

**МЕТОДИ ОЦІНКИ ХАРАКТЕРИСТИК РЧ КАСКАДІВ ПІДСИЛЕННЯ  
В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО МОВЛЕННЯ**

БАЛЯР В.Б.

ІРТЕ ОНАЗ ім. О.С. Попова

**PERFORMANCE ESTIMATION METHODS OF RF AMPLIFICATION  
CASCADES IN DIGITAL BROADCASTING**

BALYAR V.B.

IRTE ONAT n.a. A.S. Popov

***Анотація** В статті приділено уваги питанням оцінки спотворень, що виникають в підсилювачах потужності передавачів цифрового мовлення, також визначено основні параметри, величину яких необхідно контролювати в тракті підсилення для забезпечення мінімуму спотворень.*

***Annotation** In the article it is attended attention to distortion estimation issues, which appears in the digital broadcasting transmitter power amplifiers, also main parameters, the value of which must be controlled in the amplification chain for providing minimum of distortions, are defined.*

**ВСТУП**

На якість функціонування цифрової системи мовлення впливає цілий ряд зовнішніх та внутрішніх факторів, що, враховуючи пороговий ефект, можуть привести до значного її зниження чи, навіть, до повної відсутності сигналу. До внутрішніх факторів відносять, наприклад, рівень фазового шуму, величину частотного зсуву, рівень нелінійних спотворень, тощо, які можуть виникати у локальних гетеродинах та в каскадах підсилення передавачів цифрового телевізійного мовлення. Можливі зовнішні фактори розглядають у випадку в мережі мовлення, за якої до смуги частот, в якій працює певний передавач, може потрапляти частина енергії від сусідніх передавачів, в результаті чого рівень помилок буде збільшуватись. Необхідно зазначити, що не обов'язково причиною виникнення спотворень сигналу може бути не тільки внутрішні або зовнішні фактори, але й їх комбінація: наприклад, за підвищення позасмугового випромінювання внаслідок нелінійних спотворень в потужному підсилювачі одного передавача може виникнути ситуація, за якої рівень заважаючого сигналу в смузі іншого передавача буде не відповідати встановленим нормам. В цій статті буде приділено уваги питанням вимірювання рівню нелінійних спотворень, які, в значній мірі, впливають на характеристики каскадів підсилення передавачів цифрового телевізійного мовлення.

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО МОВЛЕННЯ

На рисунку 1 наведено загальну аналітичну модель системи цифрового мовлення, на якій представлено лише основні блоки НЧ тракту цієї системи та деякі блоки високочастотного тракту передавача, вплив яких розглянуто в цій статті.

На вході системи формують транспортний потік за стандартом MPEG-2 TS, який на подальших етапах піддають попередній обробці та модуляції методами QAM/OFDM. Сформований НЧ-сигнал перетворюють в аналоговий формат з подальшим перетворенням до центральної частоти каналу та підсиленням. З виходу модулятора ці сигнали подають до високопотужного підсилювача кінцевого каскаду, в якому через особливості сигналу виникає нелінійність [1]. Лише нагадаємо, що середнє значення відношення пікової потужності до середньої ( $PAPR$ ) також збільшується зі збільшенням кількості носійних коливань  $N$ . Так, наприклад, для випадку  $N = 16$ ,  $PAPR_{cp} = 3.38$ , для  $N = 32$ ,  $PAPR_{cp} = 4.06$ . При цьому 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. За використання підсилювача кінцевого каскаду у нелінійному режимі можливо забезпечити більш високу ефективність за потужністю, ніж у випадку лінійного режиму, тому використання цього режиму є переважним у деяких застосуваннях, де рівень потужності обмежено. Однак у випадку використання підсилювачів у нелінійному режимі виникають нелінійні та інтермодуляційні спотворення. За впливу таких спотворень спектр сигналу на виході підсилювача потужності буде розширяться, в результаті чого він буде займати більшу смугу частот, ніж сигнал з виходу модулятора.

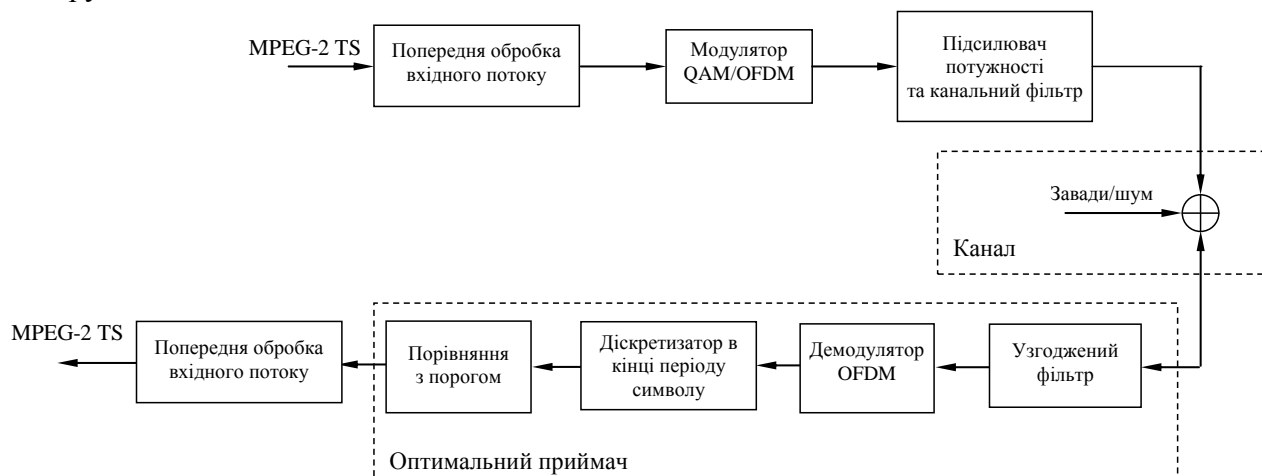


Рисунок 1 – Аналітична модель системи

Встановлений після підсилювача фільтр є у більшості випадків смуговим фільтром з центральною частотою, що дорівнює необхідній частоті носійного коливання. Цей фільтр призначений для послаблення рівню нелінійних та інтермодуляційних спотворень. Однак цей фільтр призводить до виникнення часової дисперсії сигналу даних. Це викликає появу міжсимвольної інтерференції (ISI). В результаті цього вірогідність помилки  $i$ -го символу буде залежати від одного або більше символів, що були попередніми до символу, на основі якого виносили рішення у приймачі щодо того, який сигнал передавали. Розглянемо більш детально особливості високопотужного підсилювача потужності.

**ОСОБЛИВОСТІ КАСКАДІВ ПІДСИЛЕННЯ ТРАКТІВ ЦИФРОВОГО МОВЛЕННЯ**

Режими підсилення прийнято поділяти на дві основні групи: режими з лінійним та нелінійним підсиленням. Термін “лінійний підсилювач” не означає в загальному випадку що цей підсилювач забезпечує ідеальне підсилення без внесення будь-яких незначних спотворень. Кожну з визначених вище груп можливо поділити на класи. До лінійних режимів підсилення відносять підсилювачі класу *A*, *AB* та *B*, до нелінійних – режими класу *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H* та *S* [2].

Класи *A*, *AB* та *B* визначають кутом відсічки, при цьому кут відсічки  $2\pi$  відповідає класу *A*, кут відсічки  $\pi$  відповідає класу *B* та *AB* характеризують проміжними значеннями кута відсічки. Однак за зменшення кута відсічки підсилення сигналу, яке можливо забезпечити на виході підсилювача потужності також зменшується.

В аналогових системах мовлення робочу точку підсилювача потужності обирають на лінійному відрізку характеристики поблизу до точки насичення, при цьому забезпечувалось максимальне підсилення сигналу з мінімумом спотворень. В цифрових системах за такого ж вибору робочої точки (поблизу точки насичення) рівень спотворень підсилювача потужності буде збільшуватись. Це викликано тим, що за надходження до підсилювача сигналу з великим динамічним діапазоном, яким є сигнал OFDM, та за вибору робочої точки поблизу точки насичення, компоненти сигналу з великими, у порівнянні з середньою її величиною, значеннями амплітуди будуть піддаватись амплітудному обмеженню, у той час як всі інші будуть підсилюватись. Окрім того, за входження підсилювального елемента у нелінійний режим підсилення окрім основних компонент сигналу виникають їх гармоніки з частотою, кратною частоті основної компоненти. В системах з OFDM враховують вплив третьої гармоніки, яка виникає за обробки сигналу у підсилювальному елементі. Необхідно зазначити, що другу та всі інші гармоніки не враховують, що викликано тим, що їх вплив може бути знижено відповідною фільтрацією цих складових. За випадку третьої гармоніки такі методи є неприйнятними, що пояснюється тим, що за її наявності виникають внутрішньосмугові спотворення.

Окрім амплітудних спотворень в підсилювачі потужності [1] можуть виникати фазові створення, що також викликано нелінійністю фазової характеристики (рисунок 2). Останні виникають у випадку, коли затримка, яка виникає за підсилення, не є однаковою для всіх компонент сигналу. У випадку OFDM, за якого необхідно зберігати ортогональність між сусідніми носійними коливаннями, це може викликати збільшення рівню міжсимвольної інтерференції. Характеристика, що її наведено на рисунку 2, отримана для параметрів, які забезпечують польові транзистори, що відносять до сучасної елементної бази.

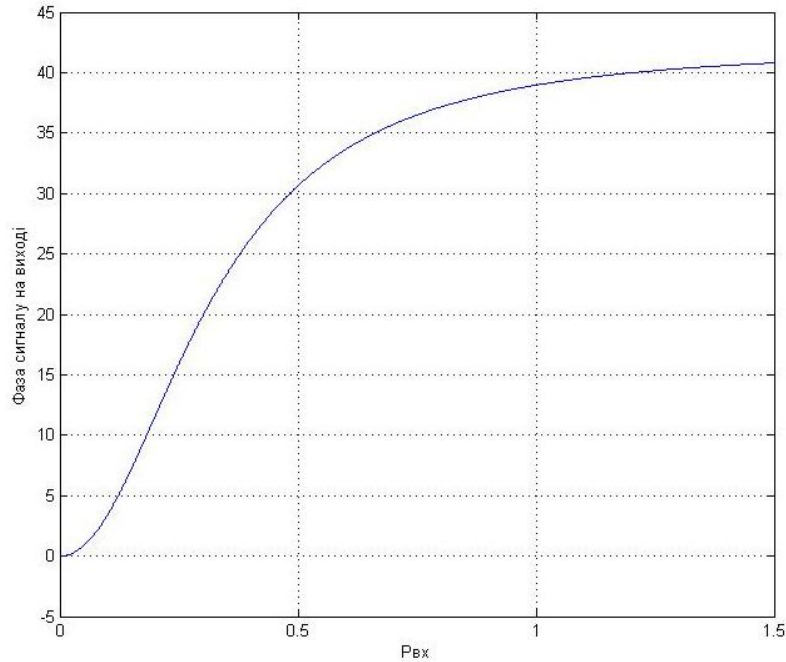


Рисунок 2 – Фазова характеристика підсилювача потужності

Для запобігання входження у режим насичення та амплітудного обмеження сигналу OFDM, підсилювачі потужності повинні використовувати за достатньої величини вхідної потужності, нормалізованої до потужності, за якої забезпечують максимальне значення сигналу (*IBO*), при цьому за збільшення відношення *PAPR* та кількості носійних коливань *N* збільшується й максимальна величина потужності підсилювача в режимі насичення (*OBO*). Однак, за значного збільшення *OBO* зменшується ефективність підсилювача потужності. Тому за проектування та введення у експлуатацію передавачів цифрового телевізійного мовлення важливим є досягнення компромісу між величиною *OBO* та ефективністю підсилювача потужності, за якого б забезпечувалась максимальна ефективність за мінімуму спотворень.

### ВИМІРЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО МОВЛЕННЯ

Враховуючи вищезазначене зрозуміло, що наявність нелінійних спотворень може призвести до значного погіршення характеристик всієї системи в цілому. Тому контроль рівню спотворень такого типу є дуже важливою задачею. Для оцінки нелінійних спотворень в системах цифрового телевізійного мовлення проводять вимірювання, основні з яких розглянуто нижче.

Враховуючи те, що одним з наслідків наявності нелінійних спотворень є спотворення сигнального сузір'я, ще одним немаловажним параметром, який необхідно вимірювати в передавачах цифрового мовлення, є величина вектору помилки (EVM) [3]. На рисунку 3 наведено графічне представлення EVM.

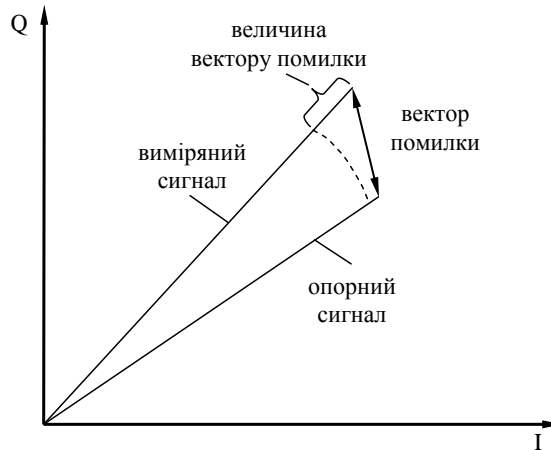


Рисунок 3 – До визначення EVM

Величину вектора помилки (EVM) визначають як:

$$EVM_{RMS} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}{S_{\max}^2}} \times 100\% , \quad (1)$$

де  $I$  і  $Q$  – ідеальні координати,  $\delta I$  і  $\delta Q$  – помилки в прийнятих точках даних.  $N$  – кількість точок даних у вибірці вимірювання.  $S_{\max}$  – величина вектора до самої крайньої точки у сузір'ї.

Окрім величини коефіцієнту помилок бітів (BER) та коефіцієнту помилок символів (SER), якими зазвичай характеризують вплив нелінійних спотворень, основним з вимірювань рівню цих спотворень є оцінювання відношення потужності сигналу в сусідньому каналі (ACPR). Оцінювання відношення ACPR є вимірюванням, яке дозволяє оцінити кількість потужності сигналу, яка потрапляє у сусідні канали за рахунок розширення спектру сигналу, що викликано наявністю нелінійних спотворень у підсилювачі потужності.

Відношення ACPR визначають, як відношення потужності сигналу в певній смузі частот ( $B_1$ ) за певного частотного зсуву  $f_0$  від центральної частоти каналу  $f_c$  до потужності у певній смузі частот ( $B_2$ ) в межах основної смуги частот [4].

$$ACPR = \frac{P_{B_1}}{P_{B_2}} \quad (2)$$

де  $P_{B_1}$  - потужність сигналу поза основною смугою за зсуву на величину  $f_0$  від центральної частоти каналу;

$P_{B_2}$  - потужність сигналу в основній смузі частот.

На рисунку 4 подано графічне пояснення до визначення *ACPR*.

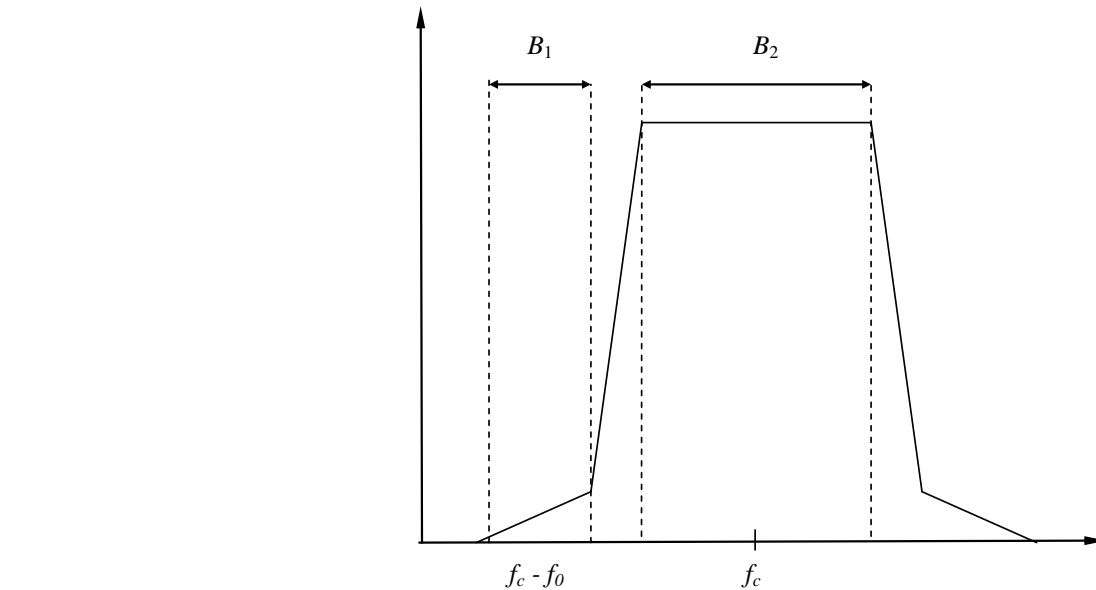


Рисунок 4 – До визначення відношення *ACPR*

Ще одним вимірюванням є визначення потужності шуму в основній смузі частот (*NPR*). За цього вимірювання оцінюють потужність внутрішньосмугової завади, яка також викликана наявністю нелінійності підсилювача потужності з причин, пояснених в попередніх розділах. Величину *NPR* вимірюють за допомогою вузькосмугового режекторного фільтру з частотою, яка відповідає центральній частоті каналу передавання. Рівень спотворень вимірюють за сигналом в межах смуги пропускання такого фільтру. Після цього оцінюють величину відношення *NPR*, яке визначають як відношення рівню спектральної густини потужності шуму, що подають до підсилювача потужності, яку вимірюють у завалі на центральній частоті спектру, до рівню спектральної густини потужності шуму без застосування режекторного фільтру (рисунки 5).

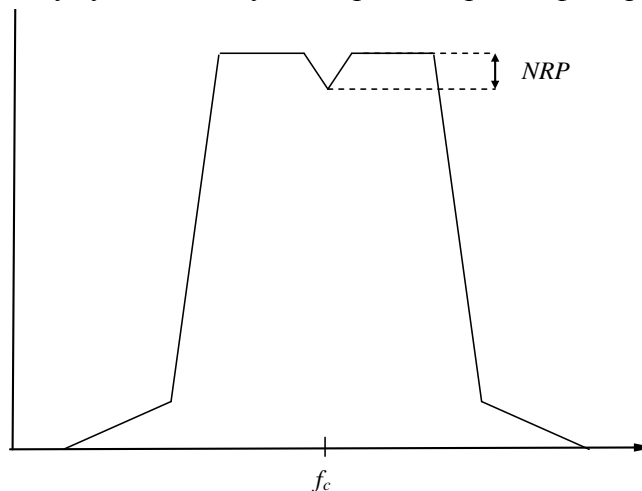


Рисунок 5 - До визначення відношення *NPR*

Аналітичний вираз для визначення відношення  $NPR$  наведено нижче.

$$NPR = \frac{N_{ш\phi}}{N_{ш}} \quad (3)$$

де  $N_{ш\phi}$  - спектральна густина потужності шуму в завалі на центральній частоті каналу передавання, що його виміряно за допомогою режекторного фільтру;

$N_{ш}$  - спектральна густина потужності шуму, яку оцінено без режекторного фільтру.

Оцінка відношення інтермодуляційних спотворень за вимірювання багаточастотним сигналом ( $MIMR$ ) є ще одним вимірюванням, що дозволяє оцінити вплив нелінійних спотворень на сигнал з багатьма носійними коливаннями.

Величину  $MIMR$  визначають як відношення потужності бажаного носійного коливання до потужності компоненти з найвищою частотою, яка виникає внаслідок наявності інтермодуляційних спотворень, яку вимірюють безпосередньо поза смугою частот бажаного сигналу (рисунок 6).

$$MIMR = \frac{P_c}{P_{IM-n}} \quad (4)$$

де  $P_{IM-n}$  - потужність компоненти з номером  $n$ , що виникла внаслідок інтермодуляційних спотворень;

$P_c$  - потужність носійного коливання.

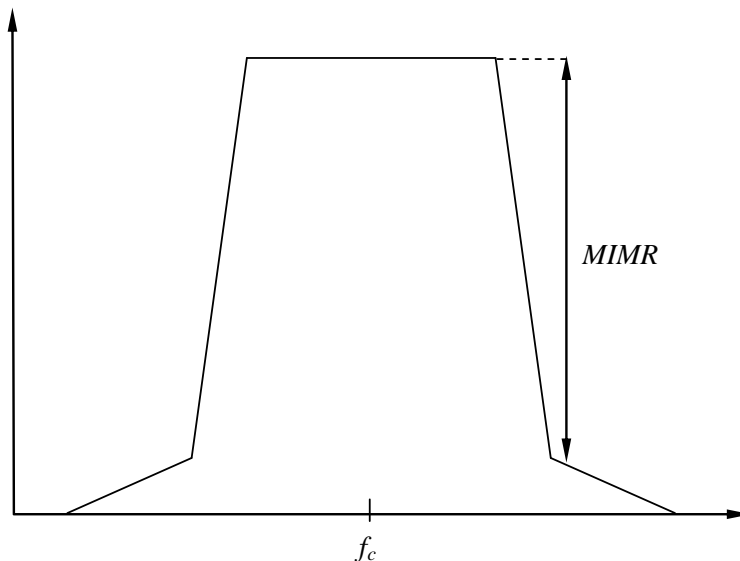


Рисунок 6 - До визначення відношення  $MIMR$

В більшості випадків рівень інтермодуляційних спотворень оцінюють за рівнем третьої ( $IM3$ ) та п'ятої ( $IM5$ ) гармонік.

## ВИСНОВОК

*Важливою складовою розгортання та експлуатації систем мовлення є вимірювання параметрів трактів передавання. Ступінь відповідності параметрів тракту передавання встановленим нормам визначає ефективність системи в цілому. Особливо це справедливо для цифрових систем мовлення, в яких підвищення рівню спотворень призводить до значного погіршення якості. Тому важливим є визначення норм на величину цих спотворень. В цій статті приведені результати аналізу досліджень та технічної документації, що проведено в світі, на основі яких можливо визначити основні з норм на технічну експлуатацію передавачів цифрового мовлення.*

## Література

- 1 Баляр В.Б Вплив нелінійних спотворень на характеристики передавальних трактів систем цифрового наземного ТВ-мовлення. – Цифрові технології. – 2007. - №1. – С.79-83.-- Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Технології цифрового мовлення: стратегія впровадження в Україні (DBT-2007)”. - Одеса, ОНАЗ ім. О.С. Попова, 3-4 липня 2007. – С.126-131.
- 2 Simon Litsyn Peak power control in multicarrier communications. –Cambridge University Press. – 2007. -278 p.
- 3 ДСТУ ETSI TR 101 290:2004 Цифрове телевізійне мовлення (DVB); Настанови щодо вимірювання характеристик системи DVB.
- 4 Peter Jantunen Nonlinear Power Amplifiers for Wireless Communications. - Helsinki university of technology. – 2004. – 138 p.