

УДК 691.397

ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО МОВЛЕННЯ DVB-T / DVB-T2 ПРИ ВПЛИВІ КВАДРАТУРНИХ СПОТВОРЕНЬ

В.Б. Баляр

Старший викладач

Кафедра телебачення і радіомовлення
Інститут радіо, телебачення та електроніки
Одеська національна академія зв'язку
ім. А.С. Попова
вул. Ковальська, 1, м. Одеса, Україна, 65029
E-mail: balyar_vb@mail.ru;
balyar.vb @ onat.edu.ua

В статті представлено результати досліджень щодо оцінки характеристик систем DVB-T/ DVB-T2 при наявності квадратурних спотворень за різних умов приймання сигналів цифрового телевізійного мовлення. Проведено детальний аналіз наслідків виникнення квадратурних спотворень, визначено припустимі рівні спотворень та запропоновано можливі технічні рішення щодо зменшення їх негативного впливу

Ключові слова: DVB-T/ DVB-T2, квадратурні спотворення, вимірювання, технічна якість, Matlab

В статье представлены результаты исследований по оценке характеристик систем DVB-T/ DVB-T2 при наличии квадратурных искажений для разных условий приема сигналов цифрового телевизионного вещания. Проведен детальный анализ последствий возникновения квадратурных искажений, определены допустимые уровни искажений и предложены возможные технические решения относительно уменьшения их негативного влияния

Ключевые слова: DVB-T/ DVB-T2, квадратурные искажения, измерения, техническое качество, Matlab

1. Вступ

Системи DVB-T та DVB-T2 використовують для цифрового наземного (ефірного) телевізійного мовлення в багатьох країнах світу. В Україні продовжується розгортання мережі цифрового телевізійного мовлення в стандарті DVB-T2, а також діють передавачі стандарту DVB-T. Однією з задач, що вирішують під час розгортання та експлуатації цих мереж є періодичний контроль для забезпечення своєчасного виявлення несправностей, що можуть приводити до появи різних спотворень сигналу. Незважаючи на те, що системи DVB-T та DVB-T2 стандартизовано та вже впроваджено в багатьох країнах, в більшості випадків їх характеристики нормують для каналу з АБГШ та для багатопроміневого каналу. Однак інші типи спотворень, таких як квадратурні спотворення, не нормовано. Наявність такого типу спотворень призводить до суттєвого погіршення характеристик системи цифрового телевізійного мовлення, тому представляється важливим визначити припустимі рівні квадратурних спотворень, особливо при наявності АБГШ, з урахуванням особливостей та характеристик систем DVB-T та DVB-T2.

Безпосередньо стандарт на систему DVB-T [1], як і публікації [2], та настанови щодо вимірювань в системах DVB [3] містять лише порогові значення відношення носійне коливання/шум (CNR, Carrier-to-Noise Ratio) та не надають відповідних залежностей в каналі з АБГШ, не кажучи вже й про інші типи спотворень. Якщо ж говорити про систему цифрового наземного телевізійного мовлення другого покоління (DVB-T2), то спостерігається така ж сама ситу-

ація – в базовому стандарті [4] приводяться лише порогові значення відношення CNR, а публікації в напрямку дослідження її характеристик при впливі спотворень різних типів взагалі практично відсутні. Серед публікацій в напрямку аналізу характеристик цифрових систем за впливу спотворень різного типу можливо відзначити [5-7]. Ці статті висвітлюють результати досліджень щодо компенсації нерівномірності підсилення I/Q-сигналів в передавачі та приймачі з застосуванням узагальненої моделі системи з КАМ-М/ OFDM. При цьому аналізують вплив квадратурних спотворень без урахування характеристик підсистеми каналного декодування/деперемеження та інших функціональних блоків приймача. Враховуючи вищезазначене, метою цієї статті є отримання кількісних та якісних оцінок характеристики систем DVB-T та DVB-T2 при наявності квадратурних спотворень з визначенням можливих технічних рішень, що дозволять їх зкомпенсувати або мінімізувати їх негативний вплив.

2. Оцінка впливу квадратурних спотворень на характеристики трактів систем DVB-T та DVB-T2

Методику проведення вимірювань з визначенням частин тракту систем DVB-T та DVB-T2, характеристики сигналу в яких підлягають оцінці, наведено в [3]. Дослідження впливу квадратурних спотворень на характеристики наскрізного тракту систем DVB-T та DVB-T2 будемо проводити за чотирьох випадків, що відповідають таким умовам:

- вплив квадратурних спотворень типу нерівномірність підсилення I/Q-сигналів за значного відношення сигнал/шум (позначимо це спотворення AI);
- вплив квадратурних спотворень типу нерівномірність підсилення I/Q-сигналів за відношення сигнал/шум, що є більшим за 3 дБ за порогове значення (позначимо це спотворення AI+AWGN);
- вплив квадратурних спотворень типу фазова помилка I/Q-сигналів за значного відношення сигнал/шум (позначимо це спотворення PE);
- вплив квадратурних спотворень типу фазова помилка I/Q-сигналів за відношення сигнал/шум, що є більшим за 3 дБ за порогове значення (позначимо це спотворення PE+AWGN).

Для оцінки припустимого рівня спотворення кожного типу будемо використовувати параметр Δ , що характеризуватиме різницю між пороговими рівнями спотворення, за яких системи DVB-T і DVB-T2 будуть працювати в режимі QEF.

За аналізу квадратурних спотворень будемо аналізувати такі варіанти параметру Δ :

- 1) для нерівномірності підсилення I/Q-сигналів:

$$\Delta_{AI} = AI_{T2пор} - AI_{Tпор}$$

де Δ_{AI} - різниця між пороговими рівнями спотворення типу "нерівномірність підсилення I/Q-сигналів" в системах DVB-T і DVB-T2;

$AI_{T2пор}$ - пороговий рівень спотворення типу "нерівномірність підсилення I/Q-сигналів" в системі DVB-T2;

$AI_{Tпор}$ - пороговий рівень спотворення типу "нерівномірність підсилення I/Q-сигналів" в системі DVB-T;

- 2) для фазової помилки I/Q-сигналів:

$$\Delta_{PE} = PE_{T2пор} - PE_{Tпор}$$

де Δ_{PE} - різниця між пороговими рівнями спотворення типу "фазова помилка I/Q-сигналів" в системах DVB-T і DVB-T2;

$PE_{T2пор}$ - пороговий рівень спотворення типу "фазова помилка I/Q-сигналів" в системі DVB-T2;

$PE_{Tпор}$ - пороговий рівень спотворення типу "фазова помилка I/Q-сигналів" в системі DVB-T.

Від'ємні значення Δ_{AI} та Δ_{PE} вказують на те, що відповідне порогове значення в системі DVB-T2 є меншим за значення в DVB-T.

Оцінку будемо проводити для двох конфігурацій:

- конфігурація при однаковій спектральній ефективності систем DVB-T і DVB-T2 (в обох випадках

обрано модуляцію КАМ-16) за однакових швидкостей внутрішнього коду (1/2, 2/3 та 5/6);

- конфігурація при різних значеннях спектральної ефективності систем DVB-T і DVB-T2 (обрано КАМ-64 та КАМ-256 відповідно) за однакових швидкостей внутрішнього коду (1/2, 2/3 та 5/6).

Для оцінки використано схему випробувань (рис. 1), що її рекомендовано в стандарті ETSI TR 101 290 "Настанови до проведення вимірювань у системі DVB" [3] з внесенням певної модифікації для врахування специфіки реалізації моделі.

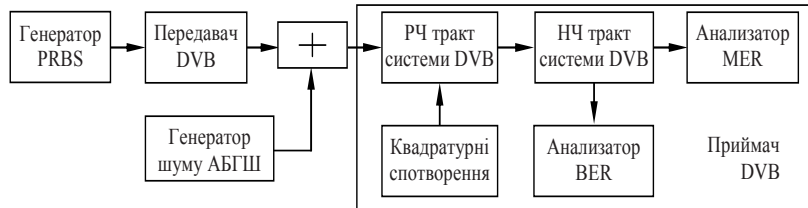


Рис. 1. Схема випробувань для оцінки впливу квадратурних спотворень на характеристики систем DVB-T та DVB-T2

Схема випробувань відповідає випадку, коли вимірювання проводилось для режиму "коли служба не працює". На цій схемі під передавачем та приймачем DVB розуміють передавач та приймач систем DVB-T та DVB-T2 з урахуванням того, що вимірювання проводилось окремо для кожного з стандартів. Аналіз впливу спотворень проводився окремо для кожного з типів спотворень, що їх визначено вище.

За результатами дослідження було побудовано залежності, що їх надано на рис. 2-3.

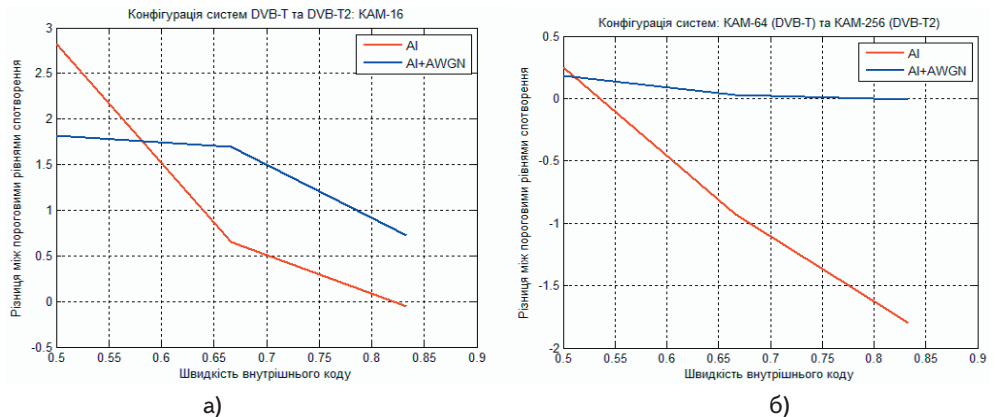


Рис. 2. Залежність різниці між пороговими рівнями спотворення AI та AI+AWGN при різних швидкостях внутрішнього коду та методах модуляції: а) КАМ-16 (DVB-T/DVB-T2) б) КАМ-64 (DVB-T) та КАМ-256 (DVB-T2)

З рис. 2а видно, що за умов незначного рівню шуму в системі DVB-T2 при КАМ-16 є припустимим більший рівень спотворень типу "нерівномірність підсилення I/Q-сигналів", ніж в системі DVB-T.

Це може бути пояснено використанням більш потужних методів корегувального кодування (кодів LDPC та BCH), а також застосуванням багатьох етапів перестановки синфазної та квадратурної складової КАМ-сигналу.

Все це в цілому при застосуванні КАМ-16 дозволяє отримати вигравш за пороговим рівнем спотворення типу “нерівномірність підсилення I/Q-сигналів” від 0.83 дБ до 2.82 дБ в залежності від швидкості внутрішнього коду.

На рис. 2б приведено результат моделювання для конфігурацій систем цифрового наземного телевізійного мовлення, за яких використовують КАМ-64 (DVB-T) та КАМ-256 (DVB-T2). За цих конфігурацій значення Δ_{AI} за швидкості внутрішнього коду 1/2 дорівнює 0,25. Зі збільшенням швидкості внутрішнього коду ця величина є від’ємною та досягає -1,8 дБ. Це може бути пояснено тим, що коригувальної здатності кодів LDPC/VCH не достатньо для виправлення всіх помилок, що виникають за нерівномірності підсилення I/Q-сигналів.

Однак збільшення відношення сигнал/шум в каналі мовлення дозволить отримати вигравш при цій конфігурації за спектральною ефективністю приблизно в 4 рази порівняно з конфігурацією DVB-T (КАМ-64 5/6). За використання конфігурації системи DVB-T2, що відповідає КАМ-256 1/2, збільшення відношення сигнал/шум не є необхідним – припустимі рівні спотворення є приблизно однаковими (різниця становить 0,25 дБ).

На відміну від випадку, коли рівень АБГШ є незначним, різниця між пороговими рівнями спотворення AI+AWGN при різних швидкостях внутрішнього коду та КАМ-16 в системах DVB-T та DVB-T2 становить від 0,72 до 1,82 дБ.

При конфігураціях з КАМ-64 та КАМ-256 різниця між пороговими рівнями практично не є від’ємною та дорівнює величині від 0,18 до -0,006 дБ. За такої різниці при незначному збільшенні потужності сигналу системи DVB-T буде спостерігатись необхідний рівень завадостійкості навіть за наявності квадратурних спотворень. Залежність коефіцієнту BER на виході внутрішнього декодера при різних конфігураціях систем DVB-T та DVB-T2 від фазової помилки I/Q-сигналів надано на рис. 3.

З рис. 3 видно, що різниця між пороговими рівнями спотворення типу “фазова помилка I/Q-сигналів” дорівнює від -0,25⁰ до 16⁰ для випадку з КАМ-16 та від -5,94⁰ до 5,25⁰ для випадку КАМ-64 (DVB-T) та КАМ-256 (DVB-T2). Таким чином, при незначному рівні АБГШ спостерігається аналогічна ситуація, як й з спотворенням типу “нерівномірність підсилення I/Q-сигналів”.

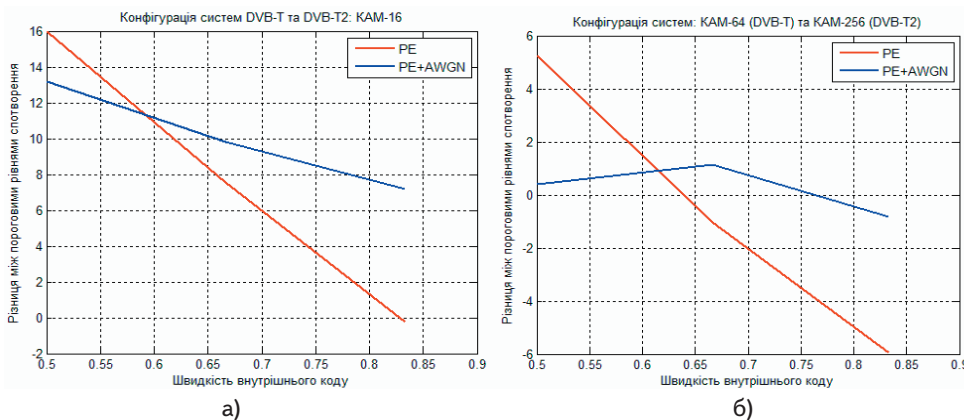


Рис. 3. Залежність різниці між пороговими рівнями спотворення PE та PE+AWGN при різних швидкостях внутрішнього коду та методах модуляції: а) КАМ-16 (DVB-T/DVB-T2) б) КАМ-64 (DVB-T) та КАМ-256 (DVB-T2)

Аналіз різниці між пороговими рівнями спотворення PE+AWGN для цього випадку надано на рис. 3а, з якого видно, що її величина дорівнює від 7,2⁰ до 13,2⁰. Для іншого випадку (рис. 3б) ця різниця дорівнює величині від -0,82⁰ до 1,15⁰. З цих рисунків видно, що при різних рівнях АБГШ внаслідок дисперсії точок сигнального сузір’я КАМ-М різниця між пороговими рівнями в більшості випадків спостерігається вигравш від використання системи DVB-T2 порівняно з DVB-T. Це говорить про більшу стійкість системи DVB-T2 до обох типів квадратурних спотворень. На базі аналізу рис. 2-3, а також попередніх результатів, побудовано табл. 1-2, що містить порогові величини квадратурних спотворень за двох умов – незначного рівню АБГШ та за рівню АБГШ, що трохи більшим за припустимий рівень.

Таблиця 1

Порогові рівні спотворень в системах DVB-T та DVB-T2 для КАМ-16

Параметр	Значення		
	1/2	2/3	5/6
Спотворення AI та PE			
$AI_{Tпор}, дБ$	7,05		
$AI_{T2пор}, дБ$	9,87	7,7	6,997
$\Delta_{AI}, дБ$	2,82	0,65	-0,053
$PE_{Tпор}, 0$	34		
$PE_{T2пор}, 0$	50	41,54	33,75
$\Delta_{PE}, 0$	16	7,54	-0,25
Спотворення AI+AWGN та PE+AWGN			
$AI_{Tпор}, дБ$	5	4	3,5
$AI_{T2пор}, дБ$	6,82	5,7	4,22
$\Delta_{AI}, дБ$	1,82	1,7	0,72
$PE_{Tпор}, 0$	23	18,5	15,05
$PE_{T2пор}, 0$	36,2	28,3	22,25
$\Delta_{PE}, 0$	13,2	9,8	7,2

З таблиць видно, що припустимі рівні спотворень кожного з типів в системі DVB-T практично не залежать від швидкості внутрішнього коду та збільшуються приблизно в 2 рази при переході від КАМ-16 до КАМ-64.

В системі DVB-T2 припустимий рівень спотворень залежить від швидкості внутрішнього коду та від обраного методу модуляції. Так, при збільшенні швидкості внутрішнього коду припустима величина спотворень зменшується приблизно в 1,5 рази, в той час як при зміні методу модуляції (від КАМ-16 до КАМ-256) при фіксованій швидкості внутрішнього коду припустимий рівень спотворень зменшується на величину від 2,5 до 5,5 разів.

Таблиця 2

Порогові рівні спотворень в системах DVB-T (КАМ-64) та DVB-T2 (КАМ-256)

Параметр	Значення		
Швидкість коду	1/2	2/3	5/6
Спотворення AI та PE			
$AI_{T_{пор}}$, дБ	3,3		
$AI_{T_{2пор}}$, дБ	3,55	2,368	1,5
Δ_{AI} , дБ	0,25	-0,93	-1,8
$PE_{T_{пор}}$, 0	15,4		
$PE_{T_{2пор}}$, 0	20,65	14,35	9,46
Δ_{PE} , 0	5,25	-1,05	-5,94
Спотворення AI+AWGN та PE+AWGN			
$AI_{T_{пор}}$, дБ	1,87	1,62	1,1
$AI_{T_{2пор}}$, дБ	2,05	1,65	1,094
Δ_{AI} , дБ	0,18	0,03	-0,006
$PE_{T_{пор}}$, 0	11,5	8,8	7,5
$PE_{T_{2пор}}$, 0	11,9	9,95	6,68
Δ_{PE} , 0	0,4	1,15	-0,82

3. Висновки

Окрім завад та шумів в системі можуть виникати й інші спотворення сигналу (квадратурні спотворення, фазовий шум, нелінійні спотворення, тощо), що будуть призводити до суттєвого погіршення характеристик наскрізного тракту цифрового телевізійного мовлення, навіть в разі дотримання необхідного рівню сигналу. Також при сумісному впливі спотворень різного типу причину погіршення характеристик системи не завжди вдається оперативно виявити, тому важливим є визначення норм на рівень кожного з спотворень як окремо, так й при сумісному їх впливу. Під час дослідження, результати якого приведено в цій статті, проаналізовано вплив спотворень за окремого впливу квадратурних спотворень різного типу за наявності АБГШ та визначено їх пороговий рівень. Отримані результати можуть бути використані під час сертифікаційних, пуско-налагоджувальних робіт та при проведенні поточних вимірювань в процесі технічної експлуатації, а також під час наукових досліджень в напрямку підвищення ефективності систем DVB-T та DVB-T2 за наявності квадратурних та інших спотворень.

Література

1. Цифрове телевізійне мовлення. Структура кадрів, каналне кодування та методи модуляції в системі цифрового наземного телебачення (ETSI EN 300 744: 2001, MOD): ДСТУ ETSI EN 300 744: 2004. – [Чинний від 2005-04-01]. - К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 67 с. - (Національний стандарт України).
2. Frescura P. DSP Based OFDM Demodulator and Equalizer for Professional DVB-T Receivers/ P. Frescura // IEEE Transactions on Broadcasting. – 1999. - vol. 45, №. 3. - pp. 323-332.
3. Цифрове телевізійне мовлення. Характеристики системи передавання. Настанови щодо виконання вимірювань (ETSI TR 101 290: 2001, IDT): ДСТУ ETSI TR 101 290: 2006. - [Чинний від 2006-04-01]. - К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 166 с. - (Національний стандарт України).
4. Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2): ETSI EN 302 755. – Sophia, France: ETSI, 2009. – 164 p.
5. Tandur D. Joint compensation of OFDM transmitter and receiver IQ imbalance in the presence of carrier frequency offset/ D. Tandur, M. Moonen// Proc. of 14th EUSIPCO conference, Florence, Italy, Sep. 2006. - 5 p.
6. Chen Ying Frequency Offset Estimation for OFDM Systems in the Presence of I/Q Mismatch/ Chen Ying, Jayalath Dhammika, Zhang Jian, Pollock Tony// 18th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2007), Athens, 3-7 Sept. 2007.
7. Nguyen Thanh Hieu Derivation and analysis of the BER Closed Form in the OFDM Communication System with IQ Imbalance/ Nguyen Thanh Hieu, Byung-Su Kang, Kwangchun Lee, Heung-Gyoon Ryu// Journal of The Korea Electromagnetic Engineering Society. – 2006. - Vol.6 №.3. – p. 182-188.

Abstract

In this article author's study results in direction of performance analysis of digital terrestrial television broadcasting system in DVB-T and DVB-T2 standards in combined influence of quadrature impairments and AWGN. Main purpose of studies is estimation of technical operational quality degradation in such systems in different conditions of performance non-ideality of quadrature modulator/ demodulator with different relationship between impairments for combined influence. For this the simulation model of DVB-T2 system path providing possibility of quantitative and qualitative estimation of technical operational quality in condition of quadrature impairments and AWGN is implemented in Matlab/ Simulink mathematical modelling environment. As a result quantitative and qualitative estimations of DVB-T and DVB-T2 performance in condition of combined influence of quadrature impairments, i.e. I/Q amplitude and phase imbalance, and AWGN, with definition of threshold levels of impairments are provided for the first time. Moreover in-depth analysis of influence of configuration choice of DVB-T/DVB-T2 systems on acceptable impairment level during appearing of I/Q amplitude and phase imbalance and AWGN are carried out. Derived values can be used for such impairment level fixing and control during technical maintenance, certification tests and starting-up/adjustment work

Keywords: DVB-T/DVB-T2, quadrature distortion measurements, technical quality, Matlab