

ВПЛИВ НЕЛІНІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ТРАКТІВ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ТВ-МОВЛЕННЯ

В.Б. Баляр

EFFECT OF NON-LINEAR DISTORTIONS ON TERRESTRIAL DIGITAL VIDEO BROADCASTING SYSTEMS PERFORMANCE

V.B. Balyar

ІРТЕ ОНАЗ ім. О.С. Попова

У статті розглянуто особливості сигналу системи DVB-T та причини появи нелінійних спотворень у передавальних трактах систем цифрового наземного ТВ-мовлення. Проведено аналіз впливу наявності нелінійних спотворень на характеристики системи.

In this article DVB-T system signal characteristics and factors, which causes of non-linear distortions appearance in terrestrial digital video broadcasting systems. Effect of non-linear distortions on terrestrial digital video broadcasting systems performance are analyzed.

Особливості сигналу системи наземного цифрового телевізійного мовлення

У відповідності до Регіональної Угоди РКР-06 Женева для впровадження цифрового наземного телевізійного мовлення обрано III, IV та V телевізійні діапазони [1]. В якості системи для доставки телевізійних програм було обрано систему DVB-T, яку засновано на використанні цифрових методів обробки сигналів. Враховуючи особливості приймання сигналу у вказаних діапазонах (багатопроменеве розповсюдження радіохвиль, наявність тіньових зон, тощо) в цій системі використовують мультиплексування ортогональних носійних коливань з частотним розділенням (OFDM), за якого вхідний цифровий потік після попередньої обробки за допомогою зворотного швидкого перетворення Фур'є (IFFT) перетворюють у певну кількість носійних коливань (в залежності від режиму може бути обрано 1704 (режим 2k), 3409 (режим 4k) або 6817 (режим 8k) носійних коливань). За використання такого методу мультиплексування може бути забезпечено підвищення ефективності використання смуги частот каналу мовлення та, у поєднанні з цифровими методами модуляції (ФМ-4, КАМ-16, КАМ-64) та швидкостями згорткового коду, можливість вибору необхідної швидкості передавання даних через радіоканал [3].

При передаванні за методом OFDM через канал зв'язку кожне з носійних коливань модулюють вхідним низькошвидкісним потоком даних, тому загальна швидкість передавання даних та потужність сигналу у системі визначається швидкостями передавання та потужностями окремих носійних коливань [2].

Кожне з носійних коливань у будь-якому з приведених вище режимів OFDM визначається виразом

$$S_n(t) = \cos(2\pi f_n t) \quad (1)$$

де $f_n = f_0 + n/T_s, n = 0, 1, \dots, N-1$;

T_s - тривалість символу OFDM;

f_0 - мінімальна частота з всіх частот носійних коливань.

На рисунку 1 наведено спектр сигналу OFDM. Як видно з приведенного рисунку носійні коливання розташовано таким чином, що допускається деяке перекриття спектрів кожного з них, але за умови, що на центральній частоті кожного з носійних коливань спектральні складові всіх інших дорівнювали нулю. За такого розташування виконується умова ортогональності. У результаті розташування за таким правилом формується груповий спектр, що є практично прямокутним, що збільшує ефективність використання смуги частот каналу.

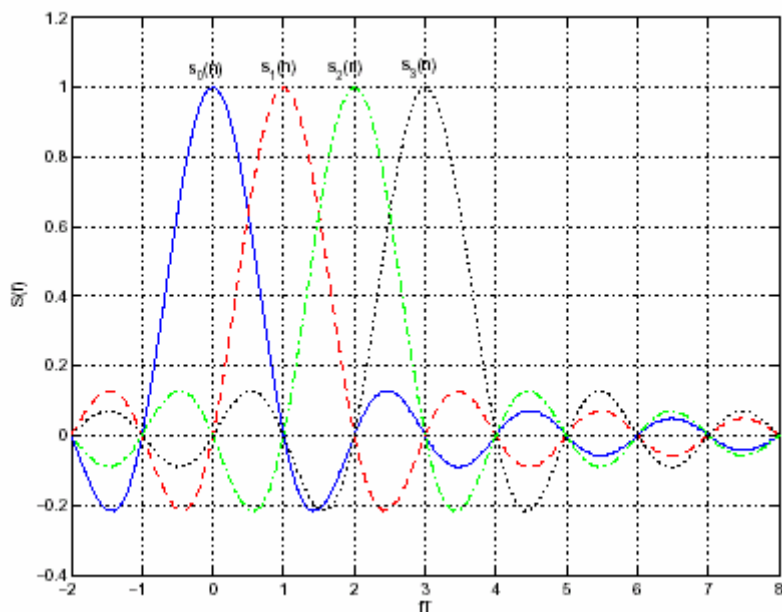


Рисунок 1 - Спектр сигналу OFDM

Модульований сигнал OFDM визначається виразом:

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ a_k \cos \left[2\pi \left(f_0 + \frac{k}{T} \right) t \right] + b_k \sin \left[2\pi \left(f_0 + \frac{k}{T} \right) t \right] \right\} \quad (1)$$

де T – тривалість тактового інтервалу;

N – кількість носійних коливань;

a_k, b_k - дані синфазного та квадратурного каналів, якими модулюють носійне коливання з номером k .

На рисунку 2 приведено спектр системи DVB-T за випадку використання режиму 2k після модуляції носійних коливань за методом КАМ-16.

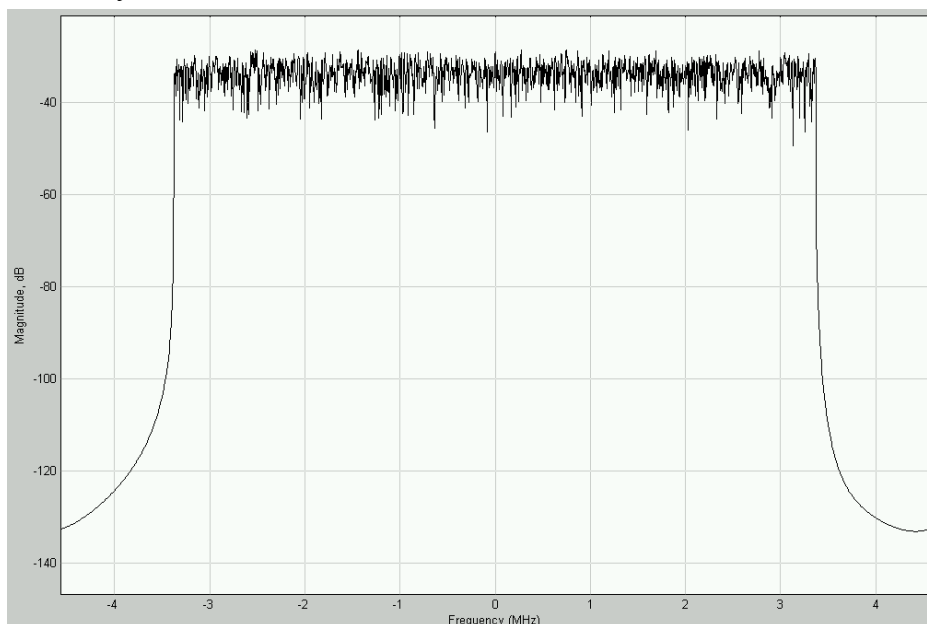


Рисунок 2 – Спектр системи DVB-T за випадку використання режиму 2k

Як було зазначено раніш, систему DVB-T було розроблено для доставки до користувачів програм у форматі MPEG-2 через радіоканал. Враховуючи те, що цифровий

сигнал має великий динамічний діапазон, обвідна сигналу OFDM є нерівномірною та змінюється в залежності від сигналу, що передається. Для її оцінки вводять поняття відношення пікової потужності U_{\max}^2 до середньої потужності U_{RMS} (PARP):

$$PARP = \frac{\max(U_{\max}^2)}{U_{RMS}} \quad (1)$$

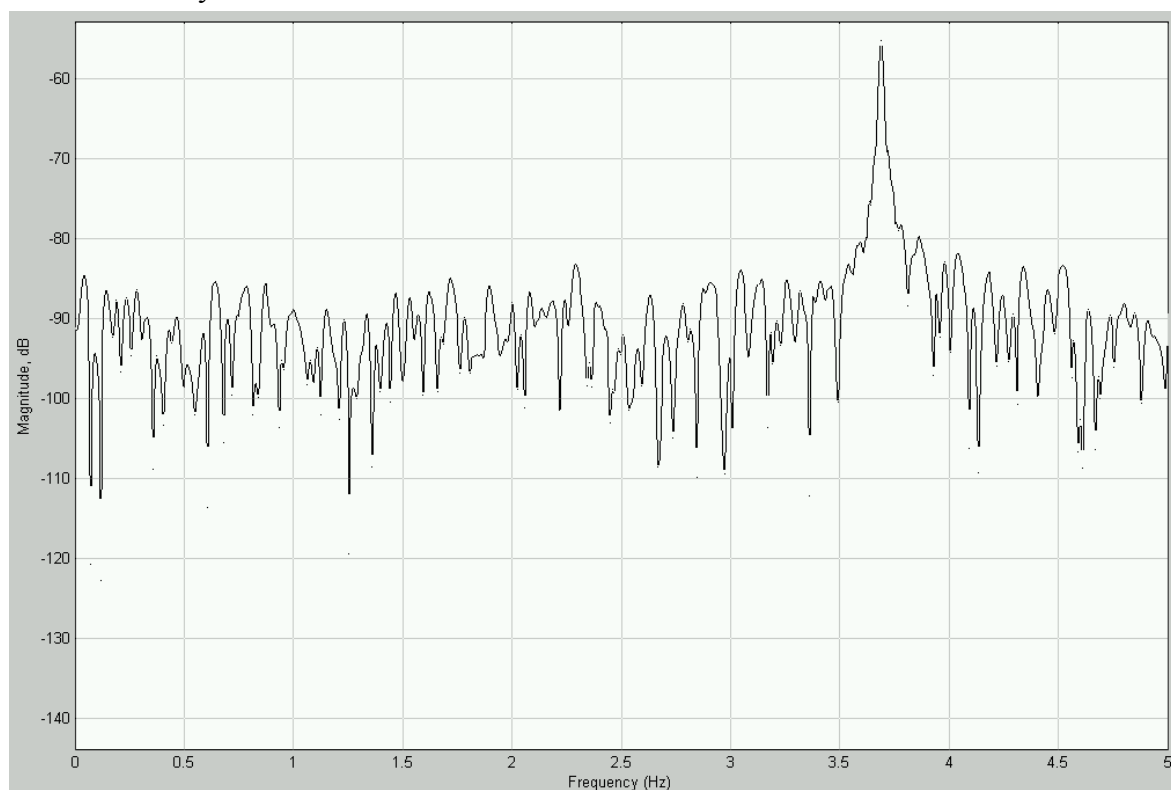
Додатково вводять також поняття пік-фактор (CF), що визначається за формулою:

$$CF = \sqrt{PARP} \quad (1)$$

На рисунку 2 наведено спектр сигналу OFDM після його модуляції вхідним цифровим потоком для випадку кількості носійних коливань $N = 1024$, з якого видно, що пікова амплітуда становить приблизно -55 дБ, у той час як середня – приблизно -90 дБ. При цьому, як видно з рисунку 3, відношення PARP становить приблизно 35 дБ.

Причини появи нелінійних спотворень у системах цифрового наземного ТВ-мовлення

Як було зазначено раніш, у груповому спектрі сигналу OFDM значення амплітуди деяких з носійних коливань є значно більшими за середній рівень, що робить такий сигнал більш чутливим до нелінійних спотворень, що можуть виникнути у високопотужних підсилювачах потужності.



Рисунку 3 – Особливості спектру сигналу OFDM

У відповідності до загальної структурної схеми радіочастотного тракту системи DVB-T, приведеної на рисунку 4, після перетворення вхідного цифрового потоку у модуляторі, носійні коливання на його виході піддають попередній обробці, перетворенню частоти та подають на підсилювач потужності.

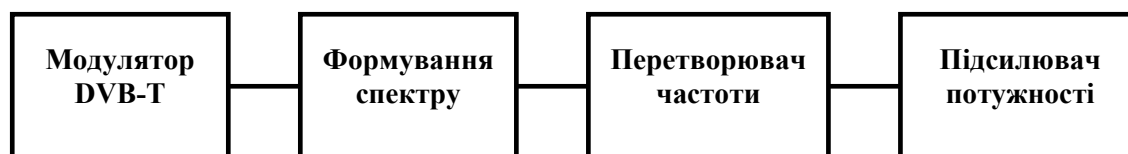


Рисунок 4 – Узагальнена структурна схема радіочастотного тракту системи DVB-T

На загальні характеристики системи значним чином впливають характеристики передавального тракту, а саме підсилювача потужності.

Сигнал на виході підсилювача потужності визначається виразом:

$$s_{\text{вих}}(t) = k \cdot s_{\text{вх}} \quad (1)$$

де $s_{\text{вих}}$ – сигнал на виході підсилювача потужності;

$s_{\text{вх}}$ – сигнал на вході підсилювача потужності

k – коефіцієнт підсилення.

Коефіцієнт підсилення визначається амплітудною (AM/AM) та фазовою (AM/PM) характеристиками. На рисунку 5 наведено вигляд амплітудної характеристики (AM/AM) за двох випадків – ідеального та реального випадків.

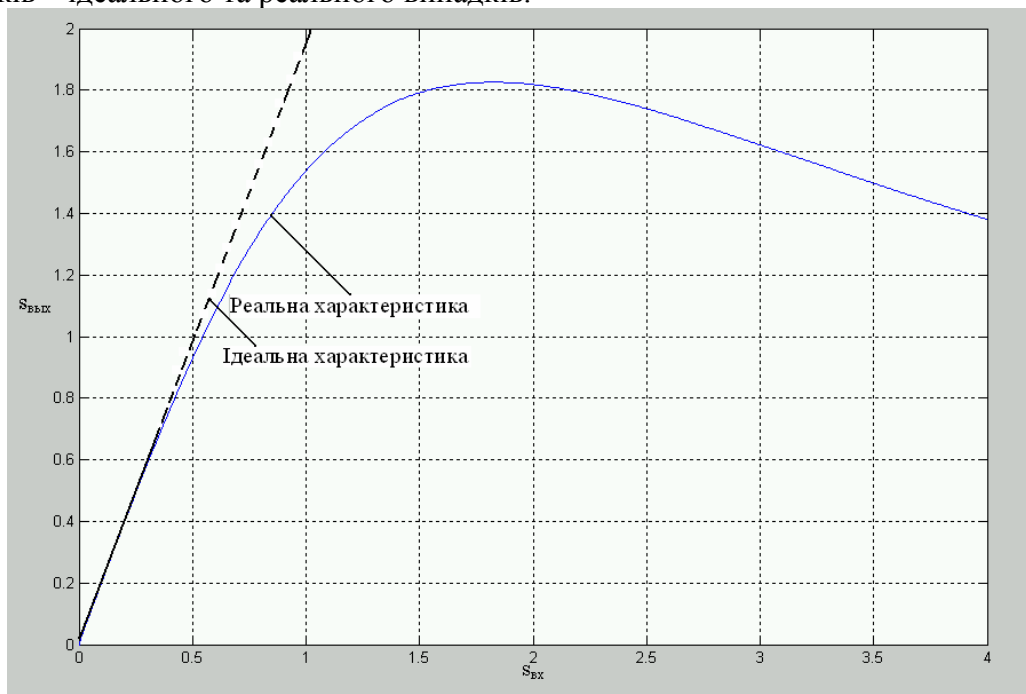


Рисунок 5 – Порівняння амплітудних характеристик ідеального та реального підсилювачів потужності

За виникнення нелінійних спотворень у підсилювачі потужності збільшується рівень сигналу поза основною смугою частот спектру системи DVB-T, при цьому норми на величину згасання поза основною смугою вже перестають виконуватись [5]. За такого випадку завади каналам у сусідніх частотних смугах збільшуються.

Другим негативним ефектом наявності нелінійних спотворень є збільшення коефіцієнту помилок бітів (BER). На рисунку 6 приведено характеристику, яка відображує залежність коефіцієнту BER від коефіцієнту підсилення кінцевого каскаду передавача. Як видно з цієї залежності, за збільшення коефіцієнту підсилення значення коефіцієнту BER зростає, що викликано збільшенням кількості помилок.

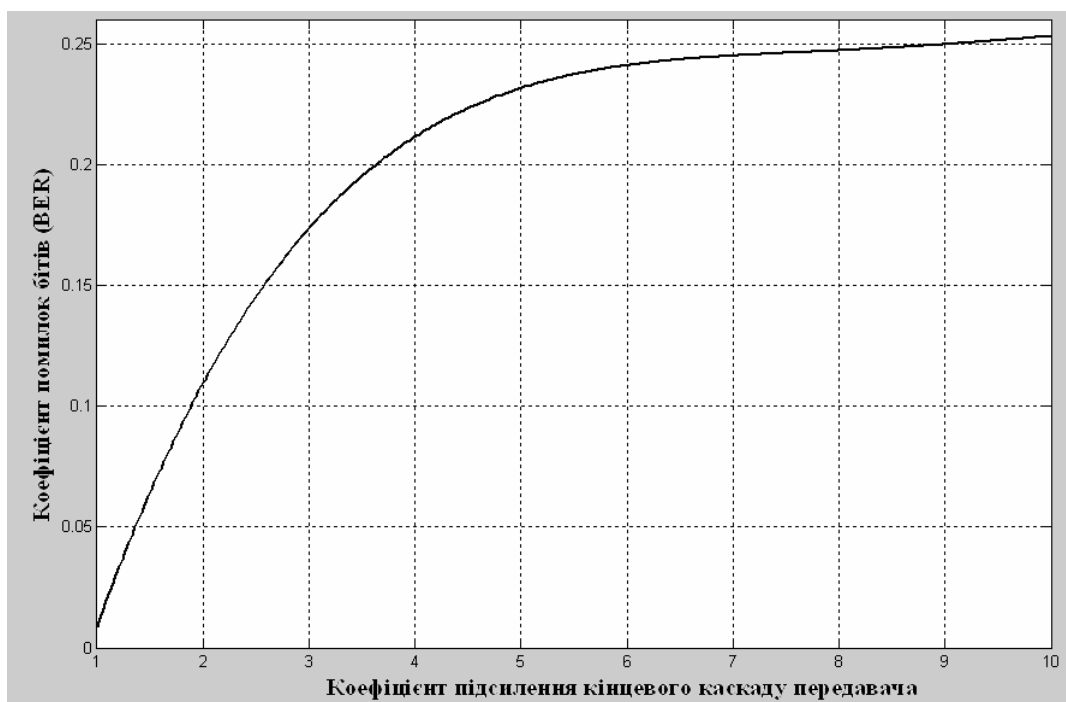


Рисунок 6 – Вплив величини коефіцієнта підсилення кінцевого каскаду на коефіцієнт BER

До того ж, після декодера Вітербі та декодера Ріда-Соломона спостерігається поступове збільшення помилок від повної їх відсутності до максимального значення коефіцієнту помилок бітів (BER).

Висновки

На характеристики систем цифрового наземного ТВ-мовлення значним чином оказують вплив характеристики радіочастотної частини передавальних трактів цих систем та за наявності спотворень у цій частині тракту спостерігається значне їх погіршення. Тому для зменшення впливу нелінійних спотворень потужність передавача цифрового наземного телевізійного мовлення зменшується, за рахунок чого знижується ефективність використання передавачів у порівнянні з аналоговим мовленням. Для забезпечення її збільшення необхідно використовувати схмотехнічні методи підвищення лінійності підсилювача потужності на основі використання підсилювача Догерті, що складається з двох підсилювачів – основного та допоміжного. Основний підсилювач потужності використовується для підсилення тієї частини сигналу, рівень якого менше за певний поріг, що зазвичай визначається як половина вхідної напруги сигналу. Додатковий підсилювач потужності починає підсилювати сигнал разом з основним в випадку, якщо рівень сигналу перевищує цей поріг.

Література

- 1 Баляр В.Б., Гофайзен О.В. Питання технічної реалізації систем наземного ефірного цифрового мовлення, впроваджуваних в Україні. // Праці УНДІРТ.- 2007 -№.1. – С.21-27.
- 2 Кривошеев М.И. Цифровое телевизионное вещание: основы, методы, системы. – М.: Научно-исследовательский институт радио (НИИР), 2001. – 568 с.;
- 3 ДСТУ EN 300 744. Цифрове телевізійне мовлення (DVB); Структура кадрів, кодування каналу та методи модуляції в системі цифрового наземного телебачення. – Одеса 2004. – 50 с.
- 4 ETSI ETR 290: Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems.