

В.П. Манойлов, д.т.н., проф.

П.П. Мартинчук, ст. викладач

В.В. Чухов, к.т.н., доц.

О.Ф. Дубина, к.т.н., ст. викладач

Житомирський державний технологічний університет

Анени цифрового ефірного телебачення

Анени цифрового ефірного телебачення мають свої специфічні конструктивні особливості, які полягають в тому, що для кращого прийому цифрових сигналів без спотворення форми сигналу, амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) антени як ланки електричного кола, повинна бути достатньо широкосмуговою і мати більш високий порядок, ніж перший. Інакше антена втратить енергію прийнятого сигналу, відповідно і зменшиться дальність прийому. Існує кілька підходів до вибору способу компенсації втрати енергії прийнятого сигналу: використання підсилювачів прийнятого сигналу, збільшення елементів конструкції антени, паралельне з'єднання кількох антен, використання антен складної конструкції. Всі ці підходи лише частково розв'язують поставлену задачу, так як використовують антени, що мають АЧХ першого порядку. Тому є важливим конструювання антен більш високого порядку, яке дозволить збільшити енергію прийнятого сигналу, і відповідно, дальність прийому та покращить коефіцієнт корисної дії радіопристрою в цілому.

У роботі розглянуто застосування графічного методу апроксимації цифрового сигналу.

Ключові слова: *вібраторна директорна антена; цифровий сигнал; ефірне телебачення; енергія сигналу.*

Постановка проблеми. Наша держава Україна в 2018 році перейшла на цифрове ефірне телебачення, що є більш технічно досконалим [10].

Аналогове телебачення, яке здійснювалось на території України понад 70 років, відходить у минуле.

Фундаментальною відмінністю цифрового телебачення від аналогового є тільки метод цифрової обробки і кодування інформаційного сигналу та передачі його каналами зв'язку, в тому числі і ефірним, також у цифровому вигляді.

Цифрові сигнали мають ряд переваг перед аналоговими, їм притаманні такі властивості:

- простота та ефективність об'єднання багатьох незалежних сигналів і перетворення цифрових повідомлень на пакети для зручності передачі;
- відносна нечутливість цифрових каналів до ефекту накопичення спотворень, який є серйозною проблемою аналогових каналів зв'язку;
- потенційна можливість отримання малих ймовірностей помилок передачі і досягнення високої вірності відтворення повідомлень шляхом виявлення та виправлення помилок;
- гнучкість реалізації цифрової апаратури, що дозволяє застосовувати мікросхеми з високим ступенем інтегрованості.

Високочастотна ж частина ефірних радіостанцій, що відповідає за прийом і передачу радіохвиль, залишається практично ідентичною в усіх видах радіозв'язку. Причому ситуація не міняється вже понад 100 років з часів демонстрації першої системи зв'язку в 1895 році. При усіх досягненнях технології, фундаментальним фізичним законом альтернативи доки немає.

Але цифрові ефірні канали телебачення вимагають більш високочастотного сигналу, основним недоліком якого є недостатня відстань поширення радіохвиль. Це значно зменшує площу покриття цифрового ефірного телебачення, що є недопустимим, та вимагає суттєвих енергетичних затрат для його збільшення.

Окрім того, цифрові сигнали вимагають так званої цілісності сигналу, що означає чіткість і швидкість переходу, стабільність і чіткість логічних рівнів, точність співвідношень у часі, відсутність перехідних процесів у сигналі. Ідеальний цифровий імпульс складає єдине ціле у часі і амплітуді, він немає спотворень і нестабільності фронтів, його переходи чіткі і швидкі.

Спотворення цифрових сигналів викликані багатьма причинами. Досить розповсюдженими є причини, пов'язані з часовими співвідношеннями.

Важливою ланкою високочастотної частини є приймально-передавальні антени.

Антенна, як пристрій, призначена для отримання енергії існуючого електромагнітного поля (приймальна антена) чи для перетворення енергії високочастотного генератора (передавача) в електромагнітні хвилі шляхом випромінювання через передавальну антену. Згідно теореми взаємності, одну і ту ж антену можна використовувати як приймальну, так і передавальну, при цьому їхні характерні властивості та параметри залишаються в обох випадках однаковими.

Значна частина сигналу спотворюється і втрачається саме в антенах.

У даній роботі розглядається можливість збільшення коефіцієнта корисної дії (ККД) антен цифрових систем ефірного зв'язку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Конструктивні особливості високочастотних пристроїв, в т.ч. антен, та різні теоретичні положення, що закладені в розрахунки, накладають значний відбиток на методику їх проектування і визначають у першу чергу ККД таких систем [1, 5].

У роботах [3–5] пропонуються різні методики розрахунків антенних пристроїв, однак результати цих розрахунків не дають значного підвищення ККД внаслідок традиційних підходів до вирішення основного завдання.

Тому дослідження таких пристроїв цифрових систем є актуальною науковою та практичною задачею.

Метою дослідження є оцінка втрат в антенах, які використовують в аналоговому та цифровому ефірному телебаченні та пропозиції щодо їх зменшення, збільшення смуги пропускання, збільшення дальності прийому, і в цілому ККД.

Метою проведених досліджень, виконаних на кафедрі біомедичної інженерії та телекомунікацій ЖДТУ, є також застосування нового підходу для проектування антенних приймально-передавальних пристроїв цифрових (дискретних) систем з використанням перетворення Фур'є на елементарних антенах типу директорних вібраторних, логоперіодичних, спіральних, фрактальних та інших, які є системою дискретних джерел сигналу радіозв'язку.

Викладення основного матеріалу. Найбільш поширеними антенами для дециметрових каналів аналогового телебачення є вібраторні багатоелементні директорні антени (Рисунок 1).

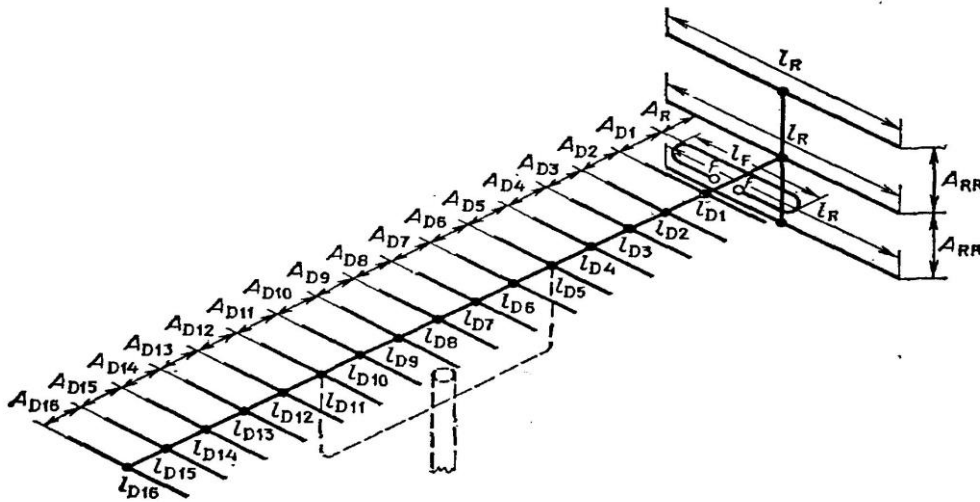


Рис. 1. Вібраторна директорна багатоелементна антена

Основною перевагою таких антен є високий коефіцієнт спрямованої дії, високий коефіцієнт підсилення, діаграма направленості (ДН), що має чітко виражену основну пелюстку, здатність здійснювати передачу і прийом радіохвиль у заданому напрямі, значне ослаблення побічного випромінювання.

Основу директорної антени складає петльовий вібратор А.А. Пістолькорса, запропонований у 1936 році, який складається з двох близько розташованих паралельних півхвильових вібраторів, замкнених один на одного з живленням струмом у пучностях одного з них. Струми обох вібраторів співпадають за напрямом, і тому така антена еквівалентна одному вібратору з подвоєним струмом [3].

Півхвильовий вібратор, як виходить з його назви, має довжину рівну половині хвилі ($\lambda/2$) відповідної частоти. У такому випадку вібратор знаходиться в резонансі з довжиною хвилі.

Директорні антени зарекомендували себе як економічні та прості за конструкцією. Залежно від кількості директорів (від одного до 30) вони забезпечують підсилення від 5 до 16 дБм [5]. Гарні характеристики забезпечили цій антені досить високу популярність серед антен направленої дії. Збільшення кількості директорів звужує ДН та збільшує інтенсивність випромінювання у напрямку головного максимуму. Такі антени мають, як правило, вузьку ДН, ширина якої не перевищує 30° .

У роботах [4, 5] описується досить докладно принцип дії та підсилення директорних антен, а також поради по виготовленню та конструкції, вибору матеріалу елементів антени, розміщенню антени.

Можливе використання таких антен і для приймання цифрового ефірного телебачення.

Згідно стандартів [5], телевізійні сигнали лежать у досить широкому діапазоні, і для їх прийому необхідні антени з широкою смугою частот (табл. 1).

Таблиця 1

Телевізійні діапазони дециметрових та цифрових каналів європейських країн

Номер каналу	Границі каналу, МГц	Несуча частота зображення, МГц	Несуча частота звукового супроводу, МГц	Середня довжина хвилі, см
Діапазон III				
Канал E-5	174-181	175,25	180,75	169,00
Канал E-6	181-188	182,25	187,75	163,00
Канал E-7	188-195	189,25	194,75	157,00
Канал E-8	195-202	196,25	201,75	151,00
Канал E-9	202-209	203,25	208,25	146,00
Канал E-10	209-216	210,25	215,75	141,00
Канал E-11	216-223	217,25	222,75	137,00
Канал E-12	223-230	224,25	229,75	133,00
Діапазон IV				
Канал E-21	470-478	471,25	476,75	63,00
Канал E-22	478-486	479,25	484,75	62,50
Канал E-23	486-494	487,25	492,75	61,00
Канал E-24	494-502	495,25	500,75	60,00
Канал E-25	502-510	503,25	508,75	59,00
Канал E-26	510-518	511,25	516,75	58,00
Канал E-27	518-526	519,25	524,75	57,50
Канал E-28	526-534	527,25	532,75	56,50
Канал E-29	534-542	535,25	540,75	55,50
Канал E-30	542-550	543,25	548,75	55,00
Канал E-31	550-558	551,25	556,75	54,00
Канал E-32	558-566	559,25	564,75	53,00
Канал E-33	566-574	567,25	572,75	52,50
Канал E-34	574-582	575,25	580,75	51,50
Канал E-35	582-590	583,25	588,75	51,00
Канал E-36	590-598	591,25	596,75	51,50
Канал E-37	598-606	599,25	604,75	50,00
Діапазон V				
Канал E-38	606-614	607,25	612,75	49,00
Канал E-39	614-622	615,25	620,75	48,50
Канал E-40	622-630	623,25	628,75	48,00
Канал E-41	630-638	631,25	636,75	47,00
Канал E-42	638-646	639,25	644,75	46,50
Канал E-43	646-654	647,25	652,75	46,00
Канал E-44	654-662	655,25	660,75	45,50
Канал E-45	662-670	663,25	668,75	45,00
Канал E-46	670-678	671,25	676,75	44,50
Канал E-47	678-686	679,25	684,75	44,00
Канал E-48	686-694	687,25	692,75	43,50
Канал E-49	694-702	695,25	700,75	43,00
Канал E-50	702-710	703,25	708,75	42,50
Канал E-51	710-718	711,25	716,75	42,00
Канал E-52	718-726	719,25	724,75	41,50
Канал E-53	726-734	727,25	732,75	41,00
Канал E-54	734-742	735,25	740,75	40,50
Канал E-55	742-750	743,25	748,75	40,30
Канал E-56	750-758	751,25	756,75	39,80
Канал E-57	758-766	759,25	764,75	39,30
Канал E-58	766-774	767,25	772,75	38,80
Канал E-60	782-790	783,25	788,75	38,20
Канал E-61	790-798	791,25	796,75	37,90
Канал E-62	798-806	799,25	804,75	37,50
Канал E-63	806-814	807,25	812,75	37,10
Канал E-64	814-822	815,25	820,75	36,80
Канал E-65	822-830	823,25	828,75	36,40
Канал E-66	830-838	831,25	836,75	36,10
Канал E-67	838-846	839,25	844,75	35,70
Канал E-68	846-854	847,25	852,75	35,40
Канал E-69	854-862	855,25	860,75	35,00

Між частотно-часовими залежностями в імпульсній техніці і частотно-просторовими функціями в антенній техніці існує певна аналогія, суть якої в тому, що амплітудно-фазовий розподіл поля на апертурі антени і її ДН пов'язані перетворенням Фур'є таким же чином, як пов'язана форма імпульсу з його спектром.

Фізичний зміст цього полягає у тому, що якщо часовий імпульс, наприклад, цифрового сигналу, може бути представлений у вигляді суми часових гармонік (рис. 2) або аналітичним виразом (1), то і розподілення поля на апертурі, яке розглядається як просторовий імпульс, може бути представлене сумою просторових імпульсів. Тому один із способів розв'язання задачі синтезу базується на використанні інтегралу Фур'є [1].

$$s(t) = \frac{4A}{\pi} [\sin(\omega_1 t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_1 t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_1 t) + \dots]. \quad (1)$$

Інтеграл Фур'є [8] досить широко застосовується при аналізі сигналів радіотехнічних систем.

У високочастотному діапазоні важливими характеристиками є властивості напрямного характеру, підсилення та імпеданс ліній живлення. Імпедансні властивості залишаються подібними до антен і більш низького діапазону, а от фокусуєчі якості та підсилення є переважаючими перед антенами метрових діапазонів. Це пов'язано з тим, що властивості напрямного характеру, підсилення антени визначаються співвідношенням лінійних розмірів та довжини робочої хвилі. Для таких антен важливою є реальна випромінювана апертура, площа якої у співвідношенні до ККД антени і довжини робочої хвилі пов'язані з потоком густини потужності [6].

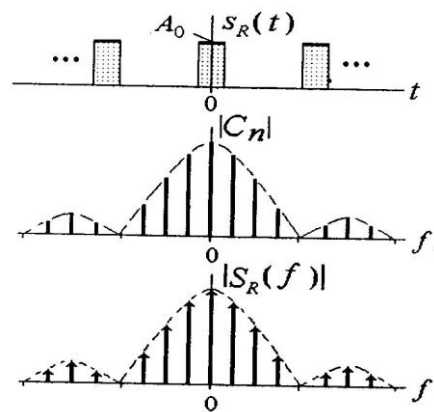


Рис. 2. Часові імпульси та спектральні складові цифрового сигналу

При цьому дійсна функція $s(t)$, яка визначає ДН, повинна відповідати умовам Діріхле: сама функція та її похідна повинні бути неперервними у будь-якому інтервалі частот, мати скінченне число розривів першого роду та скінченну кількість максимумів та мінімумів, бути інтегрованою, мати скінченне значення [2]. Для багатьох фізичних сигналів це є справедливим (рис. 3).

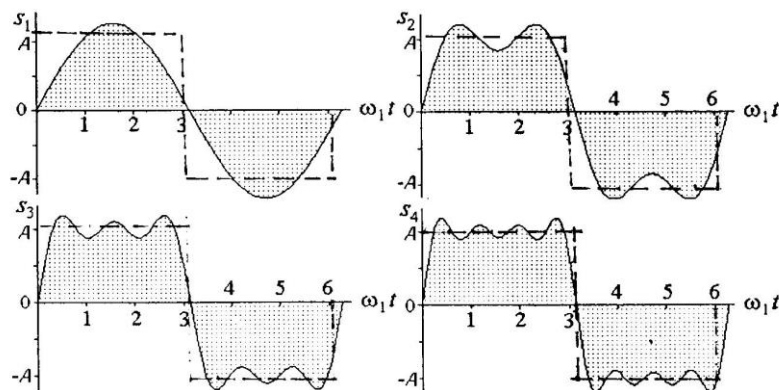


Рис. 3. Складові прямокутного імпульсу $s(t)$

Густина потоку потужності – потужність випромінювання, яка проходить через площу одиничної поверхні, розташовану перпендикулярно напрямку поширення хвиль (наприклад, Вт/м²). Якщо поле однорідне, то середня потужність імпульсного періодичного сигналу P_0 (2), отримана антеною, пропорційна величині поверхні антени (апертурі), визначається спектром прийнятого сигналу [2].

$$P_o = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |C_n|^2, \quad (2)$$

де $|C_n|$ – амплітуда n -ої гармоніки (рис. 2).

Цим і користувалися для збільшення ККД при конструюванні вібраторних багатоеlementних директорних антен (рис. 1), збільшуючи кількість директорів в антені та збільшуючи довжину випромінюючого вібратора зі збільшенням частоти прийому-передачі. При цьому також зростає опір випромінювання складного вібратора антени R_{Σ} (3), який пропорційний числу і опорі $R_{\Sigma 1}$ утворюючих елементів вібратора:

$$R_{\Sigma} = n^2 R_{\Sigma 1}, \quad (3)$$

де n – кількість елементів антени [7].

Але спектральна характеристика антени практично при цьому не змінювалася, так як на кожній визначеній частоті бере участь тільки частина директорів, а інша частина практично не працювала. Багатоеlementна антена з одним вібратором чи кількома вібраторами, які рівні довжині половині хвилі ($\lambda/2$), по суті залишається ланкою першого порядку і має значне обмеження по спектру, що в свою чергу, є не бажаним для цифрових сигналів, так як відбувається спотворення імпульсу, що несе інформацію. З метою удосконалення було розроблено та досліджено ряд антен на петльових вібраторах.

Конструктивними особливостями досліджуваних антен приймально-передавальних пристроїв є те, що запропоновані антени мають в своєму складі, окрім вібратора основної частоти, додаткові вібратори, кратні основній частоті (рис. 4).

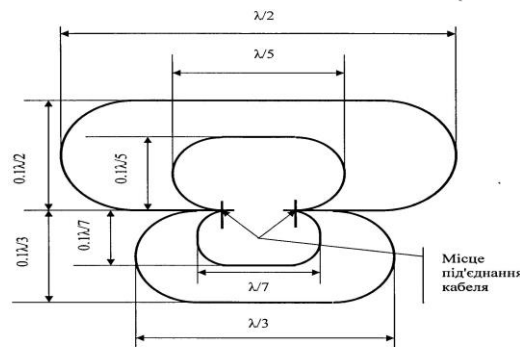


Рис. 4. Вібратор антени цифрового ефірного сигналу

Вони вибрані як перші елементи (2–4) гармонічних складових цифрового (дискретного) періодичного сигналу основної частоти.

Для прямокутного сигналу, що є найбільш поширеним у цифрових (дискретних) системах, це 3-я, 5-а, 7-а або 2-а, 4-а, 8-а гармоніки основної частоти, залежно від представлення цифрового сигналу як парна чи непарна функція [2, 9]. Похибка апроксимації Δ_A (рис. 5) при цих складових визначається за формулою (4) і наведена в таблиці 2.

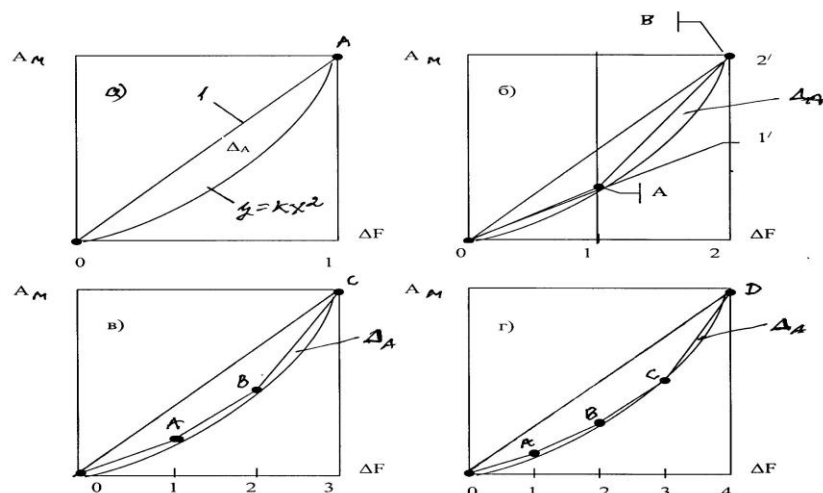


Рис. 5. Апроксимація середньої потужності імпульсного прямокутного сигналу з різною кількістю елементів (від одного до чотирьох)

$$\Delta_{\Lambda} = \frac{1}{4 \times n^2} \times 100\% . \quad (4)$$

Таблиця 2

Кількість елементів апроксимації n	Похибка апроксимації Δ_{Λ} , %
1	25
2	6,25
3	2,8
4	1,6

Вплив кількості вібраторів, які за розмірами співвідносяться як 2:3:5, у антені (рис. 6) було перевірено на реальних вібраторах з різною кількістю елементів сучасними антенними аналізаторами.

Результати цієї перевірки наведено на рисунку 7, де показано на прикладі комплексного опору, що антена з більшою кількістю вібраторів, які за розмірами відносяться як 2:3:5, має більшу щільність спектру, чим антена з простим петльовим вібратором. Відповідно, і потужність прийнятого сигналу такої складної антени більша.



Рис. 6. Вібраторна антена зі змінною кількістю елементів та співвідношеннями розмірів 2:3:5

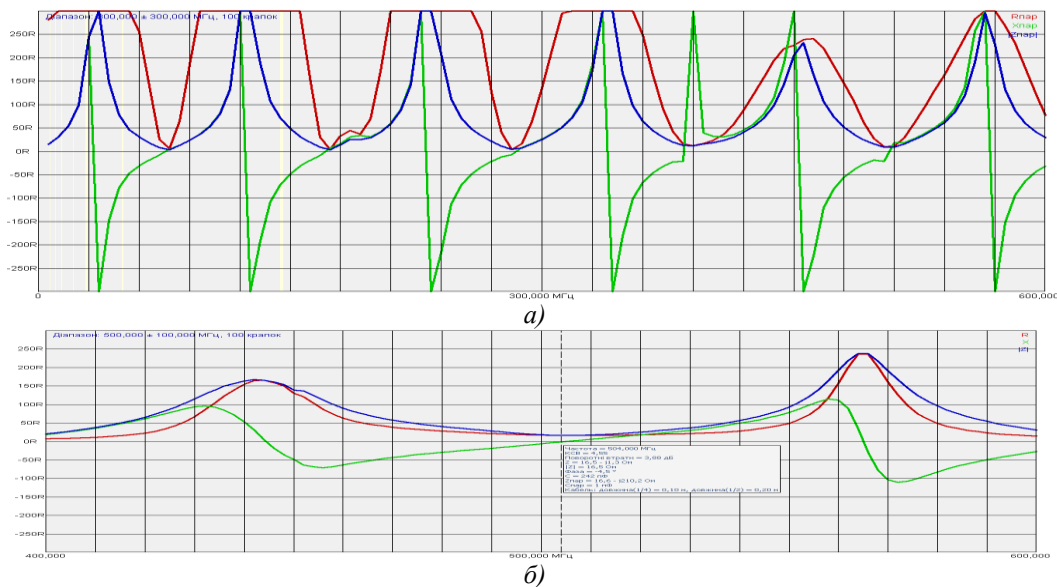


Рис. 7. Комплексний вхідний опір реальної антени: складного петльового вібратора (3 петльових і два лінійних вібратори зі співвідношенням розмірів 2:3:5 (а); простого одноелементного петльового вібратора з розмірами $\lambda/2$ (б))

Висновки: внаслідок удосконалення антенних пристроїв за рахунок використання складних вібраторів зі співвідношеннями розмірів 2:3:5:7 можливе збільшення середньої потужності передаваного та прийнятого сигналу без збільшення потужності передавача-приймача, збільшення смуги ширини сигналу лише внесенням незначних змін у конструкцію петльового вібратора антенного пристрою і зменшення кількості директорних елементів, які значно менше впливають на енергетичні та механічні характеристики антени.

Це також дає змогу зменшити енергетичні затрати передавально-приймального пристрою, залишивши рівень сигналу на межі встановленого, збільшити дальність прийому-передачі, спростити у певних межах конструкцію антенного пристрою за рахунок оптимізації елементів антени, зменшити матеріаломісткість антенних пристроїв.

Список використаної літератури:

1. Власов В.И. Проектирование высокочастотных устройств радиолокационных станций / В.И. Власов, Я.И. Берман. – Л. : Судостроение, 1972. – 368 с.
2. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці / Ю.І. Волощук. – Т. 1–4. – Харків : «Компанія СМІТ», 2003. – 580 с.
3. Справочник по антенной технике : в 5 т. / Л.Д. Бахрах, Л.С. Бенинсон, Е.Г. Зелкин и другие ; под ред. Я.Н. Фельда, Е.Г. Зелкина. – М. : ИПРЖР, 1997. – Т. 1. – 256 с. : ил.
4. Григоров И.Н. Практические конструкции антенн / И.Н. Григоров. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 352 с.
5. Ротхаммель К. Антенны / К.Ротхаммель ; пер. с нем. – СПб. : Боянич, 1998. – 656 с.
6. Шпиндлер Э. Практические конструкции антенне / Э.Шпиндлер ; пер.с нем. – М. : Мир, 1989. – 448 с.
7. Изюмов Н.М. Основы радиотехники / Н.М. Изюмов, Д.П. Линде. – Учебная серия. – М., 1971.
8. Каганов В.И. Радиотехника + компьютер + Mathcad. – М. : Горячая линия – Телеком, 2001. – 416 с.
9. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Т. 2 / Ю.І. Волощук. – Харків : «Компанія СМІТ», 2003. – 444 с.
10. Protv [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://protv.net.ua/viewtopic.php?>

References:

1. Vlasov, V.I. and Berman, Ja.I. (1972), *Proektirovanie vysokochastotnyh ustrojstv radiolokacionnyh stancij*, Sudostroenie, L., 368 p.
2. Voloshhuk, Ju.I. (2003), *Sygnaly ta procesy u radiotehnici*, Vol. 1–4, «Kompanija SMIT», Harkiv, 580 p.
3. Bahrah, L.D., Beninson, L.S., Zelkin, E.G. and others (1997), *Spravochnik po antennoj tehnikе*, in 5 vol., in Fel'da, Ja.N. and Zelkina, E.G. (ed.), IPZRZhR, M., Vol. 1, 256 p.
4. Grigorov, I.N. (2005), *Prakticheskie konstrukcii antenn*, DMK Press, M., 352 p.
5. Rothammel', K. (1998), *Antenny*, Translate by german, Bojanich, SPb., 656 p.
6. Shpindler, Je. (1989), *Prakticheskie konstrukcii antene*, Translate by german, Mir, M., 448 p.
7. Izjumov, N.M. and Linde, D.P. (1971), *Osnovy radiotehniki*, Uchebnaja serija, M.
8. Kaganov, V.I. (2001), *Radiotehnika + komp'juter + Mathcad*, Gorjachaja linija – Telekom, M., 416 p.
9. Voloshhuk, Ju.I. (2003), *Sygnaly ta procesy u radiotehnici*, pidruchnyk dlja studentiv vyshhyh navchal'nyh zakladiv, Vol. 2, «Kompanija SMIT», Harkiv, 444 p.
10. Protv, available at : <http://protv.net.ua/viewtopic.php?>

Манойлов В'ячеслав Пилипович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри біомедичної інженерії та телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка сигналів в радіотехнічних системах;
- пристрої НВЧ та антени.

E-mail: krt_mvp@ukr.net.

Мартинчук Петро Петрович – старший викладач кафедри біомедичної інженерії та телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка сигналів в радіотехнічних системах;
- електро- та радіовимірювальні прилади.

E-mail: m_petro@ukr.net.

Чухов Владислав Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біомедичної інженерії та телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- електро- та радіовимірювальні прилади;
- пристрої НВЧ та антени;
- обробка сигналів в радіотехнічних системах.

E-mail: mps_cvv@ukr.net.

Дубина Олександр Федорович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри біомедичної інженерії та телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- цифрова обробка сигналів.

Стаття надійшла до редакції 07.08.2018.