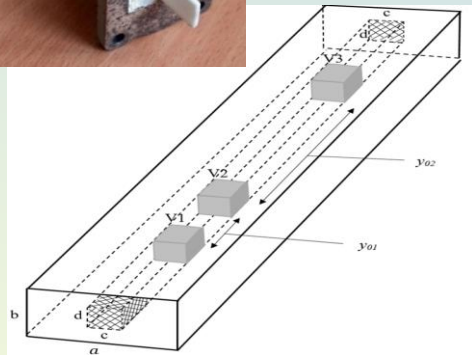
Власна векторна функція основної квазі- H_{10} хвилі ЧЗДПХ:

$$\bar{E}_{h_{10}} = \sqrt{128/ab(64 + q^2 + p^2 + q^2 p^2)} \frac{1}{\kappa_{h_{10}}} * \left\{ \left[\left(\frac{\pi}{a} \right) \sin \frac{\pi x}{a} - \left(\frac{p\pi}{2a} \right) \sin \frac{\pi x}{a} \cos \frac{2\pi y}{b} - \left(\frac{3q\pi}{ba} \right) \sin \frac{3\pi x}{a} + \left(\frac{3qrp\pi}{16a} \right) \sin \frac{3\pi x}{a} \cos \frac{2\pi y}{b} \right] \bar{y}^0 + \left[\left(\frac{p\pi}{b} \right) \cos \frac{\pi x}{a} \sin \frac{2\pi y}{b} - \left(\frac{2qrp\pi}{8b} \right) \cos \frac{3\pi x}{a} \sin \frac{2\pi y}{b} \right] \bar{x}^0 \right\},$$

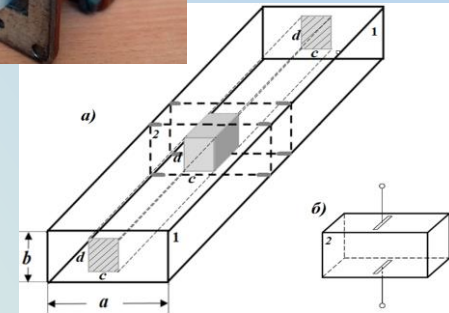
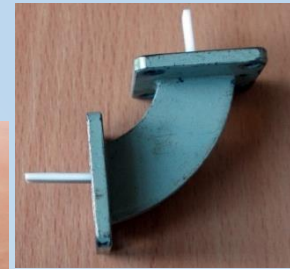
де $\kappa_{h_{10}}$ - поперечне хвильове число основної квазі- H_{10} хвилі ЧЗДПХ,
 q, p - параметри діелектричного заповнення.

Типи ліній передачі	Порожнисті металеві хвильоводи	Порожнисті металеві хвильоводи складної форми	Хвильоводно-щелеві лінії та хвильоводи складної форми з діелектриком	Хвильоводи з діелектриком	Екрановані планарні лінії передачі
Показники					
Ширококутність	-	+	+	+	+
Електрична міцність	+	-	-	+	-
Екранованість	+	+	+	+	+
Масогабаритні показники	-	+	+	+	+
Затухання	+	-	+-	+-	-

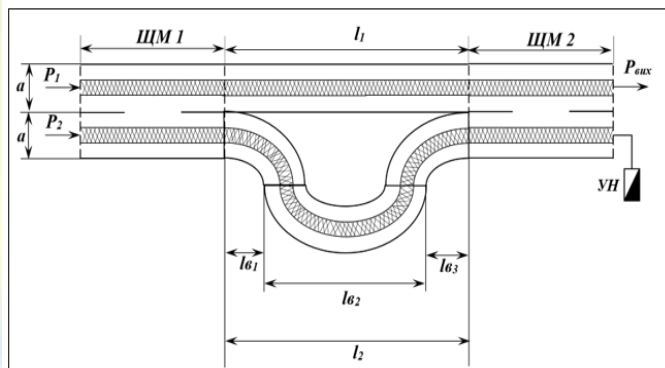
Пристрої на частково заповнених діелектриком хвилеводах



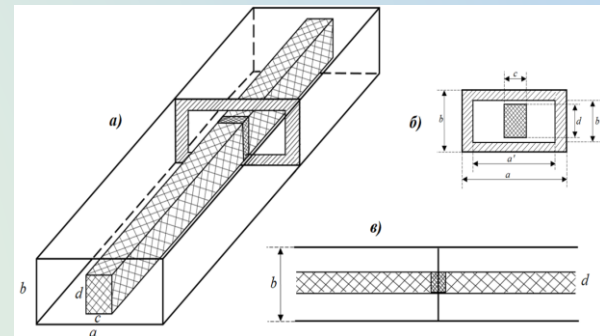
Обмежувач потужності НВЧ



Пристрій управління потужністю НВЧ

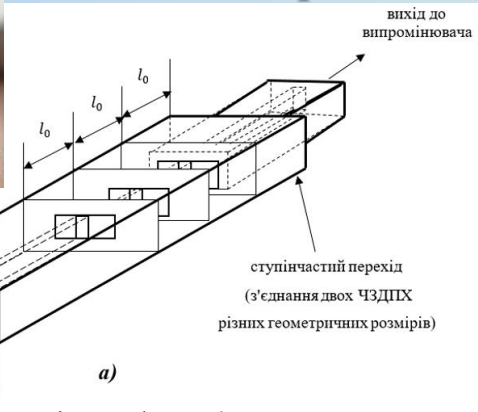


Фазо-частотний пристрій НВЧ

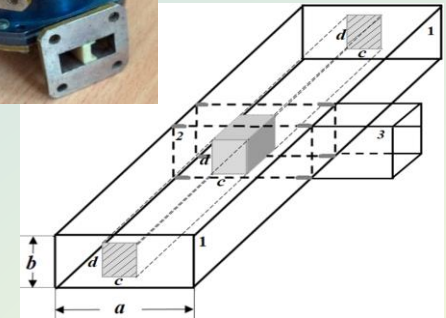


Пристрій регулювання потужністю НВЧ

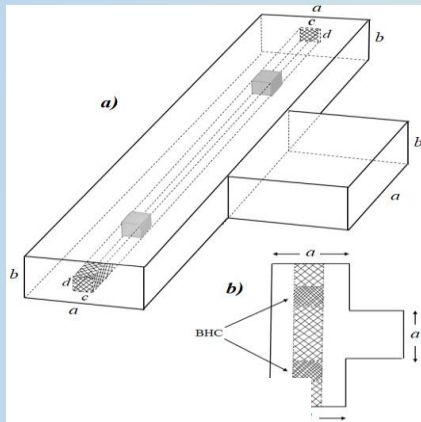
Пристрої на частково заповнених діелектриком хвилеводах



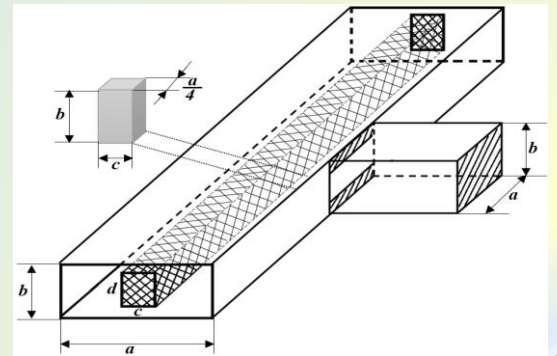
Комутаційний фазообертач НВЧ



Широкопasmовий перемикач НВЧ



Перемикач НВЧ на трійниках



Фільтр НВЧ на трійниках

Техніко – економічна ефективність

Тропосферні засоби електронних комунікацій, що входять до складу мобільних комбінованих телекомунікаційних систем мають наступні показники ефективності:

1. Тропосферний засіб електронних комунікацій типу Р-417 МУ:

- ефективність функціонування тропосферного засобу з адаптивним двоелементним радіоінтерферометром з штатними антенно-фідерними системами підвищена на 24%;
- вартість техніко-економічних рішень, щодо впровадження адаптивного двоелементного радіоінтерферометру при створенні мобільних комбінованих телекомунікаційних систем у порівнянні з стандартною тропосферною антенно-фідерною системою покращено на 2,3дБВт/грн;

2. Тропосферний засіб електронних комунікацій типу Р-423-1 МУ:

- ефективність функціонування тропосферного засобу з адаптивним двоелементним радіоінтерферометром з штатними антенно-фідерними системами підвищена на 8,7%;
- вартість техніко-економічних рішень щодо впровадження цифрової системи спеціальних обчислювачів при створенні мобільних комбінованих телекомунікаційних систем у порівнянні з стандартною тропосферною антенно-фідерною системою покращено на 10,8дБВт/грн;

3. Тропосферний засіб електронних комунікацій типу Р-412 МУ:

- ефективність функціонування тропосферного засобу підвищена на 9,57%;
- вартість техніко-економічних рішень щодо впровадження цифрового тропосферного модему у порівнянні зі стандартним тропосферним модемом покращено на 15дБВт/грн.

Створення мобільних комбінованих телекомунікаційних систем з тропосферними засобами електронних комунікацій має вигравш в кошторисній вартості в порівнянні з Р-417 МУ - 2,3дБВт/грн; Р-423-1 МУ - 10,8дБВт/грн; Р-412 МУ - 15дБВт/грн.

Вартість серійного зразка тропосферного засобу електронних комунікацій складає 35,4 млн.грн, аналогічного зразка виробництва США – 54,8 млн.грн.

