

УДК.621.396

канд. техн. наук Нестеренко І. К. ORCID: 0009-0003-9423-8203 (ВІТІ ім. Героїв Крут)

СПРОЩЕНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЄНТА ЧАСТОТНОЇ ВИБІРКОВОСТІ ПРИЙМАЧА

Через збільшення кількості діючих радіоелектронних засобів загострюється проблема забезпечення електромагнітної сумісності. Особливо ця проблема актуальна для систем радіозв'язку у найбільш небезпечних завадових ситуаціях, в яких по основному каналу приймача приймається основне випромінювання передавача завади. У таких випадках для розрахунку рівня завади потрібно враховувати коефіцієнт частотної вибірконості приймача (частотно залежне продавлення – *frequency dependent rejection, FDR*). Для розрахунку коефіцієнта частотної вибірконості приймача використовують аналітичні або спрощені графічні методи, які передбачають наявність вихідних даних стосовно спектральної маски сигналу передавача завади та форми амплітудно-частотної характеристики приймача [1–4; 7–9], але зазвичай необхідних для розрахунку даних стосовно спектральних властивостей даного випромінювання та амплітудно-частотної характеристики приймача недостатньо.

У роботі запропонований спрощений інженерний метод розрахунку коефіцієнта частотної вибірконості приймача, у якому вихідними даними, відносно спектра передавача, є лише ширина необхідної смуги випромінювання та ширина займаної смуги частот, а спектральну маску передавача та амплітудно-частотну характеристику приймача представлено у вигляді трапеції.

Застосування пропонованого інженерного методу дозволить в умовах нестачі вихідних даних, стосовно спектральних масок випромінювання передавача та амплітудно-частотної характеристики фільтра проміжної частоти приймача розраховувати коефіцієнт частотної вибірконості приймача та визначати забезпечення електромагнітної сумісності з достатньою для практичних застосувань точністю.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, основний канал прийому приймача, основне випромінювання передавача, завада, спектральна маска сигналу передавача завади, амплітудно-частотна характеристика приймача, коефіцієнт частотної вибірконості приймача.

I. Nesterenko. Simplified method of calculation coefficient of frequency selectivity of the receiver

In connection with the increase in the number of active radio-electronic means, the problem of ensuring electromagnetic compatibility is increasing. This problem is especially relevant for radio communication systems in the most dangerous interference situations, in which the main radiation of the interfering transmitter is received on the main channel of the receiver. In such cases, the frequency selectivity coefficient of the receiver (frequency dependent rejection) must be taken into account to calculate the interference level. To calculate the frequency selectivity coefficient of the receiver, analytical or simplified graphical methods are used, which require the availability of initial data regarding the spectral mask of the interference transmitter signal and the shape of the amplitude-frequency characteristic of the receiver [1–4; 7–9]. But usually, the data required for calculating the spectral properties of this radiation and the amplitude-frequency characteristic of the receiver are not enough.

The paper proposes a simplified engineering method for calculating the frequency selectivity coefficient of the receiver, in which the output data relative to the spectrum of the transmitter are only the width of the necessary radiation band and the width of the occupied frequency band, and the spectral mask of the transmitter and the amplitude-frequency characteristic of the receiver is presented in the form of a trapezoid.

The application of the proposed engineering method will make it possible to calculate the coefficient of frequency selectivity of the receiver and determine the provision of electromagnetic compatibility with sufficient accuracy for practical applications, in the absence of initial data regarding the spectral masks of the transmitter radiation and the amplitude-frequency characteristic of the intermediate frequency filter of the receiver.

Keywords: electromagnetic compatibility, the main receiving channel of the receiver, the main radiation of the transmitter, interference, the spectral mask of the interference transmitter signal, the amplitude-frequency characteristic of the receiver, the coefficient of frequency dependent rejection.

Постановка завдання. Задача забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) в умовах дії ненавмисних завад з часом загострюється. Для визначення електромагнітної сумісності потрібно розрахувати рівні корисного сигналу, завад та шумів і перевірити виконання критерію ЕМС. При врахуванні впливу завад, найбільш небезпечніша ситуація виникає при прийомі по основному каналу приймача основного випромінювання передавача завади. У такому випадку для розрахунку потужності завади на вході приймача потрібно

визначити частину потужності завади, що попадає в смугу пропускання приймача, яка зазначається як коефіцієнт частотної вибіркості FDR .

Аналіз останніх досліджень. Вихідними даними для розрахунку FDR є спектральні маски сигналу, що задають максимально допустимі значення позасмугових випромінювань передавача завади, які не мають бути перевищені у реальному передавачі радіоелектронного засобу (РЕЗ) та дані (маски) за характеристикою вибіркості приймача. Значення коефіцієнта частотної вибіркості приймача визначається шляхом розрахунку площі перекриття спектральної маски випромінювань передавача-джерела завади і амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) фільтра (вхідного або проміжної частоти) приймача-рецептора цієї завади та заданому частотному рознесенні несучих частот сигналу завади і корисного сигналу. Для розрахунку площі перекриття застосовують чисельні методи інтегрування. Для спрощення розрахунків використовують графічний метод, для застосування якого спектральні маски задаються у виді кусочно-лінійної функції частоти. Така маска може бути поділена на кілька ділянок, причому, площа під кривою кожної ділянки являє собою його “внесок” у спектр сигналу.

Через нестачу вихідних даних, стосовно спектральних масок випромінювання передавача і АЧХ фільтра проміжної частоти (ПЧ) приймача та враховуючи те, що вихідними даними відносно спектра передавача у більшості випадків є лише ширина необхідної смуги випромінювання (necessary bandwidth) та ширина займаної смуги (occupied bandwidth – OCW), спектральну маску передавача та АЧХ приймача для розрахунку співканальної частотної вибіркості можна представити у вигляді трапеції [4]. У методиці розрахунків електромагнітної сумісності для присвоєння радіочастот радіоелектронним засобам рухомої служби [4] наведений приклад розрахунку FDR для двох найпростіших випадків перекриття спектра випромінювання передавача та АЧХ приймача: а) ширина смуги частот випромінювань передавача, який створює завади, менша за ширину смуги пропускання приймача, який відчуває вплив цієї завади, а весь спектр випромінювань передавача потрапляє у смугу пропускання приймача; б) ширина смуги частот випромінювань передавача, що створює завади, більша за ширину смуги частот приймача, яка відчуває вплив цієї завади, а частина спектра випромінювань передавача потрапляє у смугу частот приймача.

Недоліком вищерозглянутої методики є те, що в них не запропонований порядок розрахунку FDR у випадках, коли спектри завади та АЧХ приймача перекриваються частково (не все випромінювання передавача знаходиться у межах смуги пропускання приймача, а лише його частина).

Метою статті є вирішення наукового завдання щодо розробки спрощеного інженерного методу розрахунку коефіцієнта частотної вибіркості приймача для усіх можливих випадків перекриття спектральної маски завади та АЧХ приймача за умови нестачі вихідних даних стосовно частотних властивостей завади та приймача.

Виклад основного матеріалу

Рівень радіозавад у приймачі є функцією посилення і втрат, яким піддається сигнал завади на шляху від джерела завади до приймача, може бути представлений наступними формулами [2]:

$$P_I = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_{prop} - FDR(\Delta f), \text{ дБВт}, \quad (1)$$

де P_I – потужність завади у приймачі, дБВт;

P_{Tx} – потужність передавача завади, дБВт;

G_{Tx} – коефіцієнт підсилення антени джерела завади у напрямку приймача, дБі;

G_{Rx} – коефіцієнт підсилення антени приймача у напрямі джерела завади, дБі;

L_{prop} – основні втрати сигналу при поширенні радіохвиль на трасі між джерелом завади та приймачем, дБ;

$$FDR(\Delta f) = 10 \times \lg \frac{\int_0^\infty P(f) df}{\int_0^\infty P(f) |H(f+\Delta f)|^2 df}, \text{ дБ}, \quad (2)$$

де $FDR(\Delta f)$ – коефіцієнт частотної вибірконості приймача;

$P(f)$ – еквівалентна спектральна щільність потужності сигналу завади на проміжній частоті (ПЧ), спектральна маска передавача;

$H(f)$ – частотна характеристика тракту ПЧ (вибірковість приймача);

Δf – рознесення частот між передавачем, що заважає, і приймачем, що зазнає заваду:

$$\Delta f = f_{Tx} - f_{Rx}, \quad (3)$$

де f_{Tx} – частота налаштування передавача завади;

f_{Rx} – частота налаштування приймача.

Фізичний зміст коефіцієнта частотної вибірконості приймача (FDR) полягає у визначенні частини потужності завади, яка попадає в смугу пропускання приймача (рис. 1). На рисунку наведена АЧХ приймача (по центру) та спектральна маска сигналу завади (крива справа).

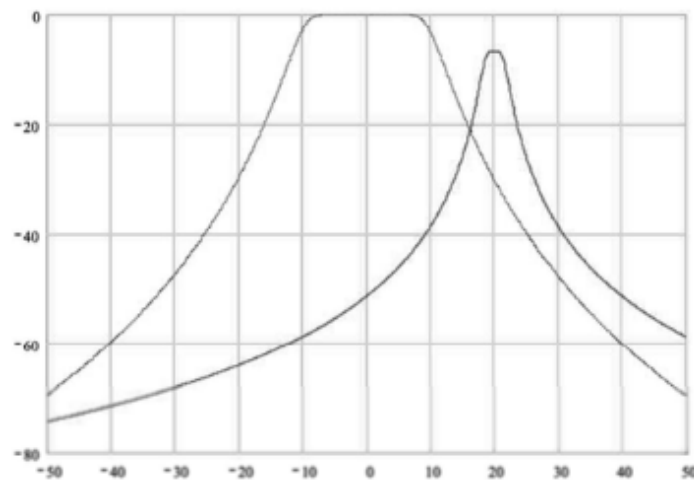


Рис. 1. Фізичний зміст коефіцієнта частотної вибірконості приймача (FDR)

Значення коефіцієнта частотної вибірконості приймача визначається шляхом розрахунку площі перекриття спектральної маски випромінювань передавача-джерела завади і АЧХ фільтра (вхідної або проміжної частоти), приймача-рецептора цієї завади та заданому частотному рознесенню несучих частот сигналу завади і корисного сигналу.

У свою чергу, FDR може бути розбитий на два члени: – коефіцієнт співканальної вибірконості (*on-tune rejection* – OTR) і коефіцієнт позаканальної вибірконості (*off-frequency rejection* – OFR):

$$FDR(\Delta f) = OTR + OFR(\Delta f), \text{ дБ}. \quad (4)$$

Коефіцієнт позаканальної вибіркості (*OFR*) являє собою ослаблення сигналів у вхідних ланцюгах приймача (преселектора) на відповідній частоті.

Основний канал прийому – смуга частот, що знаходиться в межах смуги пропускання приймача. Завада основним каналом прийому можлива, якщо виконується умова

$$\Delta f \leq (B_{Tx} + B_{Rx})/2, \quad (5)$$

де B_{Tx} і B_{Rx} – відповідно ширина займаної смуги випромінювання передавача і смуги пропускання приймача.

Для розрахунку *FDR* необхідні спектральні маски сигналу, які задають максимально допустимі значення позасмугових випромінювань, що не мають бути перевищені у реальному передавачі РЕЗ.

Для отримання найбільш реалістичного значення цього коефіцієнта варто використовувати тільки достовірні дані (маски) по характеристиці вибіркості приймача і за спектром сигналу передавача, які отримані безпосередньо від виробника даного устаткування або в результаті його сертифікації (т. зв. маски) [2]. При цьому, інтеграли у формулі (2) доцільно розраховувати на ЕОМ за допомогою одного з числових методів інтегрування функцій, заданих у табличному вигляді. У ряді випадків цей інтеграл можна також обчислити й аналітично, але для цього необхідно попередньо апроксимувати спектр передавача і вибіркості приймача функціями, які легко інтегруються.

Найчастіше замість реального спектра сигналу передавача, що заважає, на практиці використовується його огибаюча (маска), яка задається у виді кусочно-лінійної функції частоти. Це обумовлено відносною простотою усіх розрахунків із використанням лінійних функцій. Така маска може бути поділена на кілька ділянок, причому площа під кривою кожної ділянки являє собою його “внесок” у спектр сигналу.

Аналогічним чином задається маска амплітудно-частотної характеристики приймача.

Очевидно, що чим більше число плоских і похилих (що чергуються між собою) ділянок буде містити огибаюча, тим точніше вона буде описувати реальний спектр сигналу передавача або АЧХ приймача.

У нормативних документах [4; 7–9] рекомендовано проводити розрахунок коефіцієнта частотної вибіркості приймача графічним методом.

Метод графічного розрахунку коефіцієнта частотної вибіркості приймача використовується лише в тому випадку, коли відомі характеристики стандартизованих спектральної маски випромінювань передавача-джерела завади і АЧХ приймача-рецептора завади.

Відповідно до цього методу значення коефіцієнта частотної вибіркості приймача визначається шляхом розрахунку площі перекриття спектральної маски випромінювань передавача-джерела завади (амплітудно-частотного спектра АЧС) і АЧХ фільтра приймача-рецептора цієї завади та заданому частотному рознесенні несучих частот сигналу завади і корисного сигналу шляхом перемноження спектральних масок (рис. 2).

Для визначення площі області перекриття пропонується її розділити на елементи, які відповідають прямокутним ділянкам області перекриття і ділянкам з нахилом [8].

При цьому, для розрахунку площі області перекриття на спектральній масці випромінювань передавача і АЧХ фільтра приймача визначається щонайменше шість точок, кожна з яких характеризується відповідним ослабленням і частотним розстроєнням.

Далі пропонується розрахувати площу кожного елемента, який відповідає різним ділянкам області перекриття, а потім ці площі підсумувати.

В окремих випадках, а саме за відсутності АЧХ фільтра приймача, що досліджується, в розрахунках може використовуватися спектральна маска випромінювань передавача, яка для цього приймача є джерелом корисного сигналу.

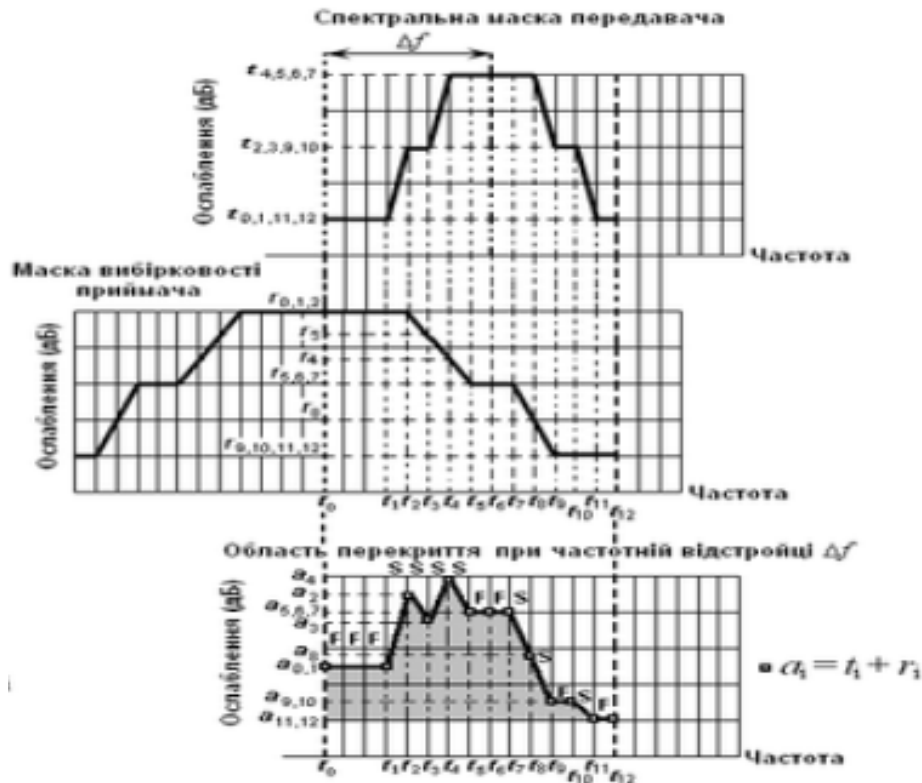


Рис. 2. До визначення області перекриття спектральної маски випромінювань передавача-джерела завади та АЧХ фільтра приймача-рецептора завади

У більшості випадків характеристики спектральної маски випромінювань передавача-джерела завади і АЧХ фільтра приймача-рецептора завади невідомі. Наприклад, у картці тактико-технічних даних радіоелектронного засобу наведені лише необхідна смуга частот і займана смуга частот [5]. Відповідно до пп. 1.152 і 1.153 Регламенту радіозв'язку (РР) МСЕ «необхідна смуга частот» (“necessary bandwidth”) і «займана смуга частот» (“occupied bandwidth”) є основою для визначення спектральних властивостей даного випромінювання або класу випромінювання у найпростіший спосіб [6].

Здебільшого дані стосовно АЧХ фільтра преселектора (ВЧ фільтра) відсутні. Тому зазвичай розрахунок FDR виконується у разі наявності джерел завад основним каналом прийому від основного випромінювання передавача, тобто розраховується коефіцієнт співканальної вибіркової на проміжній частоті.

У зв'язку з нестачею вихідних даних, стосовно спектральних масок випромінювання передавача та АЧХ фільтра ПЧ приймача та враховуючи те, що вихідними даними, відносно спектра передавача, у більшості випадків є лише ширина необхідної смуги випромінювання $B_{нТх}$ та ширина займаної смуги – $B_{Тх}$ спектральну маску передавача та АЧХ приймача для розрахунку співканальної частотної вибіркової можна представити у вигляді трапеції (рис. 3) [4].

Іноді для спрощення розрахунків FDR замість використання формули (2), яка передбачає множення спектральної маски завади та АЧХ приймача, використовують спрощену апроксимацію [2]. Пропонується для спрощення розрахунку замість операції множення спектрів та їх інтегрування визначати загальний (співканальний) FDR так:

$$FDR = 10 \times \lg(S_{Tx}/S_i) + 10 \times \lg(S_{Rx}/S_i), \text{ дБ}, \quad (6)$$

де S_i – площа спектра випромінювання передавача завади, яка потрапляє у смугу пропускання приймача (область перекриття спектральної маски випромінювань передавача-джерела завади та АЧХ фільтра ПЧ приймача-рецептора завади, індекс “i” – interference);

S_{Tx} – площа спектра випромінювання передавача завади;

S_{Rx} – площа АЧХ фільтра ПЧ приймача.

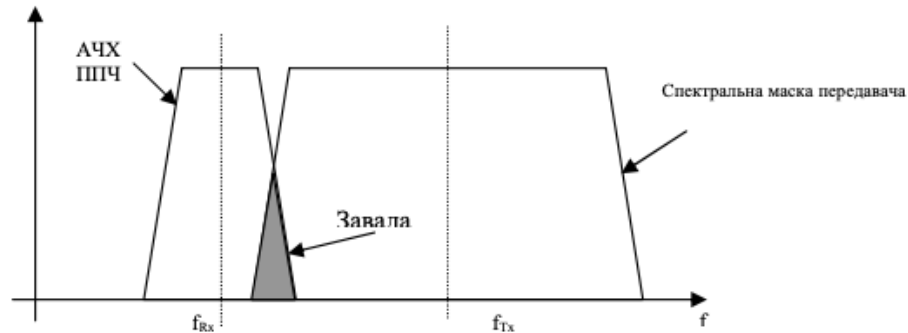


Рис. 3. До визначення області перекриття спектральної маски випромінювань передавача-джерела завади та АЧХ фільтра ПЧ приймача-рецептора завади

Як відомо, площа трапеції S визначається за формулою:

$$S = \frac{1}{2} (a + b)h, \quad (7)$$

де a, b – довжини відрізків (основ) трапеції;

h – висота трапеції.

Для сигналів усіх класів випромінювання, окрім спеціально обумовлених, ширина займаної смуги B_{Tx} не повинна перевищувати ширину необхідної смуги B_{nTx} більш ніж на 20 % ($B_{Tx} \leq 1,2 \cdot B_{nTx}$). Враховуючи, що висота трапеції нормована ($h = 1$), а займана смуга частот пов'язана у більшості випадків з необхідною смугою частот коефіцієнтом 1,2, площа АЧХ приймача становить:

$$S_{Tx} = 1,1 \times B_{nTx}, \quad (8)$$

$$S_{Rx} = 1,1 \times B_{nRx}. \quad (9)$$

Якщо припустити, що ширина смуги частот випромінювань передавача, який створює завади, менша за ширину смуги пропускання приймача, який відчуває вплив цієї завади ($S_i = S_{Tx}$), а *весь спектр випромінювань передавача потрапляє у смугу пропускання приймача* (рис. 4), тобто виконуються наступні умови:

$$B_{nTx} \leq B_{nRx} \quad \text{і} \quad \Delta f \leq (B_{Rx}/2 - B_{Tx}/2), \quad (10)$$

де B_{nTx} та B_{nRx} (на рисунку – $B_{пр}$) – необхідна ширина смуги частот передавача (АЧХ приймача);

B_{Tx} та B_{Rx} – ширина займаної смуги частот передавача і приймача.

Формула (6) для розрахунку коефіцієнта частотної вибірконості FDR спрощується та має наступний вигляд:

$$FDR = 10 \times \lg(B_{nRx}/B_{nTx}), \text{ дБ}. \quad (11)$$

Пояснення наведено на рисунку 4.

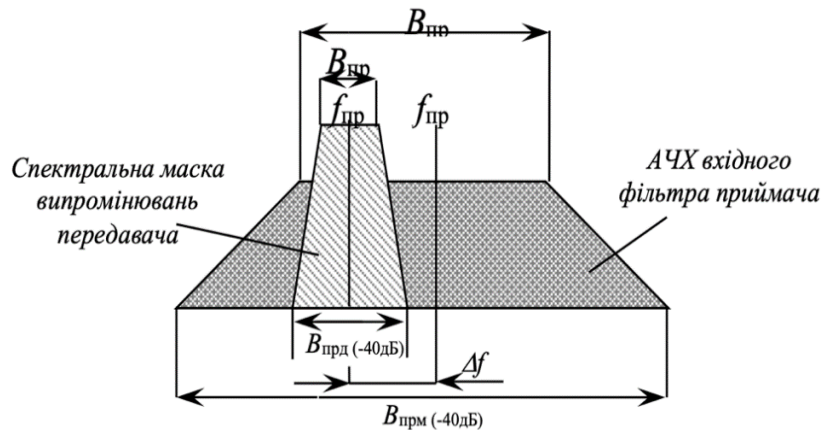


Рис. 4. До визначення коефіцієнта частотної вибірконості при $B_{Rx} > B_{Tx}$

Якщо ширина смуги частот випромінювань передавача, що створює завади, більша за ширину смуги частот приймача ($S_i = S_{Rx}$), що відчуває вплив цієї завади, а частина спектра випромінювань передавача потрапляє у смугу частот приймача (рис. 5), тобто одночасно виконуються умови:

$$B_{Tx} > B_{Rx} \quad \text{і} \quad \Delta f \leq (B_{Tx}/2 - B_{Rx}/2), \quad (12)$$

коефіцієнт частотної вибірконості розраховується за спрощеною формулою [2; 4]:

$$FDR = 10 \times \lg (B_{Tx}/B_{Rx}), \quad \text{дБ}. \quad (13)$$

Пояснення наведено на рисунку 5.

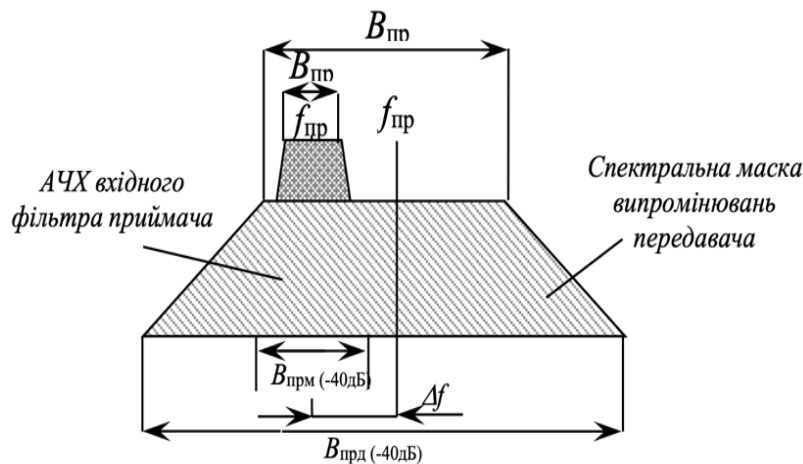


Рис. 5. До визначення коефіцієнта частотної вибірконості приймача при $B_{Rx} < B_{Tx}$

Якщо спектри завади та АЧХ приймача перекриваються частково (не все випромінювання передавача знаходиться у межах смуги припускання приймача, а лише його частина), потрібно розрахувати площу перекриття спектрів та визначити її долю у площі АЧХ приймача.

Спектральні маски можуть перекриватися тільки на рівні займаних смуг частот (як це показано на рис. 3). У такому випадку площа перекриття має вигляд трикутника. Якщо спектральні маски перекриваються так як показано на рисунку 6, площа перекриття має вигляд нерівнобедреної трапеції та складається з прямокутника (перекриття на рівні необхідних смуг частот) та двох прямокутних трикутників для T_x та R_x .

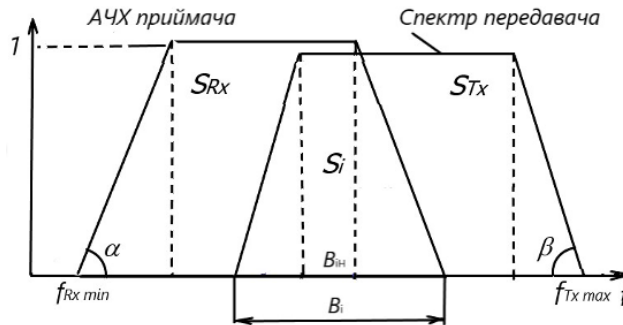


Рис. 6. До визначення області перекриття спектральної маски

У такому випадку умовою прийому завади основним каналом прийому приймача від основного випромінювання передавача завади для необхідної смуги частот буде нерівність:

$$\Delta f \leq (B_{nTx} + B_{nRx})/2. \quad (14)$$

Якщо умова (14) виконується площа перекриття розраховується за формулою:

$$S_i = S_{ПП.ВН} + S_{ТП. Rx} + S_{ТП. Tx}, \quad (15)$$

де $S_{ПП.ВН}$ – площа прямокутника (ПП) на рівні перекриття необхідних смуг частот);

$S_{ТП. Rx}$ та $S_{ТП. Tx}$ – площі прямокутних трикутників у спектральних масках сигналів R_x та T_x .

$$\begin{aligned} S_{ПП.ВН} &= f_{nRxmax} - f_{nTxmin} = (f_{Rx} + B_{nRx}/2) - (f_{Tx} - B_{nTx}/2) = (B_{nRx} + B_{nTx})/2 - |\Delta f|, \\ S_{ТП. Rx} &= (B_{Rx} - B_{nRx})/4, \\ S_{ТП. Tx} &= (B_{Tx} - B_{nTx})/4. \end{aligned} \quad (16)$$

Коефіцієнт частотної вибірковості FDR при виконанні умови (14) можна розрахувати за формулою (6) з урахуванням розмірів площі, які отримані у виразах (8), (9) та (15).

Якщо виконується умова (5), але не виконуються ні одна з умов (10), (12), та (14), тобто площа перекриття спектральних масок має від нерівностороннього трикутника, як показано на рисунку 3 та рисунку 7, умовою прийому завади основним каналом прийому приймача від основного випромінювання передавача завади для займаної смуги частот буде нерівність:

$$\Delta f > (B_{nTx} + B_{nRx})/2. \quad (17)$$

Для визначення площі трикутника зручно скористатися виразом для розрахунку його площі по відомому боці та двох прилеглих кутах:

$$S_i = \frac{a^2 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{2 \cdot \sin(180 - (\alpha + \beta))}, \quad (18)$$

де $a = (f_{Rxmax} - f_{Txmin}) = (f_{Rx} + B_{Rx}/2) - (f_{Tx} - B_{Tx}/2) = (B_{Rx} + B_{Tx})/2 - |\Delta f|$;

$$\alpha_{Rx} = \arctan(2/(B_{Rx} - B_{nRx})), \text{ з урахуванням } B_{Rx} = 1,2 \times B_{nRx}, \quad \alpha_{Rx} = \arctan(10/B_{nRx});$$

$$\beta_{Tx} = \arctan(2/(B_{Tx} - B_{nTx})), \text{ з урахуванням } B_{Tx} = 1,2 \times B_{nTx}, \quad \beta_{Tx} = \arctan(10/B_{nTx}).$$

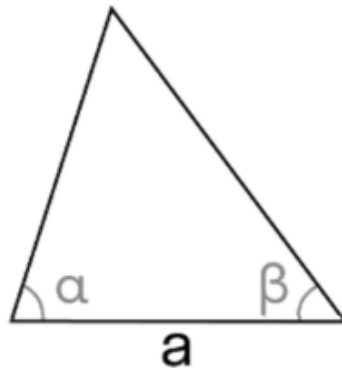


Рис. 7. Для пояснення розрахунку площі трикутника

За вказаних умов (при виконанні умови (5) та невиконанні ні однієї з умов (10), (12) або (14) і виконанні умови (17) коефіцієнт частотної вибіркості FDR визначається з урахуванням розмірів площі, які наведені у виразах (8), (9) та (18).

Висновки. Запропонований спрощений інженерний метод розрахунку співканальної частотної вибіркості може бути застосований для приблизного розрахунку потужності завади на вході приймача за умови можливості створення завади основним каналом прийому від основного випромінювання передавача завади та у разі відсутності достатніх даних, стосовно спектральної маски випромінювання передавача завади та АЧХ приймача.

Подальші напрямки досліджень передбачають вивчення можливості практичного застосування пропонованого спрощеного інженерного методу розрахунку коефіцієнта частотної вибіркості приймача шляхом визначення його точності порівняно з результатами розрахунків іншими методами, які передбачають наявність достатньої вихідної інформації для більш точних розрахунків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Spectra and bandwidth of emissions. RECOMMENDATION ITU-R SM.328-11. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.328-11-200605-I!!PDF-E.pdf.
2. Frequency and distance separations. RECOMMENDATION ITU-R SM.337-6. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.337-6-200810-I!!PDF-E.pdf.
3. Іванов В. О., Габрусенко Є. І., Льницький Л. Я., Щербина О. А. Електромагнітна сумісність радіоелектронної апаратури: навч. посіб. Київ: Національний авіаційний університет, 2014. 309 с. URL: <http://er.nau.edu.ua/handle/NAU/28232>.
4. Методика розрахунків електромагнітної сумісності для присвоєння радіочастот радіоелектронним засобам рухомої служби. Додаток 4. Методи розрахунків коефіцієнта частотної вибіркості приймача. Затверджено Наказом Адміністрації Держспецзв'язку від 13.08.2021 № 500. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/FN070350>.
5. Положення про реєстр радіообладнання та випромінювальних пристроїв, яке затверджено Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку 29 червня 2022 року № 87. Додаток 3 «Форма картки технічних даних радіоелектронного засобу». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0788-22#Text>.
6. Регламент радіозв'язку ITU. URL: <https://www.itu.int/pub/R-REGCY>.

7. Методика розрахунків електромагнітної сумісності для присвоєння радіочастот радіоелектронним засобам радіомовної служби. Затверджено Наказом Адміністрації Держспецзв'язку від 20.10.2021 № 619. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0619519-21#Text>.

8. Методика розрахунків електромагнітної сумісності для присвоєння радіочастот радіоелектронним засобам фіксованої служби. Затверджено Наказом Адміністрації Держспецзв'язку від 26.10.2021 № 634. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0634519-21#Text>.

9. Методика розрахунку електромагнітної сумісності для присвоєння радіочастот радіоелектронним засобам супутникових служб радіозв'язку. Затверджено Наказом Адміністрації Держспецзв'язку від 20.10.2021 № 635. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0635519-21#Text>.