

SECTION 4. RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.3.4.1

4.1 Композитні коди баркера

Анотація.

В статті надано аналітичний вираз для автокореляційної функції (АКФ) композитних кодів Баркера. Показано, що АКФ цих кодів, як і АКФ канонічних послідовностей Баркера, з яких вони складені, мають властивості скалярного добутку та автокореляційної функції, що дозволило збільшити кількість відомих композитних послідовностей з 12 до 48. Знайдено закономірність у побудові пар поєднань, які мають однакову АКФ, що дозволило знайти 4 пари нових поєднань, що мають ту ж АКФ. Розрахунки показують, що для розглянутих композитних послідовностей приріст коефіцієнта посилення ШПС при обробці порівняно з канонічною послідовністю може становити від 3,01 дБ до 10,41 дБ при швидкості передачі інформації 1 МГц. Наведено методику пошуку нових композитних кодів з однаковою АКФ, яка може бути використана для пошуку нових поєднань кодових конструкцій для інших композитних послідовностей Баркера.

Вступ

У широкосмугових системах зв'язку (ШСЗ) застосовуються шумоподібні сигнали (ШПС). Вони забезпечують високу завадозахищеність ШСЗ, дозволяють організувати одночасну роботу багатьох абонентів у спільній смузі частот при асинхронно-адресному принципі роботи систем зв'язку, заснованих на кодовому поділі абонентів.

Завадостійкість ШСЗ визначається фундаментальним співвідношенням, яке пов'язує відношення сигнал/завада на виході приймача (на виході узгодженого фільтра або корелятора) q^2 із відношенням сигнал/перешкода на вході приймача ρ^2 [132]: $q^2 = 2B \rho^2$, (1)

де $q^2 = P/P_{\Pi}$ (P_c , P_{Π} – потужності ШПС та перешкоди), $\rho^2 = 2E/N_{\Pi}$ (енергія ШПС $E = P_c T$, T – тривалість ШПС, $N_{\Pi} = P_{\Pi}/F$ – спектральна щільність потужності перешкоди у смузі ШПС, F – ширина діапазону ШПС, $B = FT$ – основа ШПС).

З (1) слід, що прийом ШПС узгодженим фільтром або корелятором супроводжується посиленням сигналу (або придушенням перешкоди) в $2B$ раз і цю величину називають коефіцієнтом посилення ШПС при обробці або просто посиленням обробки [132]:

$$K_{\text{шпс}} = q^2/\rho^2 = 2B. \quad (2)$$

З (1, 2) видно, що параметр q^2 , що визначає робочі характеристики прийому ШПС, може бути отриманий навіть при енергетиці сигналу і перешкоди $\rho^2 \ll 1$ шляхом вибору ШПС з необхідною базою B . Іншими словами, з двох ШСЗ, що мають однакові параметри q^2 , але використовують ШПС з різними базами, наприклад, $B_1 < B_2$, друга система зв'язку прийматиме більш слабкий корисний сигнал, ніж перша. ШПС знаходять застосування в сучасних багатоканальних системах зв'язку з кодовим поділом каналів (CDMA, WCDMA) [133], в системах бездротового зв'язку сімейства 802.11 з технологією розширення спектра методом прямої послідовності (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) [134], у сучасних радіолокаційних системах [135]. У ролі спеціальних розширювальних послідовностей в мережах WCDMA можуть бути використані M -послідовності, послідовності Гоулда, послідовності Баркера, в системах бездротового зв'язку сімейства 802.11 для розширення спектру використовується послідовність Баркера довжини 11, в сучасних радіолокаційних системах використовуються коди Баркера довжини 11 та 13.

З усіх ШПС найкращими кореляційними характеристиками мають, відкриті 1953 року, послідовності Баркера [132, 136]. Величина максимального бічного викиду їхньої автокореляційної функції (АКФ) не перевищує $1/N$, де N - довжина кодової послідовності. Відомих послідовностей Баркера всього 8, максимальна довжина послідовності досягає 13-ти розрядів. Пошук кодових послідовностей довжини $N > 13$, у яких величина максимального бічного викиду АКФ не перевищувала б $1/N$, є актуальним завданням. Її рішення дозволить збільшити базу цих ШПС та використовувати в системах з розширенням спектра для прийому сигналів із слабкішою енергетикою. У цій роботі аналізуються відомі композитні коди Баркера довжиною більше 13, отримані на основі

канонічних послідовностей Баркера, їх автокореляційні функції та можливість отримання нових композитних кодів з тими самими властивостями АКФ.

Мета статті. Метою роботи є знаходження аналітичних виразів для автокореляційної функції (АКФ) композитних кодів Баркера та перевірка відповідності АКФ нових кодових конструкцій композитних кодів Баркера автокореляційним функціям вихідних композитних кодів за допомогою моделювання.

Виклад основного матеріалу.

Композитні коди Баркера

Автокорреляційна функція послідовностей Баркера [136, 137] має властивості скалярного добутку та автокореляційної функції, і тому таку ж АКФ матимуть інверсні, дзеркальні та інверсні дзеркальні послідовності Баркера:

$$R(k) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m c(i)c(i+k) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m c_{\text{инв}}(i)c_{\text{инв}}(i+k) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m c_{\text{зерк}}(i)c_{\text{зерк}}(i+k) \\ = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m c_{\text{инв.зерк}}(i)c_{\text{инв.зерк}}(i+k), \quad (3)$$

де $c(i)$ – канонічна послідовність Баркера, що знаходиться як:

$c(i) = c_1(i)c_2(i)\dots c_n(i)$, а $c_n(i)$ приймають значення ± 1 ; $c_{\text{инв}}(i) = (-1)c(i)$; $c_{\text{зерк}}(i) = c_n(i)c_{n-1}(i)\dots c_1(i)$; $c_{\text{инв.зерк}}(i) = (-)c_{\text{зерк}}(i)$.

З урахуванням (3) можна доповнити канонічні послідовності [132,137] інверсними, дзеркальними та інверсними дзеркальними послідовностями Баркера (табл.1). На рис. 1, як приклад, показані АКФ канонічної, інверсної, дзеркальної та інверсної дзеркальної 13 послідовності Баркера.

Таблица №1. Последовательности Баркера

N	канонічна	інверсна	N	дзеркальна	інверсна дзеркальна
2	+1-1	-1+1			
3	+1+1-1	-1-1+1	3	-1+1+1	+1-1-1
4	+1+1+1-1	-1-1-1+1	4	-1+1+1+1	+1-1-1-1
4	+1+1-1+1	-1-1+1-1	4	+1-1+1+1	-1+1-1-1
5	+1+1+1-1+1	-1-1-1+1-1	5	+1-1+1+1+1	-1+1-1-1-1

Продовження табл. 1

7	+1+1+1-1-1+1-1	-1-1-1+1+1-1+1	7	-1+1-1-1+1+1+1	+1-1+1+1-1-1
11	+1+1+1-1-1+1-1+1-1- канонічна		11	-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1 – інверсна	
	-1+1-1-1+1-1-1+1+1+1- дзеркальна		11	+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1 – інв. інверсна	
13	+1+1+1+1+1-1-1+1+1-1+1 – канонічна		13	-1-1-1-1-1+1+1-1+1-1+1-1 – інверсна	
	+1-1+1-1+1+1-1-1+1+1+1+1 – дзеркальна		13	-1+1-1+1-1-1+1+1-1-1-1-1 – інв. інверсна	

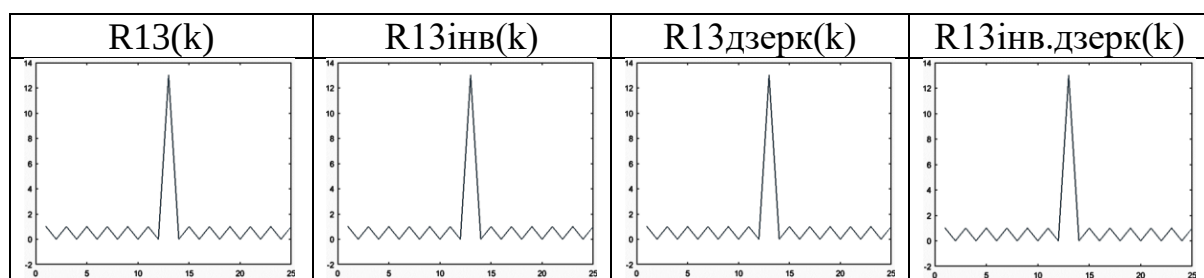


Рис. 1. АКФ для канонічної, інверсної, дзеркальної та інверсної дзеркальної 13-ї послідовності Баркера

У [138] запропоновано метод формування композитних кодів Баркера, що мають кореляційні властивості, подібні до тих, якими володіє код Баркера, а саме: код формується шляхом перемноження двох канонічних послідовностей Баркера. Одна з них (коротка) називається твірною, а друга, довша – елементарною. В результаті перемноження короткої послідовності більш довгу послідовність виходять послідовності понад 13 розрядів. Основний викид АКФ у них дорівнює числу розрядів результуючої послідовності N , а максимальний бічний викид у позитивну область має значення близькі до 1. В [139] шляхом формування складових кодових послідовностей аналогічно способу, запропонованому в [138], отримані 12 послідовностей з довжиною N , рівною 14 (14а, 14б), 21 (21а, 21б), 22 (22а, 22б), 33 (33а, 33б), 49, 77 (77а, 77б), 121, і перевищенням головного піку АКФ над позитивними боковими N . В [140] були запропоновані зворотні композитні коди Баркера, отримані перемноженням довгої послідовності на коротку, досліджено їх завадостійкість, і показана можливість їх використання як синхронізуючі слова в мережах WCDMA. [141]

описані ті ж складові кодові послідовності, що і в [139], але вже під новою назвою «сигнали Баркера-Волинської», і вказано на можливість їх застосування, як для передачі команд, так і для синхронізації. Враховуючи, що композитні коди Баркера формуються як скалярні добутки канонічних послідовностей, можна записати аналогічну умову для їхньої автокореляційної функції:

$$\begin{aligned} R_{\text{комп}}(k) &= \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m c_{\text{комп}}(i) c_{\text{комп}}(i+k) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m c_{\text{комп.инв}}(i) c_{\text{комп.инв}}(i+k) = \\ &= \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m c_{\text{комп.зерк}}(i) c_{\text{комп.зерк}}(i+k) \\ &= \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m c_{\text{комп.инв.зерк}}(i) c_{\text{комп.инв.зерк}}(i+k), \quad (4) \end{aligned}$$

де $c_{\text{комп}}(i)$ – композитна послідовність Баркера.

На підставі (4) композитні послідовності Баркера, отримані в [139], можна доповнити інверсними, дзеркальними та інверсними дзеркальними композитними послідовностями, які будуть мати ті ж АКФ, що і основна композитна послідовність, тим самим збільшивши їх кількість з 12 до 48. У табл. 2, як приклад, наведені композитні послідовності з $N = 77a$, $77b$ (номер послідовності взятий згідно [139]).

Таблиця №2. Композитні послідовності Баркера 77а, 77б

N	Композитна послєдовнїсть Баркера 77а (11х7)
77а	+1+1+1-1-1+1-1+1+1+1-1-1+1-1+1+1+1-1-1+1-1-1-1-1+1+1- 1+1-1-1-1+1+1-1+1-1-1-1+1+1-1+1+1+1+1-1-1+1-1-1-1-1+1+1- 1+1-1-1-1+1+1-1+1+1+1+1-1-1+1-1-1-1-1+1+1-1+1
77а інв.	-1-1-1+1+1-1+1-1-1-1+1+1-1+1-1-1-1+1+1-1+1+1+1+1-1-1+1- 1+1+1+1-1-1+1-1+1+1+1-1-1+1-1-1-1+1+1-1+1+1+1+1-1-1+1- 1+1+1+1-1-1+1-1-1-1-1+1+1-1+1+1+1+1-1-1+1-1
77а дзерк.	+1-1+1+1-1-1-1-1+1-1-1+1+1+1+1-1+1+1-1-1-1+1-1+1+1-1-1- 1+1-1-1+1+1+1+1-1+1+1-1-1-1+1-1+1+1-1-1+1-1+1+1-1-1-1- 1+1-1-1+1+1+1-1+1-1-1+1+1+1-1+1-1-1+1+1+1
77а ерк.інв.	-1+1-1-1+1+1+1+1-1+1+1-1-1-1+1-1-1+1+1-1+1-1+1-1- 1+1+1+1+1-1+1+1-1-1-1+1-1-1+1+1+1-1+1-1+1+1+1-1+1-1- 1+1+1+1+1-1+1+1-1-1-1+1-1+1+1-1-1+1-1+1+1-1-1-1

Продовження табл. 2

N	Композитна послідовність Баркера 776 (7x11)
776	+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1 -1+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1 -1+1+1+1-1-1- 1+1-1-1+1 -1-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1-1-1+1+1+1-1+1+1- 1+1+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1 -1-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1
776 інв.	-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1-1-1- 1+1+1+1-1+1+1-1+1+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1 -1+1+1+1-1-1-1+1-1- 1+1 -1-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1 -1
776 дзерк.	+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1+1+1-1+1+1- 1+1+1+1-1-1-1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1-1+1-1-1+1-1-1- 1+1+1+1-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1+1-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1+1
776 дзерк.інв.	-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1+1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1-1+1-1-1+1-1- 1-1+1+1+1-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1+1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1+1- 1+1+1-1+1+1+1-1-1-1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1

На рис. 2 показані АКФ композитних послідовностей Баркера 77а, 77б

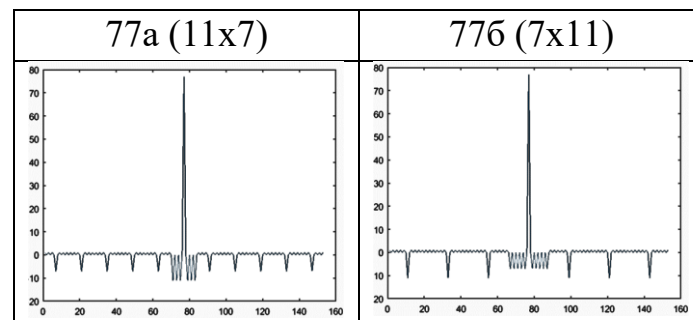


Рис. 2. АКФ композитних послідовностей Баркера 77а, 77б, їх інверсних, дзеркальних та інверсних дзеркальних послідовностей

Для кожної основної композитної послідовності Баркера [139] отримані три додаткові композитні послідовності, що мають одну й ту ж АКФ. Кожна з додаткових композитних послідовностей складається з сукупності двох канонічних послідовностей Баркера, кожна з яких у свою чергу має три додаткові послідовності, що мають ту ж АКФ, що і канонічна. З урахуванням того, що отримані композитні послідовності мають одну і ту ж АКФ, можна припустити, що, комбінуючи канонічні послідовності, що їх утворюють, з їх додатковими послідовностями, ми отримаємо не тільки основні варіанти композитних послідовностей, але і нові варіанти з тієї ж АКФ. Число можливих варіантів композитних послідовностей представлено в табл. 3.

Таблиця 3. Кількість варіантів композитних послідовностей

№ _{послід.}	14a	14б	21a	21б	22a	22б	33a	33б	49	77a	77б	121
Кільк. варіантів	8	8	16	16	8	8	16	16	16	16	16	16

Для спрощення роботи з послідовностями введемо такі позначення: А - канонічна послідовність Баркера; В – інверсна послідовність; З – дзеркальна послідовність; D – інверсна дзеркальна послідовність. З урахуванням введених позначень, наприклад, для 7-ї канонічної послідовності Баркера можна записати такі послідовності, що мають одну і ту ж АКФ: А7 – [1 1 1 -1 -1 1 -1]; В7 – [-1 -1 -1 1 1 -1 1]; С7 – [-1 1 -1 -1 1 1 1]; D7 – [1 -1 1 1 -1 -1 -1]. Складені на їх основі композитні послідовності легко переводяться в традиційну форму шляхом заміни позначень на кодові послідовності з табл. 1. У таблиці 4 зведені всі можливі поєднання канонічних послідовностей для отримання аналізованих варіантів композитних послідовностей.

Таблиця 4. Комбінації поєднань канонічних послідовностей

№ пос л.	14a 2x7	14б 7x2	21a 7x3	21б 3x7	22a 2x1 1	22б 11x 2	33a 11x 3	33б 3x1 1	49 7x7	77a 11x 7	77б 7x1 1	121 11x1 1
Варіанти	A2 xA 7	A7x A2	A7x A3	A3x A7	A2x A11	A11 xA2	A11 xA3	A3x A11	A7x A7	A11 xA7	A7x A11	A11x A11
	A2 xB 7	B7x A2	B7x A3	B3x A7	A2x B11	B11 xA2	B11 xA3	B3x A11	B7x A7	B11 xA7	B7x A11	B11x A11
	A2 xC 7	C7x A2	C7x A3	C3x A7	A2x C11	C11 xA2	C11 xA3	C3x A11	C7x A7	C11 xA7	C7x A11	C11x A11
	A2 xD 7	D7x A2	D7x A3	D3x A7	A2x D11	D11 xA2	D11 xA3	D3x A11	D7x A7	D11 xA7	D7x A11	D11x A11
	B2 xA 7	A7x B2	A7x B3	A3x B7	B2x A11	A11 xB2	A11 xB3	A3x B11	A7x B7	A11 xB7	A7x B11	A11x B11

Продовження табл. 4

B2 xB 7	B7x B2	B7x B3	B3x B7	B2x B11	B11 xB2	B11 xB3	B3x B11	B7x B7	B11 xB7	B7x B11	B11x B11
B2 xC 7	C7x B2	C7x B3	C3x B7	B2x C11	C11 xB2	C11 xB3	C3x B11	C7x B7	C11 xB7	C7x B11	C11x B11
B2 xD 7	D7x B2	D7x B3	D3x B7	B2x C11	D11 xB2	D11 xB3	D3x B11	D7x B7	D11 xB7	D7x B11	D11x B11
		A7x C3	A3x C7			A11 xC3	A3x C11	A7x C7	A11 xC7	A7x C11	A11x C11
		B7x C3	B3x C7			B11 xC3	B3x C11	B7x C7	B11 xC7	B7x C11	B11x C11
		C7x C3	C3x C7			C11 xC3	C3x C11	C7x C7	C11 xC7	C7x C11	C11x C11
		D7x C3	D3x C7			D11 xC3	D3x C11	D7x C7	D11 xC7	D7x C11	D11x C11
		A7x D3	A3x D7			A11 xD3	A3x D11	A7x D7	A11 xD7	A7x D11	A11x D11
		B7x D3	B3x D7			B11 xD3	B3x D11	B7x D7	B11 xD7	B7x D11	B11x D11
		C7x D3	C3x D7			C11 xD3	C3x D11	C7x D7	C11 xD7	C7x D11	C11x D11
		D7x D3	D3x D7			D11 xD3	D3x D11	D7x D7	D11 xD7	D7x D11	D11x D11

Аналіз варіантів композитних послідовностей Баркера

Складемо композитні послідовності кодів Баркера, згідно з табл.4, наприклад, для варіанту 776 (табл. 5).

Таблиця 5. Композитні послідовності 776 (7x11)

№ п/п	Варіант	Результуюча композитна послідовність
1.	A7 x A11	A11 A11 A11 B11 B11 A11 B11
2.	B7 x A11	B11 B11 B11 A11 A11 B11 A11
3.	C7 x A11	B11 A11 B11 B11 A11 A11 A11
4.	D7 x A11	A11 B11 A11 A11 B11 B11 B11
5.	A7 x B11	B11 B11 B11 A11 A11 B11 A11
6.	B7 x B11	A11 A11 A11 B11 B11 A11 B11
7.	C7 x B11	A11 B11 A11 A11 B11 B11 B11
8.	D7 x B11	B11 A11 B11 B11 A11 A11 A11
9.	A7 x C11	C11 C11 C11 D11 D11 C11 D11
10.	B7 x C11	D11 D11 D11 C11 C11 D11 C11
11.	C7 x C11	D11 C11 D11 D11 C11 C11 C11
12.	D7 x C11	C11 D11 C11 C11 D11 D11 D11
13.	A7 x D11	D11 D11 D11 C11 C11 D11 C11
14.	B7 x D11	C11 C11 C11 D11 D11 C11 D11
15.	C7 x D11	C11 D11 C11 C11 D11 D11 D11
16.	D7 x D11	D11 C11 D11 D11 C11 C11 C11

Моделювання в середовищі MatLab показало, що всі 16 варіантів композитних послідовностей табл. 5 мають одну і ту ж АКФ, що і основні чотири послідовності 776 з табл. 2. З табл. 5 також видно, що певні композитні послідовності збігаються. Зведемо разом послідовності, що співпадають, і відмітимо основні чотири послідовності 776 (табл.6).

Таблиця 6. Аналіз композитних послідовностей 776

№ п/ п	Варіан т	Результуюча композитна послідовність	Поєднання послідовностей утворюючих
1	A7 x A11 B7 x B11	A11 A11 A11 B11 B11 A11 B11	канонічна 1x канонічна 2 (776) інверсна 1 x інверсна 2
2.	B7 x A11 A7 x B11	B11 B11 B11 A11 A11 B11 A11	інверсна 1 x канонічна 2 (776 інв.) канонічна 1 x інверсна 2
3.	C7 x A11 D7 x B11	B11 A11 B11 B11 A11 A11 A11	дзеркальна 1 x канонічна 2 інверсна дзеркальна 1 x інверсна 2
4.	D7 x A11 C7 x B 11	A11 B11 A11 A11 B11 B11 B11	інверсна дзеркальна 1 x канонічна 2 дзеркальна 1 x інверсна 2
5.	A7 x B11 B7 x A11	B11 B11 B11 A11 A11 B11 A11	канонічна 1 x інверсна 2 інверсна 1 x канонічна 2
6.	B7 x B11 A7 x A11	A11 A11 A11 B11 B11 A11 B11	інверсна 1 x інверсна 2 канонічна 1 x канонічна 2
7.	C7 x B11 D7 x A11	A11 B11 A11 A11 B11 B11 B11	дзеркальна 1 x інверсна 2 інверсна дзеркальна 1 x канонічна 2
8.	D7 x B11 C7 x A11	B11 A11 B11 B11 A11 A11 A11	інверсна дзеркальна 1 x інверсна 2 дзеркальна 1 x канонічна 2
9.	A7 x C11 B7 x D11	C11 C11 C11 D11 D11 C11 D11	канонічна 1 x дзеркальна 2 інверсна 1 x інверсна дзеркальна 2
10.	B7 x C11 A7 x D11	D11 D11 D11 C11 C11 D11 C11	інверсна 1 x дзеркальна 2 канонічна 1 x інверсна дзеркальна 2
11.	C7 x C11 D7 x D11	D11 C11 D11 D11 C11 C11 C11	дзеркальна 1 x дзеркальна 2 (776 дзерк.) інверсна дзеркальна 1 x інверсна дзеркальна 2
12.	D7 x C11 C7 x D11	C11 D11 C11 C11 D11 D11 D11	інверсна дзеркальна 1 x дзеркальна 2 (776 інв.дзерк) дзеркальна 1 x інверсна дзеркальна 2

Продовження табл. 6

13	A7 x D11 B7 x C11	D11 D11 D11 C11 C11 D11 C11	канонічна 1 x інверсна дзеркальна 2 інверсна 1 x дзеркальна 2
14.	B7 x D11 A7 x C11	C11 C11 C11 D11 D11 C11 D11	нверсна 1 x інверсна дзеркальна 2 канонічна 1 x дзеркальна 2
15.	C7 x D11 D7 x C11	C11 D11 C11 C11 D11 D11 D11	дзеркальна 1 x інверсна дзеркальна 2 інверсна дзеркальна 1 x дзеркальна 2
16.	D7 x D11 C7 x C11	D11 C11 D11 D11 C11 C11 C11	інверсна дзеркальна 1 – інверсна дзеркальна 2 дзеркальна 1 x дзеркальна 2

Аналіз табл. 6 показує, що є 16 пар поєднань основних послідовностей Баркера. Кожна пара утворює однакову результуючу композитну послідовність. Відмінною особливістю кожної пари поєднань основних послідовностей є та, що якщо в одній є будь-які поєднання основних послідовностей, то в іншій мають бути інверсні поєднання цих послідовностей. Наприклад, якщо перше поєднання A7 x A11 (канонічна 1 x канонічна 2), то друге поєднання, що дає ту ж композитну послідовність, буде B7 x B11 (інверсна 1 x інверсна 2). Виключимо пари поєднань A7 x A11 – B7 x B11, B7 x A11 – A7 x B11, C7 x C11 – D7 x D11, D7 x C11 – C7 x D11, C7 x C11 – D7 x D11, D7 x C11 – C7 x D11, C7 x D11 – D7 x C11, D7 x D11 – C7 x C11, які дають основні композитні послідовності 776, 776 інв., 776 дзерк., 776 інв.дзерк. З 8 пар, що залишилися, виключивши повторювані, отримаємо 4 пари поєднань, які є новими (табл. 7).

Таблиця 7. Нові композитні послідовності Баркера 776

№ п/ п	Варіан т	Кодові конструкції нових композитних послідовностей
1.	C7 x A11 D7 x B11	-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1-1-1-1- 1+1+1+1-1+1+1-1+1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1- 1+1-1-1+1-1+1+1-1-1+1-1+1-1+1+1+1-1-1+1-1+1-1
2.	C7 x B11 D7 x A11	+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1+1-1- 1-1+1-1-1+1-1+1+1-1-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1+1-1+1+1- 1+1-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1
3.	A7 x C11 B7 x D11	-1+1-1-1+1-1-1+1+1+1-1+1-1-1+1-1-1+1+1-1+1-1+1- 1-1-1+1+1+1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1+1-1+1+1-1+1+1-1-1- 1-1+1-1-1+1-1-1+1+1+1 +1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1
4.	A7 x D11 B7 x C11	+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1+1-1+1+1- 1+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1-1-1+1+1+1-1+1-1+1-1-1-1- 1+1+1+1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1 -1+1-1-1+1-1-1+1+1

Виграш у коефіцієнті посилення ШПС

Розглянуті композитні послідовності 726 мають велику довжину а, отже, і більшу базу ШПС сигналу, ніж бази ШПС сигналів, що використовують канонічні послідовності 7 і 11, з яких вони отримані. Так, якщо як приклад взяти швидкість передачі інформаційної послідовності 1 Мбіт/с, то швидкість проходження окремих чіпів 11 послідовності Баркера складе 11×10^6 чіп/с, ширина спектра такого сигналу складе 22 МГц, база дорівнюватиме $B = 22$ (13,42 дБ), а коефіцієнт посилення ШПС при обробці складе 44 (16,43 дБ). Якщо ж за послідовність що розширює, взяти розглянуту послідовність 726, то швидкість слідування її окремих чіпів складе 77×10^6 чіп/с, ширина спектра - 154 МГц, база $B = 154$ (21,87 дБ), а коефіцієнт посилення ШПС при обробці складе 308 (24,89 дБ). Таким чином, виграш від застосування чіпів 776 замість чіпів 11 становитиме $24,89 - 16,43 = 8,46$ дБ. У табл. 8 наведено виграш у коефіцієнті посилення ШПС при обробці композитних кодів Баркера порівняно з максимальним канонічним кодом Баркера, що використовується у відповідному композитному коді при однаковій швидкості передачі інформації 1 МГц.

Таблиця 8. Виграш у коефіцієнті посилення ШПС під час обробки

Канонічні та комполитні коди Баркера	Кшпс канонічного коду Баркера (дБ)	Кшпс комполитного коду Баркера (дБ)	Виграш від застосування комполитних кодів (дБ)
7	14,47	14,47	-
11	16,43	16,43	-
14 (2x7; 7x2)	14,47	17,48	3,01
21 (3x7; 7x3)	14,47	19,24	4,77
22 (2x11; 11x2)	16,43	19,44	3,01
33 (3x11; 11x3)	16,43	21,21	4,77
49 (7x7)	14,47	22,92	8,45
77 (7x11; 11x7)	16,43	24,89	8,45
121 (11x11)	16,43	26,85	10,41

Висновки

1. Автокореляційні функції комполитних кодів Баркера, як і автокореляційна функція послідовностей Баркера, з яких вони складені, мають властивості скалярного добутку та автокореляційної функції, що дозволило збільшити кількість відомих комполитних послідовностей з 12 до 48.

2. Для кожної з розглянутих 12 комполитних послідовностей є від 8 до 16 варіантів побудови, які включають не тільки основні, але і нові послідовності.

3. Аналіз 16-ти варіантів для комполитної послідовності 726 дозволив знайти закономірність у побудові пар поєднань кодових конструкцій, що мають однакову АКФ, а також 4 пари поєднань, які є новими.

4. Застосування комполитних кодів Баркера дає виграш у коефіцієнті посилення ШПС при обробці, який залежить від швидкості передачі інформаційної послідовності. Для розглянутих комполитних послідовностей він може становити від 3,01 дБ до 10,41 дБ за швидкості передачі 1 МГц.

5. Методика пошуку нових кодових конструкцій з однаковою автокореляційною функцією для комполитної послідовності 726 може бути використана для пошуку нових поєднань кодових конструкцій для інших

композитних послідовностей Баркера. Це, у свою чергу, дозволить знаходити оптимальні взаємкореляційні функції з ансамблю пар нових кодових послідовностей, сформованих за описаною вище методикою для збільшення кількості абонентів та їх кодового поділу при роботі в загальній смузі частот.