

УДК 621.396.62:621.396.96

Чорнобородова Н.П.<sup>1</sup>, Чорнобородов М.П.<sup>2</sup>, Мезенок С.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> інж. ТОВ НВФ «Сведа, Лтд»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> студ. гр. РТ-911 НУ «Запорізька політехніка»

## ФАЗОВІ ПОСЛІДОВНОСТІ З МІНІМАЛЬНИМ РІВНЕМ БІЧНИХ ПЕЛЮСТОК АВТОКОРЕЛЯЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ

Фазоманіпульований (ФМ) сигнал – це послідовність  $N$  прямокутних радіоімпульсів однакової тривалості й амплітуди. Закон зміни початкової фази  $\phi$  кожного парціального радіоімпульсу визначає форму автокореляційної функції (АКФ) ФМ-сигналу і структуру фільтра його стиснення. Зміна  $\phi$  за кодом Баркера на  $180^\circ$  забезпечує оптимальну АКФ за простої структури узгодженого фільтра. Але коди Баркера відомі лише для унікальних фазових послідовностей на 3, 4, 5, 7, 11 й 13 імпульсів. Для решти значень  $N$  не було знайдено структури сигналу, яка б була узгодженою із структурою фільтра Баркера.

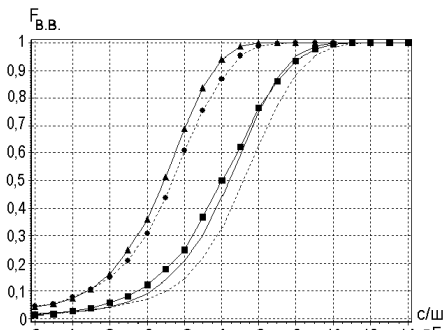
Альтернативою пошуку псевдощумових послідовностей з оптимальною АКФ є перехід до інших значень зсуву початкових фаз. За цього, когерентне накопичення головної пелюстки стиснутого сигналу стане можливим лише шляхом ускладнення узгодженого фільтра, у якому вагові коефіцієнти становитимуть не  $\pm 1$ , а комплексно спряжену гармонійну функцію.

У табл. 1 наведено нові фазові послідовності  $\phi_i$  і рівні пелюсток АКФ  $y_i$ . Тут не наведено відомі  $180^\circ$ -фазові послідовності Баркера, які теж можуть бути стиснені за допомоги ускладненого узгодженого фільтра.

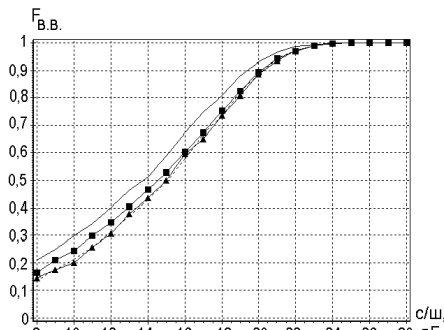
Таблиця 1 – Фазові послідовності  $\phi_i$  і рівні пелюсток АКФ  $y_i$

| Код No | N | $\phi_1$ | $\phi_2$ | $\phi_3$ | $\phi_4$ | $\phi_5$ | $\phi_6$ | $\phi_7$ | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ | $y_4$ | $y_5$ | $y_6$ | $y_7$ | $y_8$ | $y_9$ | $y_{10}$ | $y_{11}$ | $y_{12}$ | $y_{13}$ |
|--------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
| 3-2-1  | 3 | 120      | 0        | 0        |          |          |          |          | -1    | 1     | 3     | 1     | -1    |       |       |       |       |          |          |          |          |
| 3-3-1  | 3 | 0        | 60       | 0        |          |          |          |          | 1     | 1     | 3     | 1     | 1     |       |       |       |       |          |          |          |          |
| 3-3-2  | 3 | 0        | 90       | 0        |          |          |          |          | 1     | 0     | 3     | 0     | 1     |       |       |       |       |          |          |          |          |
| 3-3-3  | 3 | 0        | 120      | 0        |          |          |          |          | 1     | 1     | 3     | 1     | 1     |       |       |       |       |          |          |          |          |
| 4-3-1  | 4 | 0        | 120      | 0        | 0        |          |          |          | 1     | 1     | 0     | 4     | 0     | 1     | 1     |       |       |          |          |          |          |
| 4-6-1  | 4 | 0        | 90       | 90       | 0        |          |          |          | 1     | 0     | 1     | 4     | 1     | 0     | 1     |       |       |          |          |          |          |
| 4-6-2  | 4 | 0        | 120      | 120      | 0        |          |          |          | 1     | 1     | 0     | 4     | 0     | 1     | 1     |       |       |          |          |          |          |
| 5-10-1 | 5 | 0        | 120      | 120      | 120      | 0        |          |          | 1     | 1     | 0     | 1     | 5     | 1     | 0     | 1     | 1     |          |          |          |          |
| 7-23   | 7 | 0        | 120      | 0        | 120      | 120      | 0        | 0        | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 7     | 0     | 1     | 1        | 0        | 1        | 1        |

На рис. 1 й рис. 2 наведено родини характеристик виявлення корисного сигналу на тлі шумів за імовірності хибних тривог  $10^{-3}$  для кодових послідовностей довжини  $N=5..7$  й  $N=4$ , відповідно, у випадку обробки одиночного імпульсу зондування (а не пачки імпульсів). Як і очікувалось, криві виявлення більш довгих послідовностей ( $N=7$ ) проходять лівіше, більш коротких ( $N=5$ ) – правіше, ще коротших ( $N=4$ ) – ще правіше, на координатній площині.



послідовності: ▲ - 7-14 (код Баркера),  
 - - ● - 7-23 (120°), — - 5-3 (код Баркера),  
 - - - 5-9 (120°), — ■ — - 6-13 (138°)  
 Рисунок 1 – Характеристики виявлення корисного сигналу на тлі шумів за імовірності хибних тривог  $10^{-3}$  для  $N=5..7$



послідовності: — - 4-2 (код Баркера),  
 - - - 4-3-1 (120°), ■ - 4-3-2 (код Баркера),  
 - - ● - 4-6-1 (90°), — ▲ — - 4-6-2 (120°)  
 Рисунок 2 – Характеристики виявлення корисного сигналу на тлі шумів за імовірності хибних тривог  $10^{-3}$  для  $N=4$

Для порівняння, на рис. 2 також наведено характеристику виявлення для найліпшої (за критерієм мінімуму РБП) із знайдених кодових послідовностей довжини  $N=6$  6-13: {1; 0; 1; 1; 0; 0}. Її фазова послідовність - {138°; 0°; 138°; 138°; 0°; 0°}, а АКФ має вигляд {1; 0,71; 1,41; 1,41; 0,71; 6; 0,71; 1,41; 1,41; 0,71; 1}. Оскільки кодова послідовність 6-13 має рівень бічної пелюстки 1,41/6 (замість 1/6 як у кодів Баркера), тому характеристика виявлення розташовується не посередині між характеристиками для  $N=7$  й  $N=5$ , а мало відрізняється від характеристик для  $N=5$ .

На підставі дослідження статистичних параметрів й характеристик виявлення синтезованих фазових послідовностей зроблено висновок про можливість розширення ансамблю ФМ-сигналів з оптимальною АКФ з 7 шт. (кодів Баркера) до 16 шт. (див. табл.1).

Розширення ансамблю фазокодоманіпульованих сигналів стало можливим завдяки переходу до використання зміни фази з 0° на кут, що становить величину 60°, 90°, 120° або 180° в залежності від послідовності (див. табл. 1).