# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0821U102277

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 07-09-2021

**Статус:** Захищена

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:**

## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Робулець Павло Федорович

2. Robulets Pavlo Fedorovych

**Кваліфікація:**

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Вид дисертації:** доктор філософії

**Аспірантура/Докторантура:** так

**Шифр наукової спеціальності:** 172

**Назва наукової спеціальності:** Електроніка та телекомунікації. Телекомунікації та радіотехніка

**Галузь / галузі знань:**

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Не застосовується

**Дата захисту:** 30-08-2021

**Спеціальність за освітою:** радіотехніка

**Місце роботи здобувача:** Приватне акціонерне товариство "Київстар"

**Код за ЄДРПОУ:** 21673832

**Місцезнаходження:** вул. Дегтярівська, 53, м. Київ, 03113, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Держадміністрація

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## III. Відомості про організацію, де відбувся захист

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 76.051.012

**Повне найменування юридичної особи:** Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

**Код за ЄДРПОУ:** 02071240

**Місцезнаходження:** вул. Коцюбинського, буд. 2, м. Чернівці, Чернівецька обл., 58012, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

**Повне найменування юридичної особи:** Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

**Код за ЄДРПОУ:** 02071240

**Місцезнаходження:** вул. Коцюбинського, буд. 2, м. Чернівці, Чернівецька обл., 58012, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## V. Відомості про дисертацію

**Мова дисертації:**

**Коди тематичних рубрик:** 49.03.07

**Тема дисертації:**

1. Використання однонегативних метаматеріалів для передавання, модуляції та фільтрації сигналів

2. Usage of single-negative metamaterials for transfer, modulation and filtering of signals

**Реферат/анотація:**

1. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – «Телекомунікації та радіотехніка» – кафедра радіотехніки та інформаційної безпеки Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, Чернівці, 2021. Метаматеріали є об'єктом досліджень широкого кола науковців, оскільки вони відкривають ряд можливих застосувань завдяки своїм неприроднім властивостям у широкому діапазоні частот від радіохвильового до оптичного та вище. Ряд існуючих радіотехнічних пристроїв можуть бути вдосконалені чи повністю замінені шляхом впровадження метаструктур та метаатомів за рахунок того, що їх розміри набагато менші, ніж довжина хвилі, на якій функціонує пристрій. Тому, метою дисертаційної роботи є розширення функціональних можливостей вузлів засобів зв'язку на основі кільцевих резонаторів для фільтрування, модуляції/демодуляції гармонічних та детерміновано хаотичних сигналів для їх передавання через структури із паралельних провідників у широкому суб-ГГц та ГГц діапазонах частот. Для

досягнення мети було поставлено ряд задач, що включають розроблення та дослідження способів та методів модуляції та демодуляції аналогових і цифрових сигналів, а також дослідження передавання гармонічних сигналів через структури із паралельних провідників, рішення яких включають використання μ- та ▫- негативних метаструктур, що представляють собою штучностворені матеріали, властивості яких не зустрічаються в природніх матеріалів та характеризуються від'ємними значеннями діелектричної та магнітної проникностей. У процесі досліджень показано методику як правильно визначати робочий діапазон частот кільцевих резонаторів навантажених варакторним діодом через S-параметри та як вибирати значення частоти носійного коливання. Носійне коливання подається до РКР через додаткову магнітну рамкову антену, що взаємодіють через сильне близьке магнітне поле. Коливання, що виникають в контурі РКР під впливом зовнішньої змінної напруги (тобто неперервно змінного інформаційного сигналу) на варакторному діоді, є амплітудно-модульованими на заданій частоті носійного сигналу. Таким чином, шляхом подачі на магнітну рамкову антену ВЧ сигналів у широкому діапазоні частот можна визначити діапазон частот, де магнітна взаємодія є найбільшою. У процесі досліджень такий діапазоні становив Δf = fmin…fmax = 0,95…1,11 ГГц для зміні значення напруги, що прикладається до варакторного діоду ΔU = Umin…Umax = ▫4,0…3,0 В. Реалізацію пристрою маніпуляції цифрових сигналів здійснено на основі модифікації лінії передавання ВЧ сигналів кільцевим резонатором. Кільцевий резонатор розміщений у зоні сильної близько-польової взаємодії із лінією передавання та у випадку передавання через неї сигналу, значення частоти якого співпадає зі значенням частоти резонансу РКР, вхідний ВЧ сигнал фільтрується та не може бути детектований на виході пристрою. На частотах відмінних від частоти резонансу РКР сигнали можуть передаватись через лінії передавання, оскільки значення амплітудно-частотної характеристики близькі до 0 дБ. Амплітудно-частотна характеристика сигналу є подібною до відповідної характеристики режекторного фільтру. У роботі запропоновано та досліджено пристрій із загальними розмірами 30 на 22 мм. У процесі компютерного моделювання показано можливість перемикання між різними значеннями ємностей. За допомогою розподілів значень градієнту магнітного поля продемонстровано взаємодію між лінією передавання та РКР на частоті резонансу – 635 МГц та на частоті відмінній від резонансу – 800 МГц. Видно, що на частоті резонансу збуджуються коливання РКР та здійснюється фільтрування сигналу, що передається від передавального порту через лінію звязку (на приймальному порті відсутній сигнал, тобто здійснюється передавання біту «0»), та навпаки. На основі експериментальних досліджень було показано два принципи реалізації on/off-перемикання: шляхом перемикання двох ємностей за допомогою біполярного транзистора та оптичним шляхом за допомогою перемикання значення ємності варакторного діоду. У роботі запропоновано використовувати таку структуру для передавання декількох сигналів одночасно по паралельних помірках СПП, при чому сигнали, що передаються, можуть займати широку смугу частот. Дослідження показали можливість реалізації такого пристрою у діапазонах суб-ГГц (від 0,45 до 0,8 ГГц) та ГГц (від 1 до 2 ГГц) частот. У дисертаційній роботі приведено та досліджено принципи модуляції аналогових та цифрових сигналів, а також запропоновано та досліджено структуру, що уможливлює передавання декількох таких сигналів одночасно по паралельних комірках СПП у широкому діапазоні частот. Ключові слова Метаматеріали, розрізний кільцевий резонатор (РКР), структура із паралельних провідників (СПП), амплітудна модуляція, цифрова маніпуляція, фільтрація, аналогові та цифрові сигнали, широкий діапазон частот.

2. The thesis submitted in fulfillment of the Ph.D. degree in technical sciences on specialty 172 – "Telecommunication and Radio Engineering" – Department of Radio Engineering and Information Security at Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine, 2021. Metamaterials are an object of research for many scientists because they make possible a lot of applications due to their unnatural properties at a width frequency range from microwave up to optics and higher. A number of the existing radio devices can be improved or completely changed by metamaterials or metaatoms. It is possible due to their sizes are more less than their operational wavelength. Therefore, the aim of the thesis is expansion of functional possibilities of components of communication means based on split-ring resonators for filtering, modulation/demodulation of harmonic and deterministic chaotic signals in order to their transfer through wire media at wide sub-GHz and GHz frequency

ranges. A number of tasks were defined to achieve the aim. Those include a development and investigation of approaches and methods of modulation and demodulation of analog and digital signals as well as the transfer of harmonic oscillations through a wire media. The solutions of such tasks were found by using μ- and □-negative metamaterials which are artificial materials with unusual properties (negative values of permittivity and permeability). The approach and methodology of the picking up of the operation frequency range and carrier signal are shown in the work through S-parameters as a response of SRR. The carrier signal feeds SRR via an additional loop antenna due to strong magnetic near-field coupling. The oscillations that appear in the SRR are amplitude modulated at the previously defined carrier signal. Thus, the frequency range where the interaction between SRR and additional loop antenna is much possible can be found by feeding the loop antenna by HF signals step-by-step in a wide frequency range and detecting SRR's response. It was defined that such frequency range is Δf = fmin…fmax = 0,95…1,11 GHz for the bias voltage variation ΔU = Umin…Umax = □4,0…3,0 V. The realization of digital signals modulation is carried out based on the HF signal (carrier one) transmission line modification by SRR. SRR is placed as close as possible to the transmission line in order to provide strong near-field coupling. In the case of the same values of resonance state of SRR and the carrier signal, the last one is filtered by SRR and the output signal cannot be detected. However, it can be detected for the case when resonance frequency of SRR and carrier signal frequency are not the same. The obtained amplitude-frequency characteristics is the same to pass-band filter's one. The device 30 by 22 mm dimensions was suggested and investigated in the work. The switching between different values of capacitance was shown by simulations. The interaction of transmission line and SRR was demonstrated by distributions of magnetic field at the resonance frequency – 635 MHz and non-resonance one – 800 MHz. One can see that the SRR oscillations appear for the resonance frequency and filtration happens. The HF signal from the input port is blocked and the signal at the output port is absent which corresponds the information bit "0" and vice versa. Two principles of on/off-switching circuits realizations were presented by experimental investigations. There are the circuit based on bipolar transistor which can switch two capacitors and optical control for changing of a varactor diode capacitance. In the paper WM was proposed to use for the transfer of a few signal simultaneously via parallel nodes (the area between four adjacent wires). Nevertheless, such signals can be broadband. The investigations shown the possibility of such device realization that can operate at the sub-GHz (from 0.45 to 0.8 GHz) and GHz (from 1 to 2 GHz) frequency ranges. In the thesis the principles of modulation of analog and digital signals were suggested and investigated as well as the structure was studied which makes possible to transfer of a few broadband signals of different types simultaneously. Key words Metamaterials, split-ring resonator, wire medium, amplitude modulation, digital modulation, filtering, analog and digital signals, broadband frequency range.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:**

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:**

**Підсумки дослідження:**

**Публікації:**

**Наукова (науково-технічна) продукція:**

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПІВ:**

**Впровадження результатів дисертації:**

**Зв'язок з науковими темами:**

## VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Політанський Леонід Францович

2. Politanskiy Leonid F.

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.27.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Семенов Андрій Олександрович

2. Semenov Andrii O.

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.12.13

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Андрійчук Михайло Іванович

2. Andriychuk Mykhaylo I.

**Кваліфікація:** д. т. н., 01.05.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Саміла Андрій Петрович

2. Samila Andrii P.

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.12.13

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Політанський Руслан Леонідович

2. Politanskiy Ruslan L.

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.12.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## VIII. Заключні відомості

| | |
|---|---|
| **Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради** | Баловсяк Сергій Васильович |
| **Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні** | Баловсяк Сергій Васильович |
| **Відповідальний за підготовку облікових документів** | |
| **Реєстратор** | |
| **Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності** | Юрченко Т.А. |