

В статті представлено результати досліджень щодо оцінки впливу фазового шуму за наявності АБГШ різного рівню на характеристики систем DVB-T/ DVB-T2. Проведено детальний аналіз наслідків виникнення фазового шуму та за допомогою імітаційної моделі визначено його припустимі рівні з урахуванням умов приймання

Ключові слова: DVB-T/ DVB-T2, фазовий шум, вимірювання, технічна якість, Matlab

В статті представлені результати досліджень по оцінці впливу фазового шуму при наявності АБГШ різного рівня на характеристики систем DVB-T/ DVB-T2. Проведен детальний аналіз наслідків виникнення фазового шуму та при допомозі імітаційної моделі визначено його допустимі рівні з урахуванням умов приймання

Ключевые слова: DVB-T/ DVB-T2, фазовый шум, измерения, техническое качество, Matlab

ВПЛИВ ФАЗОВОГО ШУМУ НА ТЕХНІЧНУ ЯКІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ DVB-T/DVB-T2

В. Б. Баляр

Старший викладач кафедри

Кафедра телебачення та радіомовлення

Заступник директора з наукової роботи

Інститут радіо, телебачення та електроніки

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

вул. Ковальська, 1, м. Одеса, Україна, 65029

E-mail: balyar_vb@mail.ru; balyar.vb@onat.edu.ua

1. Вступ

В багатьох країнах світу широко впроваджують системи цифрового наземного телевізійного мовлення в стандартах DVB-T/ DVB-T2. Питанням, що має бути вирішено під час цього, є контроль технічної якості обладнання та мереж, що впроваджуються. Незважаючи на те, що на теперішній час існує багато технічних рішень щодо контролю технічної якості функціонування на різних рівнях моделі взаємодії відкритих систем, але норми на характеристики практично не визначаються та обмежуються в основному лише тільки припустимим рівнем сигналу на вході приймача цифрового телевізійного мовлення. Це значним чином зменшує ефективність обладнання контролю та викликає необхідність в проведенні додаткових експлуатаційних досліджень з метою визначення припустимих величин параметрів, що підлягають контролю, за наявності різних радіочастотних спотворень. Одним з таких спотворень, що підлягають нормуванню, є фазовий шум локальних гетеродинів передавачів/приймачів сигналів систем DVB-T/ DVB-T2.

На сьогодні існує вкрай обмежена кількість публікацій, присвячених дослідженню впливу фазового шуму на характеристики системи DVB-T. Серед них можливо відзначити [1-2]. В роботі [1] приведено теоретичний аналіз причин виникнення фазового шуму, його складових та визначено математичні моделі сигналу COFDM за наявності цього типу спотворень. Для оцінки фазового шуму пропонується використовувати вагові функції, що спрощують теоретичний аналіз за різних параметрів сигналу OFDM – розміру ШПФ, кількості носійних коливальних, тощо. В практичній частині публікації приведено сигнальні сузір'я системи DVB-T за наявності фазового шуму різного рівню без

надання будь-яких оцінок параметрів, що характеризують якість роботи системи. Таким чином, практична цінність цієї публікації вкрай обмежена. Практично аналогічна ситуація спостерігається в [2], де аналізують можливі причини підвищення загального рівню системного шуму на вході приймача DVB-T внаслідок впливу завад від других станцій, нелінійних спотворень та інших факторів.

Публікації, присвячені характеристикам системи DVB-T2 за умов наявності фазового шуму, взагалі відсутні. Безпосередньо стандарт на систему DVB-T [5] та настанови щодо вимірювань в системах DVB [6] 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 ситуація – в базових стандартах [7-9] приводяться лише порогові значення відношення CNR.

Існує багато публікацій, присвячених оцінці впливу фазового шуму для узагальненої системи зв'язку з OFDM, таких як [3-4, 10]. Але застосування цих результатів до систем цифрового наземного телевізійного мовлення обмежено, так як при цьому необхідно провести повторний аналітичний та практичний аналіз з урахуванням особливостей систем DVB-T/DVB-T2.

Враховуючи вищезазначене, метою цієї статті є отримання кількісних та якісних оцінок характеристик систем DVB-T та DVB-T2 при наявності фазового шуму за умов, що є типовими під час технічної експлуатації, - за незначного рівню АБГШ та за рівнів, що є близькими до порогових значень.

2. Оцінка сумісного впливу фазового шуму та АБГШ на характеристики трактів систем DVB-T та DVB-T2

Для оцінки використано схему випробувань (рис. 1), що її рекомендовано в стандарті ETSI TR 101 290 “Настанови до проведення вимірювань у системі DVB” [6] з внесенням певної модифікації для врахування специфіки реалізації моделі.

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.

Спектральну густину фазового шуму зазвичай виражають у дБ/Гц за визначеного зміщення частоти від частоти гетеродина.

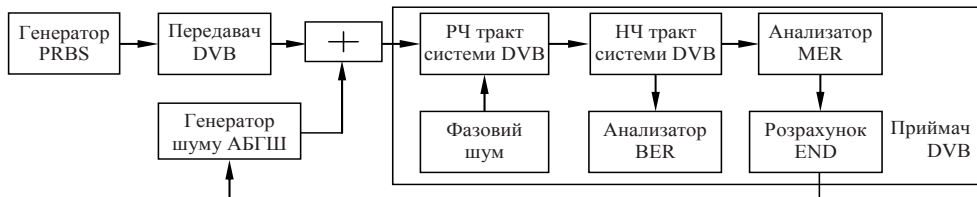


Рис. 1. Схема випробувань для оцінки впливу фазового шуму на характеристики систем DVB-T та DVB-T2

В стандарті ETSI TR 101 290 [6] для вимірювання фазового шуму рекомендовано використовувати частоти f_a , f_b , f_c , значення яких кратні рознесенню носійних коливань (табл. 1).

Таблиця 1

Зсуви частоти для систем 2k і 8k

Швидкість передавання символів	f_a , кГц	f_b , кГц	f_c , кГц
Система 2k	4,464	8,928	12,392
Система 8k	1,116	2,232	3,348

- Під час дослідження аналізувалось два випадки:
- вплив фазового шуму на технічну якість функціонування за незначного рівню АБГШ;
 - вплив фазового шуму на технічну якість функціонування за відношення сигнал/шум, що є на 3 дБ вище за порогове значення, в каналі з АБГШ.

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).

Дослідження проводились за допомогою математичних моделей, що їх реалізовано автором за допомогою середовища моделювання Matlab. За результатами дослідження побудовано залежності, що їх надано на рис. 2-3.

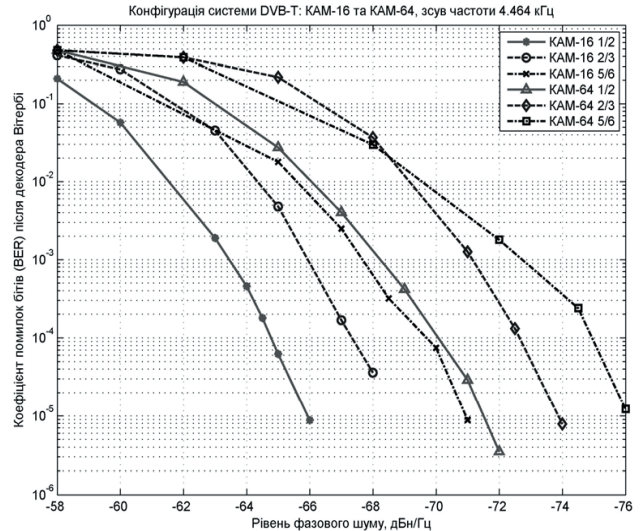


Рис. 2. Залежність величини BER після внутрішнього декодера Вітерці від рівню фазового шуму для КАМ-16 та КАМ-64 в системі DVB-T

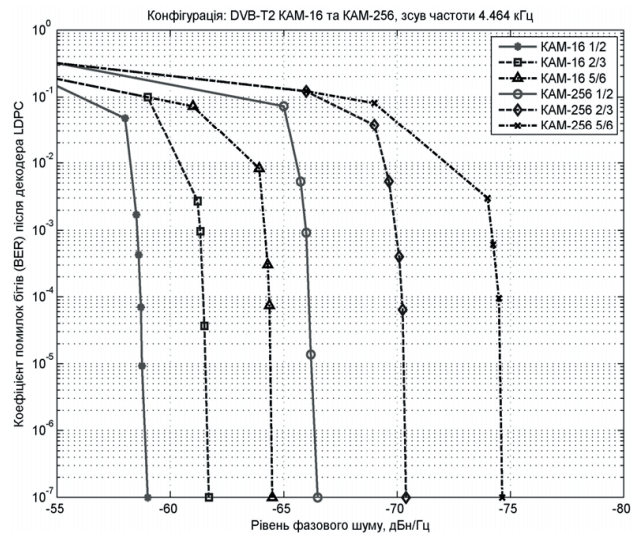


Рис. 3. Залежність величини BER після внутрішнього декодера LDPC від рівню фазового шуму для КАМ-16 та КАМ-256 в системі DVB-T2

З рис. 2-3 видно, що наявність фазового шуму в системі DVB-T призводить до погіршення характеристик за рівнів шуму, що є значно меншими ніж в системі DVB-T2. Це дозволяє до певної міри знизити вимоги до припустимої величини фазового шуму в системі цифрового наземного телевізійного мовлення другого покоління (DVB-T2).

Базуючись на залежностях, наданих на рис. 2-3, можливо визначити порогові рівні фазового шуму, за яких системи DVB-T та DVB-T2 будуть працювати в квазібезпомилковому режимі. За цього режиму вели-

чина коефіцієнту помилок бітів після декодера Вітербі в системі DVB-T буде відповідати $BER \approx 2 \cdot 10^{-4}$, а для системи DVB-T2 - $BER \approx 1 \cdot 10^{-7}$ після декодера LDPC. Порогові значення, що їх отримано в процесі моделювання на різних частотах зсуву від центрального носійного коливання, надано в табл. 2-3.

Таблиця 2

Порогові рівні фазового шуму в системах DVB-T та DVB-T2 при методі модуляції KAM-16

Система	Швидкість коду	Пороговий рівень фазового шуму, дБн/Гц		
		4,464	8,928	12,392
Частота зсуву, кГц				
DVB-T	1/2	-61	-64,5	-66
	2/3	-64	-67	-69
	5/6	-67	-70	-72
DVB-T2	1/2	-57	-58,9	-60,9
	2/3	-59	-61,6	-63,4
	5/6	-61,5	-64,5	-66,25

Таблиця 3

Порогові рівні фазового шуму при методі модуляції KAM-64 (DVB-T) та KAM-256 (DVB-T2)

Система	Швидкість коду	Пороговий рівень фазового шуму, дБн/Гц		
		4,464	8,928	12,392
Частота зсуву, кГц				
DVB-T (KAM-64)	1/2	-67	-69	-72
	2/3	-69	-72,5	-74
	5/6	-73	-76	-78
DVB-T2 (KAM-256)	1/2	-64	-66,5	-68,1
	2/3	-67,5	-70,4	-72,2
	5/6	-72	-74,65	-76,5

З табл. 2-3 видно, що в системі DVB-T2 є припустимим більший рівень фазового шуму. При меншому захисту від помилок та більшій інформаційній швидкості (конфігурація DVB-T2 KAM-16 5/6) припустимим є рівень фазового шуму, що відповідає конфігурації DVB-T KAM-16 1/2.

Виграш за припустимим рівнем фазового шуму, що його надає система DVB-T2, відповідає величині приблизно від 4 до 5,75 дБн/ Гц при методі модуляції KAM-16.

Аналогічна залежність спостерігається й за інших методів модуляції – KAM-64 (DVB-T) та KAM-256 (DVB-T2). Однак при цьому спостерігається виграш одночасно при різних швидкостях внутрішнього коду та за рахунок використання більш ефективного методу цифрової модуляції. Це підтверджується тим, що за конфігурації DVB-T2 KAM-256 5/6 припустимим є більший рівень фазового шуму, ніж у випадку DVB-T KAM-64 1/2.

Виграш за величиною припустимого рівню фазового шуму для всіх швидкостей внутрішнього коду при переході до системи DVB-T2 становить від 1 до 3,9 дБн/ Гц.

Оцінені виграші можливо досягти лише за випадку, коли рівень шуму АБГШ є незначним, то

за значної потужності сигналу на вході приймача системи цифрового наземного телевізійного мовлення. Однак, якщо відношення сигнал/ шум на вході приймача DVB буде більшим лише на 3 дБ (типовий запас на реалізацію приймача) за порогове значення, відбудеться суттєве погіршення технічної якості функціонування системи.

Величину цього погіршення можливо оцінити згідно рекомендацій, що їх надано в ETSI TR 101 290 [6]. За цими рекомендаціями погіршення може бути оцінено за допомогою еквівалентного погіршення через шум (END).

Для оцінки параметру END було проведено два експерименти, метою яких було визначення залежності цього погіршення від зміни рівню фазового шуму та від зміни частоти зсуву від центрального носійного коливання. Це дозволило визначити припустимі значення фазового шуму при наявності шуму АБГШ значного рівню. Результати експериментів приведені на рис. 4-5.

З рис. 4-5 видно, що при значному рівні шуму АБГШ система DVB-T2 забезпечує гірші характеристики, ніж система DVB-T. Це можливо пояснити тим, що при впливі фазового шуму та наявності АБГШ незначного рівню система DVB-T2 вже працює на грані своїх можливостей, внаслідок того, що забезпечується менше значення порогового рівню фазового шуму. Однак вже при збільшенні АБГШ виникає необхідність в збільшенні потужності сигналу на вході приймача DVB або в змінненні порогових значень фазового шуму.

В табл. 4 приведено значення порогових рівнів фазового шуму для двох варіантів – за незначного рівню шуму АБГШ та за значних рівнів. Для оцінки величини рівню фазового шуму, на яку необхідно зменшити порогове значення при незначному рівні АБГШ, визначено різницю в порогових рівнях фазового шуму.

За незначного зменшення порогового рівню фазового шуму (від 1 до 3 дБн/Гц) вдається зкомпенсувати вплив збільшення рівню шуму АБГШ (табл. 4).

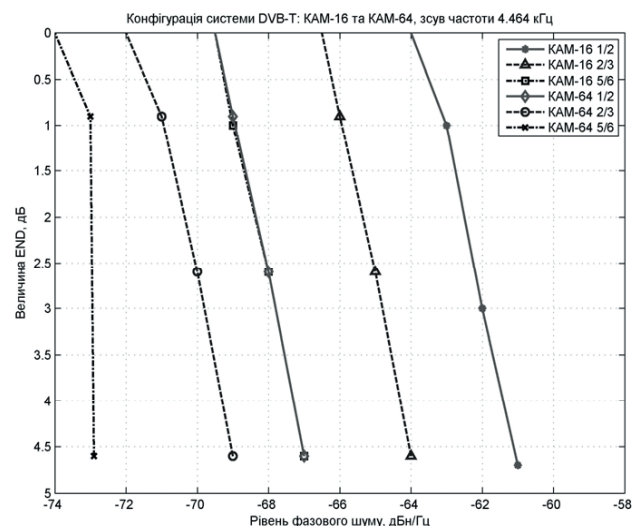


Рис. 4. Залежність величини END від рівню фазового шуму для KAM-16 та KAM-64 в системі DVB-T

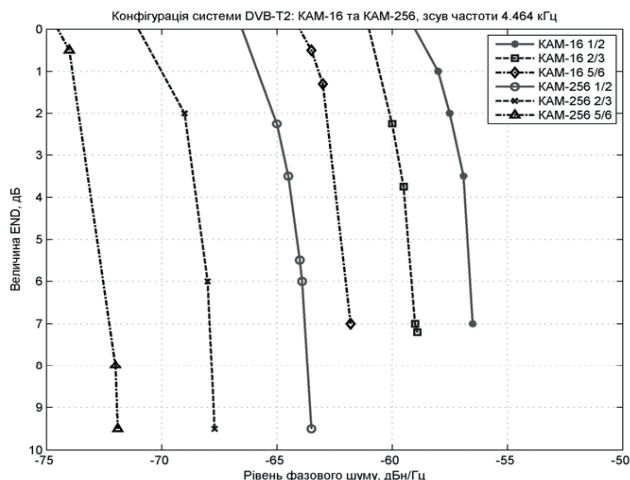


Рис. 5. Залежність величини END від рівню фазового шуму для KAM-16 та KAM-256 в системі DVB-T2

Таблиця 4

Значення порогових рівнів фазового шуму для двох варіантів – за незначного рівню шуму АБГШ та за значних рівнів

Система	Швидкість коду	Пороговий рівень фазового шуму, дБн/Гц		Різниця, дБн/Гц
		малий рівень АБГШ	великий рівень АБГШ	
DVB-T (KAM-16)	1/2	-61	-64	3
	2/3	-64	-66,5	2,5
	5/6	-67	-69,5	2,5
DVB-T2 (KAM-16)	1/2	-57	-59	2
	2/3	-59	-61	2
	5/6	-61,5	-64	2,5
DVB-T (KAM-64)	1/2	-67	-69,5	2,5
	2/3	-69	-72	3
	5/6	-73	-74	1
DVB-T2 (KAM-256)	1/2	-64	-66,5	2,5
	2/3	-67,5	-71	3,5
	5/6	-72	-74,5	2,5

При цьому вииграш від переходу до системи DVB-T2 зберігається – за цієї системи припустимим є більший рівень фазового шуму, ніж за випадку системи DVB-T. Такий вииграш досягається завдяки обробці в приймально-передавальних трактах системи DVB-T2, яка забезпечує підвищену ефективність в інформаційній швидкості, в відношенні сигнал/шум та в припустимих рівнях спотворень різних типів.

3. Висновки

Одним з важливих параметрів, що нормують в приймачах цифрового наземного телевізійного мовлення є рівень фазового шуму. Недостатній контроль цього параметру може призводити до суттєвого погіршення характеристик приймального тракту та, внаслідок цього, неможливості декодування сигналу цифрового телебачення. Існуючі методи компенсації фазових спотворень, викликаних фазовим шумом, не завжди забез-

печують достатню компенсацію та часто призводять до ускладнення реалізації приймача, що підвищує його вартість. Саме тому автором використано підхід, базований на аналізі характеристик систем DVB-T/ DVB-T2 за наявності некомпенсованого фазового шуму. Під час дослідження, результати якого приведено в цій статті, проаналізовано сумісний вплив фазового шуму та АБГШ, визначено відповідні порогові рівні та запропоновано можливі технічні рішення для мінімізації впливу комбінованого спотворення на характеристики приймача систем DVB-T/ DVB-T2. 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 фазового шуму.

Література

1. J. Scott The effects of phase noise in COFDM [Текст] / J. Scott// EBU Technical Review. – 1998. - № 278. – p. 12-25.
2. Nokes, C. DVB-T Receiver performance: measurement of receiver noise floor and definition of difficult channels [Текст] / C. Nokes, J. Salter// BBC R&D Tech. – 1998. - № 209. – 21 p.
3. Zou, Q. Y. Joint compensation of IQ imbalance and phase noise in OFDM wireless systems [Текст] / Q. Y. Zou, A. Tariqht, and A. Sayed // IEEE Transactions on Communications. – 2009. - № 57 (2). – p. 404-414.
4. Chen, Z. Q. (2010) Effects of LO phase and amplitude imbalances and phase noise on M-QAM transceiver performance [Текст] / Z. Q. Chen, F. F. Dai// IEEE Transaction on Industrial Electronics. – 2010. - № 57 (5). – p. 1505–1517.
5. 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).
6. 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).
7. 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.
8. Error-correction, data framing, modulation and emission methods for second generation of digital terrestrial television broadcasting systems: Recommendation ITU-R BT.1877. – Switzerland, Geneva: ITU: 2010. – 10 p.
9. Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2): ETSI TR 102 831. – Sophia, France: ETSI, 2010. – 217 p.
10. Frescura, P. DSP Based OFDM Demodulator and Equalizer for Professional DVB-T Receivers [Текст] / P. Frescura // IEEE Transactions on Broadcasting. – 1999. - vol. 45, №. 3. - pp. 323-332.