

УДК 621.3.038.616

І.В. Маслов

## Вибір методу формування сигналів оптоелектронних перетворювачів приладів спостереження і контролю

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. 4-80-00, E-mail: [dim@il.if.ua](mailto:dim@il.if.ua)*

Проаналізовані характеристики різних процедур формування та передачі даних в оптоелектронних перетворювачах та визначена їх інформаційна ефективність.

**Ключові слова:** оптоелектронні перетворювачі, кодування даних, інформаційна ефективність сигналів.

*Стаття постуила до редакції 27.03.2003; прийнята до друку 23.05.2003.*

Якісний розвиток сучасних інформаційних технологій зумовлений переходом від аналогових до цифрових систем, які забезпечують значно вищі техніко-економічні показники. Важливу роль в таких системах виконують процедури формування цифрової інформації, оскільки на сьогодні нерідкісні випадки збитковості їх джерел до 80..90%.

На даний час в галузі теорії оптоелектронних пристроїв основна увага приділяється питанням підвищення потужності випромінювачів, чутливості фотоприймачів та пропускної спроможності каналів зв'язку на базі стандартної рівномірної кодо-імпульсної модуляції, і значно менша – розробці системного підходу до реалізації ефективних процедур формування і ущільнення дискретного оптичного випромінювання, що забезпечують високу швидкодю, точність і завадозахист передачі-прийому інформації.

Розраховані залежності сприйнятої кількості інформації  $q$  при оптимальному (суцільні лінії) і рівномірному (штрихові лінії) кодуванні оптичного випромінювання від відношення середніх кількостей сигнальних і фонових фотоелектронів  $n_S/n_N$  та співвідношення потужностей корисного сигналу і шуму  $P_S/P_N$  наведені на рис. 1.

Вони показують, що:

1) при обох типах модуляції існує перехід від області наростання залежності  $\frac{dq}{d(n_S/n_N)}$  при  $n_N = \text{const}$

до області насичення, коли при збільшенні  $\frac{n_S}{n_N}$ , що

рівноцінне збільшенню  $P_S/P_N$ , кількість сприйнятої приймачем інформації стає незмінною, незалежною для обох типів модуляції і рівною 1 біт/Гц;

2) крутизна наростання залежності  $\frac{dq}{d(n_S/n_N)}$  для

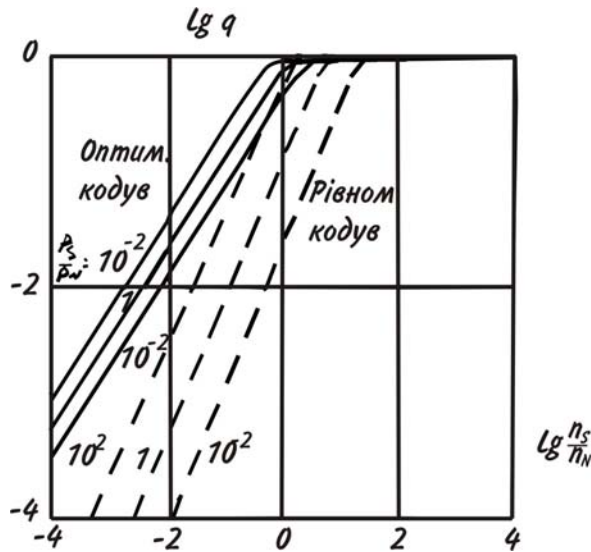
малих значень  $\frac{n_S}{n_N}$  при оптимальній модуляції

менша, ніж при рівномірній;

3) границя насичення кількості інформації при оптимальному кодуванні зсунута в бік малих значень  $P_S/P_N$ , а при рівномірному – в бік великих значень  $P_S/P_N$ .

Це означає, що при оптимальному кодуванні вихідних даних спостерігається менша залежність сприйнятої інформації від розкиду  $P_S/P_N$  і зміни швидкості передачі повідомлень, що рівноцінне покращенню швидкодії, завадозахищеності і зменшенню надлишковості інформації.

В сучасних системах автоматики, діагностування і неруйнівного контролю якості об'єктів і параметрів технологічних процесів використовуються різні види модуляції неперервних повідомлень і різні ансамблі дискретних сигналів. Елементарні сигнали не завжди є простими і можуть мати складну форму. Оптимізація процесу формування даних є складною задачею. Побудова високоефективних методів формування інформації в датчиках на основі багатопозиційних сигнально-кодових конструкцій веде неминуче до ускладнення систем. Головна задача полягає в тому, щоб побудувати системи, які задовільняють високим показникам ефективності при мінімальній складності, а, отже, і вартості. Це питання значно простіше вирішується на основі теорії інформації, яка оцінює технічний ефект формування, передачі та обробки даних кількістю і якістю відтвореної інформації за визначений проміжок або в одиницю часу, тобто швидкістю її



**Рис. 1.** Залежність кількості інформації при оптимальному і рівномірному кодуванні даних від співвідношення сигнальних і фонових фотоелектронів.

передачі і достовірністю відтворення. З цієї позиції показник інформаційної ефективності можна описати рівнянням [1]:

$$\eta_i = \frac{\vartheta}{\log_2 \left( \frac{\vartheta}{\varepsilon} + 1 \right)},$$

де:  $\varepsilon = \frac{q}{t} \frac{1}{P_c / W_{\text{ш}}}$  – показник енергетичної

ефективності;  $\vartheta = \frac{q}{t \Delta f}$  – показник частотної ефективності;  $q$  – кількість інформації на виході того ж самого пристрою з врахуванням його похибки;  $t$  – середній час обробки інформації;  $P_c$  – потужність корисного сигналу;  $W_{\text{ш}}$  – енергія термодинамічних флуктуацій.

Величини  $\varepsilon$  і  $\vartheta$  характеризують питомі швидкості прийому інформації відносно рівня термодинамічних флуктуацій і смуги частот і мають відповідно розмірності біт/с і біт/с × Гц. На рис. 2 в логарифмічному масштабі показана залежність між величинами  $\varepsilon$  і  $\vartheta$  відносно границі К. Шеннона  $q_{\text{ш}} = \log_2 \left( \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} + 1 \right)$  і граничного порогу чутливості ( $\eta_i = 0,9$ ) при імовірності помилки сприймання інформації  $p = 10^{-5}$  у вигляді кривих ліній діаграми при  $\eta_i$  від 0,2 до 1,0 через 0,2 частки (від прямого методу перетворення сигналів до статистично-обчислювального) для різних значень перевищення  $\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}$  від -10 дБ до 30 дБ через кожні 10 дБ, які

зображені прямими лініями під кутом  $45^\circ$ . Діаграми відображають в межах кожної кривої найкращий обмін між  $\varepsilon$  і  $\vartheta$ , а при переході від однієї кривої до іншої дозволяють вибрати найсприятливіший шлях оптимізації системи (або пристрою) по коефіцієнтах  $\varepsilon$  і  $\vartheta$ .

В даний час існує багато кодів, які застосовуються при передачі повідомлень. Всі типи кодів діляться на дві групи: блокові коди, в яких кодування здійснюється в границях блоку довжиною  $n$  символів; і неперервні коди, при використанні 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. Тим не менше, все частіше використовуються багатопозиційні ансамблі сигналів, які побудовані на одночасній модуляції кількох параметрів носія (амплітуди і фази, частоти і фази, тощо), завадозахищеність і ефективність яких з врахуванням статистики завад вимагає додаткових досліджень.

Порівняння показників сигналів, побудованих на різних видах модуляції та кодування, з граничною кривою К.Шеннона ( $\eta_i = 1$ ) і граничними кривими для двійкових ( $\eta_i = 0,9$ ) та аналогових ( $\eta_i = 0,8$ ) сигналів дозволяє оцінити їх та виявити можливі ресурси підвищення ефективності за рахунок удосконалення способів модуляції і кодування на даному рівні розвитку техніки. 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 ( $\eta_i = 0,75 \div 0,85$ ).

Отже, єдиною стратегією оптимізації високочутливих технічних систем управління одночасно по обох показниках –  $\varepsilon$  і  $\vartheta$  ( $\varepsilon > \varepsilon^*$ ,  $\vartheta > \vartheta^*$ ) для  $0 \leq \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \leq 20$  дБ та  $\eta_i \rightarrow 1$  (1-й квадрант) є формування їх сигналів або на основі частотної модуляції при  $\varepsilon \geq -3$  дБ ( $0,5 \frac{\text{біт}}{\text{с}}$ ) і  $\vartheta \leq 3$  дБ ( $2 \frac{\text{біт}}{\text{с} \times \text{Гц}}$ ), або на основі імпульсної модуляції в кодах АШМ і ОШМ без будь-яких обмежень на значення  $\varepsilon$  і  $\vartheta$ . Такі системи формування поки що дослідженні недостатньо, хоча принцип їх побудови більш менш ясний. Він полягає в тому, щоб сигнальні точки в  $N$  - мірному просторі

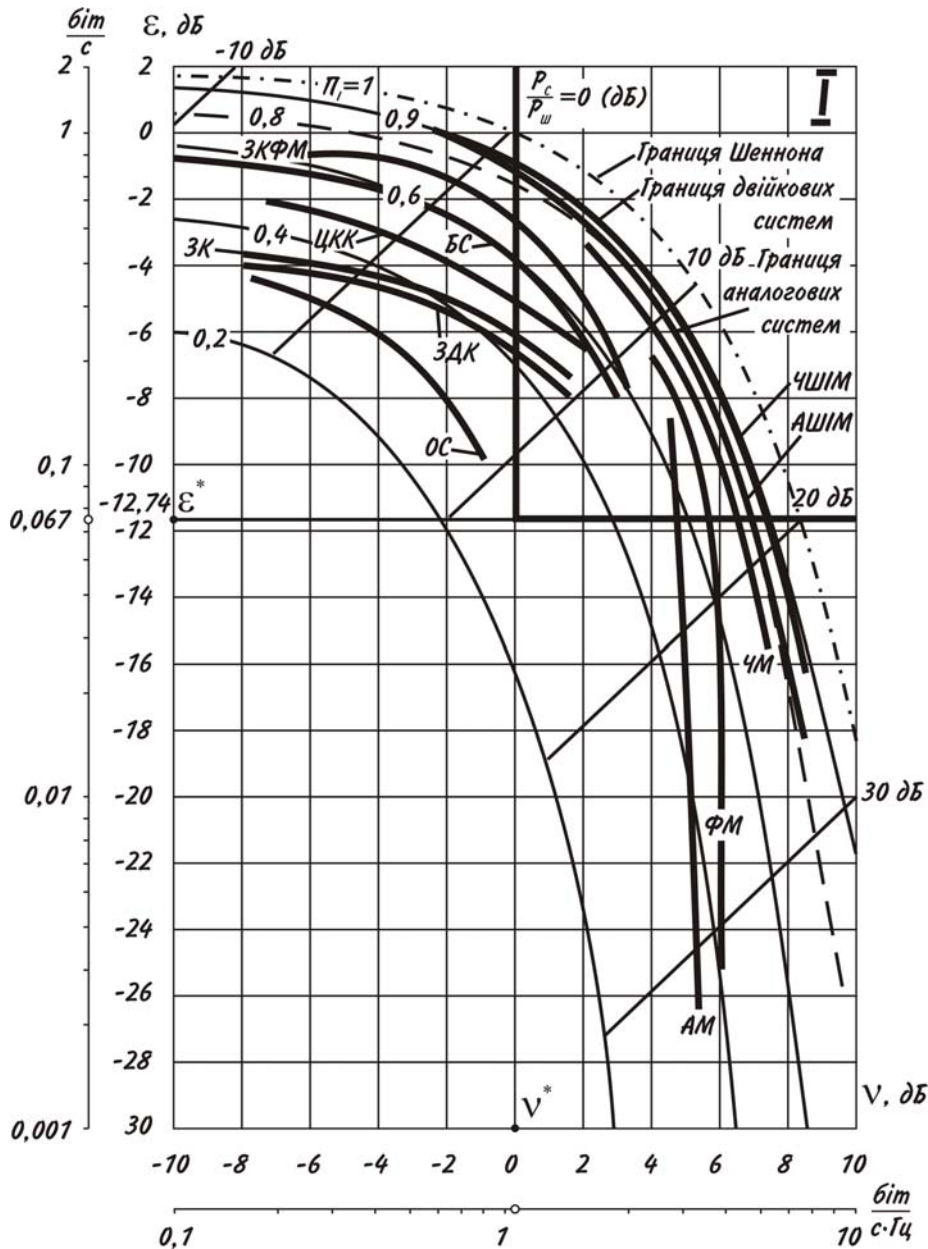


Рис. 2. Інформаційна ефективність сигналів з різним типом модуляції.

повинні розміщуватись достатньо щільно, щоб забезпечити високу питому швидкість  $\vartheta$ , і в той же час бути достатньо рознесеними, щоб забезпечити високу енергетичну ефективність  $\epsilon$ . Одним з очевидних шляхів побудови таких повідомлень є сумісне використання коректуючих кодів і багатопозиційних сигналів, наприклад, ФМ-ЦК, СК-АФМ тощо. Їх інформаційна ефективність складає  $\eta_i = 0.6 \div 0.7$ . Однак, їх реалізація немунче веде до ускладнення систем. В цьому випадку саме вона стає обмежуючим фактором при їх застосуванні. Аналіз граничної ефективності різних методів кодування інформації [2,3] показує, що технічна реалізація оптимального кодування полягає в використанні багатопозиційної фазо-імпульсної модуляції

цифрових  $M = 2^N$  сигналів [4], кожен з яких  $T = N\tau$  уявляє собою послідовність  $N$  символів тривалості  $\tau$ , яка практично важко реалізується. Розв'язання цієї проблеми значно спрощується при дискретизації повідомлень джерел інформації в базисі кодів ОШІМ і АШІМ [5], яка реалізується односторонньою широтно-імпульсною маніпуляцією елементів кодової послідовності і є різновидністю багатопозиційної фазо-імпульсної модуляції. До позитивних властивостей таких кодових систем слід віднести і те, що внаслідок рекурсивного послідовного формування повідомлень вони забезпечують найменшу потужність, а тому і більшу ефективність уявлення цифрових повідомлень порівняно з відомими кодами. Завадозахищені

багатопозиційні біортогональні сигнали і згортні сигнали з фазовою модуляцією приблизно однаково віддалені від граничних кривих  $\eta_i$ . 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 ( $\eta_i = 0.75 \div 0.85$ ).

Залежність середньої імовірності подавлення корисного сигналу завдою від відношення максимальної енергії ансамблів сигналів до спектральної густини завади типу "білого" шуму показані на рис. 3.

Разом з кривими інформаційної ефективності вони дозволяють ґрунтовно вибрати тип модуляції сигналів джерел інформації для системи передачі даних по оптичному каналу зв'язку. Однак багатопозиційні сигнально-кодові конструкції неминуче ведуть до ускладнення технічних реалізацій формування, передачі та декодування даних. Крім того необхідно враховувати, що незважаючи на теоретичні передумови, створити в багатьох випадках хороший маніпуляційний код вдається не завжди [2]. 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 частотні і широтно-імпульсні методи модуляції сигналів при оптимальному

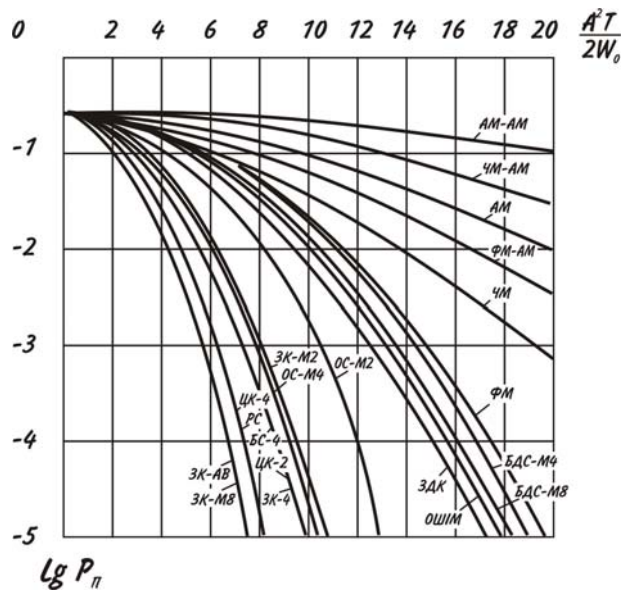


Рис. 3. Завдостійкість приймання сигналів при різних видах їх модуляції і кодування.

розподілі їх енергії по спектру зберігають за собою непогані перспективи, до того ж їх реалізація на даному рівні розвитку науки і інтегральної технології є реальною, нескладною і економічно доцільною.

**Маслов І.В.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент.

- [1] І.В. Маслов. Оптимізація завадозахищеності технічних систем за інформаційними критеріями. // *Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби технічної діагностики*, 8(37). - Івано-Франківськ.: ІФДТУНГ, сс. 98-106. (2000).
- [2] *Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации.* / Под ред. А.Г. Зюко, М.: Радио и св., 272 с. (1985).
- [3] А.С. Холеро. Оптимизация многопозиционной фазоимпульсной модуляции. // *Проблемы передачи информации*, 9(3), сс. 73-79. (1973).
- [4] Дж. Спилкер. *Цифровая спутниковая связь*, М.: Связь, 592 с. (1979).
- [5] Я.М. Николайчук, Г.Я. Ширмовский. О свойстве самокоррекции при передаче информации методом вычетов. // *Сб: Методы и устр. сбор и обр. измер. информации*. К.: техника, сс. 96-100. (1976).

I.V. Maslov

## The Analysis of Restrictions on Frequency Modulations of Signals in Optical Electrical Systems of Not- Destroying Control

Ivano-Frankivsk Technical University of Oil and Gas,  
76019, Ivan-Frankivsk, 15, Karpatska Str., tel. 4-80-00, E-mail: [dim@if.ua](mailto:dim@if.ua)

Characteristics of different procedures of creation and data transfer in optical electric converters are parsed and their information efficiency is defined.