

РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ФАЗИ У МОДЕМАХ З КВАДРАТУРНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ЗА ДОПОМОГОЮ S-ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

К. т. н. А. В. Садченко, О. А. Кушніренко, Д. Д. Салабаш,
С. Є. Кисильов, Ю. О. Савчук

Національний університет «Одеська політехніка»
Україна, м. Одеса
koa@op.edu.ua

Знайдено новий клас бінарних послідовностей, що мають ідеальну аперіодичну автокореляційну функцію парних зрушень (*S*-послідовність) довжиною $N \geq 8$. Завдяки використанню *S*-послідовностей усувається невизначеність фази в модемах із квадратурною модуляцією для випадку QAM-16. Запропоновано структурну схему обчислювача згортки або узгодженого з *S*-послідовністю цифрового фільтра, а також структурну схему усунення невизначеності фази для QAM-16 модуляції. Встановлено, що використання цифрового блоку виявлення синхросигналу, що працює синхронно з двома квадратурами, дозволяє зменшити загальний час входження у фазовий синхронізм модемів з квадратурною модуляцією.

Ключові слова: квадратурна модуляція, неоднозначність фази опорного генератора, ідеальна автокореляційна функція.

У модемах, які використовують квадратурну модуляцію, для розв'язання задачі невизначеності фази опорного генератора приймача зазвичай використовується диференціальне кодування, що дозволяє визначити часове положення преамбули символного потоку даних. До недоліків диференціального кодування можна віднести слабку перешкодостійкість фільтра, узгодженого з диференціальним кодом на тлі інформаційного потоку даних.

Як синхропослідовність також можна використовувати біполярні (бінарні) послідовності (коди Баркера, *M*-послідовності) [1], а інформаційну модуляцію синхросигналу здійснювати за допомогою відносної фазової модуляції за крайніми сигнальними точками QAM-сузір'я. Приклад розташування сигнальних точок QAM-16 наведено на рис. 1, де виділені пари сигнальних точок, які можна використовувати для передачі синхросигналу за допомогою OFM-2 або QPSK.

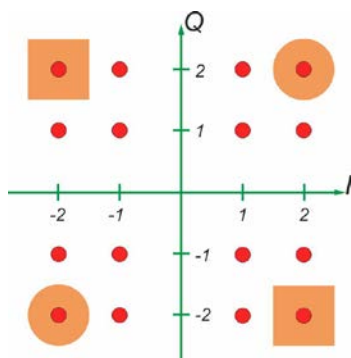


Рис. 1. Розташування сигнальних точок для модуляції для QAM-16 із зазначенням пар точок, за якими здійснюється модуляція OFM-2 або QPSK

Недолік кодів Баркера і *M*-послідовностей у тому, що їхня довжина є непарною, яка збільшується кратно $(2^n - 1)$, $n = 3, 4, 5, \dots$. Крім того, зі зростанням довжини послідовності збільшується за статичним законом (корінь з довжини) також амплітуда бічних пелюсток неперіодичної автокореляційної функції (АКФ) [1, 2].

У цій роботі пропонується розв'язання проблеми неоднозначності фази в модемі з квадратурною модуляцією за допомогою використання бінарних сигналів з властивістю ідеальної неперіодичної АКФ парних зрушень (*S*-послідовностями).

Слід зазначити, що за наявності символної синхронізації зміна квадратур I та Q буде також синхронною, що дозволяє в якості синхропослідовності використовувати бінарні сигнали з властивістю ідеальної неперіодичної АКФ парних зрушень, які назовемо S -послідовностями.

Неперіодична АКФ парних зрушень для S -послідовності визначається за формулою

$$R(k) = \sum_{m=0}^{N-1} S(m)S(m-k) \{(k+1) \bmod 2\} = \begin{cases} N & \text{при } k = 0; \\ 0 & \text{при } k \neq 0, \end{cases} \quad (1)$$

де S — послідовність довжиною N ; $k = -\frac{N}{2} + 1; \frac{N}{2} - 1$.

Вигляд послідовностей АКФ довжиною 8, 16, 20 представлено на рис. 2.

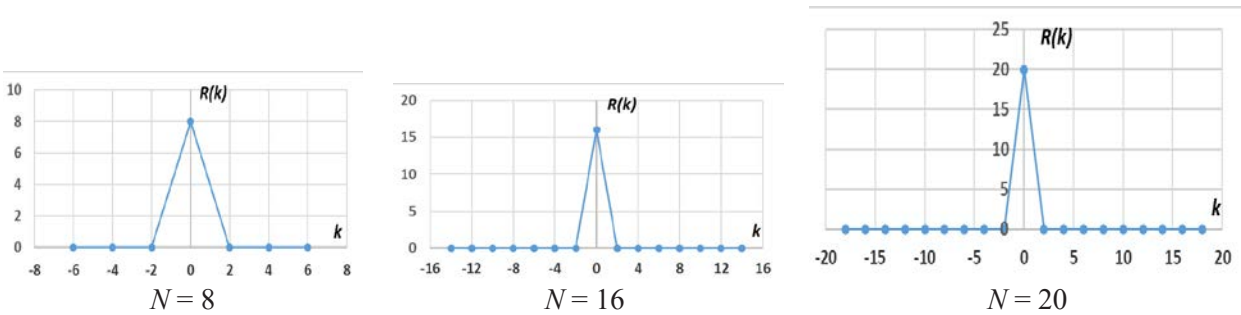


Рис. 2. Вигляд послідовностей АКФ різної довжини

Оскільки дані у квадратурах цифрових систем оновлюються строго синхронно, стає можливим обчислення АКФ заданого сигналу, використовуючи в процесі згортки псевдопарні зрушення. Псевдопарність полягає в тому, що лінії затримки працюють як завжди, зрушуючи вхідні сигнали на одну позицію за кожен такт, однак на суматорі через подвійний набір даних кожен такт дані зсуваються на дві позиції. Структурну схему такого обчислювача для довжини $N=8$ наведено на рис. 3, де Clk_symb — тактовий сигнал (із частотою слідування символів); $Logical\ multiplier$ — логічний множувач, $Threshold$ — компаратор з порогом z ; $Tsymb$ — лінія затримки, I, Q — сигнали у квадратурних каналах, $h_0 \dots h_7$ — вагові коефіцієнти.

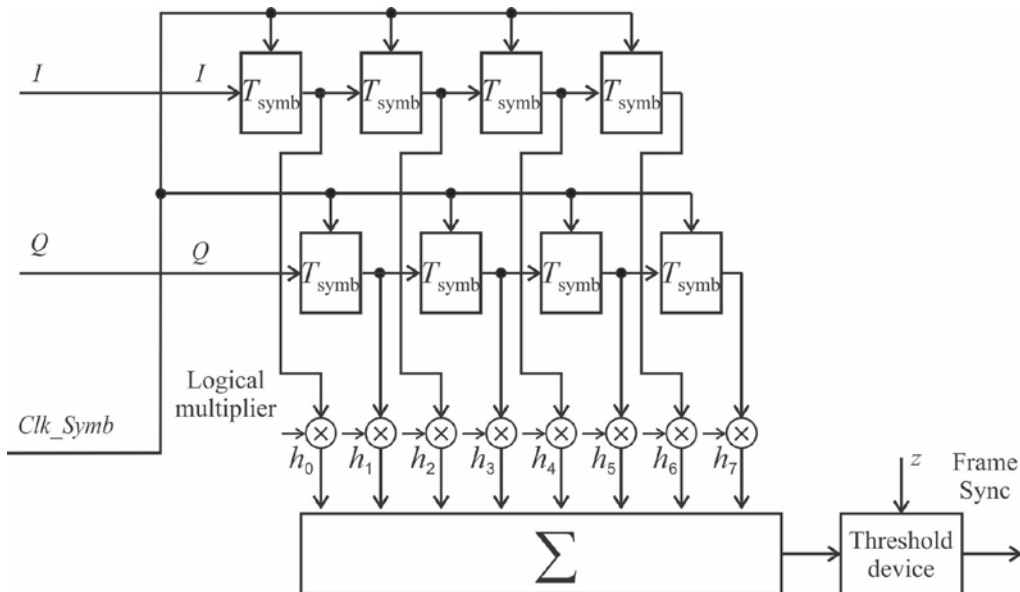


Рис. 3. Структурна схема обчислювача згортки або цифрового фільтра, узгодженого з S -послідовністю

На основі виявника синхросигналу можна реалізувати схему усунення неоднозначності фази, представлену на рис. 4, де *Threshold* — компаратор з двома порогами z_1 та z_2 . Оскільки для сузір'я QAM-16 існує 12 стійких станів площини сигнального сузір'я після початкової синхронізації за допомогою петлі Костаса (*Costas Loop Timing Recovery Device*), схема містить 12 цифрових фільтрів синхрорядності (*Digital Matched filter*), кожен з яких узгоджений з відповідним фазовим зсувом. Рішення про кут повороту сигнального сузір'я приймається на виході декодера (*Decoder*) з аналізу максимального значення відгуку в одному з 12 каналів. Кут повороту площини сигнального сузір'я обчислюється шляхом множення номера каналу на 30° у блоці обчислення фазового зсуву (*Calculator $\Delta\varphi$*). Потім блок обчислення фазового зсуву здійснює підстроювання гетеродина квадратурного демодулятора (*Demodulator with quadrature processing*).

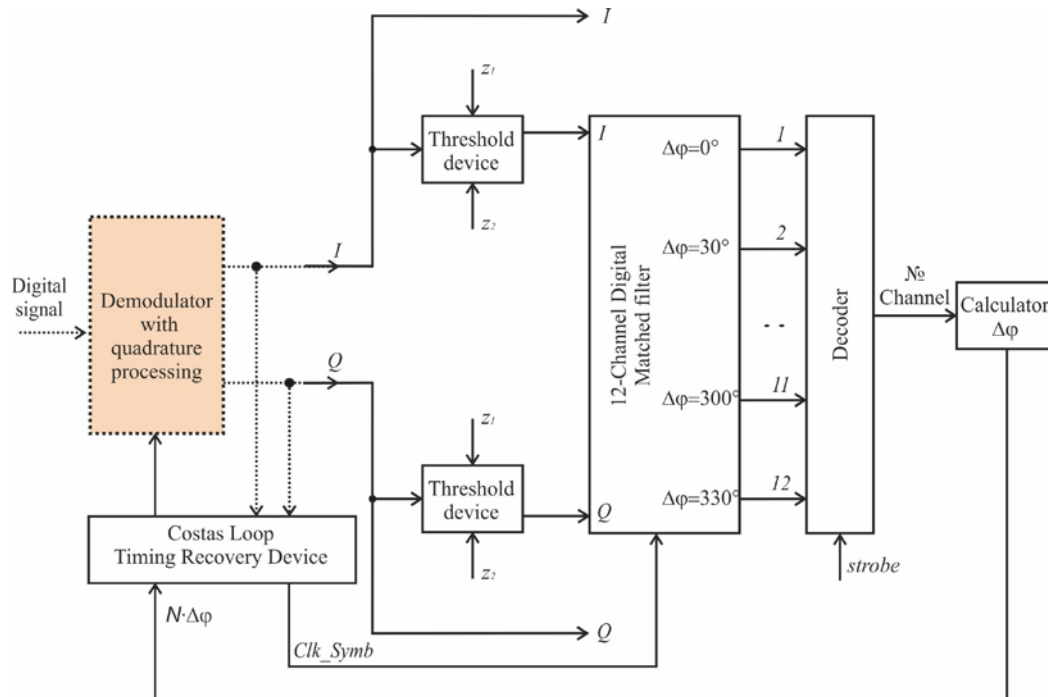


Рис. 4. Структурна схема усунення неоднозначності фази QAM-16

Таким чином, використання цифрового блоку виявлення синхросигналу, що працює синхронно з двома квадратурами, та *S*-послідовності з ідеальними аперіодичними АКФ як синхросигналу дозволяє усунути невизначеність фази сигнального сузір'я та підвищити швидкість входження в синхронізм модемів з квадратурною модуляцією при зниженні апаратної складності схеми фазової синхронізації.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Банкет В. Л. *Методи передачі інформації в системах безпроводного доступу к телекомунікаційним сетям нового поколення*. Одеса, ОНАС, 2013, 178 с.
2. Садченко А. В., Кушниренко О. А., Кошелев Е. К., Бондар В. И. Быстродействующий алгоритм восстановления несущей частоты и кадровой синхронизации в модемах с QPSK-модуляцией. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2018, № 1, с. 28–35. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2018.1.28>

A. V. Sadchenko, O. A. Kushnirenko, D. D. Salabash, S. E. Kysylov, Yu. A. Savchuk

Solution to the problem of phase uncertainty in modems with quadrature modulation using S-sequences

A new class of binary sequences with an ideal aperiodic autocorrelation function of pairwise shifts (*S*-sequence) of length $N >= 8$ is found. The use of *S*-sequences eliminates phase uncertainty in QAM modems for the QAM-16 case. The paper proposes a block diagram of a convolution calculator or a digital filter matched with an *S*-sequence, as well as a block diagram of phase uncertainty elimination for QAM-16 modulation. It is established that the use of a digital block for detecting a clock signal operating synchronously with two quadratures makes it possible to reduce the total time for phase matching of modems with quadrature modulation.

Keywords: quadrature modulation, reference oscillator phase ambiguity, ideal autocorrelation function.