

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ СТИСНЕННЯ ДАНИХ ПРЕДСТАВЛЕНИХ ГАРМОНІЧНИМИ СИГНАЛАМИ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ ПОРОГОВИХ ФУНКЦІЙ

© Яцків Наталія, 2003

Запропоновано метод кодування гармонічних сигналів, який дає можливість зменшити об'єм даних при передаванні та зберіганні синусоїдальних сигналів.

In this work the coding method of harmonic signals is proposed. This method enables to reduce the volume of data during transmission and storage of signals.

Швидке зростання об'ємів інформаційних потоків в сучасних інформаційних системах та мережах ставить актуальну задачу зменшення надлишковості цифрових даних на всіх етапах їх руху: при формуванні, передаванні, цифровій обробці та їх зберіганні на цифрових носіях.

Особливо актуальною є задача зменшення надлишковості представлення гармонічних сигналів, що, як відомо, приводить до різкого зниження ефективності кодування існуючими методами, а в окремих випадках, до збільшення об'ємів даних відносно початкових. Крім того, відомі методи стиснення даних практично не захищені від збоїв і помилок, особливо вставок і стирань в біт-орієнтованих потоках, що ускладнює і знижує ефективність їх застосування в системах реального часу, які передбачають керування складними технологічними об'єктами, вихід з ладу яких може призводити до екологічних і соціальних катастроф.

Нехай маємо один період синусоїди, яка описується рівнянням (рис. 1)

$$x_1(t) = A_0 \cdot \sin(\omega \cdot t),$$

де A_0 – амплітуда; ω – частота; t – час.

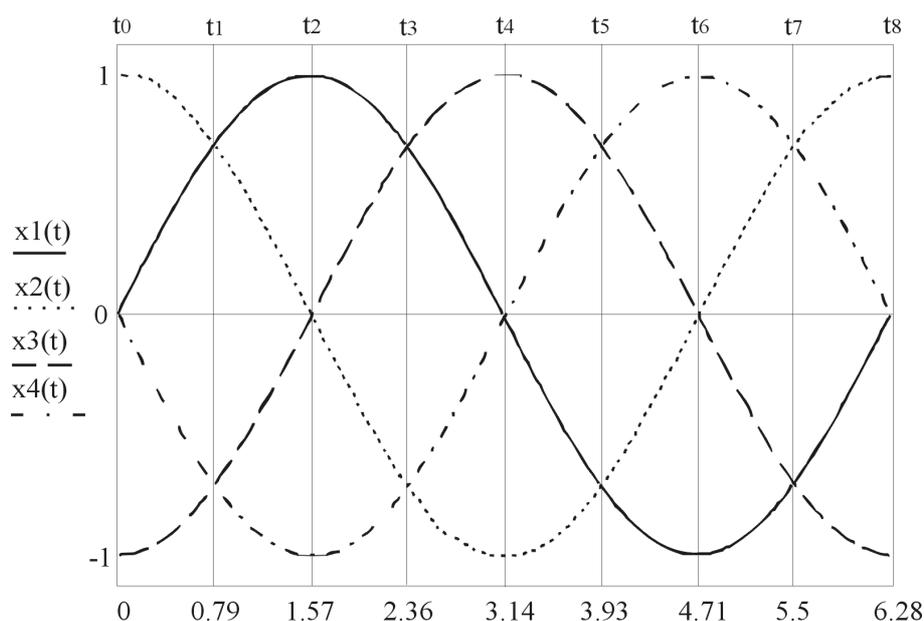


Рис. 1. Чотирифазний гармонічний сигнал

Побудуємо на цьому ж графіку косинусоїди

$x_2(t) = A_0 \cdot \cos(\omega \cdot t)$ і $x_3(t) = A_0 \cdot \cos(\omega \cdot t + \pi)$ і синусоїду $x_4(t) = A_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi)$.

Так отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} x_1(t) = A_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \\ x_2(t) = A_0 \cdot \cos(\omega \cdot t) \\ x_3(t) = A_0 \cdot \cos(\omega \cdot t + \pi) \\ x_4(t) = A_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi) \end{cases}$$

З рис. 1 видно, що наведені функції мають ряд особливих точок, залежно від параметра t :

$$t = 0, \quad x_2(t) = A_0$$

$$t = 1, \quad x_1(t) = x_2(t)$$

$$t = 2, \quad x_1(t) = A_0$$

$$t = 3, \quad x_1(t) = x_3(t)$$

$$t = 4, \quad x_3(t) = A_0$$

$$t = 5, \quad x_3(t) = x_4(t)$$

$$t = 6, \quad x_4(t) = A_0$$

$$t = 7, \quad x_4(t) = x_2(t)$$

1)

Оскільки функція є періодичною, то в точці $t = 8$ маємо повторення $t = 0$.

Отже, при подачі на вхід нейронних (порогових) систем вхідного синусоїдального сигналу з довільною фазою і чотирифазним пороговим приймачем, описаного системою рівнянь (1) (рис. 2), на виході отримаємо послідовність імпульсів (рис. 3).

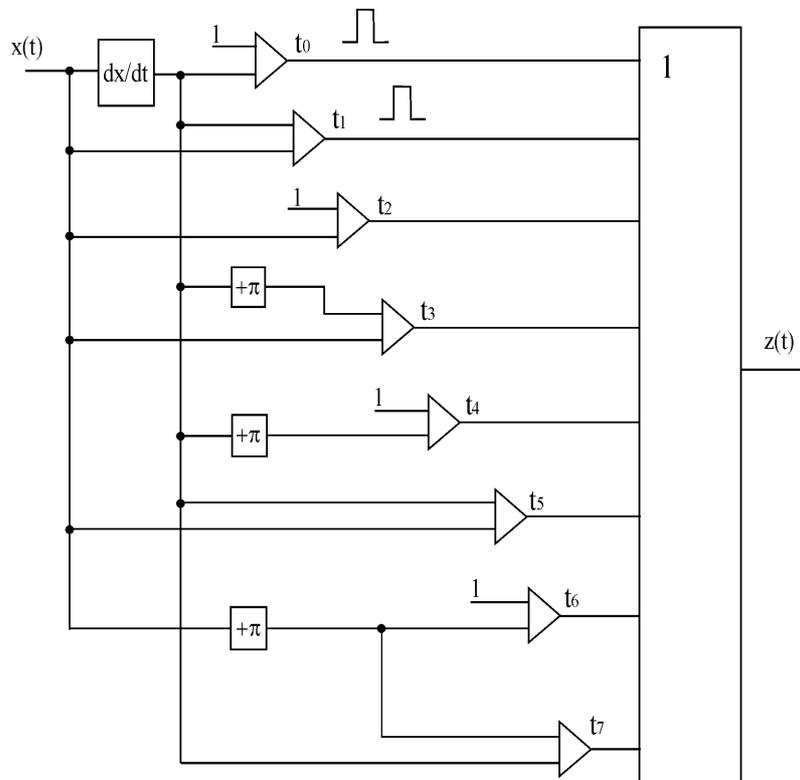


Рис. 2. Порогова схема: $z(t)$ – реакція порогової схеми на вхідний синусоїдальний сигнал

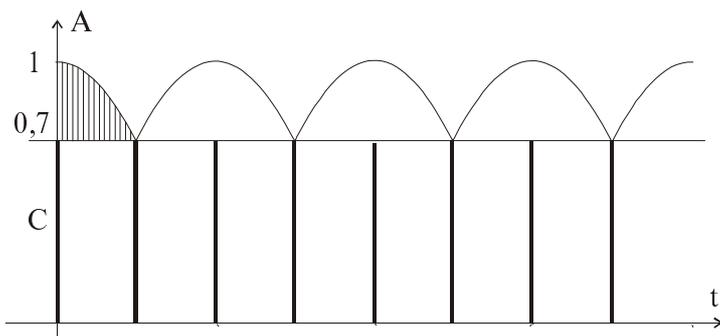


Рис. 3. Реакція порогової схеми на вхідний синусоїдальний сигнал

Отже, рис. 3 ілюструє можливість представлення вхідного синусоїдального сигналу у вигляді послідовності імпульсів.

Групування імпульсів відносно рівності похідної і сигналу відносно точок максимуму амплітуди синусоїди дозволяє однозначно визначити фазу вхідного сигналу при декодуванні (відновленні) інформації.

У результаті гармонічний синусоїдальний сигнал можна закодувати, використовуючи сумісне представлення в базисі Радемахера так:

$$\{A_0, t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7\}.$$

Саме представлення синусоїди між точками t_i подається графіком (рис. 4).

Графік $z(t)$ показаний на рис. 3.

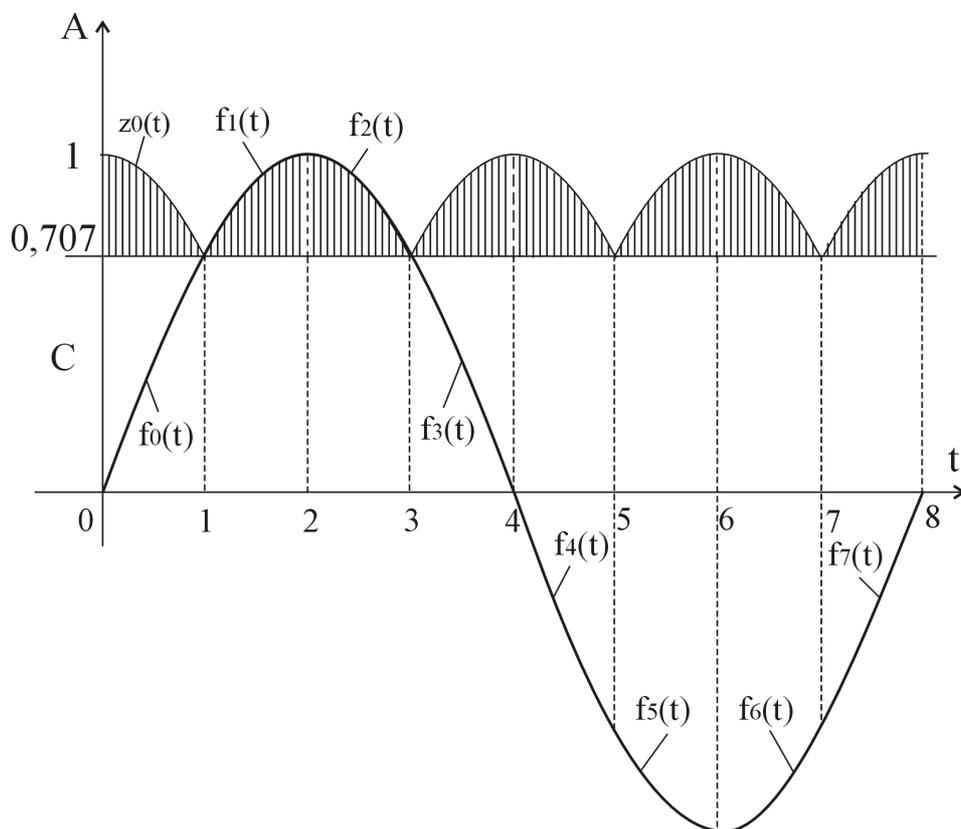


Рис. 4. Декодування синусоїди на основі фрагмента $z_0(t)$

Декодування гармонічного сигналу відбувається на основі алгоритму:

$$x(t) = \begin{cases} t_0 \leq t < t_1, & f_0(t) = \int_0^t (z_0(t) + C) dt; \\ t_1 \leq t < t_2, & f_1(t) = C + z_0(t); \\ t_2 \leq t < t_3, & f_2(t) = C + z_0(t); \\ t_3 \leq t < t_4, & f_3(t) = \frac{d(z_0(t) + C)}{dt}; \\ t_4 \leq t < t_5, & f_4(t) = \frac{d(z_0(t) + C)}{dt}; \\ t_5 \leq t < t_6, & f_5(t) = 0 - ((z_0(t) + C)); \\ t_6 \leq t < t_7, & f_6(t) = 0 - ((z_0(t) + C)); \\ t_7 \leq t < t_8, & f_7(t) = 0 - \left(\int_0^t (z_0(t) + C) dt \right) \end{cases} \quad (2)$$

У результаті всі ці функції можуть бути зведені до одного фрагмента (рис. 5), за допомогою якого можна однозначно відновити гармонічний сигнал.

$$x_i(t) = C \pm F(y_i),$$

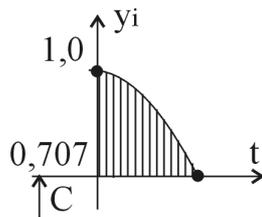


Рис. 5. Фрагмент сигналу

де $C = 0,707$.

Інформація на виході кодера на інтервалі періоду синусоїди представляється двома масивами членом A_{y_0} – яке характеризує амплітуду синусоїди, що вважається незмінною протягом періоду і масив кодів $\{t_i\}$, які відповідають моментам зміни функцій в алгоритмі (1).

На основі системи рівнянь (2) однозначно відновлюється значення синусоїди, якщо в пам'яті записано такий масив:

$$\{A_{y_0}\}, \{t_i\}.$$

Дане представлення має два недоліки:

1) маніпуляція сигналу синусоїди чотирма фазами не дозволяє синхронізуватися (визначити перехід функції через 0);

2) кодування моментів часу t в базисі Радемахера приводить до великої надлишковості.

Оцінимо ентропію джерела при описаному способі кодування:

$$I_x = \hat{E}[\log_2 y_{i\max}] + 7 \cdot \hat{E}[\log_2 T],$$

де $y_{i\max}$ – максимальне значення фрагмента функцій $x(t)$; T – максимальна тривалість одного періоду синусоїди.

Наприклад, при передаванні сигналів стандартами ІКМ $A_{0x} = 256$ частота дискретизації 8 кГц.

При кодуванні описаним способом

$$y_{i\max} = (1 - C) \cdot A_{0x},$$

де $C = \frac{\sqrt{2}}{2}$; $y_{i\max} = 75$ біт.

Звідки $\hat{E}[\log_2 y_{i\max}] = \hat{E}[\log_2 75] = 7$ біт.

Якщо частота сигналу F_c змінюється від 10 Гц до 4000 Гц, відповідно період T змінюється від 100000 до 250 мкс.

Визначимо кількість розрядів для кодування t_1 : $\hat{E}[\log_2 100000] = 17$ біт.

Тобто ентропія буде дорівнювати

$$I = 7 + 17 \cdot 8 = 143 \text{ біт.}$$

Аналіз запропонованого методу кодування показує, що реєструвати всі інтервали t_i недоцільно, їх можна буде обчислити в процесорі декодера, якщо припустити допущення, що час t_i є базовим, і на одному періоді не змінюється, тобто $t_1 = t_2 = t_3 = \dots = t_8$.

У даному випадку код синусоїди буде представлений двома кодами:

$\{y_{i\max}, t_1\}$ і об'єм даних, який однозначно описує параметри синусоїди, буде дорівнювати:

$$I_2 = 7 + 17 = 24 \text{ біт.}$$

Дослідження методу адаптивного кодування з використанням кодів поля Галуа [1] показує, що порівняно з адаптивним кодуванням кодування номерів активних відліків є ефективним при числі цих відліків $< 50\%$.

Тому пропонується метод кодування синусоїдальних сигналів, які базуються на наступному: при переході синусоїди через 0 і додатній похідній, що відповідає рівнянням:

$$\begin{cases} x(t) = 0 \\ dx/dt > 0 \end{cases}$$

формується код $y_{i\max}$, на базі цієї похідної $y_{i\max} = \frac{dx(t)}{dt} - C$.

Даний код реєструється, як ми показали раніше і має об'єм 7 біт. У цей самий момент інвертується біт Галуа. Після цього реєструється інтервал часу t_1 . Якщо амплітуда наступного періоду синусоїди (похідна, яка визначає амплітуду в нульовій точці $\frac{dx(t)}{dt_{01}} = \frac{dx(t)}{dt_{02}}$), то

реєстрація $y_{i\max}$ може не відбуватись, якщо кодується прямим бітом Галуа.

Дослідження запропонованого методу кодування гармонічних сигналів проведено на основі даних знятих цифровим реєстратором аналогових сигналів, розробленим в Інституті мікропроцесорних систем керування об'єктами електроенергетики (м. Львів), який забезпечує реєстрацію (осцилографування) миттєвих значень електричних параметрів (струмів, напруг) на первинному електричному обладнанні у передаварійних і аварійних режимах. Перетворення аналогового сигналу в цифровий здійснює 12-розрядне АЦП з частотою дискретизації $f_d = 1950$ Гц.

Оцінимо ентропію джерела при заданих параметрах:

$$I = n \cdot l + t_1,$$

де n – розрядність АЦП; l – кількість вибірок сигналу, $l = f_0 \cdot T$; T – період сигналу в електричній мережі. При $n = 12$, $l = 1950 \cdot 0.02 = 39$.

Отже, для кодування одного періоду гармонічного сигналу необхідно:

$$I = 12 \cdot 39 = 468 \text{ біт.}$$

При кодуванні вказаних сигналів запропонованим методом для $n = 12$:

$$y_{i\max} = \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right) \cdot 2^n = 0.293 \cdot 4096 = 1200.$$

Звідки $n_1 = \hat{E}[\log_2 y_{i\max}] = \hat{E}[1200] = 11$ біт,

отже ентропія буде дорівнювати

$$I_1 = \left(\hat{E}\left[\frac{1}{8}\right] \cdot n_1 \right) + t_1 = 55 \text{ біт.}$$

При застосуванні запропонованого методу для потокового кодування параметр часу t_1 можна представити послідовністю Галуа типу: 11101000 [2].

Кодування бітами Галуа гарантує цілісність пакета даних і дає пікову синхронізацію синусоїди, тому що ця послідовність має особливу автокореляційну функцію [3].

Недоліком порогового аналізу вхідного синусоїдального сигналу на основі чотирифазних компонентів є необхідність кодування нульової фази кожного періоду, що приводить до рівновіддаленості відліків, які кодують час комутації фрагментів синусоїди, який потребує спеціального кодування в Галуа, хоча це не призводить до зростання надлишковості.

Розглянемо адаптивне кодування в базисі Галуа сигналу, наведеного на рис. 6.

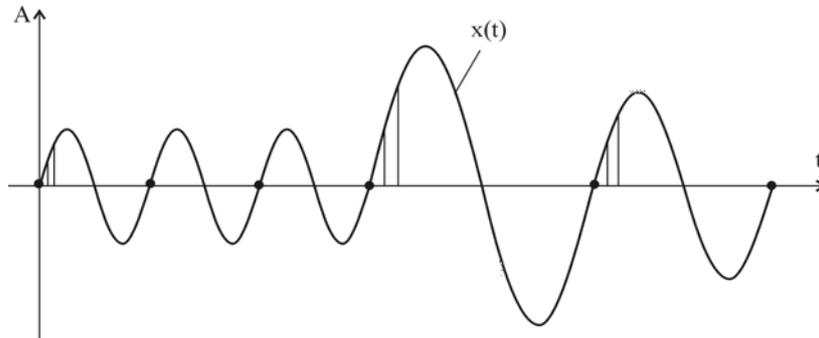


Рис. 6. Приклад гармонічного сигналу

У результаті кодування отримаємо такий масив даних:

$$\bar{G} y_i G G \bar{G} y_i \bar{G} y_i,$$

де \bar{G} – інвертований біт Галуа, якщо похідна в точці $x(t) = 0$ змінила значення;

G – прямий біт Галуа, якщо $\frac{dx(t)}{dt_{01}} = \frac{dx(t)}{dt_{02}}$, тобто параметри сигналу не змінилися.

Об'єм даних для вищевказаних параметрів дорівнює:

$$I_x = \bar{G} + y_1 + G + G + \bar{G} + y_2 + \bar{G} + y_3 = 1 + 7 + 1 + 1 + 1 + 7 + 1 + 7 = 26 \text{ біт.}$$

При впливі завад типу “стирання” або вставок інформаційних бітів при кодуванні часу розрядно-позиційним кодом є неефективне і незавадозахищене, тоді як кодування шляхом інверсії бітів Галуа дозволяє однозначно прив'язати суттєві відліки ($y_{i\max}$) до фактичних значень часу незалежно від попередніх помилок.

Коефіцієнт стиснення запропонованого методу кодування гармонійних сигналів становить $k_c = 8.5$, а при використанні адаптивного кодування в базисі Галуа $k_c > 10$ залежно від кількості активних періодів гармонійного сигналу.

1 Яцків Н.Г. Методи стиснення даних в інформаційно-керуючих системах // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ: Серія: “Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 2001. – № 37. – С. 183 – 186. 2. Николайчук Я. М. Основи побудови обчислювальних систем на базі вертикальної інформаційної технології // Тези наук.-практ. конф. професорсько-викладацького складу. – Івано-Франківськ. – 1999. – С. 90 – 92. 3. Петрович И.Т., Размахнин М.К. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Советское радио, 1969. – 232 с.