

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ТА ІНФОРМАТИЗАЦІЇ
ІМЕНІ ГЕРОЇВ КРУТ

І. К. Нестеренко

Кафедра
Телекомунікаційних систем та мереж

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
для виконання курсової роботи
“РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ
ЛОКАЛЬНОГО УГРУПУВАННЯ
РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ”

з дисципліни “Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів
та радіочастотний менеджмент”, код н/д ВС 1

Київ – 2025

Методичні рекомендації для виконання курсової роботи “Розрахунок ЕМС локального угруповання РЕЗ” з дисципліни “Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів та радіочастотний менеджмент” для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка.

Методичні рекомендації для виконання курсової роботи розроблені науково-педагогічним працівником кафедри Телекомунікаційних систем та мереж: к.т.н., с.н.с. працівником ЗСУ Нестеренко І.К. К.: ВІПІ, 2025. 69 с.

Методичні рекомендації для виконання курсової роботи з дисципліни “Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів та радіочастотний менеджмент” рекомендовано до друку Вченою радою Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут (протокол засідання № 5 від 26 листопада 2024 року).

Рецензенти: Сайко Володимир Григорович, д.т.н., професор, професор кафедри Телекомунікаційних систем та мереж ВІПІ ім. Героїв Крут;

Гуржій Павло Миколайович, к.т.н., докторант науково-організаційного відділу ВІПІ ім. Героїв Крут.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Мета, компетентності і результати навчання.....	5
2. Рейтингова система оцінювання виконання курсової роботи.....	6
3. Загальні методичні вказівки для виконання курсової роботи.....	8
4. Теоретичні основи аналізу ЕМС	10
4.1. Загальні характеристики РЕЗ та району планування.....	11
4.2. Спектр сигналу та пояснення критерію вибору РЕЗ що заважають за частотною ознакою.....	12
4.3. Розрахунок ЕМС РЕЗ в районі планування.....	17
4.4. Розрахунок ЕМС локального угруповання РЕЗ.....	18
5. Завдання для виконання курсової роботи	19
5.1. Варіанти індивідуальних завдань.....	20
6. Порядок виконання розрахунків	22
7. Розрахункова частина.....	24
7.1. Вибір за частотною ознакою плануємих для встановлення РЕЗ, що потенційно заважають існуючому приймачу БС	24
7.2. Розрахунок рівня корисного сигналу на вході приймача.....	27
7.3. Розрахунок рівня завад.....	29
7.4. Розрахунок множинної завади.....	39
7.5. Обчислення власних шумів приймача.....	40
7.6. Оцінка ЕМС	41
8. Приклад виконання розрахункової частини курсової роботи.....	43
Висновок.....	64
Список контрольних питань.....	66
Скорочення та умовні позначення.....	67
Список літератури.....	68
Додаток 1. Зразок титульного листа пояснювальної записки.....	69

ВСТУП

Дисципліна “Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів та радіочастотний менеджмент” є складовою командного курсу тактичного рівня (системи військового зв’язку), L-1С (ВЗ) за військово-обліковою спеціальністю 520100; 521000; 521305 “Системи військового зв’язку”, у тому числі здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка.

На вивчення дисципліни надається 120 годин навчального часу, з котрих 80 годин відводиться на самостійну роботу.

Дисципліна забезпечує вивчення основ забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних засобів (РЕЗ) та випромінюючих пристроїв.

Навчальний матеріал дисципліни вміщує три логічно зв’язаних змістовних модуля. Таке розділення має на меті здійснення поетапної підготовки здобувачів вищої освіти. Нарощування обсягу і складності матеріалу, починаючи від принципів використання радіочастотного спектру, вивчення основ радіочастотного менеджменту на міжнародному та національному рівнях, його особливостей у смугах частот загального та спеціального користування, вивчення основ забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів та випромінюючих пристроїв, заходів з забезпечення вимог електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, радіочастотного моніторингу та обліку в сфері користування радіочастотним ресурсом України, в цілому, буде сприяти підвищенню якості засвоєння знань з дисципліни.

Вивчення дисципліни закінчується заліком та виконанням курсової роботи.

Курсова робота є невід’ємною складовою самостійної роботи здобувача вищої освіти, яка передбачає виконання індивідуального завдання, що сприяє більш поглибленому вивченню теоретичного матеріалу, закріпленню та узагальненню отриманих знань, формуванню вмінь використання знань для комплексного вирішення відповідних професійних завдань.

Оцінка виконання курсової роботи виставляється згідно з положенням про рейтингову систему оцінки успішності з виставленням балів та оцінок у залікову відомість.

1. МЕТА, КОМПЕТЕНТНОСТІ І РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Метою викладання навчальної дисципліни “**Електромагнітна сумісність (ЕМС) радіоелектронних засобів (РЕЗ) та радіочастотний менеджмент**” є: вивчення здобувачами вищої освіти основ управління та регулювання у сфері радіочастотного ресурсу, електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів та радіомоніторингу.

Основними завданнями вивчення дисципліни “Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів та радіочастотний менеджмент” є: вивчення основ радіочастотного менеджменту на міжнародному та національному рівнях, його особливостей у смугах частот загального та спеціального користування, вивчення основ забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів та випромінюючих пристроїв, основ радіомоніторингу та радіопеленгування.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми навчальна дисципліна забезпечує набуття **компетентності**:

ВСК-1. Здатність організовувати та проводити заходи з забезпечення вимог електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, радіочастотного моніторингу та обліку в сфері користування радіочастотним ресурсом України.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми встановлені наступні **програмні результати навчання (РН)**, якими повинен оволодіти курсант (слухач), після вивчення навчальної дисципліни:

РНвс-1. Вміти організовувати та проводити заходи із забезпечення вимог електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, радіочастотного моніторингу та обліку в сфері користування радіочастотним ресурсом України.

Розподіл навчального часу за семестрами та видами навчальних занять наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Розподіл навчального часу за видами навчальних занять

Семестри	Всього годин/ кредитів ЄКТС	З них		В тому числі за видами навчальних занять							Курсові роботи (проекти)	Індивідуальні завдання (РГР, РР, ГР, реферати)	Вид контролю
		Аудиторних годин	Самостійна робота	Лекції	Групові заняття	Групові вправи	Семінарські заняття	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Тактичні (тактико- спеціальні) заняття			
2	120/4	40	80	4	32			4			26		МКР – 3, Курсова робота, Залік

2. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Рейтингова оцінка з розрахункової роботи (R) має дві складові. Перша (стартова) характеризує якість пояснювальної записки та графічного матеріалу ($R_{ПЗ}$). Друга складова характеризує якість захисту курсової (розрахункової) роботи ($R_{ЗР}$) здобувача вищої освіти (таблиця 2).

Рейтингова оцінка з курсової роботи визначається за формулою:

$$R = R_{ПЗ} + R_{ЗР}.$$

Розподіл балів рейтингової оцінки наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Розподіл балів рейтингової оцінки з курсової роботи

Розподіл балів з курсової роботи		Сума
Перша (стартова) складова	Друга складова	
50	50	100

Перша (стартова, письмова) складова

Максимальна кількість балів ($R_{ПЗ}$) – 50.

Вагові бали складаються:

- своєчасність терміну виконання курсової роботи 5;
- правильність застосування методів аналізу і розрахунку 6 – 10;
- правильність розрахунку 20 – 30;
- якість оформлення, виконання вимог нормативних документів 4 – 5.

У разі помилок у розрахунку за кожну спробу з помилковими результатами знімається 5 балів.

Друга (усна) складова

Максимальна кількість балів ($R_{ЗР}$) – 50.

Вагові бали складаються:

- ступінь володіння матеріалом 15 – 25;
- правильність та повнота висновків за результатами розрахунків та рекомендацій щодо поліпшення ЕМС 10 – 15;
- вміння захищати свою думку 5 – 10.

Визначення оцінки за національною шкалою, що відповідає рейтинговій оцінці в балах наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Рейтингова оцінка в балах та оцінка за національною шкалою

Значення R	Оцінка за національною шкалою
90 – 100	відмінно
80 – 89	дуже добре
65 – 79	добре
55 – 64	задовільно
50 – 54	достатньо
35 – 49	незадовільно (з можливістю повторного складання)
1 – 34	неприйнятно (з обов'язковим повторним вивченням навчальної дисципліни)

Здобувач вищої освіти допускається до заліку за умови позитивних результатів за модульними контрольними (проміжний контроль) за кожним з трьох змістовних модулів навчальної дисципліни та позитивної оцінки за виконання курсової роботи.

3. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Навчальним планом для здобувачів вищої освіти спеціальності 172 Електроні комунікації та радіотехніка передбачено виконання курсової роботи з дисципліни “Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів та радіочастотний менеджмент”.

Варіанти виконання курсової роботи визначаються в залежності від порядкового номера здобувача вищої освіти в журналі обліку занять. Наприклад: якщо номер здобувача вищої освіти за журналом 8 – то він повинен виконувати індивідуальне завдання (варіант) № 8, якщо номер за журналом 20 – то необхідно виконувати варіант № 20.

Курсова робота виконується самостійно протягом другого та третього змістовних модулів дисципліни “Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів та радіочастотний менеджмент” після проведення заняття “Технічні основи аналізу ЕМС РЕЗ (параметри радіопередавальних, радіоприймальних пристроїв та антен, що впливають на ЕМС)”.

У результаті виконання курсової роботи за варіантами здобувача вищої освіти складає звіт (пояснювальну записку), в якій відображаються наступні пункти:

- титульний лист із зазначеним номером варіанта та виконавця;
- сформульоване завдання за варіантом;
- результати розрахунку (за відповідними пунктами та таблицею з результатами);
- висновки.

Розрахункова частина пояснювальної записки може подаватися в письмовому вигляді, решта матеріалу може бути представлена в друкованому вигляді.

Вимоги до оформлення пояснювальної записки розрахункової роботи:

- курсову роботу необхідно виконувати на аркушах формату А4 (відстань між рядками 1,5 інтервали, гарнітура – Times New Roman, кегль – 14);
- поля: угорі та знизу – 2 см, зліва – 2,5 см, праворуч – 2 см, абзац – 1 см);
- пояснювальна записка повинна бути скріплена та представлена для перевірки не пізніше ніж за 15 днів до дня проведення заліку, визначеного розкладом занять. Дозволяється подання пояснювальної записки

у електронному вигляді на електронну пошту викладача. Назва файлу складається з номера учбової групи, прізвища виконавця та номера варіанта курсової роботи. Внесення правок в її текст після подання на перевірку не дозволяється.

Крім перевірки викладачем курсової роботи проводиться її захист у навчальній аудиторії шляхом заслуховування здобувача вищої освіти та постановки йому контрольних питань (друга складова розподілу балів з курсової роботи). Під час захисту дозволяється використовувати матеріал пояснювальної записки.

Робота, що виконана з помилками і відхиленнями від вимог методичних рекомендацій, повертається здобувачу вищої освіти для доопрацювання.

4. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ ЕМС

Технічний аспект проблеми забезпечення електромагнітної сумісності РЕЗ можна пояснити за допомогою схеми, зображеної на рисунку 1. На схемі показані умовні виходи радіопередавача (РПДП – T_x) та умовні входи радіоприймача (РПП – R_x) і ознаки (частотні, просторові, поляризаційні) розподілу випромінювання радіопередавача та ознаки селекції (вибірковості) радіоприймача.

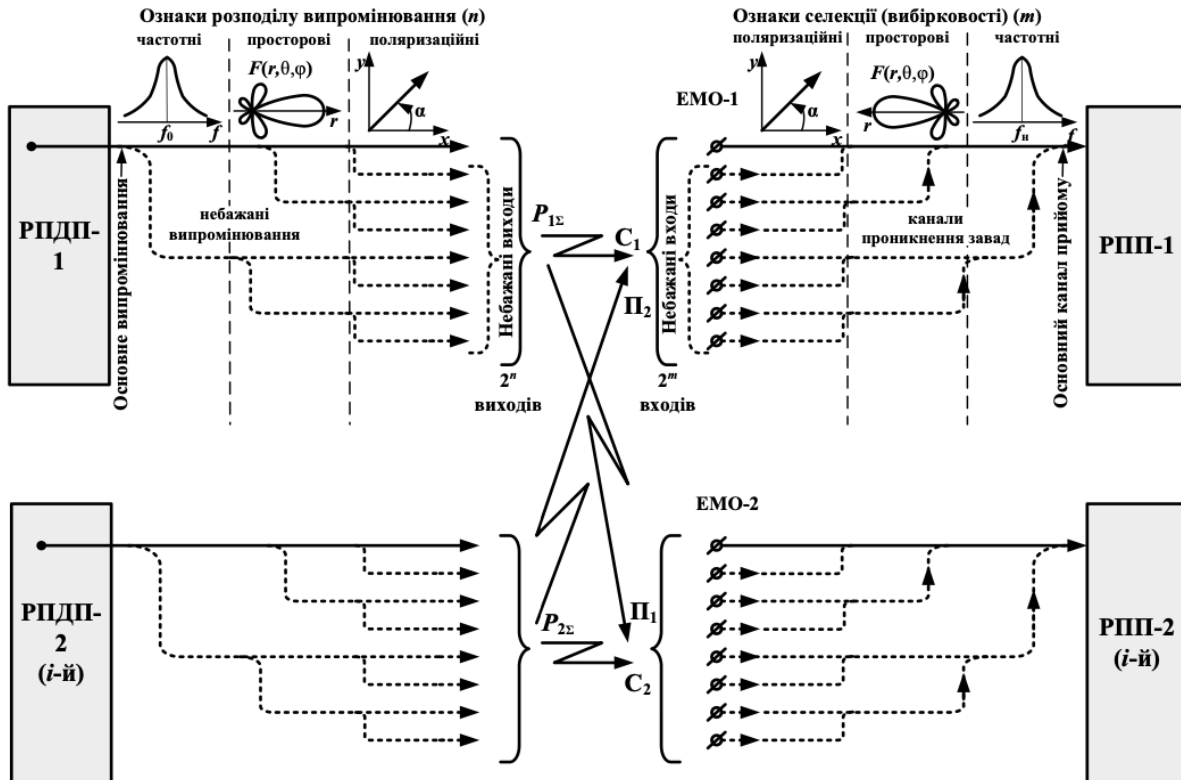


Рисунок 1. Схематична інтерпретація технічного аспекту проблеми забезпечення ЕМС РЕЗ

Аналіз ЕМС проводиться спочатку в районі планування РЕЗ з подальшим уточненням, при необхідності, у місці локального угруповання РЕЗ (об'єктова ЕМС).

У місці розташування РЕЗ перевіряється виконання енергетичного критерію ЕМС шляхом порівняння розрахункового відношення рівня корисного сигналу до сумарного значення рівня шумів та завад на вході приймача з допустимим значенням для даного РЕЗ у відповідному режимі роботи (виду модуляції, схеми кодування тощо).

За результатами порівняння робиться висновок або про допустимість рівня завад і, отже, виконання умов ЕМС та можливість частотного присвоєння, або про недопустимість рівня завад і необхідність зміни номіналу частоти або застосування додаткових засобів забезпечення ЕМС.

РЕЗ, що планується для дослідження, може саме бути джерелом завад для існуючих РЕЗ у районі планування, тому розрахунок завад проводиться також і по відношенні РЕЗ, які можуть отримати заваду від РЕЗ, що планується. У цьому випадку нове частотне присвоєння, незважаючи на позитивний результат розрахунку завад для планованого РЕЗ, може бути не здійснено через створення неприпустимого рівня завад існуючим РЕЗ. Технічні параметри РЕЗ, що плануються, в цьому випадку можуть бути змінені для зменшення завадового впливу (зменшена висота підвісу антени, потужність передавача, змінені спрямованість і кут нахилу антени, застосований додатковий фільтр тощо). Після проведення таких змін знову перевіряється реалізована зона обслуговування і робиться остаточний висновок про можливість частотного присвоєння.

У рамках цієї роботи досліджується тільки вплив завад РЕЗ, встановлення яких планується, на приймальний пристрій існуючого (діючого) РЕЗ.

4.1. Загальні характеристики РЕЗ та району планування

4.1.1. Технічні характеристики РЕЗ:

- потужність передавального пристрою;
- частота передачі;
- частота прийому;
- спектр (частотна маска) сигналу передавача;
- азимут максимального випромінювання антени;
- коефіцієнт підсилення антени, її тип і поляризація випромінювання;
- діаграма спрямованості антени;
- висота підвісу антени;
- втрати у фідері;
- амплітудно-частотна характеристика приймача;
- чутливість приймача;
- величина необхідного захисного співвідношення.

4.1.2. Характеристики місць розташування РЕЗ

До характеристик місць розташування РЕЗ відносяться:

- географічні координати;
- висота місця встановлення над рівнем моря;
- значення ефективної висоти, ступеня нерівності, а також кута просвіту місцевості для різних азимутальних напрямків;
- тип забудови місцевості.

4.1.3. Характеристики смуги частот району планування

До характеристик смуги частот району планування відносяться:

- частоти, яким надається перевага (кращі частоти);
- частоти, що вимагають координації (для прикордонних районів);
- заборонені частоти.

4.2. Спектр сигналу та пояснення критерію вибору РЕЗ, що заважають за частотною ознакою.

Спектр електричного сигналу – частотний розподіл потужності, амплітуди струму або напруги сигналу. Нормована обвідна спектра радіовипромінювання наведена на рис. 2.

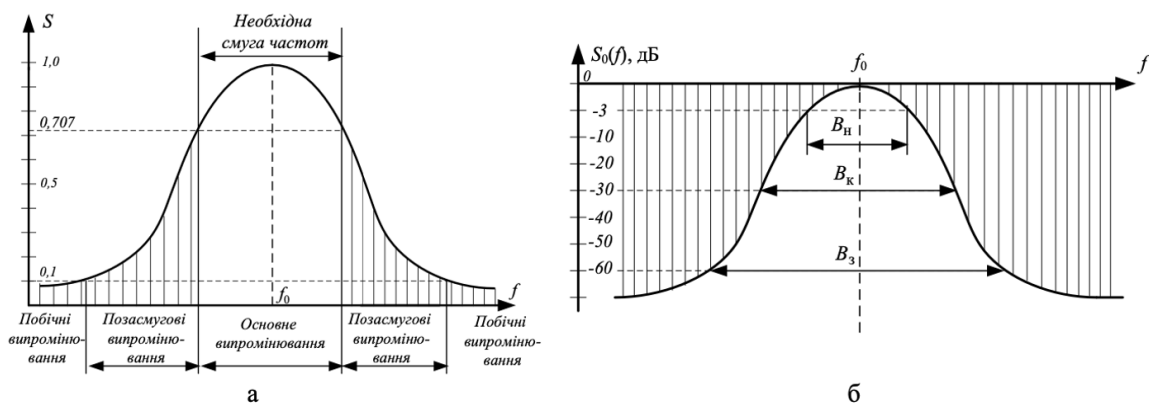


Рисунок 2. Нормована обвідна радіовипромінювання $S(f)$
а – у лінійному масштабі, б – в логарифмічному масштабі.

Основне радіовипромінювання – випромінювання радіопередавального пристрою в необхідній смузі частот.

Необхідна смуга радіочастот B_n – мінімальна смуга радіочастот даного класу випромінювання, достатня для передавання сигналу з необхідною

швидкістю та належною якістю. Ширина необхідної смуги частот, у межах якої зосереджене основне випромінювання, є відомою, оскільки визначена у класі випромінювання (зазвичай вважається що ширина необхідної смуги частот B_n дорівнює ширині смуги на рівні -3дБ).

Методи вимірювання ширини смуги на рівні X дБ наведено у Рекомендації ITU-R SM.328. Контрольна смуга частот B_k (див. рис. 2) використовується для контролю і нормування позасмугового випромінювання, а також у разі оцінювання частотного рознесення РЕЗ. Контрольна смуга частот визначається на рівні $X = -30$ дБ. Її перевищення неприпустиме.

Згідно Рекомендації МСЕ використовується також таке визначення терміну «**займана смуга частот**» B_z (“OBW – occupied bandwidth”): така ширина смуги частот, що нижче нижньої та верхньої меж частот, середня потужність випромінювання дорівнює визначеному відсотку $\beta/2$ від загальної середньої потужності даного випромінювання. Якщо інше не зазначено в Рекомендаціях ITU-R для відповідного класу випромінювання, значення $\beta/2$ слід приймати як 0,5%. Таким чином у займаній смузі частот зосереджено 99% середньої потужності випромінювання.

Значення B_z істотно залежить від класу випромінювання та параметрів модулюючих сигналів (верхня частота модулюючого сигналу). Для сигналів усіх класів випромінювання, окрім спеціально обумовлених, **смуга B_z не повинна перевищувати B_n більш ніж на 20%.**

Поняття «необхідна смуга частот» (“necessary bandwidth”) і «займана смуга частот» (“occupied bandwidth”) визначені в пп. 1.152 і 1.153 Регламенту радіозв’язку (РР) МСЕ, є основою для визначення спектральних властивостей даного випромінювання або класу випромінювання у найпростіший спосіб.

За розрахунками будемо вважати, що ширина займаної смуги частот (зазначимо B_{Rx} , B_{Tx}) пов’язана з шириною необхідної смуги частот B_n коефіцієнтом 1,2 та дорівнює $B_{Tx(Rx)} = 1,2 \times B_{nTx(Rx)}$.

Відношення ширини займаної смуги частот на рівні X (наприклад мінус 60 дБ) до ширини смуги частот на рівні мінус 3 дБ називається коефіцієнтом прямокутності K_X . У разі ідеальної характеристики вибірності приймача коефіцієнт прямокутності = 1. У реальних приймачах вибірність вважається доброю при $K_{60} = 2 \dots 4$. Теж саме справедливе і для сигналу передавача.

При розрахунках вважаємо, що прямокутність спектра випромінювання передавача та прямокутність частотної вибірності приймача (по проміжної частоті) однакові.

У подальшому при розрахунках ЕМС, використовуємо ширину необхідної та ширину займаної смуг частот (які зазначаються у картках тактико-технічних даних радіообладнання).

В загальному спектрі радіовипромінювань РЕЗ (рис. 2) **основне** випромінювання супроводжується **небажаними** випромінюваннями, які знаходяться за межами необхідної смуги B_n , до складу яких входять:

- *побічні випромінювання;*
- *позасмугові випромінювання.*

Згідно визначенню, даному в Регламенті радіозв'язку, *випромінювання на частоті або частотах, розміщених за межами ширини необхідної смуги частот, рівень якого може бути понижений без будь-яких втрат для відповідної передачі повідомлень, називають **побічними випромінюваннями**.* До побічних випромінювань відносять випромінювання на:

- гармоніках (субгармоніках);
- паразитні випромінювання;
- продукти інтермодуляції та частотних перетворень.

Позасмугові випромінювання – *це всі небажані радіовипромінювання на частоті або в смугах частот, які безпосередньо примикають до необхідної смуги радіочастот, і є результатом процесу модуляції, але не включають до себе побічних випромінювань.*

Для оцінки швидкості спадання інтенсивності позасмугового випромінювання РЕЗ використовується *ширина смуги частот B_x на рівні мінус X дБ відносно основного випромінювання* (рис. 3).

Допустимі рівні потужності побічних випромінювань, які супроводжують основне випромінювання РПДП, нормуються відповідними регламентуючими документами. Значення $M[\text{дБ}] = 43 + 10 \times \lg P [\text{Вт}]$ або альтернативне значення 70 дБ залежно від того, який рівень відповідає менш жорстким вимогам визначають потрібне ослаблення потужності будь-яких складових побічного випромінювання відносно середньої потужності P основного випромінювання на виході радіопередавача для більшості радіослужб.

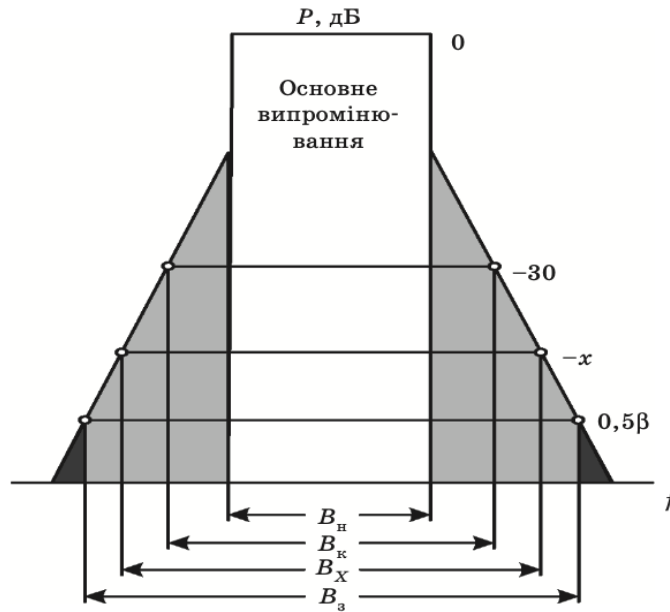


Рисунок 3. Нормована обвідна радіовипромінювання у логарифмічному масштабі (ОВ – основне випромінювання РЕЗ):

(B_n – ширина необхідної смуги частот; B_k – ширина контрольної смуги частот (для більшості видів випромінювання вимірюється на рівні мінус 30 дБ від максимального значення); B_x – ширина смуги частот на рівні мінус X дБ; B_z – ширина займаної смуги частот).

Слід мати на увазі, що позасмугові випромінювання не містять побічних випромінювань. Також побічні випромінювання не містять позасмугових випромінювань.

Позасмугові випромінювання межують з основним випромінюванням та побічними випромінюваннями. Частотна границя між позасмуговими та побічними випромінюваннями розташована на відстані $2,5 \times B_n$ відносно частоти несучої f_0 (тобто включає основний, перший та другий сусідні канали).

Основний спосіб боротьби з позасмуговими випромінюваннями – частотна фільтрація в місцях їхнього виникнення. Вважається, що позасмугові випромінювання нижчі від рівня $X = -60$ дБ не впливають на умови забезпечення ЕМС РЕЗ у районі планування.

Основне випромінювання конкретного РПДП та його **небажані** випромінювання можуть бути **ненавмисними радіозавадами** для інших незалежних радіосистем та пристроїв.

Шляхи надходження небажаних випромінювань до вільного простору різноманітні: через антенно-фідерну систему, ланцюгами живлення та

монтажними дротами, через кабелі, роз'єми, вентиляційні отвори в кожухах радіоапаратури тощо.

Пояснення критерію вибору за частотною ознакою тих РЕЗ, що потенційно заважають новому частотному присвоєнню наведено на рис. 4 а і рис. 4 б.

Рис. 4 а. Спектр густини потужності радіовипромінювань передавача:
1 – основного; 2 – позасмугового; 3 – на гармоніках; 4 – на субгармоніках;
5 – комбінаційного; 6 – інтермодуляційного; 7 – паразитного; 8 – шумового

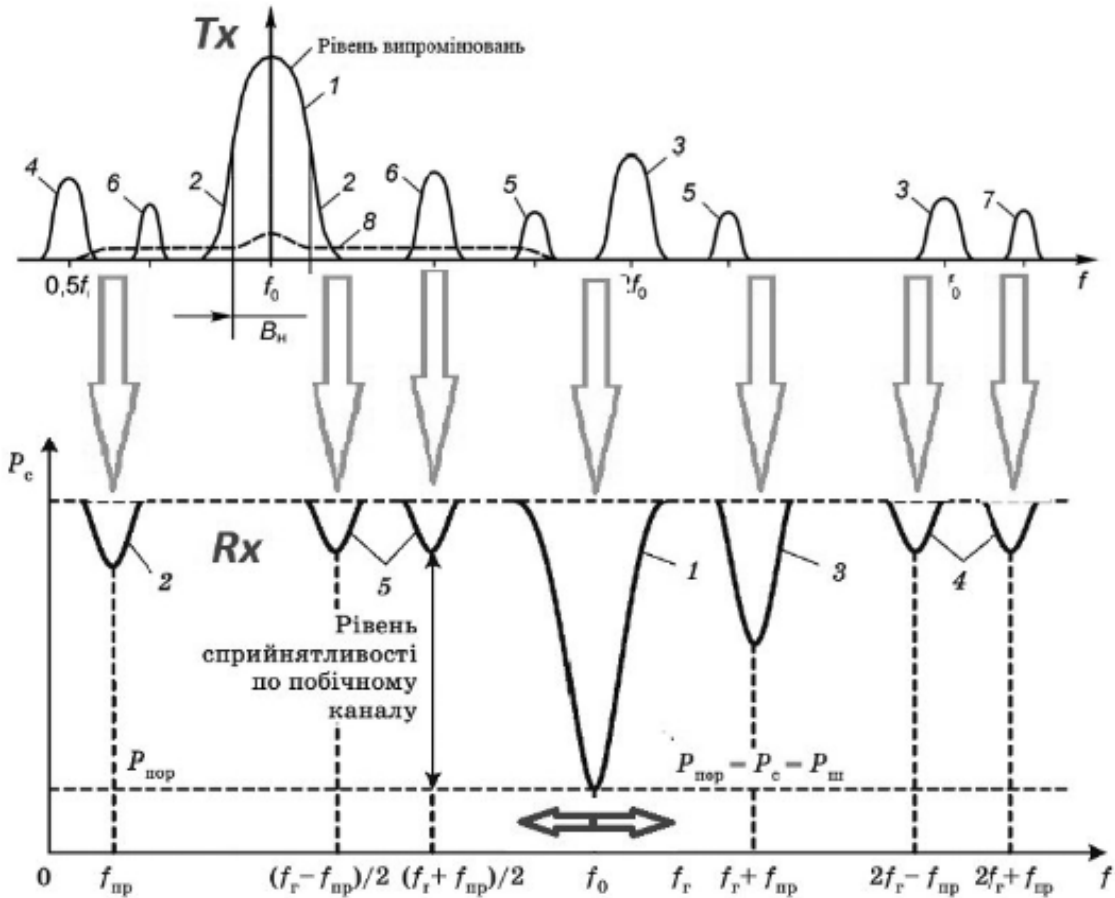


Рис. 4 б. Характеристика сприйнятливості до завад супергетеродинного приймача:

- 1 – основний канал приймання на частоті настроювання $f_0 = f_r - f_{пр}$;
- 2 – побічний канал приймання на проміжній частоті $f_{пр}$;
- 3 – побічний канал приймання на дзеркальній частоті $f_{дк} = f_r + f_{пр}$;
- 4 – побічні канали приймання на комбінаційних частотах $2f_r \pm f_{пр}$;
- 5 – побічні канали приймання на субгармоніках частоти настроювання приймача $0,5 (f_r - f_{пр})$ та дзеркальної частоти $0,5 (f_r + f_{пр})$

На рисунку 5 наведено АЧХ фільтрів супергетеродинного радіоприймача на основній (радіо) та проміжній частотах. Слід мати на увазі, що фільтр преселектора на частоті сигналу f_c та фільтр на проміжній частоті $f_{пр}$ мають різні

коефіцієнти прямокутності та різну ширину смуги пропускання. Фільтр преселектора переналаштовується разом зі зміною робочої частоти й тому має невисоку вибірковість. Проміжна частота при зміні робочої частоти не змінюється, фільтр проміжної частоти має АЧХ близькою до П-подібної. На рисунку 5 наведено також розташування на осі частот деяких каналів приймання супергетеродінного приймача (СК_{1,2} – сусідні, ЗК – дзеркальний) та частоту гетеродину f_{Γ} .

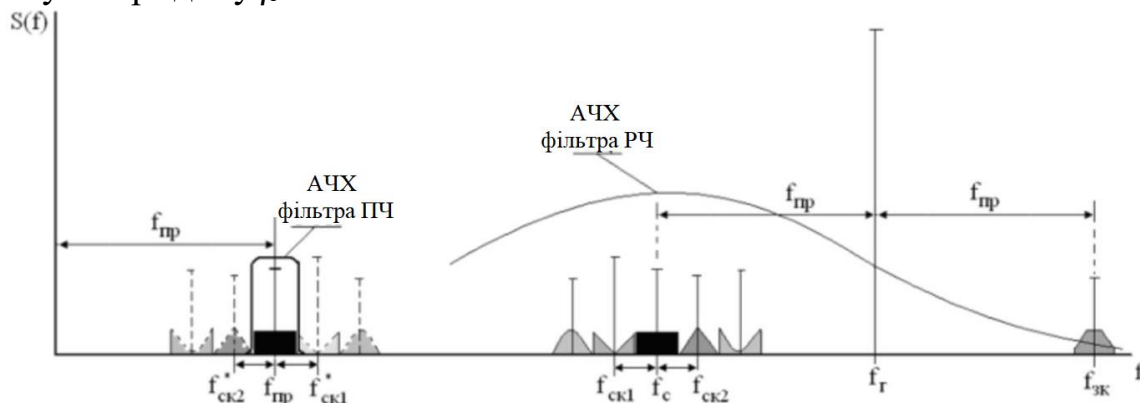


Рисунок 5. АЧХ тракту РЧ (преселектора) та проміжній частоти (ПЧ) приймача

Дзеркальний канал послаблюється лише у тракті радіочастоти контурами преселектора (вхідним ланцюгом і підсилювача на радіочастоті - ПРЧ).

Канал проміжної частоти (ПЧ) – послаблюється лише у тракті радіочастоти (РЧ) контурами преселектора та загороджувальними фільтрами, які налаштовуються на проміжну частоту (фільтри пробки).

Для придушення сусідніх каналів можна використовувати спосіб розподіленої фільтрації. Основне посилення та виділення корисного сигналу (придушення сусідніх станцій) відбувається у тракті проміжної частоти приймача.

4.3. Розрахунок ЕМС РЕЗ в районі планування

Розрахунок ЕМС РЕЗ в *районі планування* виконується в наступному порядку:

- а) вибір РЕЗ за територіальними ознаками, які розміщені в межах обмеженої зони дослідження;
- б) відбір з РЕЗ, обраних за територіальними ознаками, що потенційно можуть заважати новому частотному присвоєнню РЕЗ за частотною ознакою:

- визначення можливих джерел завад за основним каналом;
 - визначення можливих джерел завад за першим сусіднім каналом;
 - визначення можливих джерел завад інтермодуляції 3-го порядку;
- в) розрахунок рівня завад на вході приймача:
- за основним каналом;
 - за першим сусіднім каналом;
 - інтермодуляції 3-го порядку;
- г) аналіз отриманих результатів і прийняття рішення за результатами розрахунків про забезпеченість ЕМС з урахуванням впливу множинної завади або необхідності вибору іншої частоти.

У випадку позитивного рішення за результатами розрахунку ЕМС необхідно перевірити наявність інших РЕЗ на спільному майданчику та при їх наявності провести розрахунок ЕМС локального угруповання РЕЗ (об'єктова ЕМС).

4.4. Розрахунок ЕМС локального угруповання РЕЗ

Розрахунок ЕМС *локального угруповання* РЕЗ виконується в наступному порядку:

а) серед РЕЗ, відібраних відповідно з попереднім пунктом вибираються РЕЗ, які розташовані в межах спільного майданчика та в колі радіусом до 1 км від РЕЗ, що досліджується.

Величина радіусу 1 км обумовлена наступним припущенням – втрати при розповсюдженні радіохвиль для цієї відстані складають $60 \div 100$ дБ (модель розповсюдження у вільному просторі) у залежності від частотного діапазону, що зводить до мінімуму імовірність впливу на приймач інших видів завад на великих відстанях від передавача. Всі станції, що потрапили в зону, обмежену цим колом, вибираються для проведення подальшого аналізу;

б) РЕЗ, які потенційно можуть створювати завади приймачу, що досліджується, чи підпадають під дію її завади, відбираються за частотною ознакою серед РЕЗ, обраних за територіальною ознакою. Для кожного з відібраних передавачів (чи групи передавачів) перевіряється частотна умова можливості створення завади приймачу, що досліджується, або для кожного з відібраних приймачів по групі відібраних передавачів перевіряється частотна

умова можливості постановки завад від досліджуваного передавача за наступними видами завад:

- по сусідніх каналах;
- по інтермодуляції 3-го – 13-го порядків;
- по дзеркальному каналу;
- по першій ПЧ;
- на гармоніках (субгармоніках);
- по блокуванню;

в) розраховуються рівні для кожного виду завади;

г) проводиться аналіз отриманих результатів розрахунків про можливість частотного присвоєння з урахуванням впливу множинної завади або необхідності вибору іншої частоти.

5. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Назва: Розрахунок ЕМС локального угруповання РЕЗ

Мета курсової роботи:

- проведення практичних розрахунків параметрів, що визначають електромагнітну обстановку (ЕМО);
- визначення умов електромагнітної сумісності і частотно - територіального планування радіоелектронних засобів рухомої служби.

Вихідні дані:

Досліджується стан електромагнітної обстановки на майданчику (рис. 6, дах будівлі) на якому розташований гіпотетичний радіоприймальний пристрій - РПП (R_x) базової станції з характеристиками, які наведені в індивідуальному завданні.

В районі розміщення існуючого РЕЗ планується розміщення двох нових РЕЗ (T_{x1} та T_{x2}), параметри яких наведені у таблиці 4.

Таблиця 4

Характеристики РЕЗ, що плануються розміщуватися

№	$f_{Tx1,2}$, МГц	Клас випромінювання	$G_{Tx1,2}$, дБі	$P_{Tx1,2}$, дБВт
1	151,3	120K0F3E	8	19,2
2	154,1	143K0F3E	7	21,3

Примітка: клас випромінювання, зазначений у таблицях, є гіпотетичним (тобто не відноситься до конкретних типів засобів зв'язку) та використовується лише з метою проведення розрахунків у даній роботі.

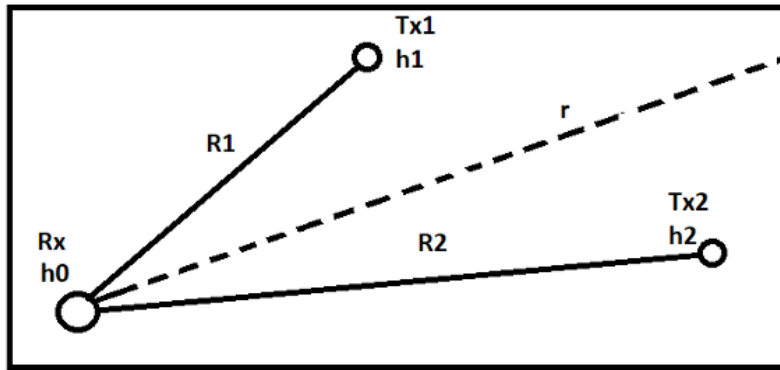


Рисунок 6. Розміщення РЕЗ на майданчику

5.1. Варіанти індивідуальних завдань

Вихідні дані для вирішення *індивідуального завдання* курсової роботи визначаються порядковим номером у журналі обліку занять (таблиця 5).

У таблицях 4 і 5:

f – робоча частота, МГц;

$f_{\text{пр}}$ – проміжна частота, МГц;

P – потужність, дБВт;

G – коефіцієнт підсилення антени, дБ;

T_x – передавач існуючої радіолінії;

T_{x1}, T_{x2} – передавачі, що планується встановити;

R_x – приймач існуючої базової станції;

$B_{\text{нRx}}, B_{\text{нTx1}}, B_{\text{нTx2}}$ – необхідна смуга частот для сигналів радіоприймача R_x (РПП) та радіопередавачів T_{x1}, T_{x2} (РПДП), кГц (визначається класом випромінювання);

$U_{\text{Rx,real}}$ – реальна чутливість діючого радіоприймача, мкВ;

r – відстань між РПДП і РПП існуючої радіолінії, км;

R_1 та R_2 – відстань між існуючим РЕЗ та передавачами РЕЗ, що плануються встановити, м;

M – придушення неосновних (позасмугових та побічних) випромінювань передавачів, дБ;

S – придушення завад по небажаних каналах приймання існуючого радіоприймача, дБ;

A – необхідне співвідношення сигнал/(завада+шум) на вході РПП, дБ.

Гет – налаштування гетеродину існуючого РПП:

– **в** – **верхнє** (для варіантів 1 – 5, 11 – 20);

– **н** – **нижнє** (для варіантів 6 – 10, 21 – 31).

Таблиця 5

№ вар	Параметри приймача і передавача існуючої радіолінії											Передавачі, що плануються		<i>r</i>	<i>R</i> ₁	<i>R</i> ₂
	f_{RX}	$B_{нRX}$	G_{RX}	G_{TX}	P_{TX}	$U_{RX,real}$ мкВ	$f_{ПР}$	<i>A</i>	Гет	<i>S</i> ₁	<i>S</i> ₂	T_{x1} <i>M</i> ₁	T_{x2} <i>M</i> ₂	км	м	м
1	302,7	36	5	7	17	4	10,2	10	в	75	74	68	72	1	15	50
2	453,9	16	4	9	19	3,5	10,9	11	в	40	50	66	64	2	15	60
3	308,1	26	4	8	17	3	9,8	9	в	55	75	65	60	3	130	20
4	133,7	78	6	7	18,6	3,3	8,8	9	в	40	60	64	58	4	140	80
5	151,5	102	4	8	17,2	2,8	8,5	8	в	60	40	62	54	5	150	90
6	151,1	123	6	9	18	3,4	12,1	11	н	35	45	70	52	1	16	80
7	174,5	32	4	7	18,4	2,5	10,2	8	н	47	45	72	51	2	17	110
8	302,5	26	6	5	19	2,2	8,6	10	н	75	68	74	47	3	20	120
9	172,9	31	3	9	17,2	2,7	10,8	9	н	60	75	66	53	4	19	130
10	166,1	43	4	8	17,8	3,6	7,4	8	н	80	40	58	61	5	20	100
11	153,9	100	5	6	17	2,8	10,5	11	в	20	80	60	66	1	50	15
12	156,7	95	3	7	19	1,6	8,8	12	в	15	70	56	62	2	60	160
13	129,5	120	4	6	18,4	3,3	12,3	8	в	20	75	64	54	3	70	170
14	153,9	160	5	8	16,8	3,7	8,2	10	в	35	68	69	53	4	80	18
15	140,1	92	3	9	17,8	4	5,6	10	в	25	70	65	56	5	45	19
16	151,2	78	5	7	17,6	3,5	9,4	8	н	30	66	48	52	1	10	20
17	154,3	90	4	8	18,2	2,6	9,8	10	н	60	70	42	68	2	15	25
18	302,5	25	6	9	18,7	3,8	10,4	9	н	75	64	44	44	3	20	15
19	168,325	28	5	8	20,1	3,2	8,5	8	н	60	70	65	64	4	15	10
20	462,2	35	5	9	19,7	4	9,4	11	н	15	62	64	42	5	30	10
21	154,3	32	6	8	14	2,5	10,7	8	в	68	70	63	47	10	15	7
22	151,5	16	4	8	18	2,85	10,7	9	в	69	60	65	51	9	12	5
23	308,3	64	4	8	12	4	10,7	8	в	60	70	66	59	8	9	6
24	302,7	16	6	8	20	3,5	10,7	12	в	55	72	63	53	7	7	8
25	151,5	16	3	8	22	1,8	10,7	14	в	53	68	60	51	6	5	14
26	151,4	64	6	6	13	3,2	10,7	11	н	64	66	62	48	5	6	7
27	154,25	80	3	6	12	3,6	10,7	10	н	66	64	66	46	4	14	11
28	462,3	120	4	6	14	14	10,7	9	н	69	65	54	54	3	11	9
29	175,6	140	6	6	11	3,4	10,7	8	н	71	70	50	58	2	8	10
30	302,62	100	4	9	10	3,1	10,7	12	н	70	72	48	70	1	10	12
31	148,8	160	9	10	16	2,5	10,7	10	н	72	74	70	75	8	10	12

Примітка: у розрахунках вважаємо, що антени приймача та передавачів, що планується встановити, всеспрямовані (тобто мають кругову діаграму спрямованості у горизонтальній площині), розташовані на однаковій висоті та мають однакову поляризацію. Також для спрощення розрахунків припускаємо, що коефіцієнт підсилення антени в ближній зоні дорівнює коефіцієнту підсилення антени у далекій зоні.

6. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ

Порядок проведення курсової роботи:

а) вибір за частотною ознакою тих РЕЗ, що потенційно заважають існуючому радіоприймачу:

- визначення можливих джерел завад по основному каналу;
- визначення можливих джерел завад сусіднім каналом;
- визначення можливих інтермодуляційних завад на вході приймача (до завад 3-го порядку);

- визначення можливих джерел завад по першій ПЧ;
- визначення можливих джерел завад дзеркальним каналом;
- визначення можливих джерел завад на гармоніках (субгармоніках) (II та III);

б) розрахунок рівня корисного сигналу, шумів та рівня завад на вході приймача;

в) аналіз отриманих результатів розрахунків ЕМС.

Важливо: визначаються можливі завади від кожного з запланованих до встановлення передавачів, інтермодуляційна завада та у разі необхідності множинна завада!

Результати розрахунку ЕМС локального угруповання РЕЗ оформлюються у вигляді таблиці 6.

Аналіз результатів розрахунку ЕМС передбачає порівняння отриманого співвідношення рівня сигналу до суми рівня шуму та рівня усіх завад від обох передавачів на вході існуючого радіоприймача з припустимим значенням (критерієм ЕМС). За результатами порівняння робиться висновок або про допустимість або недопустимість рівня завад (тобто забезпеченість ЕМС) та надаються рекомендації стосовно покращення ЕМС (необхідності зміни номіналу частоти або застосування додаткових засобів забезпечення ЕМС).

Таблиця 6

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ЕМС ЛОКАЛЬНОГО УГРУПУВАННЯ РЕЗ
(варіант № _____)

№	Назва параметра	РЕЗ 1		РЕЗ 2	
1	Наявність завад каналами прийому (+або-)				
1.1	основним каналом від основного випромінювання				
	основним каналом від позасмугового випромінювання				
1.2	сусідним каналом				
1.3	інтермодуляційної завади 2-го порядку				
1.4	інтермодуляційної завади 3-го порядку				
1.5	дзеркальним каналом				
1.6	по 1 ПЧ				
1.7	на гармоніках, (+ або -)	2-га	3-тя	2-га	3-тя
1.8	на субгармоніках, (+ або -)	2-га	3-тя	2-га	3-тя
2.1	Втрати ПРХ для корисного сигналу L_{0c} , дБ				
2.2	Рівень корисного сигналу на вході приймача, дБВт				
3.1	Втрати ПРХ в радіолінії завад, L_{0z} дБ				
3.2	Втрати в радіолінії для завад, дБ				
4	Рівень завади на вході приймача, дБВт				
4.1	основним каналом від основного випромінювання				
	коефіцієнт частотної вибіркості (FDR), дБ				
	рівень завади з урахуванням FDR				
	основним каналом від позасмугового випромінювання				
4.2	сусідним каналом				
4.3	дзеркальним каналом				-
4.4	по 1 ПЧ				-
4.5	на гармоніках	2-га	3-тя	2-га	3-тя
				-	-
4.6	на субгармоніках	2-га	3-тя	2-га	3-тя
5	Загальний рівень завад на вході приймача від кожного з передавачів $P_{\Sigma i}$, дБВ та Bm				
6	Рівень інтермодуляційної завади на вході приймача P_{IM} , дБВт та Bm				
7	Рівень шумів на вході приймача $P_{ш}$, дБВт				
8	Загальний рівень шумів та завад на вході приймача від обох передавачів, дБВ та Bm (п.п. 5 ₁ +5 ₂ +6+7)				
9	Значення $Q = P_c / (P_{\Sigma} + P_{ш}) - A$, дБ				
11	Забезпечення ЕМС (+ або -)				

7. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

7.1. Вибір за частотною ознакою плануємих для встановлення РЕЗ, що потенційно заважають існуючому приймачу БС

7.1.1. Визначення можливих джерел завад на основному каналі

Основний канал прийому – смуга частот, що знаходиться в межах смуги пропускання приймача. Для визначення можливості створення завад за основним каналом для основного випромінювання кожного з відібраних передавачів і приймачів визначається рознесення частот між несучими:

$$\Delta f = |f_{Tx} - f_{Rx}|. \quad (1)$$

а) Завада можлива, якщо виконується умова:

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

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

б) Завада на основному каналі прийому від позасмугового випромінювання передавача можлива, якщо виконується умова:

$$\Delta f \leq 2,5 \times B_{HTx} + B_{Rx}/2, \quad (3)$$

де B_{HTx} – ширина необхідної смуги випромінювання передавача.

Всі передавачі, які потрапили у розрахункову зону відносно досліджуваного приймача, для робочих частот в яких виконується хоча б одна наведена умова (2 або 3), вважаються потенційно небезпечними щодо створення завад в основному каналі прийому.

7.1.2. Визначення можливих джерел завад по сусідніх каналах

Сусідній канал прийому – канал, який примикає до нижньої чи верхньої границі смуги пропускання приймача і знаходиться в межах смуги пропускання підсилювача на радіочастоті ПРЧ. Вибираються перший і другий сусідні канали.

Для кожного з відібраних передавачів і приймачів визначається рознесення частот між несучими:

$$\Delta f = |f_{Tx} - f_{Rx}|.$$

Завада по першому сусідньому каналу можлива, якщо виконуються умови:

$$(B_{Tx} + B_{Rx})/2 \leq \Delta f \leq 2 \times \Delta f_{Ch} + B_{Tx}/2, \quad (4)$$

де Δf_{Ch} – частотне рознесення між каналами прийому для відповідного стандарту зв'язку (крок сітки частот). Орієнтовно вважаємо $\Delta f_{\text{Ch}} \approx 1,5 \times B_{\text{нRx}}$.

Станції, для яких виконується умова (4), вибираються для подальшого аналізу ЕМС.

7.1.3. Визначення можливих джерел завад інтермодуляції

Інтермодуляція виникає, як у передавачі, так і в приймачі. Інтермодуляційні випромінювання в передавачі виникають при роботі декількох передавачів на одну антену, або при розташуванні антен у безпосередній близькості. **Інтермодуляція в приймачі** з'являється при дії на вхід приймача двох і більше сигналів, частоти яких не збігаються з частотами основного і побічного каналів прийому. Найбільш небезпечніші інтермодуляційні завади 3-го та 5-го порядків.

Розрахунки у районі планування проводяться для індексу інтермодуляції до третього порядку.

Завада в приймачі можлива, якщо для любого з відібраних приймачів і декількох передавачів, які працюють або в смузі частот від сусіднього каналу до частот, що задаються користувачем, або до частот, для яких рівень ослаблення сигналу вхідними ВЧ контурами сягає 80 дБ по обидві сторони від частоти налаштування вхідних контурів і виконуються умови:

$$\left| m_1 \cdot (f_{\text{Tx1}} \pm \frac{B_{\text{Tx1}}}{2}) + m_2 \cdot (f_{\text{Tx2}} \pm \frac{B_{\text{Tx2}}}{2}) + m_3 \cdot (f_{\text{Tx3}} \pm \frac{B_{\text{Tx3}}}{2}) \pm \dots \right| \leq \left| f_{\text{Rx}} \pm \frac{B_{\text{Rx}}}{2} \right| ,$$

де $f_{\text{Tx1}}, f_{\text{Tx2}}, f_{\text{Tx3}}$ – несучі частоти передавачів;

$B_{\text{Tx1}}, B_{\text{Tx2}}, B_{\text{Tx3}}$ – ширина займаних смуг випромінювання передавачів;

$m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$;

$n = |m_1| + |m_2| + \dots$ - індекс інтермодуляції.

Розрахунки проводяться для індексу інтермодуляції 3. Для більш високих індексів модуляції (до 13) розрахунок виконується тільки у випадку розташування передавачів і приймачів на одній площадці.

Для прискорення розрахунків іноді використовується спрощена приблизна умова:

$$f_{\text{Tx2}} - f_{\text{Tx1}} \approx f_{\text{Rx}} \quad \text{і} \quad 2 \times f_{\text{Tx1}} - f_{\text{Tx2}} \approx f_{\text{Rx}}$$

де f_{Tx1} – несуча частота першого сигналу завади, яка розташована найближче до несучої частоти (частоти налаштування) приймача корисного сигналу;

f_{Tx2} – несуча частота іншого сигналу завади, яка найбільш віддалена від несучої частоти приймача корисного сигналу.

Для спрощення розрахунків обмежимося інтермодуляцією до третього порядку.

Для двох передавачів, які можуть стати джерелом інтермодуляційної завади, формули для розрахунків найбільш ймовірних умов виникнення інтермодуляційної завади до третього порядку наведені нижче.

Завади, що є продуктами інтермодуляції (ІМР) у приймачі, мають місце, коли виконуються дві наступні умови, тобто частоти інтермодуляції приймаються основним каналом приймача:

$$f_{Rx} - B_{Rx}/2 \leq f_{IM} \leq f_{Rx} + B_{Rx}/2, \quad (5)$$

де f_{IM} – частоти інтермодуляції, які розраховуються за формулами (6) або (7):

– якщо f_{Tx1} найближча до частоти прийому f_{Rx} :

$$\begin{aligned} \text{другого порядку:} \quad f_{IM2} &= |(f_{Tx2} \pm B_{Tx2}/2) - (f_{Tx1} \pm B_{Tx1}/2)|, \\ \text{третього порядку:} \quad f_{IM3} &= |2(f_{Tx1} \pm B_{Tx1}/2) - (f_{Tx2} \pm B_{Tx2}/2)|; \end{aligned} \quad (6)$$

– якщо f_{Tx2} найближча до частоти прийому f_{Rx} :

$$\begin{aligned} \text{другого порядку:} \quad f_{IM2} &= |(f_{Tx1} \pm B_{Tx1}/2) - (f_{Tx2} \pm B_{Tx2}/2); \\ \text{третього порядку:} \quad f_{IM3} &= |2(f_{Tx2} \pm B_{Tx2}/2) - (f_{Tx1} \pm B_{Tx1}/2)|. \end{aligned} \quad (7)$$

Розрахунок потужності інтермодуляційної завади буде розглянуто далі.

7.1.4. Визначення можливих джерел завад по дзеркальному каналу

Дзеркальний канал прийому – канал, який розташований симетрично частоті основного каналу відносно частоти гетеродину.

Для діючого приймача визначається дзеркальна частота:

– для приймача з верхнім налаштуванням гетеродину:

$$f_{ДЗК} = f_{Rx} + 2 \times f_{ПЧ}; \quad (8)$$

– для приймача з нижнім налаштуванням гетеродину:

$$f_{ДЗК} = f_{Rx} - 2 \times f_{ПЧ}. \quad (9)$$

Завада можлива, якщо виконується умова:

$$|f_{Tx} - f_{ДЗК}| \leq (B_{Rx}/2 + B_{Tx}/2). \quad (10)$$

7.1.5. Визначення можливих джерел завад за першою ПЧ

Постановка завади за першою ПЧ можлива, якщо для кожного з відібраних передавачів і приймача виконується умова:

$$|f_{Tx} - f_{ПЧ}| \leq (B_{Rx}/2 + B_{Tx}/2). \quad (11)$$

7.1.6. Визначення можливих джерел завад на гармоніках

Випромінювання на гармоніках (субгармоніках) – це побічне радіовипромінювання на частотах, які у ціле число раз більші (менші) частот основного радіовипромінювання.

Для кожного з відібраних передавачів визначаються частоти гармонік (субгармонік):

$$\text{– для гармонік: } f_{nTx} = n \times f_{Tx}; \quad (12)$$

$$\text{– для субгармонік: } f_{mTx} = f_{Tx}/m; \quad (13)$$

де n (m) = 2, 3, 4, ... – номер гармоніки (субгармоніки).

Завада можлива, якщо для кожного з відібраних передавачів і приймача виконується умова:

$$\text{– для гармонік } |f_{nTx} - f_{Rx}| \leq (B_{Rx}/2 + n \times B_{Tx}/2); \quad (14)$$

$$\text{– для субгармонік } |f_{mTx} - f_{Rx}| \leq (B_{Rx}/2 + B_{Tx}/(2 \times m)). \quad (15)$$

Для кожного з відібраних передавачів визначаються частоти гармонік (для $n(m) = 2$ і 3).

7.1.7. Визначення можливих завад з блокування приймача

Блокуванням називається зміна рівня відношення сигнал/шум на виході приймача при дії завади, частота якої не збігається з частотами основного і побічного каналів прийому радіоприймача.

Можливими джерелами завад з блокування приймача вважаються усі передавачі, які працюють у смузі частот від верхньої межі нижнього сусіднього каналу (нижньої межі верхнього сусіднього каналу) до частот, для яких рівень послаблення сигналу вхідними високочастотними контурами приймача становить 80 дБ по обидві сторони від робочої частоти приймача.

Примітка: у даній роботі ефект блокування приймача не аналізується.

7.2. Розрахунок рівня корисного сигналу на вході приймача

7.2.1. Визначення загальних втрат в радіолінії

Загальні втрати в радіолінії визначаються, як відношення потужності сигналу на виході передавача до потужності сигналу, що надходить на вхід приймача в реальних умовах розміщення устаткування і поширення радіохвиль (рис. 7). Це відношення, зазвичай, виражається в дБ.

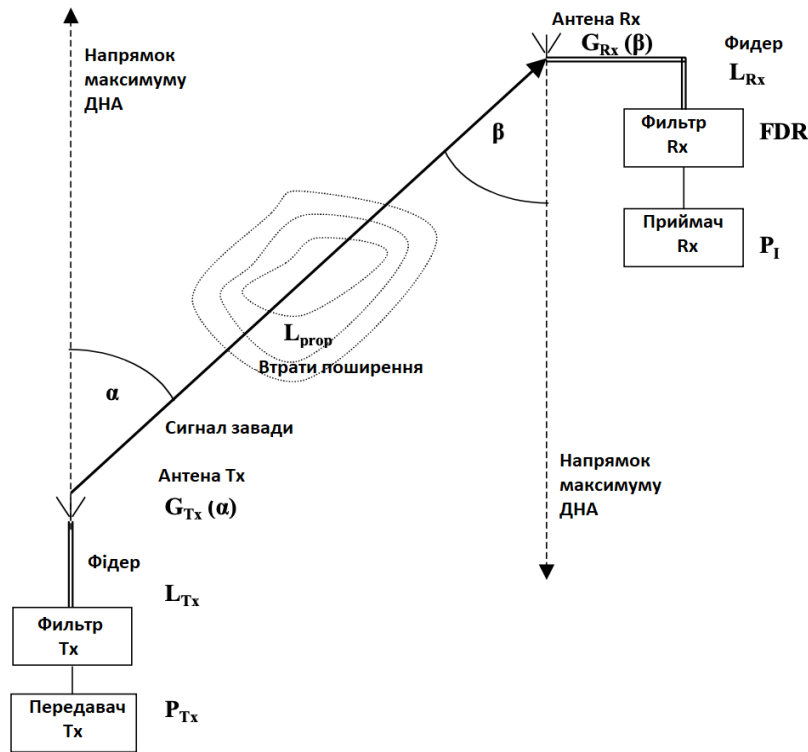


Рисунок 7. Загальні втрати в радіолінії

Втрати поширення радіохвиль (ПРХ) розраховуються відповідно до погоджених на міжнародному рівні методів з використанням існуючих моделей поширення радіохвиль для різних частотних діапазонів і рельєфу місцевості.

Перед виконанням розрахунків ЕМС, вибирається модель розрахунку втрат поширення радіохвиль в залежності від частотного діапазону, відстані між передавачем і приймачем, рельєфу місцевості на трасі поширення. Втрати поширення L_{prop} визначаються відповідно до моделі поширення радіохвиль, що була обрана.

При виконанні розрахунків у даній роботі враховуємо тільки втрати поширення радіохвиль у вільному просторі.

Втрати при поширенні радіохвиль у вільному просторі (в дБ) визначаються за наступним рівнянням:

$$L_{prop} = 32,4 + 20 \times \lg(f) + 20 \times \lg(R), \quad (16)$$

де f – частота передавача (МГц);

R – відстань між антенами (км).

Важливо: для завади – відстань R – це відстань від передавача завад до приймача, що досліджується (R_1 або R_2 на рисунку 6); *для корисного сигналу* – R – це відстань від передавача аналогічного радіозасобу до приймача, що досліджується (r).

7.2.2. Розрахунок рівня корисного сигналу на прийомі

Потужність корисного сигналу на вході приймача (P_c) може бути визначена наступним виразом:

$$P_c = (P_{Tx} + G_{Tx}) - L_{prop} + G_{Rx} \text{ (дБВт)}; \quad (17)$$

де P_{Tx} – потужність передавача кореспондента (дБВт);

L_{prop} – втрати поширення радіохвиль на радіолінії (L_{0C}), (дБ);

G_{Tx} – коефіцієнт підсилення антени передавача кореспондента (дБ);

G_{Rx} – коефіцієнт підсилення антени власного приймача (дБ).

У формулі (17) враховано припущення, що коефіцієнт узгодження за поляризацією, коефіцієнти корисної дії фідерів та коефіцієнти узгодження опору дорівнюють одиниці (або 0 дБ).

7.3. Розрахунок рівня завад

Потужність завади на вході приймача може бути визначена наступним виразом:

$$P_I = P_{Tx} - L_{\Sigma} \text{ (дБВт)}, \quad (18)$$

де P_{Tx} – потужність передавача (дБВт);

L_{Σ} – сумарні втрати в радіолінії (дБ), що визначаються, як

$$L_{\Sigma} = L_{Tx} - G_{Tx}(\alpha) + L_{Rx} - G_{Rx}(\beta) + L_{prop} + FDR + k_{Пол}, \quad (19)$$

L_{Tx} – втрати в тракці між передавачем і передавальною антеною (дБ);

$G_{Tx}(\alpha)$ – коефіцієнт підсилення антени передавача (дБ);

L_{Rx} – втрати в тракці між приймальною антеною і приймачем (дБ);

$G_{Rx}(\beta)$ – коефіцієнт підсилення антени приймача (дБ);

L_{prop} – втрати поширення на трасі (L_{03}), (дБ);

FDR – коефіцієнт частотної вибірконості приймача (дБ);

$k_{Пол}$ – поляризаційні втрати (дБ).

Для спрощення розрахунків вважаємо, що втрати в трактах передачі та прийому, а також поляризаційні втрати відсутні ($L_{Tx}=L_{Rx}=0$ дБ, $k_{Пол}=0$ дБ).

Коефіцієнти підсилення антен повинні визначатися на частоті прийому діючого РЕЗ. Тому для спрощення розрахунків вважаємо, що коефіцієнти підсилення антен на частотах прийому діючого РЕЗ дорівнюють коефіцієнту підсилення антен на робочих частотах передавачів.

Стосовно антен зі слабкою спрямованістю та невисоким коефіцієнтом підсилення (штирьові, рамкові антени, диполі) зміною підсилення у ближній зоні нехтують. Тому вважаємо що коефіцієнт підсилення антени у ближній зоні дорівнює коефіцієнту підсилення антени у далекій зоні.

У ближній зоні антен ($r < 10 \times \lambda$) замість втрат поширення радіохвиль, коефіцієнтів підсилення антен та поляризаційних втрат враховують розв'язку $L_{\text{ант НВ}}$ між антенами.

Для умов ближньої зони формула (19) має вигляд:

$$L_{\Sigma} = L_{\text{ант НВ}} + L_{Tx} + L_{Rx} + FDR,$$

де індекси Н і В означають горизонтальне (Н) і вертикальне (В) рознесення між антенами.

Для спрощення розрахунків будемо користуватися формулою (19).

При впливі завади повинні розглядатися наступні ситуації:

а) по основному каналу приймача приймається позасмугове випромінювання передавача завади. У цьому випадку:

$$P_I = P_{Tx} - L_{\Sigma} - M(\Delta f) \text{ (дБВт)}, \quad (20)$$

де $M(\Delta f)$ – різниця (дБ) в рівнях потужності позасмугового та основного випромінювань передавача при рознесенні частоти Δf , що визначається за спектральною маскою сигналу передавача для позасмугового випромінювання. Якщо Δf – поза межами частот маски, то значення M береться з даних передавача по придушенню позасмугових випромінювань (зазвичай 70 дБ);

б) основне випромінювання передавача приймається побічним (дзеркальним, ПЧ) каналом приймача. У цьому випадку:

$$P_I = P_{Tx} - L_{\Sigma} - S(\Delta f) \text{ (дБВт)}, \quad (21)$$

де $S(\Delta f)$ – вибірковість приймача побічним каналам прийому (дБ) з урахуванням розлаштування за маскою вибірковості приймача.

Згідно діючих вимог вибірковість приймача за сусідніми каналами повинна бути не менше 50–70 дБ, вибірковість приймача побічними каналами – не менше 65 –70 дБ.

З двох результатів (M або S) вибирається більший рівень завади для проведення подальших розрахунків.

У разі прийому побічним каналом приймача позасмугового чи побічного випромінювання передавача завади ($M \neq 0$ та $S \neq 0$) рівень завади на вході приймача настільки малий, що при проведенні розрахунків його враховувати немає сенсу.

Вважаємо, що придушення сигналу у трактах передавача й приймання на частотах налаштування (основних каналах) відсутні ($M=0$, $S=0$), застосовується коефіцієнт частотної вибіркової FDR .

На інших частотах придушення неосновних випромінювань передавача $M(\Delta f)$ (різниця у рівнях потужності позасмугового та основного випромінювань передавача) і-ї завади та $S(\Delta f)$ – вибірковість приймача за сусідніми і побічними каналами прийому для виконання курсової роботи наведені у таблиці 5 з варіантами індивідуальних завдань.

Найбільш небезпечні завадові ситуації щодо впливу завади від передавача на приймач, що досліджується:

а) за основним каналом приймача приймається основне випромінювання передавача (п. 7.1.1 а) розрахунку). У цьому випадку вважаємо, що $M = S = 0$ дБ, у розрахунках враховується коефіцієнт частотної вибіркової приймача FDR ;

б) за основним каналом приймача приймається позасмугове випромінювання передавача завади (п. 7.1.1 б). У цьому випадку вважаємо, що $S = 0$ дБ.

в) основне випромінювання передавача приймається побічним (сусіднім, дзеркальним, ПЧ) каналом приймача (п.п. 7.1.2, 7.1.4, 7.1.5 розрахунку). У цьому випадку вважаємо, що $M = 0$ дБ.

г) за основним каналом приймача приймається інтермодуляційна завада (п. 7.1.3 розрахунку). У цьому випадку потужність завади розраховується за іншою формулою (32).

д) за основним каналом приймача приймається завада на гармоніках (субгармоніках) (п. 7.1.6 розрахунку). У цьому випадку потужність завади розраховується за іншими формулами (34). При виконанні даної роботи скористаємося спрощеними формулами (35) і (36).

7.3.1. Визначення коефіцієнта частотної вибіркової приймача

Фізичний зміст коефіцієнта частотної вибіркової приймача (FDR) полягає у визначенні частини потужності завади, яка попадає в смугу пропускання приймача (рис. 8). На рисунку наведена АЧХ приймача (крива по центру) та спектральна маска сигналу завади (крива правіше).

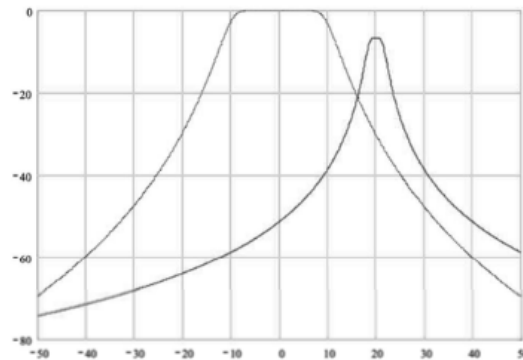


Рисунок 8. Фізичний зміст коефіцієнта частотної вибіркової приймача (FDR)

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

У свою чергу, FDR може бути розбитий на два члени:

- коефіцієнт співканальної вибіркової (*on-tune rejection* – OTR);
- коефіцієнт позаканальної вибіркової (*off-frequency rejection* – OFR):

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

Коефіцієнт позаканальної вибіркової (OFR) являє собою ослаблення сигналів у вхідних ланцюгах приймача (преселекторі) на відповідній частоті. Але дані стосовно АЧХ фільтра преселектора (ВЧ фільтра) відсутні. Тому коефіцієнт позаканальної вибіркової не враховуємо, але у розрахунках враховуємо вибірку приймача по сусідніх і побічних каналах прийому $S(\Delta f)$ (вважаємо $OFR=0$; $FDR = OTR$).

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

Розрахунок FDR виконується у разі наявності джерел завад за основним каналом прийому від основного випромінювання передавача, тобто виконання умови (2). У інших випадках при розрахунках він не приймається до уваги. У таких випадках у розрахунках враховуються придушення неосновних випромінювань передавача $M(\Delta f)$ та вибірковість приймача по сусідніх і побічних каналах прийому $S(\Delta f)$.

У нормативних документах для спрощення рекомендовано проводити розрахунок коефіцієнта частотної вибірконості приймача графічним методом. Метод графічного розрахунку коефіцієнта частотної вибірконості приймача використовується лише в тому випадку, коли відомі характеристики стандартизованих спектральної маски випромінювань передавача-джерела завади і АЧХ приймача-рецептора завади.

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 вибірконості можна представити у вигляді трапеції (рис. 9).

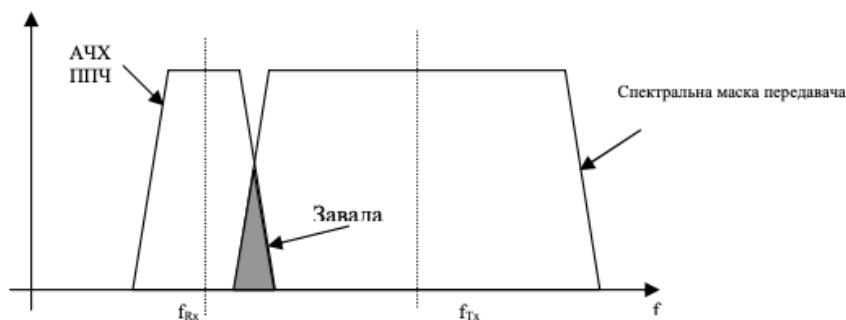


Рисунок 9. До визначення області перекриття спектральної маски випромінювань передавача-джерела завади та АЧХ фільтра ПЧ приймача-рецептора завади

Перевірка умови визначення можливості створення завади від основного випромінювання передавача завади на основний канал прийому приймача визначається виконанням умови (1) та (2). Для зручності наведемо їх ще раз:

$$\Delta f \leq (B_{Тх} + B_{Rx})/2, \quad (1)$$

де Δf – рознесення частот між несучими:

$$\Delta f = |f_{Тх} - f_{Rx}|, \quad (2)$$

f_{Rx} – частота налаштування приймача;

$f_{Тх}$ – робоча (центральна) частота передавача,

B_{Tx} і B_{Rx} – відповідно *займані* смуги випромінювання передавача і смуги пропускання.

Відповідно до графічного методу значення коефіцієнта частотної вибіркової приймача визначається шляхом розрахунку площі перекриття спектральної маски випромінювань передавача-джерела завади і АЧХ приймача-рецептора цієї завади та заданому частотному рознесенні несучих частот сигналу завади і корисного сигналу.

Результуюче значення співканального коефіцієнта частотної вибіркової FDR розраховується за формулою [12]:

$$FDR = 10 \times \lg(S_i / S_{Tx}) + 10 \times \lg(S_i / S_{Rx}) \text{ дБ}, \quad (22)$$

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);

S_{Tx} – площа спектра випромінювання передавача завади;

S_{Rx} – площа АЧХ фільтра ПЧ приймача.

Як відомо площа трапеції S визначається за формулою:

$$S = 1/2 \times (a + b) \times h,$$

де a, b – довжини відрізків (основ) трапеції, h – висота трапеції.

Враховуючи, що висота трапеції нормована ($h=1$) та займана смуга частот пов'язані у більшості випадків з необхідною смугою частот коефіцієнтом 1,2 площа спектральної маски передавача та площа АЧХ приймача становлять:

$$S_{Tx} = 1,1 \times B_{nTx}, \quad (23)$$

$$S_{Rx} = 1,1 \times B_{nRx}. \quad (24)$$

Якщо припустити, що 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 (як наведено на рис. 10), тобто виконуються наступні умови:

$$B_{nRx} \geq B_{nTx} \text{ і } \Delta f \leq (B_{Rx}/2 - B_{Tx}/2), \quad (25)$$

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 (зазвичай рівень послаблення мінус 40 дБ),

то формула (22) для розрахунку коефіцієнта частотної вибірконості FDR спрощується та має наступний вигляд:

$$FDR = 10 \times \lg(S_i/S_{Rx}) = 10 \times \lg(S_{Tx}/S_{Rx}) = 10 \times \lg(B_{HTx}/B_{HRx}), \text{ дБ.} \quad (26)$$

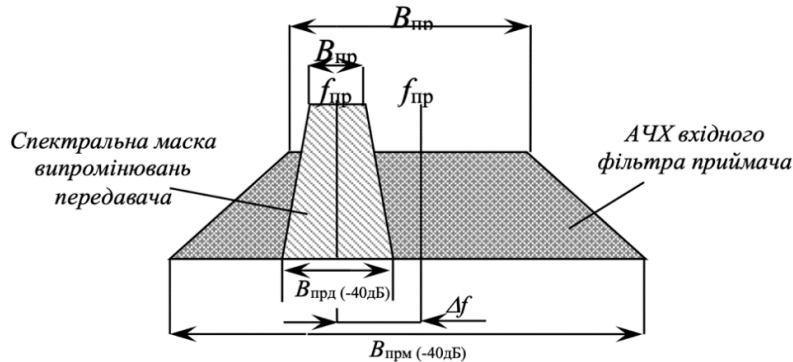


Рисунок 10. До визначення коефіцієнта частотної вибірконості при $B_{Rx} > B_{Tx}$

Якщо ширина смуги частот випромінювань передавача, що створює завади, більша за ширину смуги частот приймача, що відчуває вплив цієї завади, а частина спектра випромінювань передавача потрапляє у смугу частот приймача (рис. 11), тобто одночасно виконуються умови

$$B_{Rx} < B_{Tx} \text{ і } \Delta f \leq (B_{Tx}/2 - B_{Rx}/2), \quad (27)$$

коефіцієнт частотної вибірконості розраховується за спрощеною формулою:

$$FDR = 10 \times \lg(B_{HRx}/B_{HTx}) \text{ дБ.} \quad (28)$$

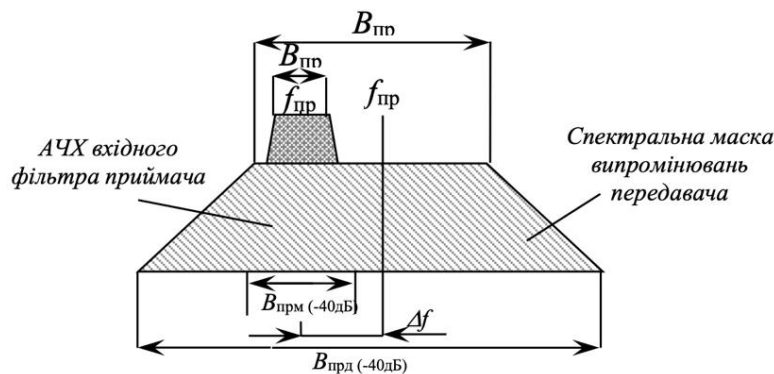


Рисунок 11. До визначення коефіцієнта частотної вибірконості приймача при $B_{Rx} < B_{Tx}$,

Якщо спектри завади та АЧХ приймача перекриваються частково (не все випромінювання передавача знаходиться у межах смуги пропускання приймача, а лише його частина), потрібно розрахувати площу перекриття

спектрів та визначити її долі у спектрі випромінювання передавача та долі у площі АЧХ приймача.

Спектральні маски можуть перекриватися тільки на рівні займаних смуг частот (як це показано на рис. 9). У такому випадку площа перекриття має вигляд трикутника. Якщо спектральні маски перекриваються так як показано на рис.12, площа перекриття має вигляд нерівнобедреної трапеції та складається з прямокутника (перекриття на рівні необхідних смуг частот) та двох прямокутних трикутників S_{TP} для T_x та R_x .

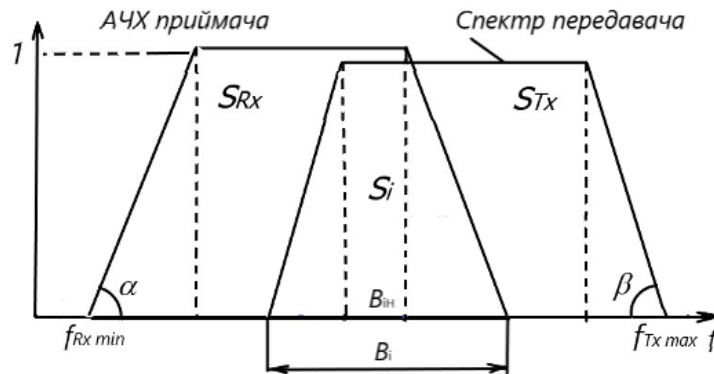


Рис. 12. До визначення області перекриття спектральної маски

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

$$\Delta f \leq (B_{HTx} + B_{HRx})/2. \quad (29)$$

Якщо умова (29) виконується площа перекриття розраховується за формулою:

$$S_i = S_{ПР.ВН} + S_{TP.Rx} + S_{TP.Tx}, \quad (30)$$

де $S_{ПР.ВН}$ – площа прямокутника (ПР) на рівні перекриття необхідних смуг частот), $S_{TP.Rx}$ та $S_{TP.Tx}$ – площі прямокутних трикутників у спектральних масках сигналів R_x та T_x .

$$S_{ПР.ВН} = f_{HRxmax} - f_{HTxmin} = (f_{Rx} + B_{HRx}/2) - (f_{Tx} - B_{HTx}/2) = (B_{HRx} + B_{HTx})/2 - |\Delta f|,$$

$$S_{TP.Rx} = (B_{Rx} - B_{HRx})/4,$$

$$S_{TP.Tx} = (B_{Tx} - B_{HTx})/4.$$

Коефіцієнт частотної вибірковості FDR при виконанні умови (29) можна розрахувати за формулою (22) з урахуванням розмірів площі, які отримані у виразах (23), (24) та (30).

Якщо виконується умова (1), але не виконуються ні одна з умов (25), (27), (29), тобто площа перекриття спектральних масок мають від нерівностороннього трикутника, як показано на рис. 9, та рис. 13. Умовою прийому завади основним каналом прийому приймача від основного випромінювання передавача завади для займаної смуги частот буде нерівність:

$$\Delta f > (B_{HTx} + B_{HRx})/2.$$

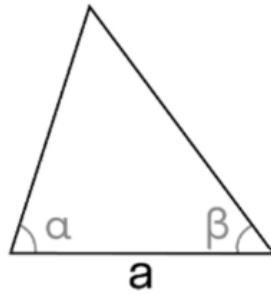


Рис. 13. Для пояснення розрахунку площі трикутника

Для визначення площі трикутника зручно скористатися виразом для розрахунку площі трикутника за відомим боком та двох прилеглих кутів:

$$S = \frac{a^2 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{2 \cdot \sin(180 - (\alpha + \beta))}, \quad (31)$$

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

$$\alpha_{Rx} = \arctan(2/(B_{Rx} - B_{HRx})),$$

$$\beta_{Tx} = \arctan(2/(B_{Tx} - B_{HTx})).$$

Примітка. Якщо для розрахунків використовуєте програму EXEL, слід мати на увазі, що у цієї програмі використовується розмірність кутів в радіанах. Тобто $180^0 = \pi \text{ радіан} = 3.14159265 \text{ радіан}$.

За вказаних умов (при виконанні умови (1) та невиконанні ні однієї з умов 25, 27 або 29 коефіцієнт частотної вибіркості FDR розраховується з урахуванням розмірів площі, які визначаються за виразами (23), (24) та (31).

Запропонований спрощений метод розрахунку співканальної частотної вибіркості [12] може бути застосований для приблизного розрахунку потужності завади на вході приймача за умови можливості створення завади за основним каналом прийому для основного випромінювання передавача завади та у разі відсутності достатніх даних стосовно спектральної маски випромінювання передавача завади та АЧХ приймача.

7.3.2. Розрахунок рівня інтермодуляційних завад

Потужність сигналів завад на частотах f_1 і f_2 , перевищення яких призводить до появи в приймачі **інтермодуляційних завад третього порядку**, розраховуються за формулою:

$$P_{\text{IM}} = 2 \times (P'_{\text{Tx1}} - \beta_1(\Delta f_1)) + (P'_{\text{Tx2}} - \beta_2(\Delta f_2)) - K_{2,1}, \quad (32)$$

де P'_{Tx1} – потужність сигналу завади передавача на вході приймача (з урахуванням формули 16 та 18), що працює на частоті f_1 , розташований найближче до частоти налаштування “приймача – рецептора” завади, дБВт;
 P'_{Tx2} – потужність сигналу завади передавача на вході приймача (з урахуванням формул 16, 18), що працює на частоті f_2 , яка найбільш віддалена від частоти налаштування приймача, дБВт;
 $K_{2,1}$ – коефіцієнт інтермодуляції (для розрахункової роботи рекомендується 0,25 або – 6 дБ);

$\Delta f_1, \Delta f_2$ – рознесення частот f_1 і f_2 відносно робочої частоти приймача, МГц;

$\beta_1(\Delta f)$ і $\beta_2(\Delta f)$ – послаблення сигналів завад з частотами f_1 і f_2 у високочастотних вхідних ланцюгах приймача (преселекторі), (дБ).

$\beta_1(\Delta f)$ і $\beta_2(\Delta f)$ відповідають коефіцієнту позаканальної вибірконості OFR (off-frequency rejection) і визначаються за наступним співвідношенням:

$$\beta(\Delta f) = 60 \cdot \lg \left[1 + \left(\frac{2 \cdot \Delta f}{B_{\text{Rx}}} \right)^2 \right], \quad (33)$$

де B_{RF} (в формулі (33) зазначена як B_{Rx}) – ширина смуги пропускання преселектора (МГц).

Примітка: у розрахунках вважаємо, що смуга пропускання преселектора у 50 разів перевищує ширину необхідної смуги частот, тобто $B_{\text{RF}} \approx 50 \times B_{\text{HRx}}$ (-3 дБ). (див. рис. 5).

7.3.4. Розрахунок рівня випромінювання завад на гармоніках (субгармоніках)

Випромінювання на гармоніках (субгармоніках), навіть для однотипних передавачів, мають значний розкид рівнів потужності, тому на підставі статистичних досліджень була розроблена методика визначення середнього рівня складових гармонік.

Усереднена потужність випромінювання на n -й гармоніці (субгармоніці) визначається за наступним співвідношенням:

$$P_{cp}(n) = P_{Tx} + A \times \lg n + B, \quad (34)$$

де $P_{cp}(n)$ – усереднена потужність випромінювання на n -й гармоніці (субгармоніці) (дБм);

P_{Tx} – потужність передавача (дБм);

A – коефіцієнт, що характеризує швидкість зменшення усередненої потужності гармонік при збільшенні їхнього номера (дБ/дек);

n – номер гармоніки (субгармоніки);

B – коефіцієнт, що характеризує відношення потужності першої гармоніки до потужності основного випромінювання (дБ).

Коефіцієнти A і B , а також середньоквадратичне відхилення (σ) усередненої потужності випромінювання на n -й гармоніці отримані експериментально для передавачів різних типів і призначень, в залежності від частотного діапазону приведені нижче.

Таблиця 7

Коефіцієнти A і B , середньоквадратичне відхилення (σ) усередненої потужності випромінювання на n -й гармоніці

Частотний діапазон, МГц	30 ÷ 300	300 ÷ 3000
A , дБ/декада	-80	-60
B , дБ	-30	-40
σ , дБ	15	20

Для виконання курсової роботи будемо враховувати тільки гармоніки та субгармоніки другого та третього порядку з $n(m) = 2$ і 3 та рівень випромінювань передавача на цих гармоніках (субгармоніках) відносно випромінювання на основній частоті будемо враховувати за спрощеними приблизними рівняннями:

$$P_{cp}(2) \approx P_{Tx} - 45 \text{ дБ}; \quad M_2 \approx 45 \text{ дБ} \quad (35)$$

$$P_{cp}(3) \approx P_{Tx} - 60 \text{ дБ}; \quad M_3 \approx 60 \text{ дБ}. \quad (36)$$

7.4. Розрахунок множинної завади

У розрахунках рівнів завад на вході приймача від одного або декількох джерел враховуються наслідки частотного відбору потенційно небезпечних (щодо створення завад) РЕЗ, при якому визначені канали можливого проникнення завад.

Сумарний рівень завад, що створюється декількома джерелами, розташованими в одному місці, визначається методом складання потужностей:

$$P_{\Sigma ij}(f_j) = \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^J P_{ij}, \text{ Вт.} \quad (37)$$

де $P_{\Sigma ij}$ – сумарне значення завади на вході приймача від і-го та j-го передавачів визначається як сума завад P_{ij} різними каналами прийому кожного з передавачів та інтермодуляційної завади від обох передавачів.

Потужність завад додається у ватах (міліватах), а не в дБ. Для перерахунку з одиниць дБ у Вт використовується формула:

$$P[\text{Вт}] = 10^{(P[\text{дБ}]/10)}. \quad (38)$$

Після додавання усіх завад у ватах еквівалентна потужність завад перераховується в дБ:

$$P[\text{дБ}] = 10 \times \lg(P[\text{Вт}]). \quad (39)$$

Таким чином, якщо складові потужності завад були розраховані у дБВт, потужність результуючого збудження на вході радіоприймача можна розрахувати за формулою:

$$P_{\Sigma 0ij}(f_j) = 10 \lg \left[\sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^J 10^{\frac{P_{0ij}(f_j), \text{ дБВт}}{10}} \right], \text{ дБВт,} \quad (40)$$

У формулі (37) враховуються результати розрахунків потужності усіх видів завад на вході приймача, які були обрані за частотним критерієм від:

- першого передавача завад $P_{1\text{Тх}1}$,
- другого передавача завад $P_{1\text{Тх}2}$,
- потужність інтермодуляційної завади (від взаємодії на вхідних каскадах приймача сигналів завад від першого та другого передавачів) $P_{\text{зав. ІМ}}$.

7.5. Обчислення власних шумів приймача

Порогова чутливість приймача визначається мінімальним рівнем радіосигналу на його вході за однакових рівнів корисного сигналу й власних шумів на його виході, тобто коли відношення сигнал/шум за потужністю на виході:

$$Q_{\text{вих}} = P_{\text{с}} / P_{\text{ш}} = 1 \text{ (0 дБ)}. \quad (41)$$

Реальна чутливість радіоприймача визначається мінімальним рівнем радіосигналу на його вході, за якого забезпечується номінальна потужність

корисного сигналу на його виході та задане перевищення рівня потужності сигналу над рівнем шумів A , тобто відношення сигнал/шум на виході має бути:

$$Q_{\text{вих}} = P_c / P_{\text{ш}} > A. \quad (42)$$

При $Q_{\text{вих}} > A$ приймається рішення про наявність радіозв'язку (за умови відсутності завад).

При $Q_{\text{вих}} < A$ приймається рішення про відсутність радіозв'язку (за умови відсутності завад). Забезпечення радіозв'язку на заданій радіолінії з заданими технічними характеристиками неможливі через слабкий рівень сигналу. Для збільшення рівня корисного сигналу при збереженні чутливості радіоприймача необхідна зміна технічних характеристик передавача та приймача (антени з більшим коефіцієнтом підсилення, використання направлених антен, збільшення потужності передавача).

Зв'язок забезпечується у разі перевищення рівня корисного сигналу на вході приймача над реальною чутливістю (в реальних умовах з урахуванням зовнішніх шумів, рівень яких відрізняється, наприклад, для міських та сільських умов) за умови відсутності завад.

Перерахунок чутливості приймача з В (вольт) у одиниці дБВт:

$$P_{\text{Rx real [дБ]}} = 10 \times \lg (U_{\text{Rx real [В]}}^2 / R_{\text{Rx}}), \quad (43)$$

де $U_{\text{Rx real [В]}}$ – реальна чутливість приймача у В (вольтах);

R_{Rx} – вхідний опір приймача (50 Ом).

Слід мати на увазі, що чутливість приймача, як правило, задана у мікровоольтах, $1 \text{ мкВ} = 10^{-6} \text{ В}$, (в діапазоні УКХ реальна чутливість приймача становить для передачі мови 2 – 4 мкВ, даних – 1,4– 2,8 мкВ).

$$P_{\text{Rx real [дБ]}} = 10 \times \lg ((U_{\text{Rx real [мкВ]}})^2 \cdot 10^{-12} / R_{\text{Rx [Ом]}}). \quad (44)$$

Рівень шумів та відповідно й порогова чутливість приймача пов'язані з реальною чутливістю та захисним відношенням наступною формулою:

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{Rx min}} = P_{\text{Rx real [дБ]}} - A \text{ дБ}, \quad (45)$$

де A – захисне відношення.

7.6. Оцінка ЕМС

Оцінюють відношення рівня корисного сигналу до суми рівня шуму та рівня усіх завад на вході існуючого радіоприймача існуючої станції $P_c / (P_{\text{ш}} + P_{\text{ІΣ}})$ від РЕЗ, що плануються за наступною формулою:

$$Q = (P_c - (P_{\text{ІΣ}} + P_{\text{ш}})) - A, \quad (46)$$

де A – необхідне захисне відношення сигнал/(завада+шум) (дБ).

Попередньо потрібно додати рівні шумів та завад ($P_{\text{ш}} + P_{\text{гз}}$) у Вт, а потім перерахувати у дБ для застосування формули (46).

При $Q \geq 0$ приймається рішення про повне виконання вимог ЕМС і можливості присвоєння частоти.

При $Q < 0$ плановане частотне присвоєння з заданими технічними характеристиками неможливі через невиконання умов ЕМС з існуючим РЕЗ. Для забезпечення ЕМС необхідне або зміна частоти, або зміна технічних характеристик передавача, антен або місць розташування РЕЗ, що планується.

8. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ЧАСТИНИ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Примітка. У прикладі використовується посилання та номери таблиць, формул та рисунків у відповідності до Методичних рекомендацій.

Дано: порядковий номер того, хто навчається за журналом З1.

Послідовність виконання роботи:

- а) оформити титульний лист курсової роботи відповідно зразка (додаток 1) із зазначенням номера навчальної групи, номера варіанта та виконавця;
- б) сформулювати завдання за варіантом (таблиця 4 та таблиця 5);

Етап 1. Вибір за частотною ознакою РЕЗ, що можуть бути джерелом завади для існуючого приймача:

- 1.1) визначення можливих джерел завад по основному каналу;
- 1.2) визначення можливих джерел завад по сусідніх каналах;
- 1.3) визначення можливих джерел завад по дзеркальному каналу;
- 1.4) визначення можливих джерел завад по першій ПЧ;
- 1.5) визначення можливих джерел завад інтермодуляції;
- 1.6) визначення можливих джерел завад на гармоніках (субгармоніках).

Етап 2. Розрахунок рівня корисного сигналу та завад:

- 2.1) розрахунок втрат поширення радіохвиль;
- 2.2) розрахунок рівня корисного сигналу на прийомі;
- 2.3) розрахунок потужності завад на вході приймача;
 - 2.3.1) розрахунок коефіцієнта частотної вибірконості приймача;
 - 2.3.2) розрахунок потужності завад по основному каналу;
 - 2.3.3) розрахунок потужності завад по сусідньому каналу;
 - 2.3.4) розрахунок потужності завад по дзеркальному каналу;
 - 2.3.5) розрахунок потужності завад по 1-й ПЧ;
 - 2.3.6) розрахунок рівня інтермодуляційних завад;
 - 2.3.7) розрахунок потужності завад на гармоніках (субгармоніках);
- 2.4) розрахунок множинної завади;
- 2.5) розрахунок рівня шумів;
- 2.6) розрахунок сумарного рівня завад та шумів.

Етап 3. Аналіз отриманих результатів розрахунків ЕМС

- в) оцінка ЕМС;
- г) написати висновки та рекомендації.

Виконання:

Вихідні дані за варіантом № 31 (таблиці 4, 5 Методичних рекомендацій) зведемо у таблицю 7.

Таблиця 7

№	Параметр	R_x	T_{x1}	T_{x2}
1	Робоча частота f , МГц	148,8	151,3	154,1
2	Необхідна смуга частот B_n , кГц	160	120	143
3	Коефіцієнт підсилення антени приймача G_{Rx} , дБі	9		
4	Коефіцієнт підсилення антени передавача G_{Tx} , дБі	10	8	7
5	Потужність передавача P_{Tx} , дБВт	16	19,2	21,3
6	Послаблення рівня позасмугового випромінювання передавача M_{Tx} , дБ;		70	75
7	Вибірковість приймача по побічному каналу прийому на частотах позасмугового випромінювання передавача S , дБ		72	74
8	Відстань від передавача $R(r)$, м.	8000	10	12
9	Реальна чутливість власного радіоприймача $U_{Rx \min}$, мкВ	2,5		
10	Номінал проміжної частоти $f_{пч}$, МГц	10,7		
11	Частота налаштування гетеродину	нижнє		
12	Необхідне співвідношення сигнал/(завада+шум) на вході приймача, A , дБ.	10		

Розрахункова частина

Етап 1. Вибір за частотною ознакою РЕЗ, що можуть бути джерелом завади для існуючого приймача

Для зручності розрахунків проміжні результати, які необхідні для частотного аналізу, заносимо у таблицю 8. Приклад заповнення таблиці наведений на сторінці 53. Рекомендується роздрукувати форму таблиці та вручну заповнювати її під час розрахунків.

Незаповнену таблицю 8 не потрібно включати до пояснювальної записки.

Допоміжні проміжні результати розрахунків для частотного аналізу

Таблиця 8

№	Параметр	Rx	Tx1	Tx2
1	Ширина контрольної смуги частот на рівні –30 дБ, $B_{Rx}(B_{Tx}) = 1,2 \times B_H$, кГц			
2	Частотне рознесення радіоканалів Δf , МГц			
3	Min Δf (+ або –, + ближче до f_{Rx})			
4	$(B_{Tx} + B_{Rx})/2$, МГц			
5	$2,5 \times B_{H\,Tx} + B_{Rx}/2$, МГц			
6	$2 \times \Delta f_{Ch} + B_{Tx}/2$, ($\Delta f_{Ch} \approx 1,5 B_{H\,Rx}$), МГц			
7	Нижня частота основного каналу прийому $f_{Rxmin} = f_{Rx} - B_{Rx}/2$, МГц			
8	Верхня частота основного каналу прийому $f_{Rxmax} = f_{Rx} + B_{Rx}/2$, МГц			
9	Нижня частота смуги випромінювання основного каналу передавача $f_{Tx} - B_{Tx}/2$, МГц			
10	Верхня частота смуги випромінювання основного каналу передавача $f_{Tx} + B_{Tx}/2$, МГц			
11	Нижня межа частот інтермодуляції 2-го порядку f_{IM2min}			
12	Верхня межа частот інтермодуляції 2-го порядку f_{IM2max}			
13	Нижня межа частот інтермодуляції 3-го порядку f_{IM3min}			
14	Верхня межа частот інтермодуляції 3-го порядку f_{IM3max}			
15	Частота дзеркального каналу прийому $f_{DK} = f_{Rx} - 2 \times f_{ПР}$, МГц			
16	$f_{Tx} - f_{ДЗК}$, МГц			
17	Для перевірки можливості завади по ПЧ $ f_{Tx} - f_{ПЧ} $, МГц			
18	Друга гармоніка $2 \times f_{Tx}$, МГц			
19	Третя гармоніка $3 \times f_{Tx}$, МГц			
20	Друга субгармоніка $f_{Tx}/2$, МГц			
21	Третя субгармоніка $f_{Tx}/3$, МГц			
22	$B_{Rx}/2 + 2 \times B_{Tx}/2$, МГц			
23	$B_{Rx}/2 + 3 \times B_{Tx}/2$, МГц			
24	$B_{Rx}/2 + B_{Tx}/(2 \times 2)$, МГц			
25	$B_{Rx}/2 + B_{Tx}/(2 \times 3)$, МГц			

1.1а) Визначення можливих джерел завад по основному каналу від основного випромінювання передавачів.

Розрахунок здійснюється за формулами (1) та (2) Методичних рекомендацій.

Клас випромінювання визначає необхідну смугу частот, тобто, наприклад, для класу випромінювання 120K0F3E необхідна смуга частот B_H (B_{HTx1}) становить 120 кГц.

Ширина займаної смуги частот на рівні $B_{Tx1} = 1,2 \times B_{HTx1}$.

а) для першого передавача T_{x1} :

$$\Delta f_1 = |f_{Tx1} - f_{Rx}| = |151,3 - 148,8| = 2,5 \text{ МГц};$$

$$B_{Tx1} = 1,2 \times 120 = 144 \text{ кГц};$$

$$B_{Rx} = 1,2 \times 160 = 192 \text{ кГц};$$

$$(B_{Tx1} + B_{Rx})/2 = (144 + 192)/2 = 336/2 = 168 \text{ кГц, або } 0,168 \text{ МГц.}$$

Перевіряємо умову $\Delta f \leq (B_{Tx} + B_{Rx})/2$,
але $2,5 \text{ МГц} > 0,168 \text{ МГц}$.

Умова (2) для T_{x1} не виконується, тому завада по основному каналу прийому від основного випромінювання передавача неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.1 для РЕЗ 1 ставимо позначку «—».

б) для другого передавача T_{x2} :

$$\Delta f_2 = |f_{Tx2} - f_{Rx}| = |154,1 - 148,8| = 5,3 \text{ МГц};$$

$$B_{Tx2} = 1,2 \times 143 = 171,6 \text{ кГц};$$

$$B_{Rx} = 1,2 \times 160 = 192 \text{ кГц};$$

$$(B_{Tx2} + B_{Rx})/2 = (171,6 + 192)/2 = 363,6/2 = 181,8 \text{ кГц, або } 0,1818 \text{ МГц.}$$

Перевіряємо умову (2) $\Delta f \leq (B_{Tx} + B_{Rx})/2$, але $5,3 \text{ МГц} > 0,1818 \text{ МГц}$.

Умова (2) для T_{x2} не виконується, тому завада по основному каналу прийому від основного випромінювання передавача неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.1 для РЕЗ 2 ставимо позначку «—».

1.1.б) Визначення можливих джерел завад по основному каналу від позасмугового випромінювання передавача.

Розрахунок здійснюється за формулами (1), (3) та формулами у п. 4.

а) для першого передавача T_{x1} :

$$\Delta f_1 = 2,5 \text{ МГц};$$

$$2,5 \times B_{HTx1} = 2,5 \times 120 = 300 \text{ кГц};$$

$$B_{Rx} = 1,2 \times 160 = 192 \text{ кГц};$$

$$2,5 \times B_{HTx1} + B_{Rx}/2 = 300 + 192/2 = 300 + 96 = 396 \text{ кГц, або } 0,396 \text{ МГц.}$$

Перевіряємо умову

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

але $2,5 \text{ МГц} > 0,396 \text{ МГц}$.

Умова (3) для T_{x1} не виконується, тому завада по основному каналу прийому від позасмугового випромінювання неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.1 для РЕЗ 1 ставимо позначку «–».

б) для другого передавача T_{x2} :

$$\begin{aligned}\Delta f_2 &= 5,3 \text{ МГц}; \\ 2,5 \times B_{HTx2} &= 2,5 \times 143 = 357,5 \text{ кГц}; \\ B_{Rx} &= 1,2 \times 160 = 192 \text{ кГц}; \\ 2,5 \times B_{HTx1} + B_{Rx}/2 &= 357,5 + 96 = 453,5 \text{ кГц, або } 0,543 \text{ МГц}.\end{aligned}$$

Перевіряємо умову

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

але $5,3 \text{ МГц} > 0,543 \text{ МГц}$.

Умова (3) для T_{x2} не виконується, тому завада по основному каналу прийому від позасмугового випромінювання неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.1 для РЕЗ 2 ставимо позначку «–».

1.2) Визначення можливих джерел завад по сусідніх каналах

Розрахунок здійснюється за формулою

$$(B_{Tx} + B_{Rx})/2 \leq \Delta f \leq 2 \times \Delta f_{Ch} + B_{Tx}/2,$$

де вважаємо $\Delta f_{Ch} \approx 1,5 \times B_{HRx}$.

а) для першого передавача T_{x1} :

використаємо дані, які отримані у попередніх розрахунках у п. 1.1 а):

$$\begin{aligned}\Delta f_1 &= 2,5 \text{ МГц}; \\ (B_{Tx1} + B_{Rx})/2 &= 0,168 \text{ МГц}. \\ 2 \times \Delta f_{Ch} + B_{Tx1}/2 &= 2 \times 1,5 \times B_{HRx} + B_{Tx1}/2 = 3 \times 160 + 144/2 = 480 + 72 = 552 \text{ кГц} \\ &\text{або } 0,552 \text{ МГц}.\end{aligned}$$

Перевіряємо умову (4)

$$0,168 \leq 2,5 \text{ МГц, але } 2,5 \text{ МГц більш ніж } 0,552 \text{ МГц}.$$

Умова (4) для T_{x1} не виконується, тому завада по сусідньому каналу прийому неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.2 для РЕЗ 1 ставимо позначку «–».

б) для другого передавача T_{x2} :

Використаємо попередні у п.1.1 б) розрахунки:

$$\Delta f_2 = 5,3 \text{ МГц};$$

$$(B_{Tx2} + B_{Rx})/2 = 0,1818 \text{ МГц}.$$

$$2 \times \Delta f_{Ch} + B_{Tx2}/2 = 2 \times 1,5 \times B_{H_{Rx}} + B_{Tx2}/2 = 3 \times 160 + 171,6/2 = 480 + 85,8 = 565,8 \text{ кГц або } 0,5658 \text{ МГц}.$$

Перевіряємо умову (4)

$$0,18188 \text{ МГц} \leq 5,3 \text{ МГц}, \text{ але } 5,3 \text{ МГц} \text{ більш ніж } 0,5658 \text{ МГц}.$$

Умова (4) для T_{x2} не виконується, тому завада по сусідньому каналу прийому неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.1 для РЕЗ 2 ставимо позначку «—».

1.3) Визначення можливих джерел завад інтермодуляції

Розрахунок здійснюється за формулами (5), (6) та (7).

Завади, що викликаються продуктами інтермодуляції (ІМР) у приймачі, мають місце, коли виконуються дві наступні умови, тобто *частоти інтермодуляції приймаються основним каналом приймача*:

$$f_{Rx} - B_{Rx}/2 \leq f_{IM} \leq f_{Rx} + B_{Rx}/2,$$

де f_{IM} – частоти інтермодуляції.

З двох передавачів визначим передавач, частота якого найближча до частоти діючого приймача. За вхідними даними найменшу різницю частот має перший передавач T_{x1} . За цієї умови інтермодуляційні частоти для найбільш ймовірних випадків розраховуються за наступними формулами (6) для другого порядку:

$$f_{IM2} = |(f_{Tx2} \pm B_{Tx2}/2) - (f_{Tx1} \pm B_{Tx1}/2)|;$$

для третього порядку:

$$f_{IM3} = |2 \times (f_{Tx1} \pm B_{Tx1}/2) - (f_{Tx2} \pm B_{Tx2}/2)|.$$

Для того, щоб частоти інтермодуляцій потрапляли у смугу пропускання основного каналу приймача потрібно одночасне виконання двох умов:

$$f_{IM\ Tx\ min} \leq f_{Rx\ max},$$

$$f_{IM\ Tx\ max} \geq f_{Rx\ min}.$$

Визначимо межі смуги частот основного каналу прийому діючого РЕЗ

$$f_{Rx\ min} = f_{Rx} - B_{Rx}/2 = 148,8 - 0,192/2 = 148,8 - 0,096 = 147,704 \text{ МГц},$$

$$f_{Rx\ max} = f_{Rx} + B_{Rx}/2 = 148,8 + 0,192/2 = 148,8 + 0,096 = 148,896 \text{ МГц}.$$

За формулою (6) визначимо можливі межі частот інтермодуляції другого порядку

$$f_{IM2min} = |(f_{Tx2} - B_{Tx2}/2) - (f_{Tx1} + B_{Tx1}/2)| = |(154,1 - 0,1716/2) - (151,3 + 0,144/2)| = |154,0142 - 151,372| = 2,6422 \text{ МГц.}$$

$$f_{IM2max} = |(f_{Tx2} + B_{Tx2}/2) - (f_{Tx1} - B_{Tx1}/2)| = |(154,1 + 0,1716/2) - (151,3 - 0,144/2)| = |154,1858 - 151,228| = 2,9578 \text{ МГц.}$$

Умова $f_{IM \text{ Tx min}} \leq f_{Rx \text{ max}}$ виконується тому що $2,6422 \text{ МГц} < 148,896 \text{ МГц}$, а умова $f_{IM \text{ Tx max}} \geq f_{Rx \text{ min}}$ не виконується тому що $2,9578 \text{ МГц} < 147,704 \text{ МГц}$.

Одночасно вказані умови не виконуються. Тому частоти інтермодуляції другого порядку не потрапляють у смугу пропускання основного каналу приймача. Умова (6) стосовно інтермодуляції другого порядку не виконується, тому інтермодуляційна завада другого порядку неможлива.

За формулою (6) визначимо можливі межі частот інтермодуляції третього порядку:

$$f_{IM3min} = |2 \times (f_{Tx1} - B_{Tx1}/2) - (f_{Tx2} + B_{Tx2}/2)| = |2 \times 151,228 - 154,1858| = |302,456 - 154,1858| = 148,2702 \text{ МГц.}$$

$$f_{IM3max} = |2 \times (f_{Tx1} + B_{Tx1}/2) - (f_{Tx2} - B_{Tx2}/2)| = |2 \times 151,372 - 154,0142| = |302,744 - 154,0142| = 148,7298 \text{ МГц.}$$

Умова $f_{IM \text{ Tx min}} \leq f_{Rx \text{ max}}$ виконується тому, що $148,2702 \text{ МГц} < 148,896 \text{ МГц}$, а умова $f_{IM \text{ Tx max}} \geq f_{Rx \text{ min}}$ також виконується тому, що $148,7298 \text{ МГц} > 147,704 \text{ МГц}$.

Одночасно вказані умови виконуються. Тому частоти інтермодуляції третього порядку можуть потрапити у смугу пропускання основного каналу приймача. Умова (6) виконується, тому інтермодуляційна завада третього порядку можлива.

У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.3 для інтермодуляційної завади другого порядку ставимо позначку «-», а у п.1.4 для інтермодуляційної завади третього порядку ставимо позначку «+».

1.4) Визначення можливих джерел завад по дзеркальному каналу

Для приймача за формулами (8) або (9) в залежності від налаштування гетеродину розраховуємо частоту дзеркального каналу прийому.

В завданні № 31, відповідно таблиці вхідних даних, визначено **нижнє** налаштування гетеродину приймача та номінал проміжної частоти $10,7 \text{ МГц}$, тому за формулою (9)

$$f_{\text{ДЗК}} = f_{\text{РХ}} - 2 \times f_{\text{ПЧ1}} = 148,8 \text{ МГц} - 2 \times 10,7 \text{ МГц} = 127,4 \text{ МГц}.$$

Завада можлива, якщо виконується умова (10):

$$|f_{\text{ТХ}} - f_{\text{ДЗК}}| \leq (B_{\text{РХ}}/2 + B_{\text{ТХ}}/2).$$

а) для першого передавача $T_{\text{Х1}}$:

$$\begin{aligned} |f_{\text{ТХ1}} - f_{\text{ДЗК}}| &= |151,3 - 127,4| = 23,9 \text{ МГц}, \\ (B_{\text{РХ}}/2 + B_{\text{ТХ1}}/2) &= 96 + 72 = 168 \text{ кГц}, \text{ або } 0,168 \text{ МГц}, \\ 23,9 &> 0,168. \end{aligned}$$

Умова (10) для $T_{\text{Х1}}$ не виконується, тому завада по дзеркальному каналу прийому неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.5 для РЕЗ 1 ставимо позначку «-».

б) для другого передавача $T_{\text{Х2}}$:

$$\begin{aligned} |f_{\text{ТХ2}} - f_{\text{ДЗК}}| &= |154,1 - 127,4| = 26,7 \text{ МГц}, \\ (B_{\text{РХ}}/2 + B_{\text{ТХ2}}/2) &= 96 + 85,8 = 181,8 \text{ кГц}, \text{ або } 0,1818 \text{ МГц}, \\ 26,7 &> 0,1818. \end{aligned}$$

Умова (10) для $T_{\text{Х2}}$ не виконується, тому завада по дзеркальному каналу прийому неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.5 для РЕЗ 2 ставимо позначку «-».

1.5) Визначення можливих джерел завад по першій ПЧ

Завада по першій ПЧ можлива, якщо для кожного з відібраних передавачів і приймача виконується умова (11):

$$|f_{\text{ТХ}} - f_{\text{ПЧ1}}| \leq (B_{\text{РХ}}/2 + B_{\text{ТХ}}/2).$$

а) для першого передавача $T_{\text{Х1}}$:

$$\begin{aligned} |f_{\text{ТХ1}} - f_{\text{ПЧ1}}| &= |151,3 - 10,7| = 140,7 \text{ МГц}, \\ (B_{\text{РХ}}/2 + B_{\text{ТХ1}}/2) &= 96 + 72 = 168 \text{ кГц}, \text{ або } 0,168 \text{ МГц}, \\ \text{але } 140,7 &> 0,168. \end{aligned}$$

Умова (11) для $T_{\text{Х1}}$ не виконується, тому завада по першій ПЧ неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.6 для РЕЗ 1 ставимо позначку «-».

б) для другого передавача $T_{\text{Х2}}$:

$$\begin{aligned} |f_{\text{ТХ2}} - f_{\text{ПЧ1}}| &= |154,1 - 10,7| = 143,4 \text{ МГц}, \\ (B_{\text{РХ}}/2 + B_{\text{ТХ2}}/2) &= 96 + 85,8 = 181,8 \text{ кГц}, \text{ або } 0,1818 \text{ МГц}, \\ \text{але } 143,4 &> 0,1818. \end{aligned}$$

Умова (11) для $T_{\text{Х2}}$ не виконується, тому завада по першій ПЧ неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.6 для РЕЗ 2 ставимо позначку «-».

1.6) Визначення можливих джерел завад на гармоніках

За формулами (12), (13) визначаємо частоти другої та третьої гармонік (субгармонік) для кожного передавача:

– для гармонік: $f_{nTx} = n \times f_{Tx}$;

– для субгармонік: $f_{mTx} = f_{Tx}/m$;

де $n (m) = 2, 3, 4, \dots$ – номер гармоніки (субгармоніки).

Перевіряємо виконання умов (14) і (15):

– для гармонік $|f_{nTx} - f_{Rx}| \leq (B_{Rx}/2 + n \times B_{Tx}/2)$;

– для субгармонік $|f_{mTx} - f_{Rx}| \leq (B_{Rx}/2 + B_{Tx}/(2 \times m))$;

а) для першого передавача T_{x1} :

– для гармонік: 2-а $f_{2Tx1} = 2 \times f_{Tx1} = 2 \times 151,3 = 302,6$ МГц;

3-я $f_{3Tx1} = 3 \times f_{Tx1} = 3 \times 151,3 = 453,9$ МГц;

– для субгармонік: 2-а $f_{/2Tx1} = f_{Tx1}/2 = 151,3/2 = 75,65$ МГц;

3-я $f_{/3Tx1} = f_{Tx1}/3 = 151,3/3 = 50,433$ МГц;

– для гармонік: 2-а $B_{Rx}/2 + 2 \times B_{Tx1}/2 = 96 + 144 = 240$ кГц, або 0,24 МГц;

3-я $B_{Rx}/2 + 3 \times B_{Tx1}/2 = 96 + 216 = 296$ кГц, або 0,296 МГц;

– для субгармонік: 2-а $B_{Rx}/2 + B_{Tx1}/(2 \times 2) = 96 + 36 = 116$ кГц, або 0,116 МГц;

3-я $B_{Rx}/2 + B_{Tx1}/(2 \times 3) = 96 + 24 = 104$ кГц, або 0,104 МГц.

Перевіряємо умову (14) $|f_{nTx} - f_{Rx}| \leq (B_{Rx}/2 + n \times B_{Tx}/2)$ для гармонік:

– 2-а гармоніка $|302,6 - 148,8| = 153,8$ МГц, $153,8$ МГц $> 0,24$ МГц.

Умова (14) для T_{x1} не виконується, тому завада по другій гармоніці неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.7 для РЕЗ 1 ставимо позначку «–».

– 3-я гармоніка $|453,9 - 148,8| = 305,1$ МГц, $305,1$ МГц $> 0,296$ МГц.

Умова (15) для T_{x1} не виконується, тому завада по третій гармоніці неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.7 для РЕЗ 1 ставимо позначку «–».

Перевіряємо умову (15) $|f_{mTx} - f_{Rx}| \leq (B_{Rx}/2 + B_{Tx}/(2 \times m))$ для субгармонік:

– 2-а субгармоніка $|75,65 - 148,8| = 73,15$ МГц, $73,15$ МГц $> 0,116$ МГц.

Умова (15) для T_{x1} не виконується, тому завада по другій субгармоніці неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.8 для РЕЗ 1 ставимо позначку «–».

– 3-я субгармоніка $|50,433 - 148,8| = 98,367$ МГц, $98,367$ МГц $> 0,104$ МГц.

Умова (15) для T_{x1} не виконується, тому завада за третьою субгармонікою неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.8 для РЕЗ 1 ставимо позначку «—».

б) для другого передавача T_{x2} :

- для гармонік:
 - 2-а $f_{2\ T_{x2}} = 2 \times f_{T_{x2}} = 2 \times 154,1 = 308,2 \text{ МГц};$
 - 3-я $f_{3\ T_{x2}} = 3 \times f_{T_{x2}} = 3 \times 154,1 = 462,3 \text{ МГц};$
- для субгармонік:
 - 2-а $f_{/2\ T_{x2}} = f_{T_{x2}}/2 = 154,1/2 = 77,05 \text{ МГц};$
 - 3-я $f_{/3\ T_{x2}} = f_{T_{x2}}/3 = 154,1/3 = 51,367 \text{ МГц};$
- для гармонік:
 - 2-а $B_{R_{x2}}/2 + 2 \times B_{T_{x2}}/2 = 96 + 171,6 = 267,6 \text{ кГц}, \text{ або } 0,267 \text{ МГц};$
 - 3-я $B_{R_{x2}}/2 + 3 \times B_{T_{x2}}/2 = 96 + 257,4 = 353,4 \text{ кГц}, \text{ або } 0,353 \text{ МГц};$
- для субгармонік:
 - 2-а $B_{R_{x2}}/2 + B_{T_{x2}}/(2 \times 2) = 96 + 42,9 = 138,9 \text{ кГц}, \text{ або } 0,1389 \text{ МГц};$
 - 3-я $B_{R_{x2}}/2 + B_{T_{x2}}/(2 \times 3) = 96 + 28,6 = 124,6 \text{ кГц}, \text{ або } 0,1246 \text{ МГц}.$

Перевіряємо умову (14) $|f_{nT_{x2}} - f_{R_{x2}}| \leq (B_{R_{x2}}/2 + n \times B_{T_{x2}}/2)$ для гармонік:

- 2-а гармоніка $(308,2 - 148,8) = 159,4 \text{ МГц}, \quad 159,4 \text{ МГц} > 0,2676 \text{ МГц}.$

Умова (14) для T_{x2} не виконується, тому завада за другою гармонікою неможлива. У таблиці 4 з результатами розрахунку у п. 1.7 для РЕЗ 2 ставимо позначку «—».

- 3-я гармоніка $(462,3 - 148,8) = 313,5 \text{ МГц}, \quad 305,1 \text{ МГц} > 0,3634 \text{ МГц}.$

Умова (14) для T_{x2} не виконується, тому завада за третьою гармонікою неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.7 для РЕЗ 2 ставимо позначку «—».

Перевіряємо умову (15) $|f_{mT_{x2}} - f_{R_{x2}}| \leq (B_{R_{x2}}/2 + B_{T_{x2}}/(2 \times m))$ для субгармонік:

- 2-а субгармоніка $|77,05 - 148,8| = 71,75 \text{ МГц}, \quad 71,75 \text{ МГц} > 0,1389 \text{ МГц}.$

Умова (15) для T_{x2} не виконується, тому завада за другою субгармонікою неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.8 для РЕЗ 2 ставимо позначку «—».

- 3-я субгармоніка $|51,367 - 148,8| = 97,433 \text{ МГц}, \quad 97,433 \text{ МГц} > 0,1246 \text{ МГц}.$

Умова (15) для T_{x1} не виконується, тому завада за третьою субгармонікою неможлива. У таблиці 6 з результатами розрахунку у п. 1.8 для РЕЗ 1 ставимо позначку «—».

Таблиця 8

№	Параметр	Rx	T _{x1}	T _{x2}
1	Ширина займаної ї смуги частот, $B_{Rx}(B_{Tx}) = 1,2 \times B_H$, кГц	192	144	171,6
2	Частотне рознесення радіоканалів Δf , МГц		2,5	5,3
3	Min Δf (+, ближче до Rx)		+	-
4	$(B_{Tx} + B_{Rx})/2$, МГц		0,168	0,1818
5	$2,5 \times B_{H\ Tx} + B_{Rx}/2$, МГц		0,396	0,543
6	$2 \times \Delta f_{Ch} + B_{Tx}/2$, ($\Delta f_{Ch} \approx 1,5 B_{H\ Rx}$), МГц		0,552	0,5568
7	Нижня частота основного каналу прийому $f_{Rxmin} = f_{Rx} - B_{Rx}/2$, МГц	147,704		
8	Верхня частота основного каналу прийому $f_{Rxmax} = f_{Rx} + B_{Rx}/2$, МГц	148,896		
9	Нижня частота смуги випромінювання основного каналу передавача $f_{Tx} - B_{Tx}/2$, МГц		151,228	154,0142
10	Верхня частота смуги випромінювання основного каналу передавача $f_{Tx} + B_{Tx}/2$, МГц		151,372	154,1858
11	Нижня межа частот інтермодуляції 2-го порядку f_{IM2min}		2,6422	
12	Верхня межа частот інтермодуляції 2-го порядку f_{IM2max}		2,9578	
13	Нижня межа частот інтермодуляції 3-го порядку f_{IM3min}		148,2702	
14	Верхня межа частот інтермодуляції 3-го порядку f_{IM3max}		148,7298	
15	Частота дзеркального каналу прийому $f_{DK} = f_{Rx} - 2 \times f_{ПЧ}$, МГц	127,4		
16	$f_{Tx} - f_{ДЗК}$, МГц		23,9	26,7
17	Для перевірки можливості завади за ПЧ $ f_{Tx} - f_{ПЧ} $, МГц		140,7	143,4
18	Друга гармоніка $2 \times f_{Tx}$, МГц		302,6	308,2
19	Третя гармоніка $3 \times f_{Tx}$, МГц		453,9	462,3
20	Друга субгармоніка $f_{Tx}/2$, МГц		75,65	77,05
21	Третя субгармоніка $f_{Tx}/3$, МГц		50,433	51,367
22	$B_{Rx}/2 + 2 \times B_{Tx}/2$, МГц		0,24	0,2676
23	$B_{Rx}/2 + 3 \times B_{Tx}/2$, МГц		0,296	0,3534
24	$B_{Rx}/2 + B_{Tx}/(2 \times 2)$, МГц		0,116	0,1389
25	$B_{Rx}/2 + B_{Tx}/(2 \times 3)$, МГц		0,104	0,1246

Етап 2. Розрахунок рівня сигналу та завад

2.1) Розрахунок втрат поширення радіохвиль

Втрати при поширенні радіохвиль у вільному просторі (в дБ) визначаються за рівнянням (16).

Втрати поширення радіохвиль для корисного сигналу:

$$\begin{aligned} L_{\text{Проп сигн}} [\text{дБ}] &= 32,4 + 20 \times \lg(f_{[\text{МГц}]}) + 20 \times \lg(r_{[\text{км}]}) = 32,4 + 20 \times \lg(148,8) + 20 \times \lg(8) = \\ &= 32,4 + 20 \times 2,173 + 20 \times 0,903 = 32,4 + 43,452 + 18,062 = 93,91 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

У п. 2.1 таблиці 6 із результатами розрахунку заносимо втрати поширення радіохвиль (ПРХ) в радіолінії для корисного сигналу L_{0C} .

Для сигналу завади від першого передавача T_{x1} втрати поширення L_{031} :

$$\begin{aligned} L_{\text{ПропTx1}} [\text{дБ}] &= 32,4 + 20 \times \lg(f_{[\text{МГц}]}) + 20 \times \lg(R_{1[\text{км}]}) = 32,4 + 20 \times \lg(151,3) + 20 \times \lg(0,01) = \\ &= 32,4 + 20 \times 2,1798 + 20 \times (-2) = 32,4 + 43,597 - 40 = 35,996 \approx 36 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

Для сигналу завади від другого передавача T_{x2} втрати поширення L_{032} :

$$\begin{aligned} L_{\text{ПропTx2}} [\text{дБ}] &= 32,4 + 20 \times \lg(f_{[\text{МГц}]}) + 20 \times \lg(R_{2[\text{км}]}) = 32,4 + 20 \times \lg(154,1) + 20 \times \lg(0,012) = \\ &= 32,4 + 20 \times 2,1878 + 20 \times (-1,92) = 32,4 + 43,756 - 38,416 = 37,74 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

У п. 3.1 таблиці 6 із результатами розрахунку заносимо втрати поширення радіохвиль в радіолінії для завад $L_{\text{ПропTx1(Tx2)}}$, дБ.

2.2) Розрахунок рівня корисного сигналу на вході приймача

Потужність корисного сигналу на вході приймача P_c може бути визначена за формулою (17):

$$P_c = (P_{Tx} + G_{Tx}) - L_{\text{Проп сигн}} + G_{Rx} = (16 + 10) - 93,91 + 9 = -58,91 \text{ (дБВт)}.$$

У п. 2.2 таблиці 6 із результатами розрахунку заносимо рівень корисного сигналу.

2.3) Розрахунок потужності завад на вході приймача

Розрахунок потужності завад на вході приймача проводиться тільки для тих передавачів, які потенційно можуть створити завади, тобто тих завад, які визначені за частотною ознакою.

Втрати сигналу в радіолінії L_{Σ} на даному етапі розрахунків здійснюємо при умові, що основний канал передавача завади приймається основним каналом прийому приймача без урахування впливу коефіцієнта частотної вибірконості FDR (тобто $FDR=0$) та за умов відсутності втрат в трактах прийому та передачі, а також за збігом поляризації антен.

а) втрати сигналу для першого передавача T_{x1} :

$$L_{\Sigma T_{x1}} = L_{\text{Prop } T_{x1}} - G_{T_{x1}} - G_{R_x} = 36 - 9 - 8 = 19 \text{ дБ},$$

б) втрати сигналу для другого передавача T_{x2} :

$$L_{\Sigma T_{x2}} = L_{\text{Prop } T_{x2}} - G_{T_{x2}} - G_{R_{x2}} = 37,74 - 9 - 7 = 21,74 \text{ дБ}.$$

У п. 3.2 таблиці 6 із результатами розрахунку заносимо втрати в радіолінії для завади від T_{x1} та T_{x2} .

Потужність завад на вході приймача може бути визначено за формулою (18).

а) потужність сигналу завади від першого передавача T_{x1} :

$$P_{I T_{x1}} = P_{T_{x1}} - L_{\Sigma T_{x1}} = 19,2 - 19 = 0,2 \text{ дБВт},$$

а) потужність сигналу завади від другого передавача T_{x2} :

$$P_{I T_{x2}} = P_{T_{x2}} - L_{\Sigma T_{x2}} = 21,3 - 21,74 = -0,44 \text{ дБВт},$$

У п. 4 таблиці 6 із результатами розрахунку заносимо потужність сигналів завади.

2.3.1) Розрахунок коефіцієнта частотної вибірконості приймача (FDR)

У даному варіанті завдання (№ 31) завади за основним каналом прийому неможливі (п. 7.1.1 розрахунку), тому у розрахунках FDR не враховуємо.

У разі наявності завади за основним каналом прийому (виконанні умови 1) розрахунок FDR здійснюється за формулою (22). В залежності від виконання відповідних умов для кожного з передавачів, які створюють завади за основним каналом прийому (тобто геометрії та розмірів площі перекриття спектральної маски сигналу передавача та АЧХ приймача), використовуються спрощені формули для розрахунку FDR та площі перекриття спектральних масок:

- при виконанні умови (25) використовується вираз (26);
- при виконанні умови (27) використовується вираз (28);
- при виконанні умови (29) використовується вираз (30);
- при виконанні умови (1), але не виконанні ні однієї з умов (25, 27, 29) використовується вираз (31).

Приклад розрахунку FDR (не стосується варіанта 31)

Вихідні дані (варіант 1):

$$f_{R_x} = 151,2 \text{ МГц}; B_{H_{R_x}} = 0,1 \text{ МГц}; B_{R_x} = 1,2 \times B_{H_{R_x}} = 1,2 \times 0,1 = 0,12 \text{ МГц}.$$

$$f_{T_x} = 151,3 \text{ МГц}; B_{H_{T_x}} = 0,12 \text{ МГц}; B_{T_x} = 1,2 \times B_{H_{R_x}} = 1,2 \times 0,12 = 0,144 \text{ МГц}.$$

Перевірка умови можливості створення завади за основним каналом прийому для основного випромінювання передавача за формулами (1) та (2) для займаної смуги частот.

$$\Delta f = |f_{Tx} - f_{Rx}| = 151,3 - 151,2 = 0,1 \text{ МГц},$$

$$(B_{Tx} + B_{Rx})/2 = (0,144 + 0,12)/2 = 0,264/2 = 0,132 \text{ МГц}.$$

Перевірка умови $\Delta f \leq (B_{Tx} + B_{Rx})/2$: $0,1 < 0,132$.

Умова виконується, тому завада по основному каналу прийому від основного випромінювання передавача завади можлива.

Перевірка виконання умови для *необхідної* смуги частот (29).

$$\Delta f \leq (B_{HTx} + B_{HRx})/2. \quad (29)$$

$$(B_{HTx} + B_{HRx})/2 = (0,12 + 0,144)/2 = 0,132.$$

$$0,1 < 0,132.$$

Умова (29) виконується, площа перекриття розраховується з урахуванням перекриття по *займаної та необхідної* смугам частот за формулою:

$$S_i = S_{ПР.ВН} + S_{TP.Rx} + S_{TP.Tx}, \quad (30)$$

де $S_{ПР.ВН}$ – площа прямокутника (ПР) на рівні перекриття необхідних смуг частот), $S_{TP.Rx}$ та $S_{TP.Tx}$ – площі прямокутних трикутників у спектральних масках сигналів R_x та T_x .

$$S_{ПР.ВН} = f_{HRxmax} - f_{HTxmin} = (f_{Rx} + B_{HRx}/2) - (f_{Tx} - B_{HTx}/2) =$$

$$= (B_{HRx} + B_{HTx})/2 - |\Delta f| = (0,1 + 0,12)/2 - 0,1 = 0,01;$$

$$S_{TP.Rx} = (B_{Rx} - B_{HRx})/4 = (0,12 - 0,1)/4 = 0,02/4 = 0,005;$$

$$S_{TP.Tx} = (B_{Tx} - B_{HTx})/4 = (0,144 - 0,12)/4 = 0,024/4 = 0,006.$$

Розрахуємо площу перекриття спектра передавача з АЧХ приймача за формулою (30):

$$S_i = 0,01 + 0,005 + 0,006 = 0,021.$$

Площа спектральної маски сигналу передавача згідно виразу (23) становить:

$$S_{Tx} = 1,1 \times B_{HTx} = 1,1 \times 0,12 = 0,132.$$

Площа АЧХ приймача згідно виразу (24) становить:

$$S_{Rx} = 1,1 \times 0,1 = 0,11.$$

Далі відповідно з формулою (22) розрахуємо загальний FDR :

$$FDR = 10 \times \lg(S_i / S_{Tx}) + 10 \times \lg(S_i / S_{Rx}) =$$

$$= 10 \times \lg(0,021 / 0,132) + 10 \times \lg(0,021 / 0,11) =$$

$$= 10 \times \lg(0,159) + 10 \times \lg(0,1909) = 10 \times (-0,798) + 10 \times (-0,719) =$$

$$= -15,175 \text{ дБ}.$$

Результат розрахунку FDR потрібно заносити у п. 4.1 таблиці 6.

У розглянутому варіанті площа перекриття спектральних масок має форму трапеції. Розглянемо інший варіант, у якому площа перекриття має вигляд трикутника (перекриття по займаній смузі частот).

Вихідні дані (варіант 2):

$$f_{Rx} = 151,2 \text{ МГц}; B_{HRx} = 0,1 \text{ МГц}; B_{Rx} = 1,2 \times B_{HRx} = 1,2 \times 0,1 = 0,12 \text{ МГц}.$$

$$f_{Tx} = 151,32 \text{ МГц}; B_{HTx} = 0,12 \text{ МГц}; B_{Tx} = 1,2 \times B_{HRx} = 1,2 \times 0,12 = 0,144 \text{ МГц}.$$

Перевірка умови можливості створення завади за основним каналом прийому для основного випромінювання передавача завади за формулами (1) та (2) для займаній смузі частот.

$$\Delta f = |f_{Tx} - f_{Rx}| = 151,32 - 151,2 = 0,12 \text{ МГц},$$

$$(B_{Tx} + B_{Rx})/2 = (0,144 + 0,12)/2 = 0,264/2 = 0,132 \text{ МГц}.$$

$$\text{Перевірка умови } \Delta f \leq (B_{Tx} + B_{Rx})/2: \quad 0,12 < 0,132.$$

Умова виконується, тому завада за основним каналом прийому від основного випромінювання передавача завади можлива.

Умовою прийому завади за основним каналом прийому приймача від основного випромінювання передавача завади для займаній смузі частот буде нерівність:

$$\Delta f > (B_{HTx} + B_{HRx})/2.$$

$$(B_{HTx} + B_{HRx})/2 = (0,1 + 0,12)/2 = 0,11.$$

$$\Delta f = 0,12 > 0,11.$$

Умова застосування формули (31) виконується.

Розрахуємо необхідні для визначення площі трикутника параметри:

$$a = (B_{Rx} + B_{Tx})/2 - |\Delta f| = (0,12 + 0,144)/2 - 0,12 = 0,132 - 0,12 = 0,012,$$

$$\alpha_{Rx} = \arctan(2/(B_{Rx} - B_{HRx})) = \arctan(2/(0,12 - 0,1)) = 1,5608 \text{ рад},$$

$$\beta_{Tx} = \arctan(2/(B_{Tx} - B_{HTx})) = \arctan(2/(0,144 - 0,12)) = 1,5588 \text{ рад}.$$

Для зручності користування формулою (31) (п.п. 7.3.1 Методичних рекомендацій) прорахуємо проміжні результати:

$$\sin(\alpha_{Rx}) = 0,99995;$$

$$\sin(\beta_{Tx}) = 0,99993;$$

$$\sin((3,14159265 - (1,5608 + 1,5588))) = 0,022.$$

За формулою (31) розрахуємо площу трикутника S_i :

$$S_i = 0,012 \times 0,012 \times 0,99995 \times 0,99993 / (2 \times 0,022) = 0,00327.$$

Площа спектральної маски сигналу передавача та площа АЧХ приймача розраховані у попередньому варіанті і становлять:

$$S_{Tx} = 0,132,$$

$$S_{Rx} = 0,11.$$

Далі відповідно з формулою (22) розрахуємо загальний FDR :

$$\begin{aligned} FDR &= 10 \times \lg(S_i / S_{Tx}) + 10 \lg \times (S_i / S_{Rx}) = \\ &= 10 \times \lg(0,00327 / 0,132) + 10 \times \lg(0,00327 / 0,11) = \\ &= 10 \times \lg(0,02477) + 10 \times \lg(0,029727) = 10 \times (-1,606) + 10 \times (-1,5268) = \\ &= -16,06 - 15,27 = -31,33 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

Результат розрахунку FDR потрібно заносити у п. 4.1 таблиці 6.

Рівень завади на вході приймача при прийомі основного випромінювання основним каналом приймача з урахуванням FDR розраховуємо за формулою:

$$P_{II} = P_{Tx1} - L_{\Sigma Tx1} - FDR.$$

Результат розрахунку рівня завад заносимо у п. 4.1 таблиці 6.

2.3.2) Розрахунок потужності завад за основним каналом від позасмугового випромінювання передавача завад

Розрахуємо рівень завад по основному каналу прийому від позасмугового випромінювання передавача завади за формулою (20).

а) від першого передавача T_{x1} :

$$P_{I1} = P_{Tx1} - L_{\Sigma Tx1} - M_1(\Delta f) = 19,2 - 18,85 - 70 = -69,65 \text{ дБВт},$$

б) від другого передавача T_{x2} :

$$P_{I2} = P_{Tx2} - L_{\Sigma Tx2} - M_2(\Delta f) = 16 - 21,74 - 75 = -80,74 \text{ дБВт}.$$

Але при частотному аналізі можливість завад по основному каналу прийому від позасмугових каналів передачі передавачів завад не виявлено. Тому п. 4.1 таблиці 6 з результатами цей результат не заносимо (ставимо відмітку «-»).

2.3.3) Розрахунок потужності завад за сусіднім каналом

У разі прийому основного випромінювання передавача побічним каналом (сусіднім, дзеркальним, ПЧ) приймача використовується формула (21).

а) від першого передавача T_{x1} :

$$P_{I1} = P_{Tx1} - L_{\Sigma Tx1} - S_1(\Delta f) = 19,2 - 18,85 - 72 = -71,65 \text{ дБВт},$$

б) від другого передавача T_{x2} :

$$P_{I2} = P_{Tx2} - L_{\Sigma Tx2} - S_2(\Delta f) = 16 - 21,74 - 74 = -79,74 \text{ дБВт}.$$

Але при частотному аналізі можливість завад сусіднім каналом прийому від основного випромінювання передавача не виявлено. Тому п. 4.2 таблиці 6 з результатами для кожного з передавачів цей результат не заносимо (ставимо відмітку «–»).

Аналогічно проводимо розрахунки рівня завад за дзеркальним каналом і каналом першої ПЧ.

2.3.4) Розрахунок потужності завад дзеркальним каналом

Результат для кожного з передавачів вносимо в п. 5.3 таблиці 6.

2.3.5) Розрахунок потужності завад за першою ПЧ

Результат для кожного з передавачів вносимо в п. 5.4 таблиці 6.

Якщо побічним каналом приймача (сусіднім, дзеркальним, ПЧ) приймається позасмугове або побічне випромінювання передавача завади, тобто $S \neq 0$ та $M \neq 0$, впливом таких завад нехтуємо і потужність таких завад не розраховуємо.

2.3.6) Розрахунок рівня інтермодуляційних завад

Розрахунок за частотною ознакою для варіанта розрахунку № 31 виявив можливість інтермодуляційної завади третього порядку.

Потужність сигналів завад на частотах f_1 і f_2 , перевищення яких призводить до появи в приймачі **інтермодуляційних завад третього порядку**, розраховуються за формулою (32):

$$P_{IM} = 2 \times (P'_{Tx1} - \beta_1(\Delta f_1)) + (P'_{Tx2} - \beta_2(\Delta f_2)) - K_{2,1},$$

$$P'_{Tx1} = P_{Tx1} - L_{\Sigma Tx1} = 19,2 - 19 = 0,2 \text{ дБ},$$

$$P'_{Tx2} = P_{Tx2} - L_{\Sigma Tx2} = 21,3 - 21,74 = -0,44 \text{ дБ},$$

$$K_{2,1} = -6 \text{ дБ},$$

$$\Delta f_1 = 151,3 - 148,8 = 2,5 \text{ МГц},$$

$$\Delta f_2 = 154,1 - 148,8 = 5,3 \text{ МГц}.$$

Для розрахунку послаблення сигналів завад $\beta_1(\Delta f)$ і $\beta_2(\Delta f)$ за формулою (33) використовується смуга пропускання преселектора, яку приймаємо рівною $B_{RF} = 50 \times B_{HRx}$

а) для першого передавача (частота якого найближча до частоти настроювання приймача):

$$\beta(\Delta f) = 60 \cdot \lg \left[1 + \left(\frac{2 \cdot \Delta f}{B_{Rx}} \right)^2 \right],$$

$$\begin{aligned} \beta_1(\Delta f) &= 60 \times \lg (1 + ((2 \times 2,5) / (50 \times 0,16))^2) = 60 \times \lg (1 + (5/8)^2) = \\ &= 60 \times \lg (1 + (0,625)^2) = 60 \times \lg (1 + 0,39) = 60 \times \lg (1,39) = 60 \times 0,143 = 8,59 \text{ дБВт}, \end{aligned}$$

б) для другого передавача

$$\begin{aligned} \beta_2(\Delta f) &= 60 \times \lg (1 + ((2 \times 5,3) / (50 \times 0,16))^2) = 60 \times \lg (1 + (10,6/8)^2) = \\ &= 60 \times \lg (1 + (1,325)^2) = 60 \times \lg (1 + 1,756) = 60 \times \lg (2,756) = 60 \times 0,44 = 26,41 \text{ дБВт}. \end{aligned}$$

Розрахунок потужності інтермодуляційної завади (формула 32)

$$\begin{aligned} P_{IM} &= 2 \times (P'_{Tx1} - \beta_1(\Delta f_1)) + (P'_{Tx2} - \beta_2(\Delta f_2)) - K_{2,1} = \\ &= 2 \times (0,2 - 8,59) + (-0,44 - 26,41) + 6 = 2 \times (-8,39) + (-26,85) + 6 = \\ &= -16,78 - 26,85 + 6 = -43,63 + 6 = -37,63 \text{ [дБВт]}. \end{aligned}$$

Результат заносимо у п. 6 таблиці 6.

2.3.7) Розрахунок рівня випромінювання завад за гармоніками (субгармоніками)

В прикладі за основним каналом приймача не приймається випромінювання завад за гармоніками (субгармоніками).

Якщо такі завади були б, то для розрахунків рівня сигналів завад на вході приймача потрібно було б скористатися формулами (20), (27) і (28).

У цьому випадку $S = 0$; припускаємо $M_2 \approx 45$ дБ; $M_3 \approx 60$ дБ.

а) для першого передавача T_{x1} :

рівень другої гармоніки (субгармоніки):

$$P_{Tx1r1} = P_{Tx1} - L_{\Sigma Tx1} - M_2 = 19,2 - 18,85 - 45 = -44,65 \text{ дБ};$$

рівень третьої гармоніки (субгармоніки):

$$P_{Tx1r2} = P_{Tx1} - L_{\Sigma Tx1} - M_3 = 19,2 - 18,85 - 60 = -59,65 \text{ дБ}.$$

б) для другого передавача T_{x2} :

рівень другої гармоніки (субгармоніки):

$$P_{Tx2r1} = P_{Tx2} - L_{\Sigma Tx2} - M_2 = 21,3 - 21,74 - 45 = -45,44 \text{ дБ};$$

рівень третьої гармоніки (субгармоніки):

$$P_{Tx2r2} = P_{Tx2} - L_{\Sigma Tx2} - M_3 = 21,3 - 21,74 - 60 = -60,44 \text{ дБ}.$$

Але розрахунки за частотною ознакою для варіанта розрахунку № 31 не виявили можливість завади на гармоніках та субгармоніках. Тому розраховані

рівні цих завад у подальших розрахунках не враховуємо. У пунктах 4.5 та 4.6 таблиці 6 для обох передавачів ставимо позначки «—».

2.4) Розрахунок множинної завади

Розрахунок рівня множинної завади на вході приймача виконаємо за методикою, яка приведена у розділі 7.4 для усіх визначених за частотною ознакою каналів прийому від обох передавачів та інтермодуляційної завади.

Необхідні для розрахунків рівні завад вже раніше внесені у таблицю 6.

а) для першого передавача T_{x1} :

Завад не виявлено

Якщо було б дві завади, рівень яких становив, наприклад -70 дБ та -65 дБ, то для їх додавання потрібно перевести їх в одиниці Вт:

$$P_{\Sigma I1}[Вт] = 10^{(P_{I1} [дБ]/10)} = 10^{-7} Вт,$$

$$P_{\Sigma I2}[Вт] = 10^{(P_{I2} [дБ]/10)} = 10^{-6,5} = 3,16 \times 10^{-7} Вт.$$

$$Разом: 10^{-7} Вт + 3,16 \times 10^{-7} = 4,16 \times 10^{-7} Вт.$$

Результат представимо у логарифмічних одиницях:

$$P_{\Sigma I T_{x1}} = 10 \times \lg(4,16 \times 10^{-7} [Вт]) = 10 \times (-6,38) = -63,81 \text{ дБВт}.$$

Отримані результати потрібно було б внести у п. 5 таблиці 6 для РЕЗ 1.

б) для другого передавача T_{x2} :

Завад не виявлено.

Якщо завади були виявлені, потрібно було б розрахувати їх сумарний рівень за тими ж самими формулам.

Для прикладу: сумарний рівень завад від другого передавача склав би $2,7 \times 10^{-6} Вт$, або $-55,69$ дБВт.

Тоді результат розрахунку заносимо у п. 5 таблиці 6 для РЕЗ 2.

в) рівень інтермодуляційної завади третього порядку (п. 6 таблиці 6 результатів) становить $-37,63$ дБВт.

Перерахуємо у Вт:

$$P_{IM} [Вт] = 10^{(P_{IM} [дБ]/10)} = 10^{-3,763} = 1,73 \times 10^{-4} Вт.$$

Результат розрахунку рівня інтермодуляційної завади заносимо у п. 6 таблиці 6.

2.5) Розрахунок рівня шумів

Реальна чутливість приймача з абсолютних одиниць вимірювання В (вольт) перераховується в логарифмічні одиниці – дБВт за формулою (43). У завданні реальна чутливість приймача задана у мікровольтях ($1 \text{ мкВ} = 10^{-6} \text{ В}$), тому перерахуємо за формулою (44):

$$P_{R_{x \text{ real}}} [\text{дБ}] = 10 \times \lg(U_{R_{x \text{ real}}}^2 [\text{мкВ}]^{-12} / R_{R_{x \text{ real}}}) = 10 \times \lg(((2,5)^2)^{-12} / 50) = -129,03 \text{ дБВт.}$$

Рівень шумів дорівнює пороговій (мінімальній) чутливості приймача та розраховується за формулою (45):

$$P_{\text{ш}} = P_{R_{x \text{ min}}} = P_{R_{x \text{ real}}} - A = (-129,03) - 10 = -139,03 \text{ (дБВт)},$$

що відповідає $P_{\text{ш}} = 1,25 \times 10^{-14} \text{ Вт}$. Результат заносимо у п. 7 таблиці 6.

2.6) Розрахунок сумарного рівня завад та шумів

$$P_{\Sigma} [\text{Вт}] = P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} + P_{\text{ш}} = 0 + 0 + 1,73 \times 10^{-4} + 1,25 \times 10^{-14} \approx 1,73 \times 10^{-4} \text{ Вт},$$

що відповідає $-37,63 \text{ дБВт}$. Результат розрахунку заносимо у п. 8 таблиці 6.

Етап 3. Оцінка отриманих результатів розрахунків ЕМС

Обчислимо значення критерія ЕМС Q:

$$Q = (P_{\Sigma} - (P_{\text{с}} + P_{\text{ш}})) - A = -58,91 - (-37,63) - 10 = -31,28 \text{ дБ},$$

де A – необхідне захисне відношення сигнал/завада (дБ).

Результат розрахунку заносимо у п. 9 таблиці 6.

Здійснюємо оцінку якості частотного присвоєння, що планується.

$(Q = -31,28) < 0$, тому приймається рішення про невиконання вимог ЕМС.

У п. 11 таблиці 6 із результатами розрахунків вносимо позначення «—».

Висновки за результатами розрахунку за варіантом № 31

Результати розрахунків показують, що рівень завад та шумів перевищує допустимий, отже, умови ЕМС не виконуються (ЕМС не забезпечується).

Примітка. Однак слід мати на увазі, що якщо рівень корисного сигналу перевищує рівень множинної завади та шумів на дуже невелику величину відносно захисного відношення, бажано прийняти додаткові заходи для зниження рівня завад. Наприклад, зменшити потужність передавачів завад T_{x1} (T_{x2}), використати антени з меншим коефіцієнтом підсилення (або використовувати спрямовані антени якщо це допустимо з точки зору організації зв'язку), змінити висоту встановлення антени передавача T_{x1} (T_{x2}) на об'єкті (антени рознести по висоті) та ін.

Таблиця 6

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ЕМС ЛОКАЛЬНОГО УГРУПУВАННЯ РЕЗ
(варіант № 31)

№	Назва параметра	РЕЗ 1		РЕЗ 2	
1	Наявність завад каналами прийому (+або-)				
1.1	основним каналом від основного випромінювання	-		-	
	основним каналом від позасмугового випромінювання	-		-	
1.2	сусіднім каналом	-		-	
1.3	інтермодуляційної завади 2-го порядку	-			
1.4	інтермодуляційної завади 3-го порядку	+			
1.5	дзеркальним каналом	-		-	
1.6	по 1 ПЧ	-		-	
1.7	на гармоніках, (+ або -)	2-га	3-тя	2-га	3-тя
		-	-	-	-
1.8	на субгармоніках, (+ або -)	2-га	3-тя	2-га	3-тя
		-	-	-	-
2.1	Втрати ПРХ для корисного сигналу L_{0c} , дБ	93,91			
2.2	Рівень корисного сигналу на вході приймача, дБВт	-58,91			
3.1	Втрати ПРХ в радіолінії завад, L_{0z} , дБ	36,00		37,74	
3.2	Втрати в радіолінії для завад, дБ	19		21,74	
4	Рівень завади на вході приймача, дБВт	0,20		-0,44	
4.1	основним каналом від основного випромінювання	-		-	
	коефіцієнт частотної вибірконості (FDR), дБ	-		-	
	рівень завади з урахуванням FDR	-		-	
	основним каналом від позасмугового випромінювання	-		-	
4.2	сусіднім каналом	-		-	
4.3	дзеркальним каналом	-		-	
4.4	по 1 ПЧ	-		-	
4.5	на гармоніках	2-га	3-тя	2-га	3-тя
		-	-	-	-
4.6	на субгармоніках	2-га	3-тя	2-га	3-тя
		-	-	-	-
5	Загальний рівень завад на вході приймача від кожного з передавачів $P_{\Sigma i}$, дБВ та Bm	-		-	
		-		-	
6	Рівень інтермодуляційної завади на вході приймача $P_{\text{ІМ}}$, дБВт та Bm	-37,63 дБВт $1,73 \times 10^{-4} Bm$			
7	Рівень шумів на вході приймача $P_{\text{ш}}$, дБВт	-139,03 дБВт $1,25 \times 10^{-14} Bm$			
8	Загальний рівень шумів та завад на вході приймача від обох передавачів, дБВ та Bm (п.п. 6 ₁ +6 ₂ +7+8)	-78,48 дБВт $1,42 \times 10^{-8} Bm$			
9	Значення $Q = P_c / (P_{\Sigma} + P_{\text{ш}}) - A$, дБ	-31,28			
11	Забезпечення ЕМС (+ або -)	-			

ВИСНОВОК

Проблема забезпечення електромагнітної сумісності набуває особливої актуальності у зв'язку зі зростаючою потребою сучасного суспільства в обміні інформацією та відповідно збільшення кількості радіоелектронних засобів.

Збільшення кількості радіоелектронних засобів та існуючі обмеження на місця їх встановлення вимагає розміщувати їх в обмеженому просторі, тобто створювати локальні угруповання РЕЗ.

Розташування нових РЕЗ, що планується встановити на площадці із РЕЗ, які вже працюють, може створити взаємні ненавмисні завади. Для зменшення впливу нових РЕЗ на вже існуючі та навпаки потрібно правильно підібрати радіочастоти шляхом послідовного перебору з тих частот, які можливі для застосування із розрахунком ЕМС для кожної частоти. Якщо розрахунок ЕМС підтверджує можливість сумісної роботи РЕЗ, перебір частот припиняється.

Крім підбору частот для забезпечення ЕМС існуючих РЕЗ можуть застосовуватися й інші технічні способи, наприклад, збільшення розв'язки між антенами (максимально можливе рознесення антен по горизонталі та вертикалі, використання спрямованих антен, екранів, зміна поляризації), використання додаткових фільтрів (смугових та режекторних) та ін.

До інших технічних заходів для забезпечення ЕМС можна віднести усунення шляхів надходження небажаних випромінювань до вільного простору через антенно-фідерну систему, кола живлення, заземлення, монтажні дроти, кабелі, роз'єми, вентиляційні отвори в кожухах радіоапаратури тощо.

Проведення розрахунків електромагнітної сумісності для загальних користувачів здійснюється Українським державним центром радіочастот на підставі ст. 69 Закону України "Про електронні комунікації" [13] і нормативних документів НКРЕК та оформлюється у вигляді висновка на бланку встановленого зразка. Український державний центр радіочастот розраховує електромагнітну сумісність на підставі заяв користувачів радіочастотного спектра на платний основі.

Результати, зазначені в розрахунку електромагнітної сумісності, можуть бути позитивними або негативними.

До позитивних результатів розрахунків електромагнітної сумісності належать:

- 1) позитивні без обмежень;*
- 2) позитивні, за умови позитивних результатів натурних випробувань, тестових випробувань, тестових включень на місці експлуатації;*

3) позитивні з особливими умовами, що враховують результати погодження Генеральним штабом Збройних сил України та здійснення міжнародної координації, заявлення і реєстрації використання радіочастот;

4) позитивні на обмежений строк.

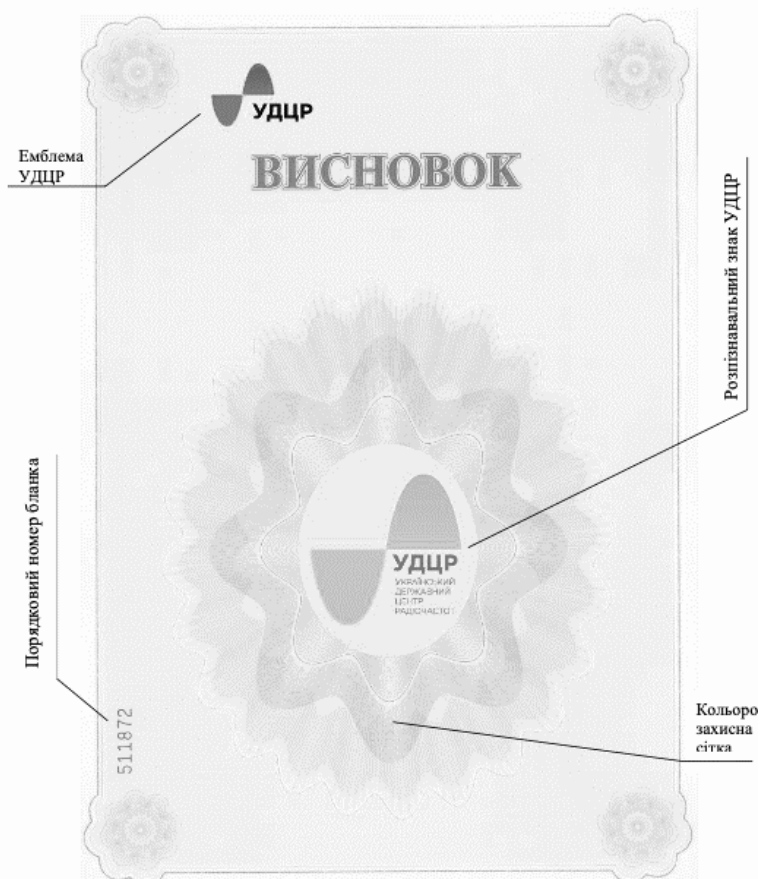
У разі невиконання умов електромагнітної сумісності між задіяними, запланованими, заявленими присвоєннями радіочастот, результати розрахунків електромагнітної сумісності вважаються негативними.

Розрахунок здійснюється з використанням Автоматизованої системи управління використанням спектра **ICS Suite**, яка розроблена компанією **ATDI S.A.** (Франція).

При розрахунках ЕМС РЕЗ використовується Реєстр радіообладнання та випромінювальних пристроїв, Реєстр присвоєнь радіочастот загальних користувачів, ГІС (геоінформаційна система), моделі поширення радіохвиль та інші необхідні інструменти.

Додаток 16
до Порядку надання висновків щодо
електромагнітної сумісності та дозволів на
експлуатацію радіоелектронних засобів
і випромінювальних пристроїв
(у редакції рішення Національної комісії, що
здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та
інформатизації від __. __. 2019 № __)

Зразок бланка висновку щодо електромагнітної сумісності РЕЗ



СПИСОК КОНТРОЛЬНИХ ПИТАНЬ

1. Поясніть суть поняття «електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів».
2. Поясніть суть поняття “електромагнітна обстановка (оточення)”.
3. Поясніть суть поняття “ненавмисна радіозавада”.
4. Дайте визначення поняттю “завадостійкість”.
5. Дайте визначення поняттю “завадозахищеність”.
6. Які обставини визначають клас сигналу, що випромінюється? У чому зміст кожної з них?
7. Що означає “необхідна ширина смуги частот” і як вона визначається у класі випромінювання?
8. Що означає “займана ширина смуги частот”?
9. Що відрізняє необхідну ширину смуги частот від займаної ширини смуги частот? Як вони взаємопов’язані?
10. Дайте визначення порогової чутливості радіоприймача.
11. Дайте визначення реальної чутливості радіоприймача.
12. Що означає “захисне відношення”?
13. Що означає “основний канал прийому” та який його основний параметр?
14. Назвіть канали прийому супергетеродинного радіоприймача.
15. Поясніть поняття “інтермодуляції по входу” і за яких умов вона виникає.
16. Що відносять до “побічних випромінювань радіопередавача”?
17. У чому різниця між позасмуговими та побічними випромінюваннями передавача?
18. Які ознаки забезпечення ЕМС?
19. Які технічні способи можуть покращити ЕМС?
20. Як розраховуються втрати поширення радіохвиль у вільному просторі?
21. Яка установа (підприємство) здійснює проведення розрахунків електромагнітної сумісності для загальних користувачів радіочастотного спектра?
22. Якими можуть бути результати, зазначені в висновку розрахунку електромагнітної сумісності?

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

АЧХ	-	Амплітудно-частотна характеристика
ВП	-	Випромінюючий пристрій
ДСА	-	Діаграма спрямованості антени
ДК (ЗК)	-	Дзеркальний канал прийому
ЕМС	-	Електромагнітна сумісність
ЕМО	-	Електромагнітна обстановка (електромагнітне оточення)
МСЕ (ITU)	-	Міжнародний союз електрозв'язку
НКЕК	-	Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку
ПВЧ (ПРЧ)	-	Підсилювач високої (радіо) частоти
ППЧ	-	Підсилювач проміжної частоти
ПЧ	-	Проміжна частота
РЕЗ	-	Радіоелектронний засіб
РПДП (Т _x)	-	Радіопередавальний пристрій
РПП (R _x)	-	Радіоприймальний пристрій
РР	-	Регламент радіозв'язку МСЕ
РЧ	-	Радіочастота
СК	-	Сусідній канал прийому
УДЦР	-	Український державний центр радіочастот
FDR	-	Коефіцієнт частотної вибірконості
OBW	-	Займана ширина смуги (the occupied bandwidth)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Брагін А.С., Нестеренко І.К. Основи управління використанням радіочастотного ресурсу: Навчальний посібник. К.: Інститут телекомунікаційних систем НТУУ “Київський політехнічний інститут”, 2003, 374 с.

2. М. Ю. Ільченко, Т. М. Наритник, С. В. Капштик, Г. Л. Авдеєнко, В. І. Корсун, В. І. Присяжний. “Планування та електромагнітна сумісність в безпроводових інфокомунікаціях”, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Електронне мережне навчальне видання, м. Київ, 2023, 275 с.

3. Головін Ю.О., Шолохов С.М., Самборський І.І. Електромагнітна сумісність спеціальних радіозасобів електронних комунікацій [Електронний ресурс]: навчальний посібник. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2024. 152 с.

4. Іванов В.О., Габрусенко Є.І., Ільницький Л.Я., Щербина О.А. Електромагнітна сумісність радіоелектронної апаратури: Навчальний посібник. К.: Національний авіаційний університет, 2014, 308 с.

5. Національний стандарт України. Радіостанції з кутовою модуляцією суходільної рухомої служби. Класифікація. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання. ДСТУ 4184:2003.

6. Наказ Адміністрації Держспецзв'язку від 13.08.21 № 500 “Про затвердження Методики розрахунків електромагнітної сумісності для присвоєння радіочастот радіоелектронним засобам рухомої служби”.

7. Recommendation ITU-R SM.328-11. Spectra and bandwidth of emissions.

8. Recommendation ITU-R P.525-4. Calculation of free-space attenuation.

9. Recommendation ITU-R P.341-7. The concept of transmission loss for radiolinks.

10. Recommendation ITU-R SM.337-6. Frequency and distance separations (FDR).

11. Recommendation ITU-R SM.1134-1. Intermodulation interference calculations in the land-mobile service.

12. Нестеренко І. К. Спрощений метод розрахунку коефіцієнта частотної вибіркової приймача // Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки. Збірник наукових праць ВІТІ, № 7, 2025.

13. Закон України “Про електронні комунікації”.

курсowa робота
“РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ
ЛОКАЛЬНОГО УГРУПУВАННЯ
РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ”

здобувача вищої освіти

(військове звання, прізвище, ім’я, по батькові)

Навчальна група № _____

Варіант завдання № _____