

УДК 621.391.26

І.В. Маслов, к.т.н., доц.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

### ОЦІНКА ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ З БАГАТОПОЗИЦІЙНИМ КОДУВАННЯМ

*Розглядаються питання підвищення заводостійкості та ефективності систем передачі інформації за інформаційно-енергетичними показниками при різних способах модуляції та кодування їх сигналів.*

Одним з напрямів підвищення заводозахищеності систем передачі інформації (СПІ) є метод заводостійкого кодування параметрів сигналів. В даний час існує багато кодів, які можна розподілити на дві великі групи: блокові коди, в яких кодування здійснюється в межах блока довжиною  $n$  символів; і неперервні коди, в яких кодування виконується неперервно, без розділення на блоки. Серед неперервних кодів значний інтерес представляють згортні коди, а в класі блокових центральне місце займають циклічні коди.

В той же час застосування недвійкових кодів все ще зустрічає серйозні перешкоди, які обумовлені складністю реалізації алгебраїчних операцій в недвійкових полях. Проте все частіше використовуються багатопозиційні ансамблі сигналів, які побудовані на одночасній модуляції кількох параметрів носія (амплітуди і фази, частоти і фази тощо), заводозахищеність та ефективність яких з врахуванням статистики завод вимагає додаткових досліджень.

При розгляді заводостійкості різних видів модуляції сигналів слід розрізняти дві групи задач.

При першій групі задаються статистичні характеристики сигналів, завод і структурна схема їх обробки, а вимагається визначити кількісні характеристики заводостійкого приймання даних сигналів.

При другій групі задач задаються статистичні характеристики сигналів, завод та характер їх взаємодії, а вимагається визначити структуру пристрою, який здійснює оптимальну за визначеним критерієм обробку повідомлень, та розрахувати відповідні кількісні характеристики заводостійкого оптимального приймання даних сигналів.

Кінцевою метою першої задачі є обчислення статистичних характеристик випадкових процесів, які описують сигнали, що необхідні для визначення кількісних характеристик їх заводостійкості. Їх розраховують методами аналізу впливу випадкових процесів на типові лінійні та нелінійні ланки вторинних вимірювальних перетворювачів.

Основною метою задач другої групи є виявлення та розділення сигналів з різними видами модуляції параметрів на основі апарату теорії статистичних рішень [1], [2].

Припустимо, що на вхід приймача системи надходить суміш сигналу і завади:

$$x(t) = f[S(t), n(t)],$$

де  $S(t)$  – корисний сигнал;  $n(t)$  – завада. Функція  $f[S(t), n(t)]$ , тобто характер взаємодії сигналу і завади, а також статистичні характеристики завади  $n(t)$  та сигналу  $S(t)$  припускаються відомими.

Стосовно випадку розпізнавання  $m$  сигналів, які приймаються на фоні завади, сигнал  $S(t)$  можна представити сумою:

$$S(t) = S(t, \lambda) = \sum_{i=1}^m \lambda_i S_i[t, l_1^{(i)}, l_2^{(i)}, \dots, l_k^{(i)}],$$

де  $\lambda_i$  – параметр, що визначає, який з сигналів  $S_i(t)$  присутній на вході приймача;  $l_k^{(i)}$  – параметр сигналу  $S_i(t)$ , що модулюється. Параметр  $\lambda_i$  представляє собою випадкову величину, яка на інтервалі спостереження  $[0, T]$  сигналу приймає значення  $\lambda_{i0} = 0$  і  $\lambda_{i1} = 1$ .

Для спрощення обмежимося випадком розпізнавання двох сигналів  $S_1(t)$  і  $S_2(t)$ , що характерно для різних систем передачі двійкової інформації. Тоді:

$$S(t) = S(t, \lambda) = \lambda S_1[t, l_1^{(1)}, l_2^{(1)}, \dots, l_k^{(1)}] + (1 - \lambda) S_2[t, l_1^{(2)}, l_2^{(2)}, \dots, l_k^{(2)}],$$

де параметр  $\lambda$  приймає два значення:  $\lambda = \lambda_1 = 1$ , що відповідає наявності в реалізації  $x(t)$  тільки сигналу  $S_1(t)$ ; або  $\lambda = \lambda_0 = 0$ , коли в  $x(t)$  присутній тільки сигнал  $S_2(t)$ .

Стосовно виявлення неперервного сигналу  $S(t)$  в суміші  $x(t)$ :

$$S(t) = S(t, \lambda) = \lambda S_1[t, l_1, l_2, \dots, l_k]$$

значення  $\lambda = \lambda_1 = 1$  відповідає наявності на вході приймача системи суміші сигналу і завади, а  $\lambda = \lambda_0 = 0$  означає, що приймається тільки завада.

При прийомі реалізації  $x(t)$  завжди є імовірність помилкового рішення  $\lambda = \lambda_1$ , тоді як в дійсності  $\lambda = \lambda_0$  і навпаки. У відповідності до теорії статистичних рішень прийняття гіпотези  $\lambda = \lambda_1$  або  $\lambda = \lambda_0$  базується на результатах аналізу відношення правдоподібності. Найбільш просто функція правдоподібності  $L(\lambda)$  обчислюється для випадку, коли сигнал  $x(t)$  є адитивною сумішшю сигналів  $n(t)$  і  $S(t)$ , причому останній залежить тільки від одного випадкового параметра  $\lambda$ . Надалі обмежимося цією умовою.

Для нього загальна помилка прийняття рішення [3] характеризується ймовірностями помилок при  $\lambda = \lambda_1$ , тоді як  $\lambda = \lambda_0$  і навпаки:

$$P' = p(\lambda_1)P(\lambda_0 \parallel \lambda_1),$$

$$P'' = p(\lambda_0)P(\lambda_1 \parallel \lambda_0),$$

де  $p(\lambda_1)$  і  $p(\lambda_0)$  – щільності імовірності подій  $\lambda = \lambda_1$  і  $\lambda = \lambda_0$ ;  $P(\lambda_0 \parallel \lambda_1)$  і  $P(\lambda_1 \parallel \lambda_0)$  – ймовірність прийняття відповідно рішень  $\lambda = \lambda_0$  при гіпотезі  $\lambda = \lambda_1$  і навпаки.

Згідно з критерієм оптимальності Неймана–Пірсона:

$$\frac{L(\lambda_1)}{L(\lambda_0)} h, \quad (1)$$

де  $h$  – поріг правдоподібності прийняття  $\lambda = \lambda_1$  або  $\lambda = \lambda_0$ ; при послідовному аналізі (спостереженні) реалізації  $x(t)$ , коли тривалість спостереження  $T$  не обумовлюється, здійснюється неперервне порівняння відношення правдоподібності з двома порогамі  $h_1$  і  $h_0$ . Якщо воно менше  $h_0$ , то приймається гіпотеза  $\lambda = \lambda_0 = 0$ , а якщо воно більше  $h_1$ , то приймається  $\lambda = \lambda_1 = 1$ . Якщо ж відношення правдоподібності знаходиться між рівнями  $h_0$  і  $h_1$ , то аналіз проводиться до отримання сприйняттного результату, достатнього для знаходження  $\lambda = \lambda_1$  або  $\lambda = \lambda_0$ .

Отже, розв'язання задач другої групи завадостійкості зводиться до пошуку оптимальної структури приймача повідомлень, який здійснює обробку суміші  $x(t)$  у відповідності до правила (1), і обчисленням імовірності прийняття помилкового рішення.

Це дозволяє разом з аналізом інформаційної та енергетичної ефективності каналу передачі інформації [4] оцінити рівень досконалості вибраної структури побудови всієї системи. При порівнянні методів модуляції сигналів базовими можуть бути або найбільш розповсюджені, або найбільш досконалі з них. Так, при порівнянні аналогових систем модуляції за базову модель найчастіше вибирають односмугову амплітудну або частотну модуляції. При порівнянні систем дискретної передачі даних без стиснення базовою звичайно вибирають частотно-імпульсну або односторонню широтно-імпульсну модуляції другого роду, що пояснюється їх простим декодуванням за допомогою фільтрів нижніх частот.

Залежність середньої імовірності помилки заглушення корисного сигналу завадою від відношення максимальної енергії ансамблів сигналів до спектральної густини завади типу "білого" шуму показані на рис. 1. Разом з кривими інформаційної ефективності каналів систем передачі повідомлень [4] вони дозволяють ґрунтовно вибрати тип модуляції сигналів джерел інформації для системи передачі даних по оптичному каналу зв'язку. На рисунку прийняті позначення: АМ, ЧМ, ФМ – амплітудна, частотна і фазова модуляції; ОШІМ – одностороння широтно-імпульсна модуляція; БС, ОС – біртогональні та ортогональні сигнали; ЗК, ЦК – згортний та циклічний коди; ЗДК – звичайний двійковий код; РС – коректуючий код Ріда-Соломона; БДС – біртогональні двомірні сигнали (код Грея). Позначення „– $M_i$ ” або „– $i$ ” означають фазову модуляцію з кількістю  $i$  сигналів  $M$  в ансамблі, АВ – алгоритм Вітербі.

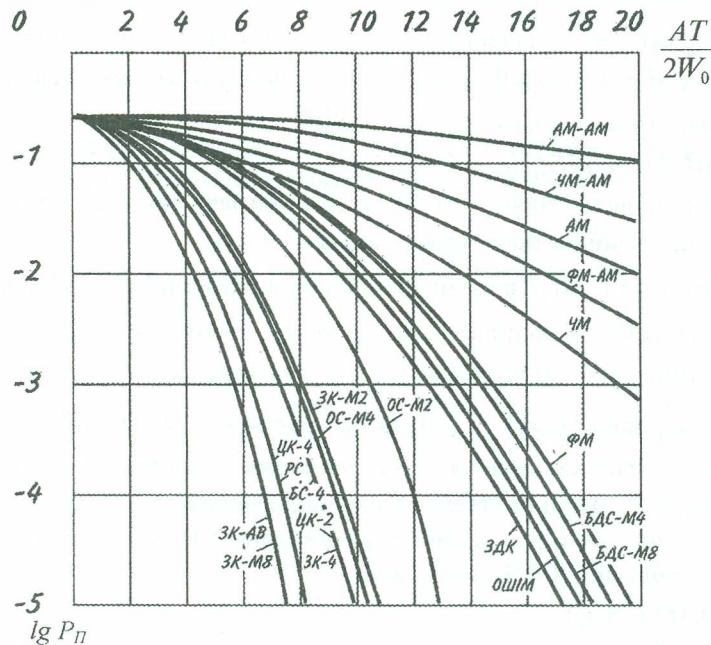


Рис. 1. Завадостійкість приймання сигналів при різних видах їх модуляції та кодування

З метою підвищення завадостійкості сигналів при їх модуляції та кодуванні завжди вноситься збитковість. Зменшити її можна шляхом стиснення даних, що дозволяє збільшити швидкість їх передачі по каналах зв'язку. Отже, ставиться питання не просто про скорочення збитковості інформації при модулюванні сигналів, а про раціональне її використання. Задача полягає в тому, щоб вибрати найбільш ефективний тип модуляції параметрів сигналів при заданій його складності, а отже, і вартості технічної реалізації системи. Чим менша інформаційна збитковість, тобто більша інформаційна ефективність сигналів, тим складніше виявляється система.

Порівняння показників сигналів, побудованих на різних видах модуляції та кодування [4], показало, що традиційні двійкові модуляції ЧМ-2 і ФМ-2, модуляція на основі ортогональних сигналів та аналогові методи модуляції сигналів малоефективні. Їх інформаційна ефективність  $\eta_i < 0.5$ . Завадозахищені багатопозиційні біортогональні сигнали і згортні сигнали з фазовою модуляцією приблизно однаково віддалені від граничних кривих. Їх інформаційна ефективність  $\eta_i = 0.6 \div 0.7$ . В той же час не використані до кінця можливості сигналів з частотною модуляцією ( $\eta_i = 0.75$ ), сигналів з імпульсною модуляцією тривалості ( $\eta_i = 0.7 \div 0.8$ ) і особливо сигналів з кодо-імпульсною амплітудною маніпуляцією в трійковій системі лічби на основі теорії залишкових класів ( $\eta_i = 0.75 \div 0.85$ ) та односторонньою широтно-імпульсною модуляцією другого роду. Привабливість останньої пояснюється простотою декодування сигналів за допомогою фільтрів нижніх частот. Найбільш привабливими способами модуляції є ті, в яких досягається одночасний виграш по показниках енергетичної та частотної ефективності каналу. Багатопозиційні сигнально-кодові конструкції неминуче ведуть до ускладнення технічних реалізацій формування, передачі та декодування даних і, крім того, необхідно враховувати, що, незважаючи на теоретичні передумови, створити в багатьох випадках хороший маніпуляційний код не завжди вдається. Високу ефективність цифрових систем із стисненням даних можна досягнути при оптимальному узгодженні кодерів джерел інформації, модемів і декодерів цифрових каналів. Однак в такій загальній постановці проблема поки ще не розв'язується.

З цих причин частотно- і широтно-імпульсні методи модуляції сигналів при оптимальному розподілі їх енергії по спектру зберігають за собою непогані перспективи. До того ж їх реалізація на даному рівні розвитку науки і техніки та сучасної інтегральної технології є реальною, нескладною та економічно доцільною.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Хемстром К. Статистическая теория обнаружения сигналов. – М.: ИЛ, 1996. – 397 с.
2. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: Сов. радио, 1980. – 597 с.
3. Бабак В.П. Обробка сигналів при формуванні зображень об'єктів. – К.: Либідь, 1994. – 145 с.
4. Маслов І.В. Оптимізація заводо захищеності технічних систем за інформаційними критеріями // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби технічної діагностики. – 2000. – Т. 8. – № 37. – С. 98–107.

МАСЛОВ Ігор Вадимович – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Наукові інтереси:

- комп'ютерні мережі;
- цифрова обробка сигналів.

Подано 17.01.2003