

УДК 654.197

ТРАНСЛЯЦІЯ РАДІОСИГНАЛІВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ СТАНДАРТУ DVB-S ПО НАЗЕМНОМУ РАДІОКАНАЛУ НВЧ- ДІАПАЗОНУ

DOI 10.36994/2788-5518-2021-02-02-07

Наритник Т.М., к.т.н., проф. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна. director@mitris.com

Авдєєнко Г.Л., к.т.н. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна. django2006@ukr.net

Анотація. На сьогоднішній день в світі та в Україні для організації наземної безпроводової трансляції в НВЧ діапазоні пакетів телевізійних програм до споживачів широкого розвитку набули мікрохвильові інтегровані телерадіоінформаційні системи (МІТРІС), що є наземними аналогами систем цифрового супутникового мовлення і по аналогії із останніми також використовують стандарт DVB-S. При цьому, як показує досвід використання подібних систем в Україні на прикладі ТОВ «Максимум ТВ» (м. Київ), кількість ТВ програм стандартної чіткості зображення, що передаються в кожному із шістнадцяти транспондерів при застосуванні стандарту стиснення MPEG-2 та модуляції QPSK складає близько 7-8, а ширина смуги частот всіх транспондерів, їх бітова швидкість – однакові та відповідно складають 36 МГц та 55 Мбіт/с. На даний момент часу відомо, що в системах кабельного цифрового телебачення, де застосовується стандарт DVB-C, ті ж самі 7-8 ТВ каналів стандартної чіткості зображення, наприклад, при застосуванні модуляції QAM-64 будуть передаватися лише в смузі частот 8 МГц. Але застосування стандарту DVB-S для ефірної трансляції по радіолінії НВЧ діапазону ТВ програм до кінцевого споживача вочевидь потребує більшого енергетичного запасу через необхідність більшого відношення потужності модульованої носійної частоти до суми потужностей шумів та завад на вході демодулятора абонентського ресиверу у порівнянні із стандартом DVB-S. Вказане призведе або до необхідності збільшення потужності передавача або збільшення спрямованості абонентської антени, що є суттєвим недоліком такого рішення, проте орієнтовно в чотири рази дозволить зменшити використання частотного ресурсу в порівнянні з DVB-S, що є перевагою.

Таким чином, актуальність теми статті полягає в необхідності обґрунтування доцільності переходу в МІТРІС від ефірної трансляції в стандарті DVB-S до ефірної трансляції в стандарті DVB-C.

Ключові слова: МІТРІС, НВЧ, радіолінія, DVB-S, DVB-C, телевізійне мовлення

DIGITAL TELEVISION RADIO SIGNALS OF THE DVB-C STANDARD BROADCASTING THROUGH THE TERRESTRIAL RADIO CHANNEL OF THE MICROWAVE BAND

Teodor Narytnyk, Ph.D. Prof. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine, director@mitris.com

Hlib Avdieienko, Ph.D. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine, django2006@ukr.net

Abstract. Today in the world and in Ukraine microwave integrated television (TV) and radio information systems (MITRIS) are widely developed for the organization of terrestrial wireless broadcasting of TV program packages to consumers in the microwave band. These systems are terrestrial analogues of digital satellite broadcasting systems which also uses the DVB-S TV standard. At the same time, the experience of using similar systems in Ukraine on the example of Maximum TV LLC (Kyiv) shows that the number of TV programs with standard density (SDTV) in each of the sixteen transponders that use the MPEG-2 compression standard and QPSK modulation is about 7-8, and the frequency bandwidth of all transponders and their bit rate are the same and equal to 36 MHz and 55 Mbps, respectively. It is currently known, that in cable digital television systems that use the DVB-C standard the same 7-8 SDTV channels, for example, when using QAM-64 modulation will be transmitted only in the 8 MHz band. But DVB-C standard application for terrestrial broadcasting of TV programs to the subscriber in microwave band obviously requires a larger energy potential due to the need for a greater ratio of modulated carrier power to the sum of noise and interference power at the input of the receiver's demodulator compared to the DVB-S standard. This will either increase the transmitter power or increase the gain of the subscriber antenna, which is a significant disadvantage of this solution. The main advantage of this solution is the possibility of approximately four time reduction of the frequency resource usage compared to DVB-S standard. Thus, the relevance of the article topic is the need to justify the feasibility of the transition to MITRIS from terrestrial broadcasting in the DVB-S standard to terrestrial broadcasting in the DVB-C standard. The theoretical assessment of the distance range, coverage area and spectral efficiency of frequency band for MITRIS system with DVB-C TV standard for various type of modulation and number of transmitted TV radio signals are presented. This paper can be useful for the radio planning engineers and manufacturers of TV equipment.

Keywords: MITRIS, microwave, radio link, DVB-S, DVB-C, broadcasting television

Вступ

Досвід, накопичений в ТВ мовленні показав, що телебачення, переходячи в цифрову еру, здатне надати цілу низку нових можливостей при зберіганні економічної ефективності. Передача ТВ сигналу в цифровій формі по лініям зв'язку дозволяє значно збільшити завадостійкість передачі, уможливорює багаторазову регенерацію і скремблювання цифрового сигналу в проміжних пунктах та надає змоги здійснювати цифрову корекцію зображення і придушення флуктуаційних і періодичних завад, що значно знижує накопичення завад вздовж всієї лінії передачі [1]. Цифрові системи відкривають широкі можливості обробки ТВ сигналу та забезпечують високий

ступінь стиснення відеоінформації, що дозволяє передавати в стандартному радіоканалі зі смугою 8 МГц сигнали чотирьох-восьми ТВ програм стандартної чіткості (SDTV) в наземному мовленні і до 15 програм через один ствол супутникового каналу зв'язку із смугою частот 36 МГц при застосуванні стандарту стиснення MPEG-2. Подальше збільшення кількості каналів SDTV, що транслюється, реалізується шляхом застосування стандарту стиснення AVC H.264 (MPEG-4 part 10). Також забезпечується гнучкість швидкості передачі цифрової інформації в каналі зв'язку за відповідної зміни якості декодованого зображення.

Отже, цифрове телебачення значно розширює можливості телеглядачів, а ретрансляція телевізійного сигналу надає можливість значно збільшити площу покриття і забезпечити ще більше домогосподарств якісним телебаченням.

У даній статті обґрунтовується можливість вдосконалення технології наземного розподілу програм ТВ мовлення МІТРІС [2], яка працює на даний час у стандарті DVB-S на частотах 11.7 – 12.5 ГГц за рахунок переходу до мовлення в стандарті DVB-C, що надасть можливість використовувати меншу смугу радіочастот для передачі того ж об'єму інформації або навпаки – при незмінній смузі радіочастот збільшити кількість ТВ програм, що передаватимуться в ефір.

Теоретичний розрахунок радіусу дії системи трансляції радіосигналів цифрового телебачення по радіоканалу НВЧ-діапазону при використанні стандартів DVB-S та DVB-C

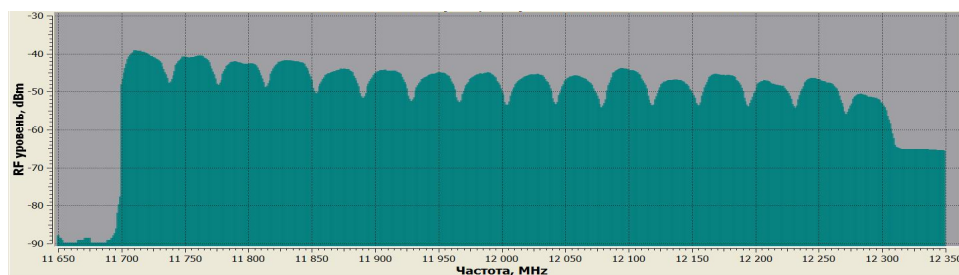


Рис. 1. Спектрограма трансponderів телевізійного провайдера «Maxim TV» у місті Київ

Вихідні дані для розрахунку. Як уже згадувалося, провайдером наземної мікрохвильової інтегрованої телерадіоінформаційної системи в Україні є компанія «Maxim TV». Мовлення ведеться на тих же частотах, що і у супутникових системах Ku-діапазону 11,7 – 12,5 ГГц. Технічне обладнання цієї компанії формує та транслює радіосигнали (трансponderи) ефірного наземного мовлення в стандарті DVB-S з наступними характеристиками (рис.1):

- модуляція – QPSK;
- пряма корекція помилок – FEC=3/4;

- символна швидкість – $V=27,5$ Мсимв/с;
- ширина смуги частот $\Delta f=36$ МГц.

Як бачимо з рис.1., ведеться трансляція 16-ти транспондерів, що займають полосу 610 МГц. За допомогою програмного забезпечення «CrazyScan» було виміряно характеристики сигналів, що зведені в табл.1. Якщо повністю перевести цю систему мовлення у стандарт DVB-C, то цей частотний діапазон буде займати лише 128 МГц, що майже у п'ять разів менше.

Таблиця 1.
Характеристики транспондерів телевізійного
провайдеру «Maxitum TV» у місті Києві

Частота, МГц	11719	11757	11795	11833	11871	11909	11947	11985	12023	12061	11099	12137	12175	12213	12251	12289
Потужність, дБм	-34	-35	-37	-37	-39	-39	-40	-40	-41	-41	-39	-42	-40	-42	-42	-45
S/N, дБ	19.6	19.9	18.7	19.4	18.5	19.5	19.3	19.7	19.5	19.2	21.6	19.9	20.6	19.7	20.6	19.1

Кожен з транспондерів займає смугу 36 МГц, в якій у середньому передається 8 телевізійних SDTV каналів. При цьому ж, при такому способі ефірного мовлення в стандарті DVB-S використовується згорткове кодування і код Ріда-Соломона. На перший погляд частотний діапазон для одного транспондера досить великий. Ефективність використання спектру у цьому випадку складає $R = 38,015 \text{ Мбіт/с} / 36 \text{ МГц} = 1,05 \text{ біт/с/Гц}$.

Щоб збільшити спектральну ефективність системи мовлення безумовно потрібно чимось пожертвувати, або ж перейти до іншого стандарту. Якщо взяти до уваги стандарт мовлення DVB-C, в якому відсутнє згорткове кодування і є можливість використовувати багатопозиційні модуляції QAM-64, QAM-128, QAM-256 то є шанс досягти результату. Тим більш, у форматі DVB-C частотний спектр одного транспондера займає полосу 8 МГц, а значить є можливість досягти більшої спектральної ефективності.

При переході до стандарту DVB-C, для якісного прийому сигналу потрібно збільшити значення відношення носійна/шум (C/N) на абонентському боці в порівнянні з використанням QPSK модуляції в стандарті DVB-S. Це відповідно призведе до зменшення розміру зони обслуговування абонентів. Щоб на абонентів цей вплив був мінімальний, вже в існуючих системах ТВ мовлення НВЧ діапазону можна збільшити потужність передавача, збільшити діаметр передавальної антени, або застосувати обидва методи в комплексі. А для систем, які ще на стадії проектування можливий варіант щільнішого розміщення станцій ефірного мовлення при незмінній потужності передавачів і розмірів антен. Але такий спосіб призведе до збільшення кількості радіопередавачів та інфраструктури для доставки до них ТВ сигналів.

Теоретичний розрахунок радіусів зон обслуговування системи MIPIC при мовленні в стандартах DVB-S та DVB-C

Розрахуємо дальність зони обслуговування одної ефірної антени, що працює в стандарті DVB-S. Для цього необхідно врахувати основні енергетичні показники радіолінії «ТВ передавач – абонентська станція»: потужність передавача – $P_{\text{ПРД}}$, коефіцієнт підсилення антен на передавальному і приймальному боці – $G_{\text{ПРД}}$, $G_{\text{ПРМ}}$, втрати енергії при поширенні сигналу від передавача до антени приймача – L_{Σ} , та мінімальну потужність сигналу на приймальному боці.

Співвідношення потужності несучої до потужності шуму (C/N) є важливим показником для оцінки радіолінії. Значення C/N визначається з ряду факторів: потужності передавача, коефіцієнта підсилення передавальної і приймальної антен, згасання у вільному просторі і т. д. З відношення C/N можна визначити коефіцієнт бітових помилок сигналу BER. Також свій вплив вносять коефіцієнт шуму конвертора і правильне юстування приймальної антени.

Згідно рекомендацій ETSI для якісного приймання сигналу в стандарті DVB-S вірогідність бітової помилки на вході декодера Ріда-Соломона (РС) повинна бути не більше $2 \cdot 10^{-4}$ (рис.2) [3].

У свою чергу, відношення носійна/шум та відношення сигнал/шум дорівнюють:

$$\frac{C}{N} = 10 \log \left(\frac{P_{\text{Carrier}}}{P_{\text{Noise}}} \right), \quad (1)$$

$$\frac{S}{N} = 10 \log \left(\frac{P_{\text{Signal}}}{P_{\text{Noise}}} \right), \quad (2)$$

де P_{Carrier} – потужність носійної НВЧ радіосигналу ТВ мовлення; P_{Signal} – потужність прийм сигналу НВЧ після фільтрації; P_{Noise} – потужність шуму у межах смуги Найквіста.

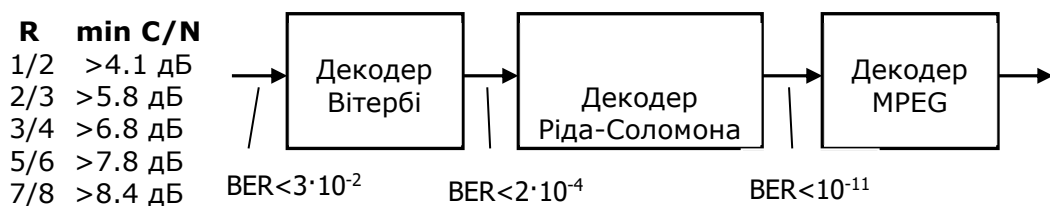


Рис. 2. Мінімально допустимі значення відношення несуча/шум при різних швидкостях кодування $R=1/2; 2/3; 3/4; 5/6; 7/8$, при яких на вході декодера РС вірогідність бітової помилки складає $2 \cdot 10^{-4}$

Відношення сигнал/шум $\frac{S}{N}$ можна виразити через $\frac{C}{N}$ [4] (3):

$$\frac{S}{N} = \frac{C}{N} + 10 \log \left(1 - \frac{r}{4} \right), \quad (3)$$

де r – фактор крутизни фільтра, що згладжує імпульси модулюючого сигналу (для DVB-S $r=0.35$), тоді:

$$\frac{S}{N} = \frac{C}{N} - 0.3977 \text{ дБ.} \quad (4)$$

У порівнянні з DVB-S, кабельні сигнали є більш чутливі до завад і незначні несправності в з'єднанні телевізійного кабелю з DVB-C приймачем часто є причиною неможливості прийому сигналу. Для якісного прийому сигналу, вірогідність бітових помилок перед декодером РС повинна бути не більше $2 \cdot 10^{-4}$ (рис.3), декодер РС зменшує вірогідність помилки до значення 10^{-11} , це відповідає майже безпомилковому прийому сигналу [5].

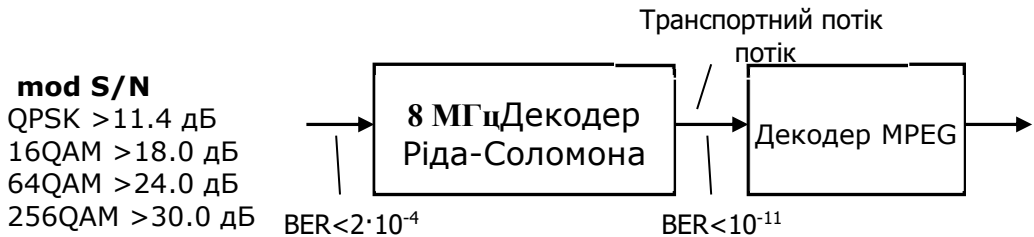


Рис. 3. Необхідні мінімальні значення вірогідності бітових помилок в DVB-C приймачі

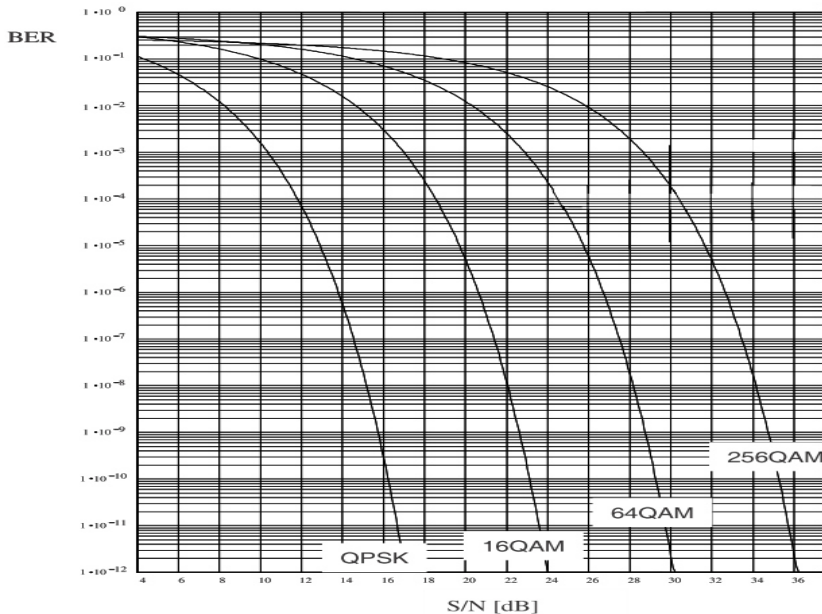


Рис. 4. Залежність вірогідності бітової помилки від значення $\frac{S}{N}$ для модуляцій QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM

Відповідно, для забезпечення таких показників вірогідності помилки відношення сигнал/шум $\left(\frac{S}{N}\right)$ у системі DVB-C складає 24 дБ [4] для модуляції QAM-64 (рис.4). При вищому рівні квадратурно-амплітудної модуляції відношення $\frac{S}{N}$ буде ще більшим.

У системах DVB-S зв'язок між параметрами сигнал, шум, несуча такий як і в системах DVB-S (1.1-1.3).

Отже, $\left(\frac{C}{N}\right)_{\min}^{DVB-S} = 6.8 \text{ дБ}$ – допустиме мінімальне значення відношення носійна/шум (при FEC = 3/4) на вході ресиверу системи супутникового мовлення, при якому вірогідність помилки на вході декодера Ріда-Соломона складає $BER=2 \cdot 10^{-4}$.

Потужність шумів приймальної системи можна знайти з формули:

$$P_{Noise} = P_{швх} = kT_{\Sigma}\Delta f_{ш}, \quad (5)$$

де $k=1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ – стала Больцмана;

T_{Σ} – шумова температура приймальної системи;

$\Delta f_{ш} = \gamma_{ш} \cdot \Delta f$ – шумова смуга частот; $\gamma_{ш} = 1.1 \dots 1.2$,

$\Delta f = 36 \text{ МГц}$ – для DVB-S радіосигнала,

$\Delta f = 8 \text{ МГц}$ – для DVB-C радіосигнала.

Відповідно до [6] структуру приймаючої системи можна зобразити наступним чином (рис.5):

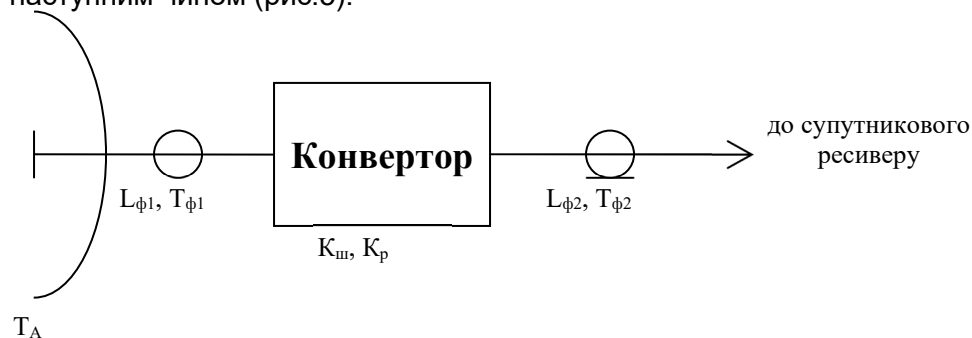


Рис. 5. Структура приймальної частини системи трансляції: T_A – еквівалентна шумова температура антени; $L_{\phi 1}, T_{\phi 1}$ – втрати в круглому хвилеводі конвертора і фізична температура конвертора; $K_{ш}, K_{р}$ – коефіцієнт шуму і підсилення конвертору; $L_{\phi 2}, T_{\phi 2}$ – фізична температура і втрати в коаксіальному кабелі.

Відповідно до схеми на рис.1.5, маємо:

$$T_{\Sigma} = T_A + T_{\phi 1}(L_{\phi 1} - 1) + T_{\text{конв}} \cdot L_{\phi 1} + \frac{T_{\phi 2}(L_{\phi 2} - 1)}{K_p}. \quad (6)$$

В свою чергу наближене значення еквівалентної шумової температури антени може бути вираховане по формулі

$$T_A \approx 15 + \frac{30}{D} + \frac{180}{\alpha}, \quad (7)$$

де D – діаметр антени, м;

α – кут місця, град.

При $D = 0,9 \text{ м}$ і $\alpha = 2^\circ$ отримуємо:

$$T_A = 15 + 33.3 + 90 = 138.3 \text{ К.}$$

В свою чергу приймемо $L_{\phi 1[\text{дБ}]} = 0.2 \text{ дБ} \rightarrow L_{\phi 1} = 10^{0.02} \approx 1.047$, $T_{\phi 1} = T_0 = 290 \text{ К}$.

Для супутникових конверторів на даний момент $K_{\text{ш}[\text{дБ}]} \approx 0.3 \text{ дБ} \rightarrow K_{\text{ш}} = 10^{0.03} \approx 1.072$.

Тоді шумова температура конвертора:

$$T_{\text{конв}} = T_0(K_{\text{ш}} - 1) = 290 \cdot (1.072 - 1) = 21 \text{ К}.$$

Поскільки коефіцієнт підсилення конвертора дорівнює $K_p \approx 60 \text{ дБ}$ або $K_p = 10^6$, то четвертим доданком в формулі (6) можна знехтувати.

В результаті розрахунків, отримаємо:

$$T_{\Sigma} \approx 138.3 + 290 \cdot 0.047 + 21 \cdot 1.047 = 173.72 \text{ К},$$

$$P_{\text{швх}}^{DVB-S} = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 173.72 \cdot 1.15 \cdot 36 \cdot 10^6 = 9.92 \cdot 10^{-14} \text{ Вт},$$

$$P_{\text{швх}[\text{дБВт}]} = 10 \log(P_{\text{швх}}^{DVB-S}) = 10 \log(9.92 \cdot 10^{-14}) = -130 \text{ дБВт},$$

$$P_{\text{швх}}^{DVB-C} = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 173.72 \cdot 1.15 \cdot 8 \cdot 10^6 = 2.2 \cdot 10^{-14} \text{ Вт},$$

$$P_{\text{швх}[\text{дБВт}]} = 10 \log(P_{\text{швх}}^{DVB-C}) = 10 \log(2.2 \cdot 10^{-14}) = -136.6 \text{ дБВт}.$$

Потужність сигналу, що приймається на вході НВЧ конвертора :

$$P_{\text{ПРМ}} = P_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРМ}} - L_0 - L_{\text{доп}} - V, \quad (8)$$

де $V \approx 30 \text{ дБ}$ – запас що враховує вплив дощу та завмирань сигналу;

$L_0 = 20 \lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$, дБ – втрати у вільному просторі, що обумовлені сферичністю розповсюдження фронту ЕМХ [7];

d – дальність поширення сигналу;

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{12 \cdot 10^9} = 0.025 \text{ м} - \text{довжина хвилі}.$$

$L_{\text{доп}}$ – додаткові втрати.

Додаткові втрати обумовлені затуханням радіосигналу в парах води і кисню і визначаються з виразу:

$$L_A = L_{O_2} \cdot d + L_{H_2O} \cdot d, \quad (9)$$

де L_{O_2} , L_{H_2O} – коефіцієнти ослаблення в кисні і водяній парі, дБ/км (визначаються по номограмі рис.6):

$$L_{O_2} = 0,007 \left(\frac{\text{дБ}}{\text{км}} \right), \quad L_{H_2O} = 0,006 \left(\frac{\text{дБ}}{\text{км}} \right).$$

Значення коефіцієнтів L_{O_2} , L_{H_2O} досить малі, тому $L_{\text{доп}}$ можна знехтувати.

В результаті з (1.7) отримаємо:

$$L_0 = P_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРМ}} - P_{\text{ПРМ}} - V,$$

$$10 \lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = P_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРМ}} - P_{\text{ПРМ}} - V.$$

Згідно інформації про передавачі МІТРІС [2], $P_{\text{ПРД}} = 50 \text{ мВт} = -13 \text{ дБм}$. При використанні секторних антен (12 секторів на 360°) – коефіцієнт підсилення антени $G_{\text{ПРД}} = 18 \text{ дБ}$.

Коефіцієнт підсилення приймальної антени знайдемо з формули:

$$G = \frac{4\pi \cdot k_{\text{вик}} \cdot S_a}{\lambda^2}, \quad (10)$$

де $k_{\text{вик}} = 0.7$ – коефіцієнт використання апертури антени;

S_a – площа апертури антени.

Отримаємо, що:

$$S_a = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.9^2}{4} = 0.636 \text{ м}^2,$$

$$G_{\text{ПРМ}} = \frac{4\pi \cdot k_{\text{ВИК}} \cdot S_a}{\lambda^2} = \frac{4 \cdot 3.14 \cdot 0.7 \cdot 0.636}{0.025^2} = 8954 \approx 39.5 \text{ дБ}.$$

В якості $P_{\text{ПРМ}}$ візьмемо з формул (1)-(2) та (4):

$$P_{\text{ПРМ}} = P_{\text{Signal}} = \frac{S}{N} + P_{\text{Noise}} = \left(\frac{C}{N} \right)_{\text{мін}}^{\text{DVB-S}} - 0.3977 + P_{\text{швх}}[\text{дБВт}]$$

$$= 6.8 - 0.3977 - 130 = -123.6 \text{ дБВт}.$$

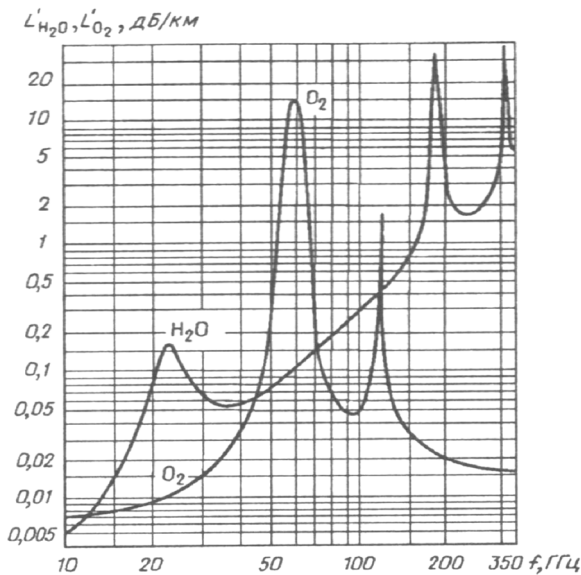


Рис. 6. Значення коефіцієнтів ослаблення в кисні і водяній парі залежно від частоти

Тоді дальність зони обслуговування дорівнюватиме:

$$d_{\text{DVB-S}} = 10^{0.05(P_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРМ}} - P_{\text{ПРМ}} - V - 20 \log(\frac{4\pi}{\lambda}))}$$

$$= 10^{0.05(-13 + 18 + 39.5 + 123.6 - 30 - 20 \log(\frac{4\pi}{0.025}))} = 10^{0.05(84.1)} = 16022 \text{ м} = 16 \text{ км}.$$

Отже, радіус зона обслуговування системи МІТРС при використанні радіосигналів з QPSK модуляцією орієнтовно складає $d = 16$ км.

Тепер розрахуємо, у скільки разів радіус цієї зони зменшиться при переході до мовлення у стандарті DVB-C. Відповідно до рис.4 для забезпечення якісного приймання сигналу відношення сигнал/шум $(\frac{S}{N})$ у системі DVB-C повинно складати не менше 24 дБ для модуляції QAM-64. Тоді:

$$P_{\text{ПРМ}} = P_{\text{Signal}} = \frac{S}{N} + P_{\text{Noise}} = \left(\frac{S}{N} \right)_{\text{мін}}^{\text{DVB-C}} + P_{\text{швх}}[\text{дБВт}] =$$

$$24 - 136.66 = -112.66 \text{ дБВт.}$$

А дальність зони обслуговування в цьому випадку складає:

$$d_{\text{DVB-C}}^{\text{QAM64}} = 10^{0.05(P_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРМ}} - P_{\text{ПРМ}} - V - 20 \log(\frac{4\pi}{\lambda}))} = \\ 10^{0.05(-13+18+39.5+112.66-30-20 \log(\frac{4\pi}{0.025}))} = 10^{0.05(73.2)} = 4547 \text{ м} = 4.5 \text{ км.}$$

Відношення дальностей обслуговування при використанні стандартів DVB-S та DVB-C дорівнюватиме :

$$\frac{d_{\text{DVB-S}}}{d_{\text{DVB-C}}^{\text{QAM64}}} = \frac{16}{4.5} = 3.52$$

Отже, дальність зони обслуговування при переході до мовлення в стандарті DVB-C зменшиться у 3.52 разів.

Якщо використовувати модуляцію QAM-128 або QAM-256, то для якісного приймання сигналу відношення сигнал/шум $(\frac{S}{N})$ у системі DVB-C повинно складати на менше 27 і 30 дБ відповідно. Тоді:

$$P_{\text{ПРМ}} = P_{\text{Signal}} = \frac{S}{N} + P_{\text{Noise}} = \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{мін}}^{DVB-C} + P_{\text{швх[дБВт]}} = 27 - 136.66 \\ = -109.66 \text{ дБВт (для QAM - 128),}$$

$$P_{\text{ПРМ}} = P_{\text{Signal}} = \frac{S}{N} + P_{\text{Noise}} = \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{мін}}^{DVB-C} + P_{\text{швх[дБВт]}} = 30 - 136.66 = \\ -106.66 \text{ дБВт (для QAM - 256).}$$

Дальність зони обслуговування в цьому випадку складає:

$$d_{\text{DVB-C}}^{\text{QAM128}} = 10^{0.05(P_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРМ}} - P_{\text{ПРМ}} - V - 20 \log(\frac{4\pi}{\lambda}))} = \\ 10^{0.05(-13+18+39.5+19.66-30-20 \log(\frac{4\pi}{0.025}))} = 10^{0.05(70.2)} = 3212 \text{ м} = 3.2 \text{ км,} \\ d_{\text{DVB-C}}^{\text{QAM256}} = 10^{0.05(P_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРМ}} - P_{\text{ПРМ}} - V - 20 \log(\frac{4\pi}{\lambda}))} = \\ = 10^{0.05(-13+18+39.5+106.66-30-20 \log(\frac{4\pi}{0.025}))} = 10^{0.05(67.2)} = 2274 \text{ м} \\ = 2.3 \text{ км.}$$

Для компенсації зменшення зони обслуговування при переході до мовлення у стандарті DVB-C, можна збільшити потужність передавача.

Теоретичний розрахунок збільшення потужності ТВ передавача при переході від мовлення в стандарті DVB-S до мовлення в стандарті DVB-C

Розрахуємо, на скільки потрібно збільшити потужність передавача, щоб не зменшувати зону обслуговування радіопередавальної ТВ станції при незмінному діаметрі абонентської антени.

З рівняння (8) отримуємо:

$$P_{\text{ПРД}} = P_{\text{ПРМ}} - G_{\text{ПРД}} - G_{\text{ПРМ}} + L_0 + L_{\text{доп}} + V. \quad (11)$$

Втрати пов'язані з сферичністю розповсюдження електромагнітної хвилі:

$$L_0 = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) = 20 \log \left(\frac{4\pi \cdot 16022}{0.025} \right) = 138.1 \text{ дБ},$$

$$P_{\text{ПРД}}^{\text{DVB-C}} = P_{\text{ПРМ}} - G_{\text{ПРД}} - G_{\text{ПРМ}} + L_0 + V = -112.66 - 18 - 39.5 + 138.1 + 30$$

$$= -2.06 \text{ дБм} = 0.622 \text{ Вт}.$$

Отже, при переході до мовлення в стандарті DVB-C, потужність передавача на один транспондер необхідно збільшити з 50 мВт до значення 622 мВт.

Важливе значення матиме технічне рішення встановлення підсилювача сигналу. Він може підсилювати груповий сигнал, що складається з декількох транспондерів, або ж окремо, кожний радіосигнал стандарту DVB-C з модуляцією QAM-64.

Експериментальне визначення радіусу дії системи трансляції сигналів цифрового телебачення в стандарті DVB-C радіоканалом надвисокочастотного діапазону

Дослідження параметрів при передачі одного радіосигналу DVB-C. Для отримання результатів, що більш-менш наближені до реальних умов трансляції сигналів в НВЧ діапазоні, за допомогою обладнання 501-ої лабораторії 30-го корпусу «КПІ ім. Ігоря Сікорського», було зібрано макет системи трансляції радіосигналів цифрового ТВ мовлення стандарту DVB-C (рис.7).

В якості радіосигналу, що ретранслюється в лабораторних умовах обраний радіосигнал стандарту DVB-S від супутника Astra 4A (Sirius, 4.8 сх.д.) з параметрами: частота – 11766 МГц, поляризація випромінюваних із супутника радіохвиль – горизонтальна, символна швидкість 27500 Ксимв/с, FEC = 3/4, ширина спектру – 36 МГц, модуляція – QPSK, еквівалентна ізотропна випромінювана потужність 51 дБВт. В даному транспондері передаються наступні ТВ програми: 1+1, 2+2, Ера ТВ, Глас, Еспreso, Рада, ТЕТ. Прийом зазначеного транспондера з супутника здійснюється за допомогою офсетної дзеркальної антени діаметром 0,95 м, встановленої на даху навчального корпусу №30. В конверторі радіосигнал підсилюється орієнтовно на 60 дБ і переноситься в змішувачі вниз на проміжну частоту 1166 МГц. Далі через DiSeQc комутатор та дільник потужності, частина потужності сигналу надходить на вхід супутникового ресиверу OpenBox X-810 в якому він демодулюється та декодується до рівня звичайної ТВ програми і далі на ТВ приймач для візуального контролю за картинкою. Також за допомогою супутникового ресиверу OpenBox X-810 обирається супутник, порт комутатора та відповідний транспондер, сигнал якого буде перетворюватись в радіосигнал стандарту DVB-C. Інша частина радіосигналу стандарту DVB-S з частотою 1166 МГц з дільника потужності потрапляє на вхід трансмодулятора WISI OV75. У трансмодуляторі сигнал DVB-S демодулюється до рівня транспортного потоку MPEG. Далі транспортний потік перетворюється в радіосигнал стандарту DVB-C (QAM-64, SR=6875 Ксимв/с, Δf=8 МГц) на

частоті 853 МГц. Далі через підсилювач потужності і адаптер живлення сигнал надходить на НВЧ-передавач, що виконаний на основі супутникового конвертора. Щоб не перенавантажувати конвертор, потужність сигналу на його вході повинна бути в межах $-10...+5$ дБм.

Далі НВЧ радіосигнал на частоті 10563 МГц потрапляє на вхід двох послідовно з'єднаних хвильовідних атенуаторів з глибиною регулювання загасання $0...70$ дБ і призначених для усунення перевантаження приймального супутникового конвертора та імітації середовища поширення радіохвиль для дослідження параметрів сигналу на приймальному боці, таким чином моделюючи відстань між передавальною і приймальною антенами.

В якості НВЧ приймача виступає супутниковий конвертор Cambridge AE-54, що забезпечує підсилення, фільтрацію та перетворення частоти радіосигналу стандарту DVB-C з діапазону. Його вихід через блок живлення та дільник потужності TAP-24 підключений до аналізатору спектру HMS 3030, аналізатору сигналів цифрового ТБ – ROVER ST-2 та ресиверу цифрового кабельного телебачення Homecast.

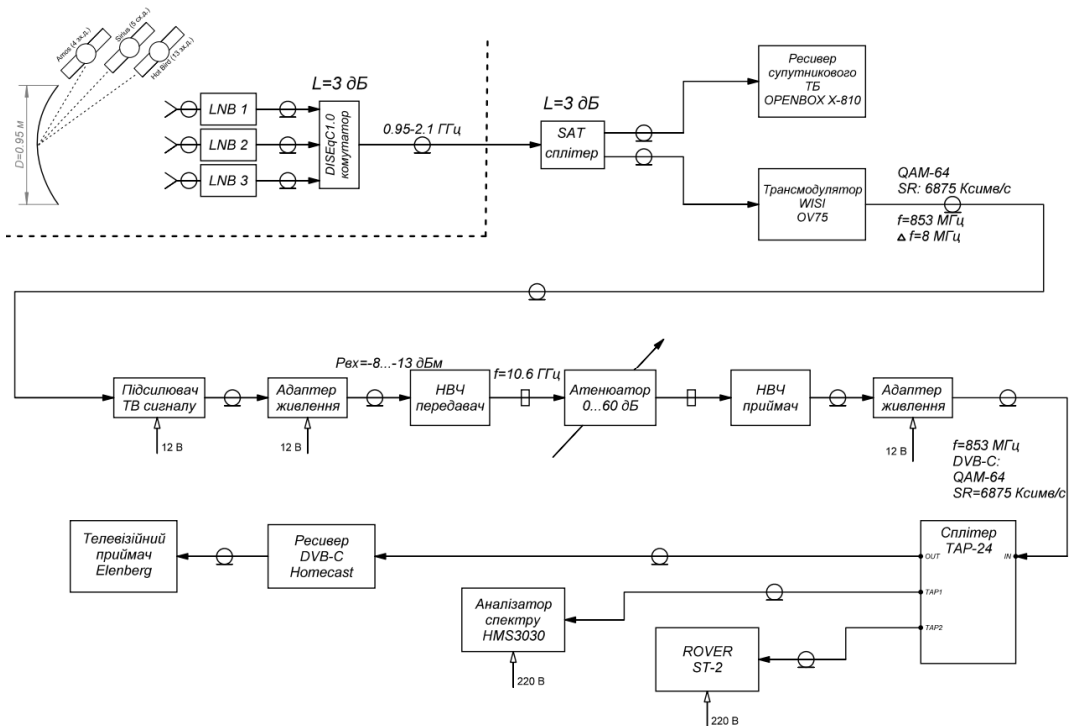


Рис. 7. Блок-схема макету для дослідження параметрів одного сигналу цифрового ТБ стандарту DVB-C при його передачі хвильоводною лінією зв'язку

Відповідно до рис.7 в учбовій лабораторії 501-30к. НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» зібраний макет для дослідження характеристик сигналу. На вході

НВЧ передавача сигнал має наступні характеристики (рис.8): $f_{пч}=853$ МГц, $\Delta f=8$ МГц, $SR=6875$ Ксимв/с, $C/N=32$ дБ, $N.MAR=7$ дБ, $BER=5 \cdot 10^{-8}$, $PWR=-12.7$ дБм.

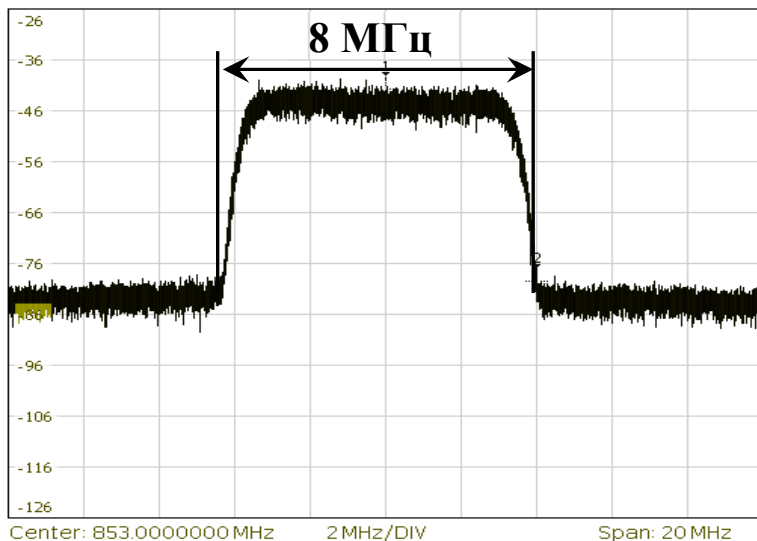


Рис. 8. Спектрограма радіосигналу стандарту DVB-C на виході трансмодулятора WiSi OV75

Після проходження імітованої лінії передачі у вигляді атенюатора, на приймальному боці проведено вимірювання характеристики сигналу за допомогою ROVER ST-2, результати якого зведені до табл.2.

Таблиця 2.
Характеристики сигналу на приймальній стороні при передачі одного транспондера.

L [дБ]	PWR [дБм]	N.MAR [дБ]	C/N [дБ]	BER	Quality [%]
30	4.1	7	29	$5 \cdot 10^{-8}$	1
32	2.4	11	34	$<10^{-8}$	33
34	1.1	17	>36	$<10^{-8}$	92
36	-0.7	17	>36	$<10^{-8}$	100
38	-3.0	15	>36	$<10^{-8}$	100
40	-4.8	13	>36	$<10^{-8}$	100
42	-7.4	11	35	$<10^{-8}$	100
44	-9.9	8	33	$1 \cdot 10^{-8}$	100

L [дБ]	PWR [дБм]	N.MAR [дБ]	C/N [дБ]	BER	Quality [%]
46	-12.2	6	30	10 ⁻⁷	100
48	-13.3	3	28	10 ⁻⁶	100
50	-15.5	4	30	5·10 ⁻⁷	88
52	-17.6	3	28	5·10 ⁻⁶	60
54	-19.8	1	25	5·10 ⁻⁵	18
56	-21.9	0	23	4·10 ⁻⁴	1

У табл.2:

L – ослаблення сигналу, що вноситься в лінію передачі;

PWR (power) – потужність сигналу, на виході приймального конвертора;

N.MAR (Noise margin) – межа (запас) завадостійкості. Цей коефіцієнт використовується як критерій оцінки стану тракту передачі й визначає поточне перевищення над мінімальною межею відношення рівня сигналу до рівня шуму, при якому ще забезпечується необхідна якість обслуговування.

C/N – відношення носійна/шум;

BER – коефіцієнт бітових помилок на вході декодера Ріда-Соломона;

Quality – показник якості сигналу.

Сигнали DVB-C на вході НВЧ-передавача мають наступні характеристики:

f_{пч1}=853 МГц

Δf=8 МГц

SR=6875 Ксимв/с

C/N₁=30 дБ

N.Mar₁=6 дБ

BER₁=5·10⁻⁷

PWR₁=-13.5 дБм

f_{пч2}=861 МГц

Δf=8 МГц

SR=6875 Ксимв/с

C/N₂=29 дБ

N.Mar₂=5 дБ

BER₂<10⁻⁸

PWR₂=-13.8 дБм

Як бачимо з табл.2, якісний прийом сигналу на приймальному боці можливий в певному діапазоні загасання L=30...56 дБ, що відповідає затуханню сигналу в лінії передачі. Нижня межа (мінімальне загасання) обумовлена перевантаженням абонентського приймаючого конвертора сильним НВЧ радіосигналом (рис.9,а), а якщо точніше то малошумливого підсилювача. Сигнал НВЧ потрапляє в зону насичення, амплітудної характеристики МШП, внаслідок чого спотворюється його спектр. Верхня межа (максимальне загасання) – малому відношенню потужності сигналу до потужності шуму на вході абонентського ресиверу при обраному виді модуляції – QAM-64 (рис.9,б).

Дослідження параметрів групового сигналу при передачі двох радіосигналів. Аналогічні виміри були проведені для передачі групового сигналу, що складається з двох радіосигналів DVB-C з модуляцією QAM-64. В

якості другого сигналу взятий радіосигнал від транспондера супутнику Astra 4A (Sirius, 4.8 сх.д.) з параметрами: частота – 12073 МГц, поляризація випромінюваних зі супутника радіохвиль – горизонтальна, символна швидкість 27500 Ксимв/с, FEC=3/4, ширина спектру – 36 МГц, модуляція – QPSK. У цьому радіосигналі передаються наступні ТВ програми: A-One, Business, News One, RuMusic, Shopping TV, Ukrainian Fashion, Добро ТВ. Цей сигнал, через петлю проміжної частоти в супутниковому ресивері надходить на другий вхід трансмодулятора WiSi OV75, який програмується таким чином, щоб на виході утворився груповий сигнал двох радіосигналів у стандарті DVB-C (рис.10).

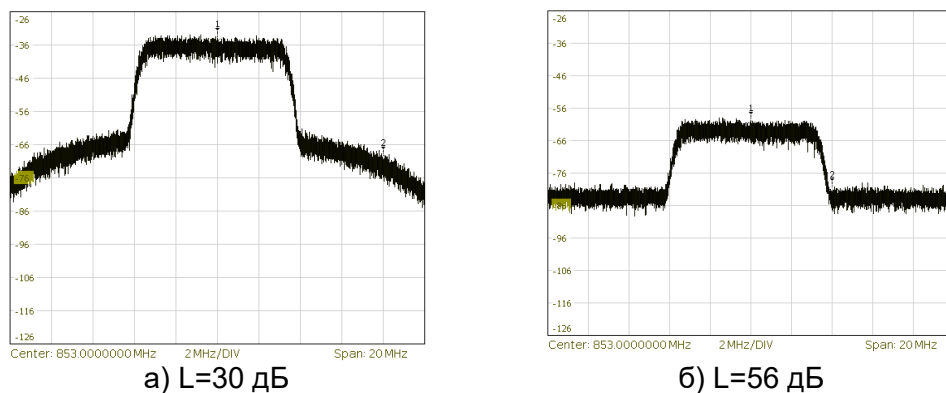


Рис. 9. Спектрограми сигналів на приймальному боці при граничних умовах у лінії та передачі одного радіосигналу DVB-C

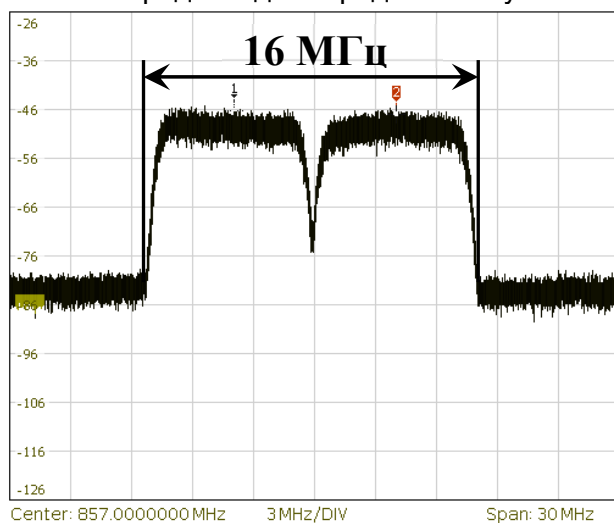


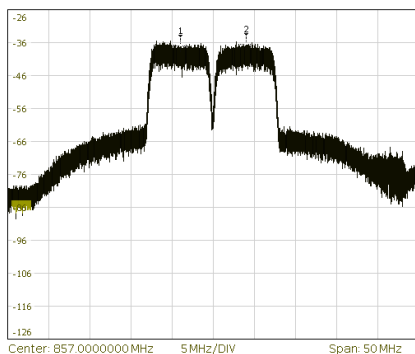
Рис. 10. Спектрограма групового сигналу DVB-C з модуляціями QAM-64 на виході трансмодулятора WISI OV75

У результаті отримали характеристики сигналу на приймальному боці залежно від затухання сигналу у лінії передачі, що наведені у табл.3.

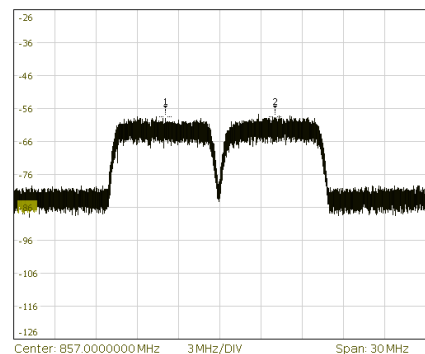
З таблиці бачимо, що діапазон ослаблення сигналу при передачі двох транспондерів зменшився і для отримання якісного зображення на приймальній стороні він складає $L=32.5 \dots 54$ дБ (рис.11).

Таблиця 3.
Характеристики сигналу на передавальній
стороні при передачі двох транспондерів

L [дБ]	PWR [дБм]	N.MAR [дБ]	C/N [дБ]	BER	Quality [%]	PWR [дБм]	N.MAR [дБ]	C/N [дБ]	BER	Quality [%]
32.5	1.1	2	27	$2 \cdot 10^{-5}$	1	1.5	4	28	$2 \cdot 10^{-5}$	1
34	-0.1	5	29	10^{-7}	33	-0.1	9	33	$<10^{-8}$	33
36	-2.3	9	35	$<10^{-8}$	92	-2.0	9	34	$<10^{-8}$	92
38	-4.3	8	34	$<10^{-8}$	100	-3.8	14	>36	$<10^{-8}$	100
40	-6.7	7	33	$<10^{-8}$	100	-6.7	11	35	$<10^{-8}$	100
42	-9.1	9	33	$<10^{-8}$	100	-8.9	9	33	$<10^{-8}$	100
44	-11.2	7	31	$5 \cdot 10^{-8}$	100	-11.5	7	31	10^{-7}	100
46	-13.7	5	29	10^{-6}	100	-13.4	4	28	10^{-6}	100
48	-14.8	4	29	$5 \cdot 10^{-7}$	98	-14.2	6	30	10^{-7}	98
50	-16.0	3	27	10^{-6}	67	-16.3	4	28	10^{-6}	75
52	-18.9	2	26	$5 \cdot 10^{-5}$	33	-18.0	1	26	$2 \cdot 10^{-5}$	33
54	-21.5	0	24	$2 \cdot 10^{-4}$	1	-20.5	0	25	$2 \cdot 10^{-4}$	1



а) $L=32.5$ дБ



б) $L=54$ дБ

Рис. 11. Спектрограми радіосигналів DVB-C на вході приймального конвертору при граничних умовах у лінії передачі

Дослідження параметрів групового сигналу при передачі трьох радіосигналів. Для передачі трьох радіосигналів DVB-C з модуляцією QAM-64 використовуваний макет потрібно удосконалити (рис.12). Для цього використаємо професійний супутниковий ресивер Codico Scorpus IRD-2600, на який сигнал буде надходити з петлі проміжної частоти ресиверу Openbox. Ресивер налаштований на виділення радіосигналу DVB-S третього транспондери супутника Astra 4A з параметрами: частота – 12380 МГц, поляризація випромінювання – горизонтальна, символна швидкість 27500 Ксимв/с, FEC = 3/4, ширина спектру – 36 МГц, модуляція – QPSK. В цьому транспондері передаються наступні ТВ програми: Белсат ТВ, ТВ Центр, LTV World. Далі сигнал у транспортному потоці поступає на модулятор Redyne Comstream QAM-256 де модулюється по стандарту DVB-C і надходить з його виходу на проміжній частоті $f=845$ МГц на суматор разом з іншими двома сигналами від трансмодулятора WiSI OV75, при попередньому вирівнюванні потужності всіх трьох сигналів. І далі аналогічно в лінію передачі.

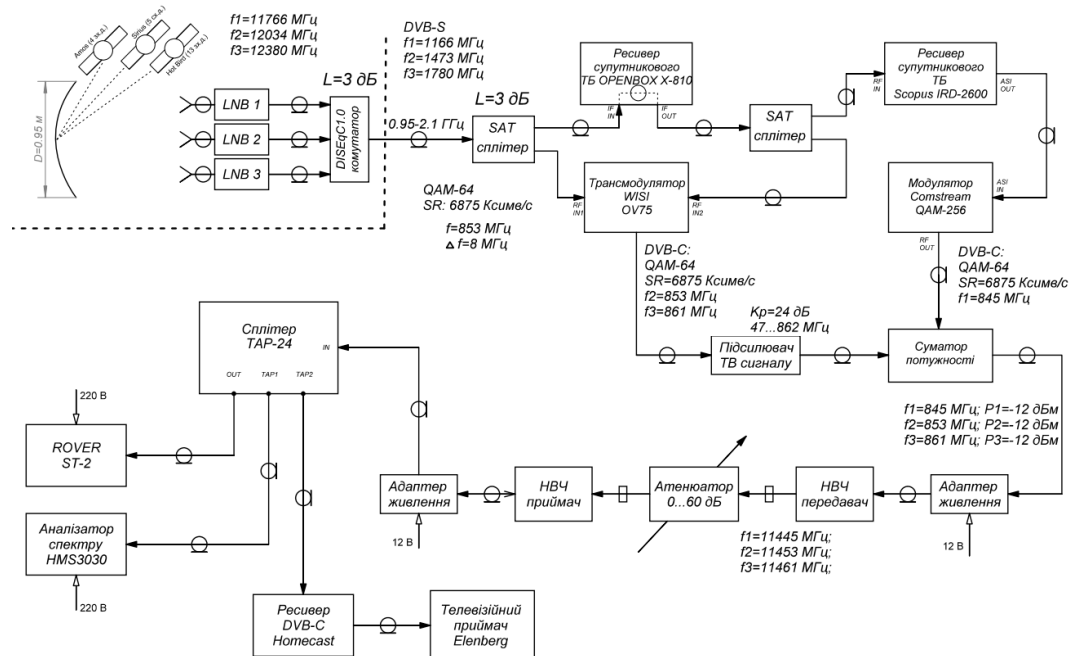


Рис. 12. Блок-схема макету для дослідження параметрів сигналу при передачі трьох радіосигналів в стандарті DVB-C

В результаті отримали наступні параметри сигналу на приймальному боці залежно від згасання в лінії передачі (табл.4).

При передачі групового сигналу що складається з трьох радіосигналів DVB-C, для отримання якісного зображення на приймальному боці діапазон ослаблення в лінії передачі повинно бути в межах 34...53 дБ (рис.13).

Отже, залежно від кількості транспондерів у груповому сигналі змінюється можливий діапазон затухання сигналу в просторі (рис.14), а відповідно і розміри зони обслуговування базової станції ТВ мовлення, що працює в форматі підсилення групового сигналу.

Це можна пояснити ускладненням групового сигналу при збільшенні кількості DVB-C радіосигналів, внаслідок чого груповий сигнал раніше потрапляє в зону насичення на ВАХ МШУ, і приймальний конвертор починає працювати в режимі насичення. Значення $L_{\max}$ зменшується за рахунок низького відношення потужності сигналу до потужності шуму і при збільшенні кількості транспондерів рівень шумів зростає, а відповідно раніше унеможлиблюється прийом сигналу. Аналогічну діаграму можна побудувати для діапазону зони обслуговування.

Отримані результати затухання вимірювались у хвилевідній лінії передачі і не враховували коефіцієнт підсилення приймальної і передавальної антени (рис.15). Скористаємося вимірними результатами для розрахунку мінімальної і максимальної дальності телевізійного мовлення одиночного і групового сигналів стандарту DVB-C з врахуванням коефіцієнтів підсилення цих антен.

Таблиця 4.
Характеристики сигналу на передавальній стороні при передачі трьох радіосигналів стандарту DVB-C з модуляцією QAM-64

L [дБ]	PWR [дБм]	N.MAR [дБ]	C/N [дБ]	BER	Quality [%]	PWR [дБм]	N.MAR [дБ]	C/N [дБ]	BER	Quality [%]	PWR [дБм]	N.MAR [дБ]	C/N [дБ]	BER	Quality [%]
34	-2.0	2	27	$5 \cdot 10^{-6}$	18	-1.7	3	27	$5 \cdot 10^{-5}$	1	-2.1	5	29	$5 \cdot 10^{-7}$	1
36	-3.6	-3	21	$3 \cdot 10^{-3}$	60	-3.7	9	34	$< 10^{-8}$	33	-2.6	11	36	$< 10^{-8}$	58
38	-6.0	2	26	$5 \cdot 10^{-5}$	100	-6.1	2	26	$2 \cdot 10^{-5}$	92	-5.8	12	>36	$< 10^{-8}$	95
40	-8.4	5	30	10^{-7}	100	-8.3	9	34	10^{-8}	100	-7.0	10	35	$< 10^{-8}$	100
42	-10.8	7	32	$5 \cdot 10^{-8}$	100	-10.7	8	32	10^{-8}	100	-9.3	8	33	10^{-8}	100
44	-12.2	5	29	$5 \cdot 10^{-7}$	100	-12.7	5	30	$5 \cdot 10^{-7}$	100	-11.3	6	31	10^{-7}	100
46	-13.4	5	29	$5 \cdot 10^{-6}$	100	-13.6	4	28	$5 \cdot 10^{-6}$	100	-13.5	3	28	10^{-6}	100
48	-15.5	5	29	10^{-6}	95	-15.7	4	28	10^{-6}	67	-14.8	5	29	$5 \cdot 10^{-7}$	88
50	-17.4	-1	23	10^{-3}	60	-17.8	-2	22	$8 \cdot 10^{-4}$	58	-17.0	-2	22	$5 \cdot 10^{-6}$	53
52	-19.7	0	24	$2 \cdot 10^{-4}$	18	-19.7	1	25	$5 \cdot 10^{-5}$	18	-19.1	1	26	$5 \cdot 10^{-5}$	18
53	-21	0	24	$4 \cdot 10^{-4}$	1	-21.1	0	24	$4 \cdot 10^{-4}$	1	-20.1	0	24	$2 \cdot 10^{-4}$	1

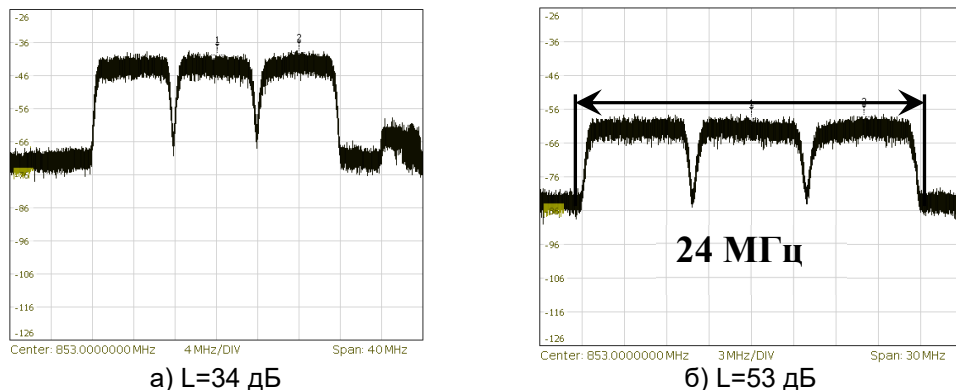


Рис. 13. Спектрограми сигналів на приймальному боці при граничних умовах у лінії при передачі трьох сигналів у стандарті DVB-C з модуляцією QAM-64

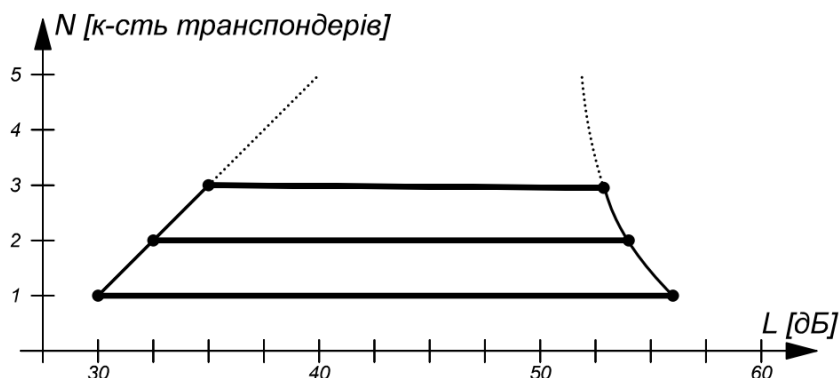


Рис. 14. Діапазон ослаблення сигналу в лінії передачі залежно від кількості радіосигналів з модуляцією QAM-64 в груповому сигналі

Дослідимо, як зміниться діапазон згасання при зміні потужності сигналу на вході НВЧ передавача (табл.5-7), та розрахуємо зони обслуговування, що їм відповідають.

Таблиця 5.

Граничні параметри згасання та радіусу зони обслуговування залежно від потужності сигналу на вході передавача при передачі одного радіосигналу DVB-C з модуляцією QAM -64

№ п/п	$P_{вх}$, [дБм]	$L_{мін}$, [дБ]	$L_{макс}$, [дБ]	ΔL , [дБ]	$d_{мін}$ [км]	$d_{макс}$ [км]
1	-12.6	30	56	26	0.05	0.94
2	0.9	43	69	26	0.21	4.21
3	3	49	70	21	0.42	4.72
4	5	49.5	70	20.5	0.46	4.72

Таблиця 6.
Граничні параметри затухання та
радіусу зони обслуговування залежно від
потужності сигналу на вході передавача
при передачі двох радіосигналів DVB-C з модуляцією QAM-64

№ п/п	$P_{вх}$, [дБм]	$L_{мін}$, [дБ]	$L_{макс}$, [дБ]	ΔL [дБ]	$d_{мін}$ [км]	$d_{макс}$ [км]
1	-13.3	32.5	54	21.5	0.06	0.75
2	0.9	47	67	20	0.33	3.34
3	3	52	67	15	0.59	3.34
4	5	55	68	13	0.84	3.75

Таблиця 7.
Граничні параметри затухання та
радіусу зони обслуговування
залежно від потужності сигналу
на вході передавача при передачі
трьох радіосигналів DVB-C з модуляцією QAM-64

№ п/п	$P_{вх}$, [дБм]	$L_{мін}$, [дБ]	$L_{макс}$, [дБ]	ΔL [дБ]	$d_{мін}$ [км]	$d_{макс}$ [км]
1	-13.1	34	53	19	0.07	0.67
2	0.9	51	63	12	0.51	2.11
3	3	54	66.5	12.5	0.75	3.15
4	5	60	67	7	1.49	3.34

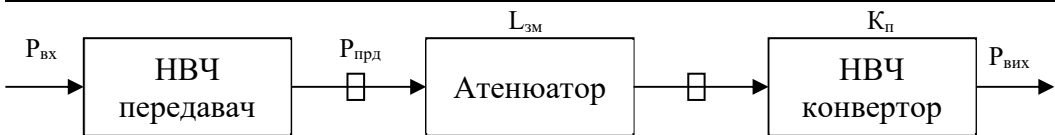


Рис. 15. Схема лінії передачі, що досліджувалась

Відповідно рисунку можна записати:

$$P_{вих} = P_{прд} - L_{зм} + K_{п}. \quad (12)$$

Рівняння (12) можна переписати у вигляді:

$$P_{вих} = P_{прд} + G_{прд} + G_{прм} - (L_{зм} + G_{прд} + G_{прм}) + K_{п}. \quad (13)$$

або

$$P_{вих} = P_{прд} + G_{прд} + G_{прм} - L_0 + K_{п}, \quad (14)$$

де $L_0 = L_{зм} + G_{прд} + G_{прм} = 20 \log \frac{4\pi d}{\lambda}$ – втрати у вільному просторі, яких може зазнати електромагнітна хвиля при переході від хвилевідної лінії до радіолінії.

Тоді шуканий радіус:

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot [L_{зм} + G_{прд} + G_{прм}]}. \quad (15)$$

Оскільки $G_{\text{прд}} = 39.5$ дБ, $G_{\text{прм}} = 18$ дБ, $\lambda = 0.025$ то з (15) маємо:

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot [L_{\text{зм}} + 57.5]},$$

$$d_{\text{мін}}^1 = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (L_{\text{мін}}^1 + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}})} = \frac{0.025}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (30 + 18 + 39.5)} = 0.05 \text{ км},$$

$$d_{\text{мін}}^2 = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (L_{\text{мін}}^2 + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}})} = \frac{0.025}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (43 + 18 + 39.5)} = 0.21 \text{ км},$$

$$d_{\text{мін}}^3 = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (L_{\text{мін}}^3 + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}})} = \frac{0.025}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (49 + 18 + 39.5)} = 0.42 \text{ км},$$

$$d_{\text{мін}}^4 = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (L_{\text{мін}}^4 + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}})} = \frac{0.025}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (49.5 + 18 + 39.5)} = 0.46 \text{ км},$$

$$d_{\text{макс}}^1 = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (L_{\text{макс}}^1 + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}})} = \frac{0.025}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (56 + 18 + 39.5)} = 0.94 \text{ км},$$

$$d_{\text{макс}}^2 = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (L_{\text{макс}}^2 + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}})} = \frac{0.025}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (69 + 18 + 39.5)} = 4.21 \text{ км},$$

$$d_{\text{макс}}^3 = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (L_{\text{макс}}^3 + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}})} = \frac{0.025}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (70 + 18 + 39.5)} = 4.72 \text{ км},$$

$$d_{\text{макс}}^4 = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (L_{\text{макс}}^4 + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}})} = \frac{0.025}{4\pi} \cdot 10^{0.05 \cdot (70 + 18 + 39.5)} = 4.72 \text{ км}.$$

Аналогічно для табл. 6 і 7.

Отже, як бачимо з таблиць, діапазон затухання в лінії передачі змінюється не тільки при збільшенні кількості транспондерів у груповому сигналі, але і при збільшенні потужності сигналу на вході НВЧ передавача. Це можна пояснити перевантаженням вхідних кіл (в першу чергу змішувача) передавального конвертора, у зв'язку з чим він спотворює сигнал і при передачі групового сигналу з трьох радіосигналів DVB-C з модуляцією QAM-64 і вхідній потужності $P_{\text{вх}} = 5$ дБм майже унеможливилює якісний прийом сигналу.

Аналогічно до затухання, при ускладненні групового сигналу дальність зони обслуговування зменшується з 4.72 км (один транспондер) до 3.15 км (три транспондера) (рис.16). Аналогічно і мінімальна дальність обслуговування. Але ці значення мінімальної дальності не є критичними, оскільки абонент може використовувати приймальну антену меншого діаметру, або взагалі приймати сигнал лише на конвертор у ближній зоні обслуговування.

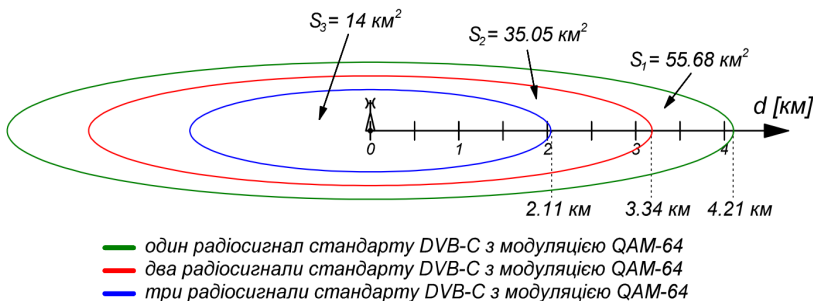


Рис. 16. Зони обслуговування при різній кількості радіосигналів у груповому сигналі

Для наглядного перегляду отримані зони обслуговування при використанні стандарту DVB-C і модуляції QAM-64 зіставимо з зоною обслуговування, що розрахована при використанні стандарту DVB-S при модуляції QPSK (рис.17).



Рис. 17. Співставлення зон обслуговування при використанні різних стандартів мовлення

Отже, експериментальне дослідження показує, що в системах МІТРС можна використовувати не тільки стандарт DVB-S, а й стандарт DVB-C з модуляцією QAM-64. Хоча при цьому значно зменшується площа обслуговування однієї базової станції. Це є негативною стороною даного методу. Оскільки для покриття одної і тої ж території необхідно буде встановлювати більше БС, створювати додаткову інфраструктуру каналів для підведення сигналів до цих БС і т.д.

Але крім цього, важливою перевагою переходу до мовлення в стандарті DVB-C є частотний спектр, що буде використовуватись. Так, на даному етапі, при мовленні в стандарті DVB-S всі 16 транспондерів займають смугу частот $\Delta f_{DVB-S} = 610$ МГц, а якщо всі ці радіосигнали перевести в стандарт DVB-C, то аналогічна кількість телевізійних каналів займатиме лише 128 МГц (Рис.18).

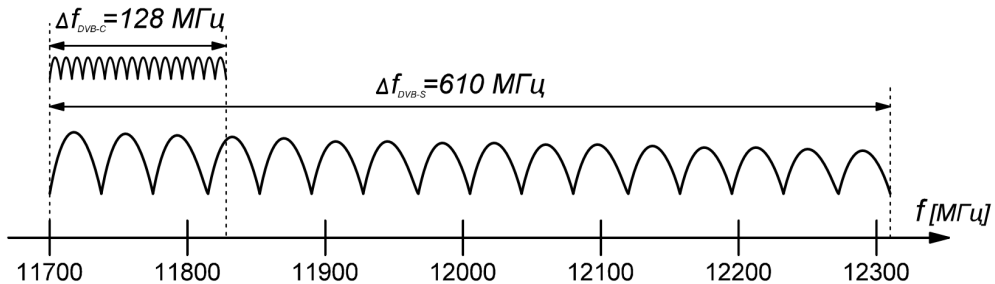


Рис. 18. Порівняння діапазону використовуваних частот при різних стандартах мовлення

І таким чином спектральну ефективність можна обчислити за формулою (16):

$$C = \frac{SR \cdot m \cdot r}{\Delta f}, \quad (16)$$

де C – ефективність використання спектру;

SR – символна швидкість потоку;

m – кількість бітів, що передається в одному символі, для QAM-64 – $m = 6$;

r – швидкість коду Ріда Соломона, $r = \frac{188}{204}$;

Δf – полоса частот, що займає радіосигнал.

$$C^{QAM-64} = \frac{SR \cdot m \cdot r}{\Delta f} = \frac{6875 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 188/204}{8 \cdot 10^6} = 4.7518 \frac{\text{біт}}{\text{с} \cdot \text{Гц}}.$$

Для порівняння, при використанні стандарту DVB-S спектральна ефективність складає 1.05 біт/с/Гц (рис.19).

Є припущення, що використання модуляції QAM-128 і QAM-256 також можливе. В цьому випадку, спектральна ефективність радіосигналу буде:

$$C^{QAM-64} = \frac{SR \cdot m \cdot r}{\Delta f} = 4.7518 \frac{\text{біт}}{\text{с} \cdot \text{Гц}}$$

Для порівняння, при використанні стандарту DVB-S спектральна ефективність складає 1.05 біт/(с·Гц) (рис.19).

Є припущення, що використання модуляції QAM-128 і QAM-256 також можливе. В цьому випадку, спектральна ефективність радіосигналу буде:

$$C^{QAM-128} = \frac{SR \cdot m \cdot r}{\Delta f} = 5.5438 \frac{\text{біт}}{\text{с} \cdot \text{Гц}},$$

$$C^{QAM-256} = \frac{SR \cdot m \cdot r}{\Delta f} = 6.3358 \frac{\text{біт}}{\text{с} \cdot \text{Гц}}.$$

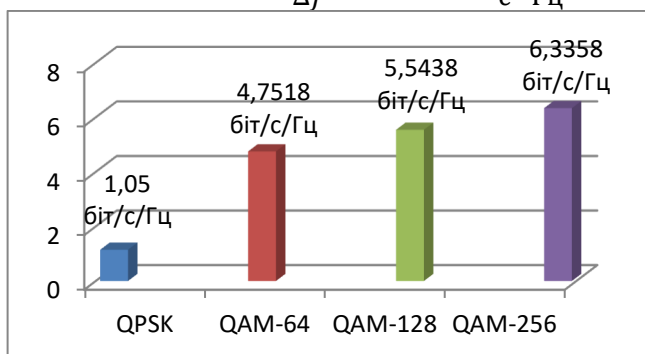


Рис. 19. Порівняння спектральної ефективності сигналу

Висновки

У статті розглянуто обґрунтування доцільності переходу мікрохвильової інтегрованої телерадіоінформаційної системи (МІТРІС), яка транслює 16 транспондерів у стандарті DVB-S (модуляція – QPSK; FEC=3/4; Δf =36 МГц) до ефірної трансляції в стандарті DVB-C. Використання стандарту DVB-S є певним її недоліком з точки зору розміру радіочастотного ресурсу, що використовується. Крім того, спектральна ефективність радіоканалу при використанні сигналу DVB-S становить 1,05 біт/с/Гц, що досить мало. Вирішенням проблеми такого широкого спектру є перехід до системи мовлення у стандарті DVB-C. Однак, для якісного прийому сигналу значення відношення C/N на абонентському боці повинно значно бути більшим у

порівнянні з використанням QPSK модуляції в стандарті DVB-S. Це відповідно призведе до зменшення радіусу зони обслуговування абонентів однієї радіопередавальної ТВ станції (за теоретичними розрахунками у 3.52 рази).

Перевагами переходу до мовлення у стандарті DVB-C є зменшення смуги частотного спектру. Один транспондер займає полосу 8 МГц, а всі 16 транспондерів телекомпанії «Maximum TV» можуть займати полосу 128 МГц, що у 4.8 раз менше. При цьому ефективність використання спектру збільшується до 4.75 біт/с/Гц – для модуляції QAM-64. Якщо ж використати більш позиційні модуляції, то це значення може бути ще більшим. Недоліком же такого переходу буде необхідність збільшення потужності передавачів і розгортання додаткових ретрансляторів мовлення, щоб зона обслуговування не зменшилась. І коли прибуток від використання частотного ресурсу буде компенсувати затрати на встановлення додаткових передавачів, то такий перехід буде повністю резонним.

Отримані результати свідчать, що систему МІТРС можна вдосконалити і зробити більш конкурентоспроможною в телевізійній інфраструктурі України. Схему, що була розроблена для дослідження параметрів сигналу, можна використовувати як макет для практичної роботи студентів з дисципліни «Технології радіо- та телевізійного мовлення», що дасть можливість підвищити свої знання, уміння, та кваліфікаційну майстерність студентів.

Література

1. Локшин, Б.А. Цифровое вещание: от студии к телезрителю /Б. А. Локшин. – М.: Компания "Сайрус Системс", 2001. – 446с. – ISBN 5-88230-049-5.
2. Наритник, Т. М. Мікрохвильові технології в телекомунікаційних системах/Т. М. Наритник, В. П. Бабак, М. Ю. Ільченко, С. О. Кравчук. – К.: Техніка, 2000. – 304 с. – ISBN 966-575-043-7
3. ETSI EN 300 421. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services.
4. Fischer, W. Digital Video and Audio Broadcasting Technology. A Practical Engineering Guide. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 2008. - 601 p. – ISBN 978-3-540-76357-4.
5. European Standard EN 300 429 v.1.2.1 (1998-04). Digital Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems.
6. Гассанов,Л. Г. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи /Л. Г. Гассанов, А. А. Липатов, В. В. Марков, Н.А. Могильченко. – М.: Радио и связь, 1988. – 288 с.
7. Кантор ,Л. Я. Справочник по спутниковой связи и вещанию/ Л. Я. Кантор, М. Б. Аскинази и др.; под. редакцией Л. Я. Кантора – М: Радио и связь, 1988. – 345 с.

References

1. Lokshin, B.A. Cifrovoe veshchanie: ot studii k telezritel'yu /B. A. Lokshin. – M.: Kompaniya "Sajrus Sistems", 2001. – 446s. – ISBN 5-88230-049-5.
2. Naritnik, T. M. Mikrohvil'ovi tekhnologii v telekomunikacijnih sistemah/T. M. Naritnik, V. P. Babak, M. YU. Il'chenko, S. O. Kravchuk. – K.: Tekhnika, 2000. – 304 s. – ISBN 966-575-043-7
3. ETSI EN 300 421. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services.
4. W. Fischer Digital Video and Audio Broadcasting Technology. A Practical Engineering Guide. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 2008. - 601 p. – ISBN 978-3-540-76357-4.

5. European Standard EN 300 429 v.1.2.1 (1998-04). Digital Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems.

6. Gassanov, L. G. Tverdotel'nye ustrojstva SVCH v tekhnike svyazi /L. G. Gassanov, A. A. Lipatov, V. V. Markov, N.A. Mogil'chenko. – M.: Radio i svyaz', 1988. – 288 s.

7. Kantor, L. Y. Spravochnik po sputnikovoj svyazi i veshchaniyu/ L.Y. Kantor, M.B. Askinazi i dr.; pod. Redakciej L. .Y. Kantora – M: Radio i svyaz', 1988. – 345 s.