

Інфокомунікаційні системи

УДК 651.326

А.Е. Горюшкін

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕДАВАЛЬНОГО ТРАКТУ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ

Надані пропозиції щодо формування каналних сигналів та вибір виду імпульсної модуляції для побудови систем передачі з часовим розділенням каналів. Вибір виду імпульсної модуляції визначає якість функціонування багатоканальних систем передачі, для оцінки якої використовуються різні критерії, який здійснюється на основі порівняння завадостійкості при прийманні АІМ, ШІМ і ФІМ сигналів.

Ключові слова: система передачі, часове розділення каналів, модуляція, передавальний тракт, періодична послідовність прямокутних імпульсів.

Вступ

Ідея часового розділення каналів (ЧРК) полягає в тому, що елементи первинного сигналу $s_i(t)$, що належить i -му каналу, передаються в інтервалах часу τ_{ki} , що не перекриваються, вільних від сигналів інших каналів, по загальній лінії зв'язку.

Постановка проблеми. Розглянуті питання, пов'язані з особливостями побудови передавального тракту в системах передачі даних з часовим розділенням каналів, у тому числі в цифрових системах передачі. Розглянуто засоби підвищення ефективності функціонування певних елементів схеми передавального тракту цифрових систем передачі.

Аналіз літератури. У літературі, присвяченій телекомунікаційним системам [1, 4], дедалі більше уваги приділяється методам розділення каналних сигналів. У роботах [2, 7] представлений принцип побудови систем передачі з часовим розділенням каналів. Види імпульсної модуляції для систем з часовим розділенням каналів більш детально розглянуто у [3, 5, 6].

Мета – розробка пропозицій щодо формування каналних сигналів та вибір виду імпульсної модуляції для побудови систем передачі з часовим розділенням каналів.

Результати досліджень

У системах передачі з часовим розділенням каналів ЧРК переносниками є періодичні послідовності прямокутних імпульсів, зрушені відносно один одного на величину захисного інтервалу τ_s , параметри яких змінюються за законами зміни первинних сигналів. Періодична послідовність прямокутних імпульсів (ПППІ) із зазначенням всіх її параметрів наведена на рис. 1.

Основними параметрами ПППІ є: A – амплітуда імпульсів, τ_i – тривалість імпульсів, T_d – період про-

ходження імпульсів або $F_{\bar{a}} = 1/T_{\bar{a}}$ – частота проходження чи тактова частота періодичної послідовності імпульсів (кругова частота проходження $\Omega_{\bar{a}} = 2\pi F_{\bar{a}}$), положення імпульсів щодо тактових точок $t_i = iT_{\bar{a}}$, $i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, і скважність ПППІ $q = T_{\bar{a}}/\tau_s$.

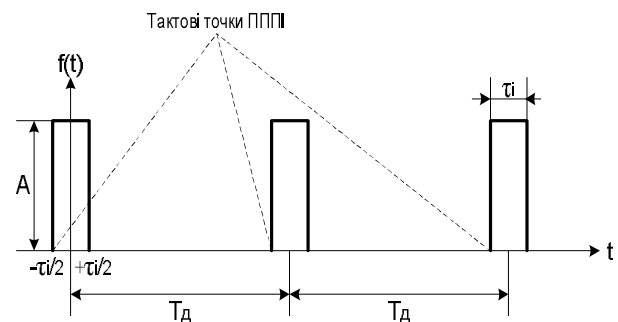


Рис. 1. Переносник – періодична послідовність прямокутних імпульсів

У сучасних СП з ЧРК значення скважності знаходиться у межах 20...2500 [2].

Періодичну послідовність прямокутних імпульсів можна представити в аналітичній формі.

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sigma(t - kT_{\bar{a}}), \quad (1)$$

де $\sigma(t)$ – функція, що описує поодинокий імпульс вихідної послідовності $f(t)$.

Для ПППІ (рис. 1) функція $\sigma(t)$ має вигляд (2).

$$\sigma(t) = \begin{cases} A & \text{і } \delta \text{è } -\tau_s/2 \leq t \leq \tau_s/2; \\ 0 & \text{і } \delta \text{è } t < -\tau_s/2, t > \tau_s/2. \end{cases} \quad (2)$$

З іншого боку, ПППІ $f(t)$ може бути представлена рядом Фур'є.

$$f(t) = A \left[\frac{\tau_s}{T_{\bar{a}}} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\sin \left(n\pi \frac{\tau_s}{T_{\bar{a}}} \right)}{n} \right) \cdot \cos(n\Omega_{\bar{a}} t) \right], \quad (3)$$

де $\Omega_{\bar{a}} = 2\pi/T_{\bar{a}}$ – кругова частота послідовності $f(t)$.

Як випливає з (3), спектр ПППІ містить у собі постійну складову з амплітудою, рівною $A_0 = A \cdot (T_a / \tau_s) = A/q$ і гармоніки частоти проходження – частоти дискретизації з амплітудами, що наведені у (4).

$$A_{i\bar{a}} = \frac{2A}{\pi} \cdot \left(\frac{\sin\left(n\pi \frac{\tau_s}{T_a}\right)}{n} \right) \cdot \cos(n\Omega_a t) = (2A/(\pi n)) \cdot \sin(n\pi/q) \cos(2n\pi F_a t). \quad (4)$$

Спектр ПППІ наведено на рис. 2.

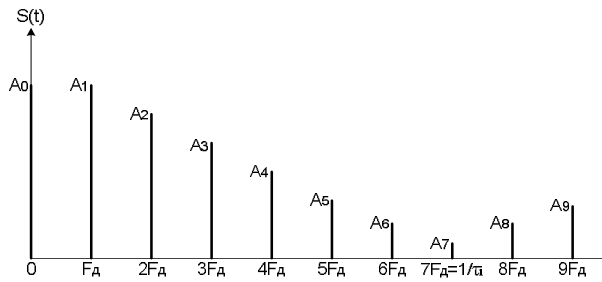


Рис. 2. Спектр амплітуд періодичної послідовності прямокутних імпульсів

Відомо, що обвідна спектра амплітуд ПППІ відповідає спектру поодинокого прямокутного імпульсу тривалістю τ_s , а число гармонік тактової частоти

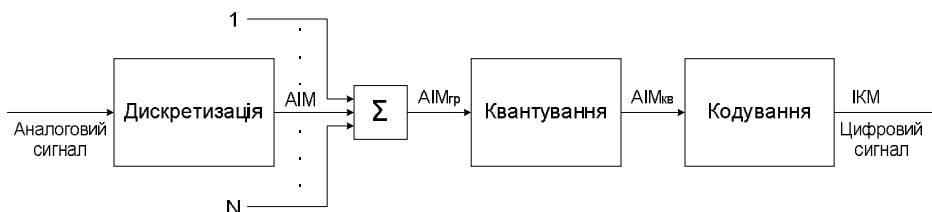


Рис. 3. Принципи формування цифрового групового сигналу

Формування каналних сигналів у СП з ЧРК здійснюють на основі модуляції одного з основних параметрів ПППІ. В основному знайшли застосування три види імпульсної модуляції: амплітудно-імпульсна (АІМ), широтно-імпульсна (ШІМ) і часова імпульсна модуляція, різновидами якої є фазоімпульсна модуляція (ФІМ) та частотно-імпульсна модуляція (ЧІМ) [3].

Вибір виду імпульсної модуляції визначає якість функціонування багатоканальних систем передачі, для оцінки якої використовуються різні критерії (критерій завадостійкості, критерій використання пропускну спроможності й критерій ефективності). Інтегральним показником якості є критерій завадостійкості. Саме завадостійкість визначає пропускну спроможність і ефективність, під якою розуміється значення питомої мінімальної енергії сигналу, що припадає на одну двійкову одиницю інформації. З погляду передачі не має принципового значення, який вид імпульсної модуляції використати. Тому вибір виду імпульсної модуляції здійснюють на основі порівняння завадостійкості при прийманні АІМ, ШІМ і ФІМ сигналів [1].

(частоти проходження) до першого нуля спектра амплітуд дорівнює $q-1$, тобто на одиницю менше скважності послідовності імпульсів q . І крім того, більше ніж 90...95 % потужності періодичної послідовності імпульсів зосереджено в смузі частот від 0 до $F_1 \hat{=} 1/\tau_s$. Отже, для передачі вихідної ПППІ по каналам, трактам і лініям зв'язку їхня смуга частот повинна бути не менше $\Delta F = 1/\tau_s$. У сучасних цифрових системах передачі з ВРК при використанні імпульсно-кодової модуляції при формуванні групового цифрового сигналу передбачається послідовне виконання наступних основних операцій (рис. 3):

- 1) дискретизації безперервних первинних сигналів за часом, у результаті чого формується імпульсний сигнал, промодульований по амплітуді, тобто АІМ сигнал;
- 2) об'єднання N індивідуальних АІМ сигналів у груповий АІМ сигнал з використанням принципів часового розділення каналів;
- 3) квантування групового АІМ сигналу за рівнем;
- 4) послідовного кодування відліків групового АІМ сигналу, у результаті чого формується груповий ІКМ сигнал, тобто цифровий сигнал, що представляє послідовність струмових («одиниць») і безструмових («нулів») елементів [2].

Для оцінки завадостійкості різних видів імпульсної модуляції зробимо наступні припущення.

До входу приймального пристрою СП з ВРК надходить груповий сигнал $\tilde{S}(t)$, являє собою сукупність каналних сигналів $S(t)$ та завади $n(t)$.

$$\tilde{S}(t) = S(t) + n(t); \quad (5)$$

При цьому основним видом завад є білий шум з енергетичним спектром $G(f) = G_0 = \text{const}$ і з середньою потужністю σ_s^2 . Максимальне значення корисного сигналу на вході приймального пристрою СП з ВРК дорівнює $A_{\text{макс}}$, що під впливом завади змінюється у певних межах. На виходах фільтрів нижніх частот каналів утворюються первинні сигнали $\tilde{c}(t)$, які являють собою корисні сигнали $c(t)$ і перетворену заваду $\varepsilon(t)$.

$$\tilde{c}(t) = c(t) + \varepsilon(t). \quad (6)$$

Під завадостійкістю сигналів будемо розуміти співвідношення (7).

$$\eta = W_n / W_\varepsilon, \quad (7)$$

де W_c – потужність корисного сигналу на виході ФНЧ зі смугою пропускання $\Delta F_{\text{ФЧ}}$; W_s – потужність завади на виході ФНЧ.

Завадостійкість АІМ сигналів визначається наступним співвідношенням.

$$\eta_{\lambda^2 i} = \frac{m_a^2}{2} \frac{A_i^2 \Delta \tau_i}{G_0 \Delta F_i \times T_a} \frac{\tau_\delta}{T_a} = \frac{m_a^2 A_i^2 \Delta \tau_i}{2q G_0 \Delta F_i \times T_a} \quad (8)$$

Для АІМ $m_a = 1$. Таким чином, максимальне значення завадозахищеності АІМ сигналів не перевищує наступного значення.

$$\eta_{\lambda^2 i} \leq A_i^2 \Delta \tau_i / (2q G_0 \Delta F_i \times T_a) \quad (9)$$

Завадостійкість ШІМ і ФІМ сигналів визначають як

$$\eta_{\phi^2 i}, \hat{\phi}^2 i = \frac{1}{2} \frac{A_i^2 \Delta \tau_i}{G_0 \Delta F_i \times T_a} \frac{\tau_\delta}{T_a} \left(\frac{\Delta \tau_i}{\tau_\delta} \right)^2 = \frac{A_i^2 \Delta \tau_i}{2q G_0 \Delta F_i \times T_a} \frac{\Delta \tau_i^2}{\tau_\delta^2} \quad (10)$$

З урахуванням (9) завадостійкість ШІМ і ФІМ сигналів визначають наступним співвідношенням.

$$\eta_{\phi^2 i}, \hat{\phi}^2 i = \eta_{\lambda^2 i} \cdot \left(\Delta \tau_i^2 / \tau_\delta^2 \right), \quad (11)$$

де m_a – коефіцієнт, що характеризує глибину модуляції; A_{\max} – максимальне значення корисного сигналу; G_0 – енергетичний спектр завади; $\Delta F_{\text{ПЧ}}$ – смуга пропускання; $q = T_a / \tau_\delta$ – скважність імпульсів канального сигналу; τ_δ – тривалість переднього (заднього) фронту імпульсу; $\Delta \tau_{\max}$ – максимальне відхилення фронту імпульсу при модуляції [1].

Системи передачі на основі ШІМ і ФІМ мають значно більшу завадостійкість, ніж системи передачі з АІМ, тому що останні виключають можливість застосування обмежників амплітуд у тракці приймання. У зв'язку з цим амплітудно-імпульсна модуляція мало придатна для побудови СП з ЧРК підвищеної завадостійкості. АІМ знаходить застосування як проміжне перетворення при реалізації та демодуляції більш складних видів імпульсної модуляції (ШІМ, ФІМ, ІКМ) або їх інших різновидів, які є комбінаціями класичних видів імпульсної модуляції.

При виборі ШІМ або ФІМ виходять із наступного. При однаковій смузі пропускання лінійного тракту СП з ЧРК і однаковій формі імпульсів завадостійкість ШІМ і ФІМ практично однакова, але при ШІМ спрощується побудова приймального пристрою. З іншого боку, при ШІМ середня потужність сигналу більше, ніж при ФІМ, тому що для забезпечення можливості модуляції імпульсів їх середню тривалість при ШІМ доводиться брати більшою, ніж при ФІМ. При збе-

реженні середньої потужності сигналу, перехід до ФІМ дає можливість збільшити амплітуду імпульсів A_{\max} і тим самим збільшити відношення сигнал/завада на вході приймального пристрою (10).

Варто також мати на увазі, що при ШІМ ширина смуги пропускання тракту передачі повинна забезпечити досить малі перекручування найкоротших імпульсів і тому виявляється більш широкою, ніж смуга частот, необхідна для передачі імпульсів середньої (немодульованої) тривалості. При ФІМ тривалість всіх імпульсів залишається однаковою, що дозволяє вибрати оптимальну ширину смуги пропускання, що забезпечує максимальну завадостійкість при заданому числі каналів [4].

Висновок

Завдяки таким перевагам, як енергетичні витрати на передачу сигналу, завадостійкості (здатності модульованих сигналів протистояти шкідливому впливу перешкод), складності встаткування та ін., рекомендується застосовувати ФІМ при побудові систем передачі з часовим розділенням каналів.

Список літератури

1. Теоретические основы электросвязи: Учебное пособие / Под ред. В.А. Кравца. – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – 354 с.
2. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов / В.И. Иванов, В.М. Гордиенко и др.; под ред. В.И. Иванова – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 232 с.
3. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 т. Т. 1 – Современные технологии / Крук Б.И., Попантонопуло В.И., Шувалов В.П.; под ред. проф. В.П. Шувалова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 647 с.
4. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учебник для вузов / Кружмалев В. В., Гордиенко В. М., Моченов А. Д. и др. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 510 с.
5. Системы электросвязи: Учебник вузов / Под ред. В.П. Шувалова. – М.: Радио и связь, 1987. – 512 с.
6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник / С.И. Баскаков. – М.: Высш. шк., 2000. – 462 с.
7. Многоканальные системы передачи / Н.Н. Баева, В.Н. Гордиенко, С.А. Курицын и др.; под ред. Н.Н. Баевой и В.Н. Гордиенко. – М.: Радио и связь, 1997. – 336 с.

Надійшла до редколегії 22.04.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.І. Кравченко, НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПИ», Харків.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАТОЧНОГО ТРАКТА ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

А.Э. Горюшкин

Предоставлены предложения относительно формирования канальных сигналов и выбор вида импульсной модуляции для построения систем передачи с часовым разделением каналов.

Ключевые слова: система передачи, часовое разделение каналов, модуляция, передаточный тракт.

FEATURES OF CONSTRUCTION AND INCREASE OF EFFICIENCY OF TRANSMISSION HIGHWAY OF THE DIGITAL SYSTEMS OF TRANSMISSION

A.E. Gorushkin

Given suggestion in relation to forming of channel signals and choice of type of impulsive modulation for the construction of the systems of transmission with the sentinel division of ductings.

Keywords: system of transmission, sentinel demultiplexing, modulation, transmission highway.