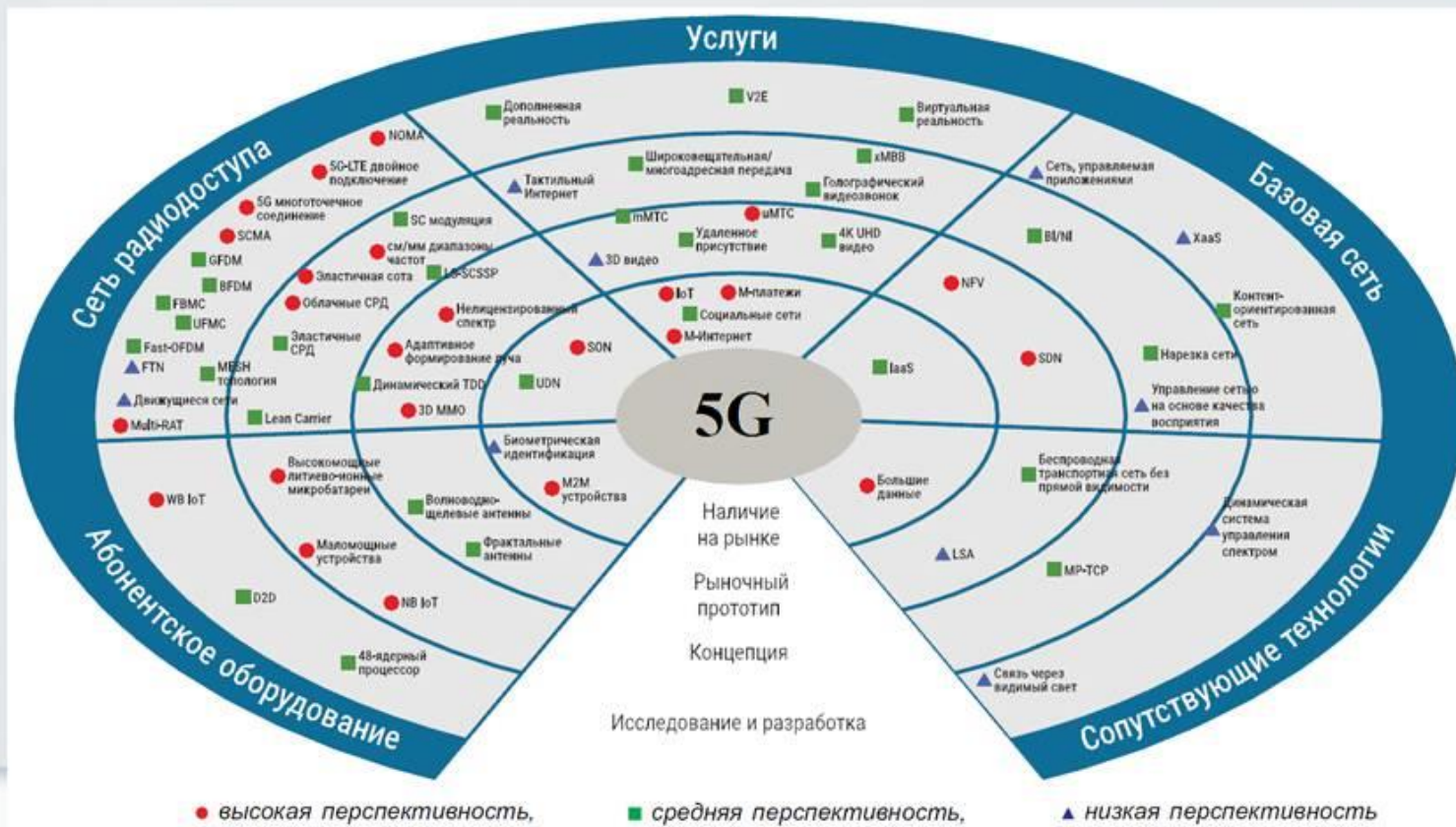


Додаток А.
Комплект графічних матеріалів

ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО МЕРЕЖ 5G

1. Пікова швидкість передачі даних – 20 Гбіт/с.
2. Практична швидкість передачі даних для користувача – 100 Мбіт/с.
3. Максимальна швидкість пересування мобільного користувача/пристрою, при якій забезпечується задана якість обслуговування – 500 км/год.
4. Інтервал часу від моменту посилки пакета даних джерелом до моменту його прийому абонентом – 1 мс.
5. Загальна кількість підключених або доступних пристроїв на одиницю площі – 1 на 1 квадратний метр.
6. Швидкість передачі даних, доступна на одиницю географічної площі – 10 Мбіт/с на 1 квадратний метр.



МЕТОДИ ОРТОГОНАЛЬНОГО ТА КВАЗИОРТОГОНАЛЬНОГО МНОЖИННОГО ДОСТУПУ

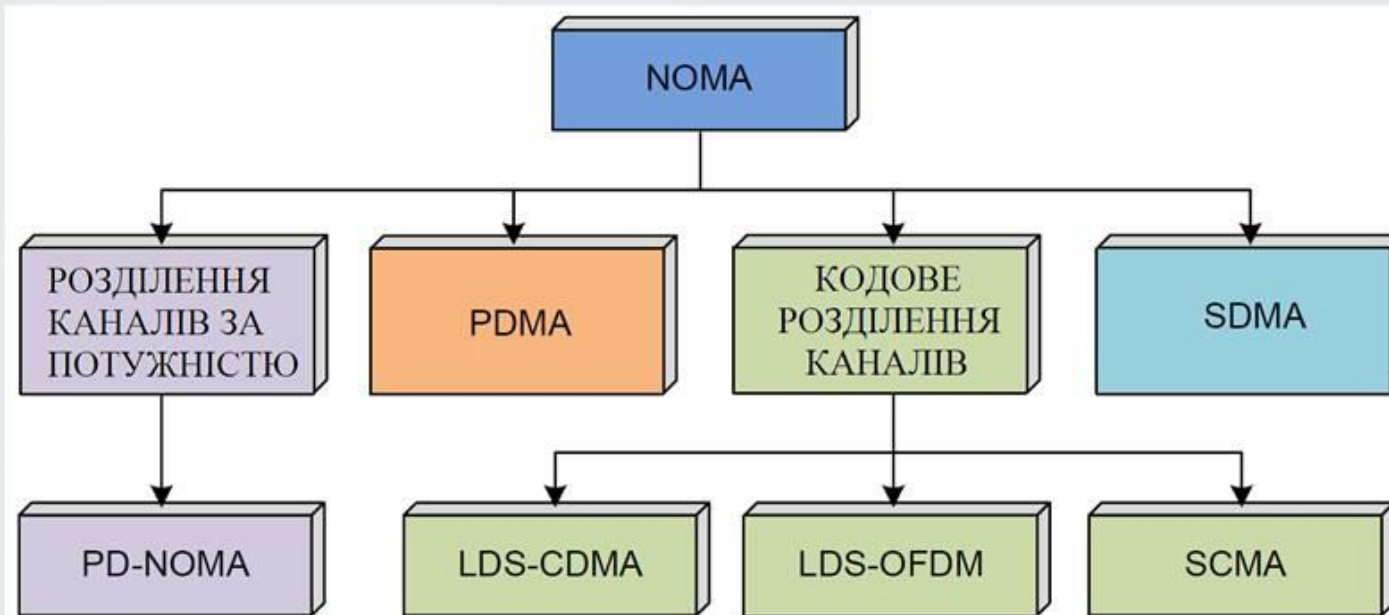
Методи	Основні риси	Недоліки
Частотний розподіл множинного доступу (FDMA)	1) Всі користувачі можуть передавати паралельно. 2) Немає необхідності синхронізації часу.	1) Кожна станція отримує лише частку від загальної пропускної здатності 2) Необхідність налаштованих передавачів і приймачів.
Часовий розподіл множинного доступу (TDMA)	1) Кожен користувач може використовувати загальну пропускну здатність. 2) Відсутність необхідності налаштованих приймачів.	1) Необхідність синхронізації часу. 2) Передача за частку загального часу.
Кодовий роздільний доступ (CDMA)	1) Кожен користувач може передавати по загальній пропускній здатності весь час. 2) Більше користувачів на МГц смуги пропускання.	1) Вища складність приймача. 2) Близький ефект.
Мультиплексування з ортогональним частотним розділом (OFDMA)	1) Внутрішня ортогональність. 2) Простота схеми приймача.	1) Чутливий до зсуву частоти 2) Низька продуктивність у сценаріях з високим ступенем асинхронного доступу
Просторовий розподіл множинного доступу (SDMA)	1) Більш висока спектральна ефективність і можливості множинного доступу 2) Корисно в комбінації з TDMA, FDMA, CDMA або OFDMA.	1) Близький ефект. 2) Низька синхронізація. 3) Втрата ортогональності при наявності практичних недоліків.
Роздільний доступ з розділенням поляризації (PDMA)	1) Два незалежних потоку даних, що передаються з ортогональними поляризаціями. 2) Можна поєднати з будь-якою існуючою множинною схемою доступу.	1) Ефект деполаризації в каналі вицвітання. 2) Необхідність додаткової схеми приймача для виявлення поляризаційної фільтрації.

МЕТОДИ НЕОРТОГОНАЛЬНОГО МНОЖИННОГО ДОСТУПУ

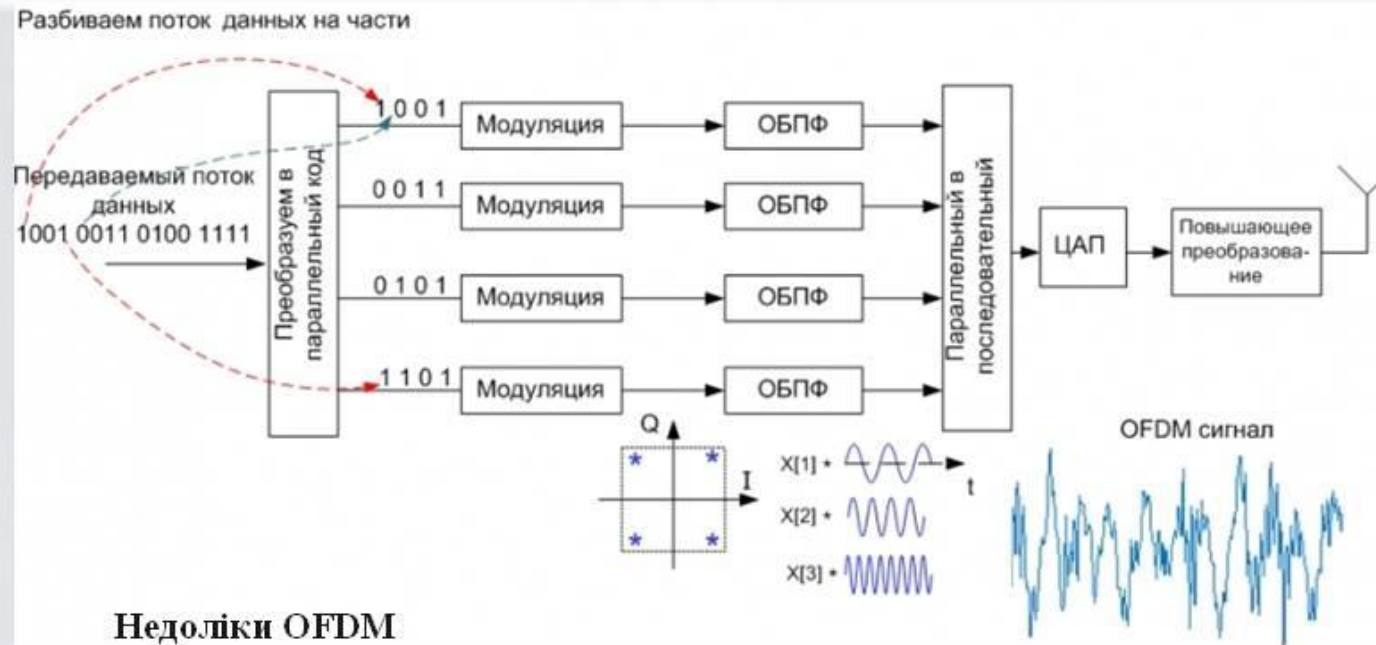
На даний момент всі технології NOMA можуть бути розділені на 4 категорії:

- 1) розділення каналів за потужністю PD-NOMA (Power Division NOMA, PD-NOMA);
- 2) кодове розділення каналів CD-NOMA (Code Division NOMA, CD-NOMA);
- 3) множинний доступ з розділенням каналів за шаблонами PDMA (Pattern Division Multiple Access);
- 4) множинний доступ з просторовим розділенням каналів SDMA (Spatial Division Multiple Access).

У CD-NOMA застосовується поділ каналів за допомогою спеціальної квазіортогональної розширюючої кодової послідовності (схоже з CDMA). CD-NOMA можна розділити на кілька методів: розширення каналних символів послідовністю низької щільності LDS-CDMA; розширення каналних символів послідовністю низької щільності з подальшою OFDM модуляцією LDS-OFDM; використання спеціальних кодових книг для формування каналних символів SCMA.



ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM)



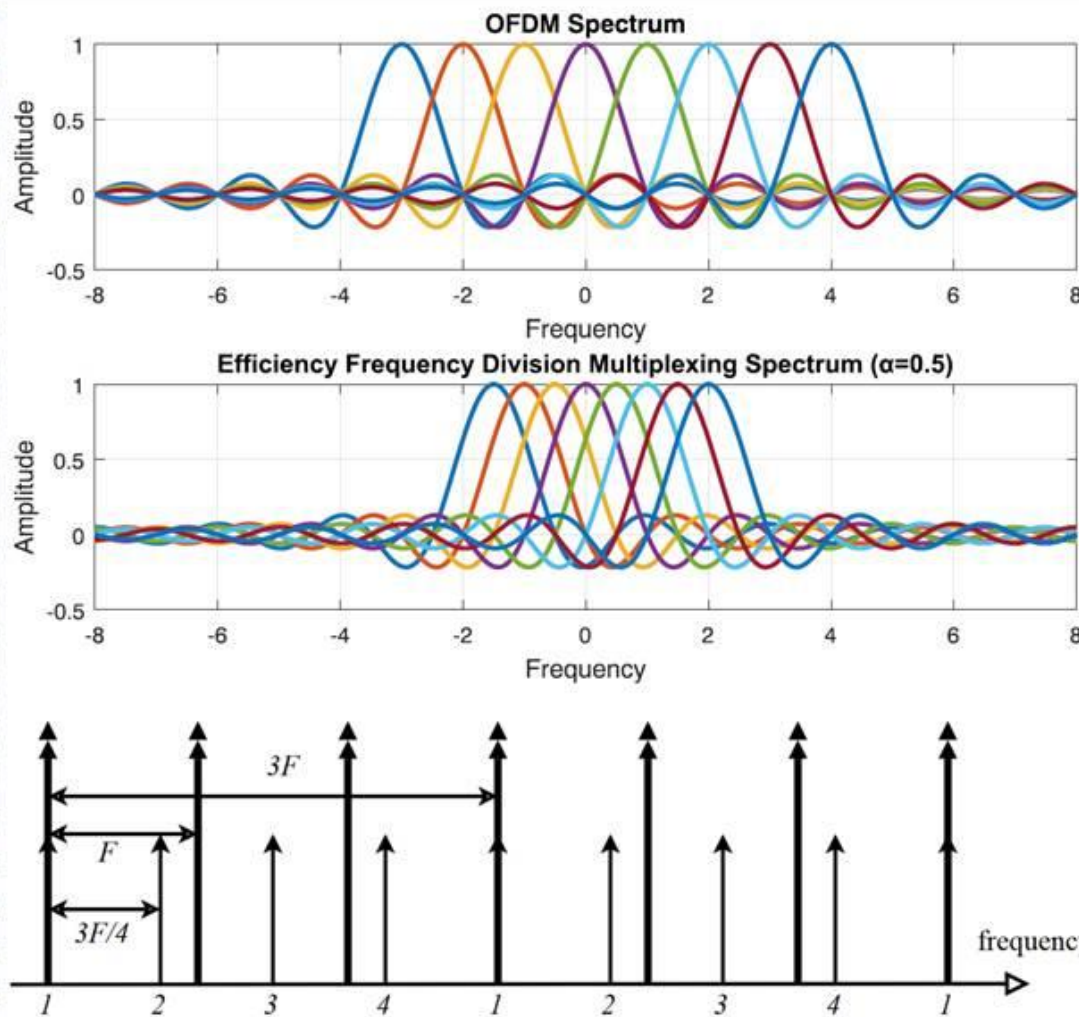
Недоліки OFDM

Сигнали з OFDM є високочутливими до розстроювання частоти і фазового шуму, що спостерігаються в синтезаторах частот. Також у разі появи значного доплерівського ефекту в OFDM сигналі відбувається зміна значення центральної носійної частоти, що призводить до порушення ортогональності його носіних частот.

При значній кількості носійних високі значення пікової потужності при порівняно низькому рівні середньої потужності негативно позначаються на роботі підсилювачів. Вплив амплітуди вхідного сигналу на нелінійну ділянку амплітудної характеристики підсилювача призводить до виникнення нелінійних спотворень на виході підсилювача.

Високій рівень позасмугових випромінювань сигналів, отже, сигнал на одній носійній може бути прийнятий в суміжних каналах.

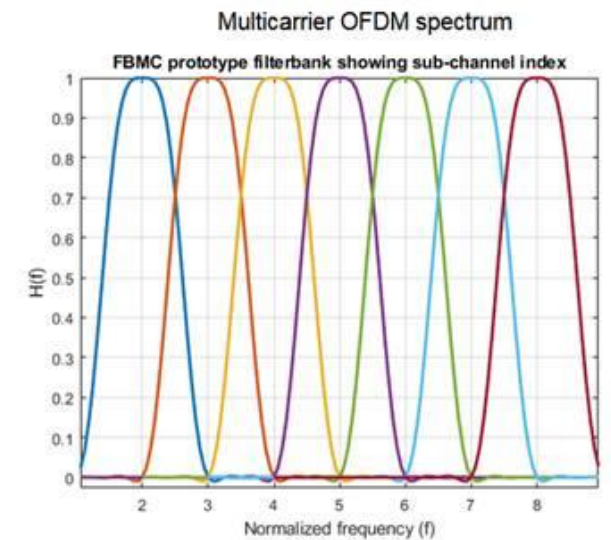
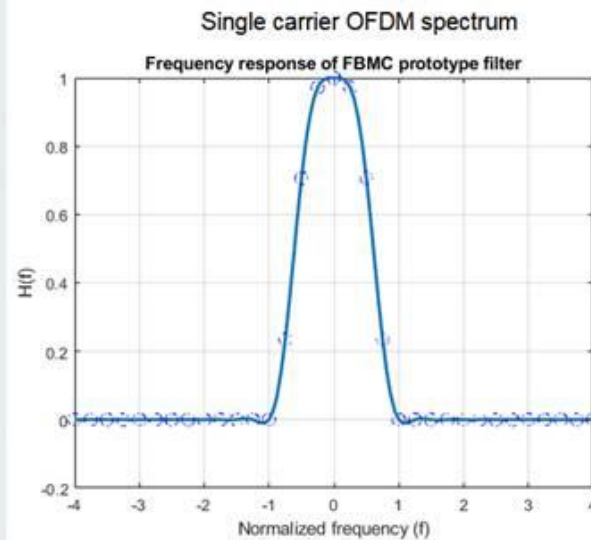
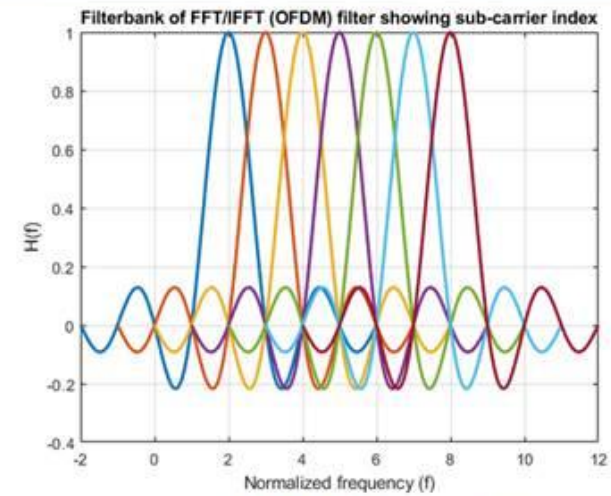
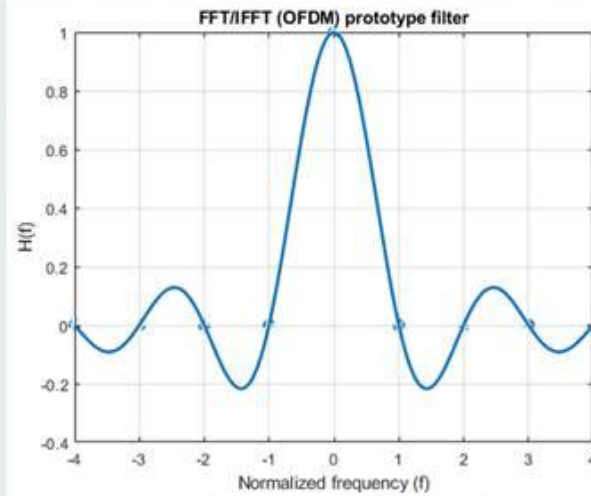
SPECTRALLY EFFICIENT FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (SEFDM)



Спектральна ефективність зазвичай визначається як швидкість передачі біт, поділена на смугу частот, що використовується (біт/с/Гц). Звідси можна побачити, що, помножуючи частотний крок між носійними F на α , але утримуючи символний період T , можна підвищити спектральну ефективність. Наприклад, для $\alpha=0.5$ спектральна ефективність складатиме 200%.

Технічно SEFDM система може бути побудована з окремих OFDM систем. На нижньому рисунку великі вертикальні подвійні стрілки відображають носійні OFDM системи з символним періодом T і частотним інтервалом F . Маленькі одиночні стрілки відповідають частотам SEFDM системи з тим ж символним періодом і частотним інтервалом $0.75F$. SEFDM частоти, позначені цифрами 1 на горизонтальній вісі, точно узгоджуються з OFDM частотами, розділеними інтервалом $3F$.

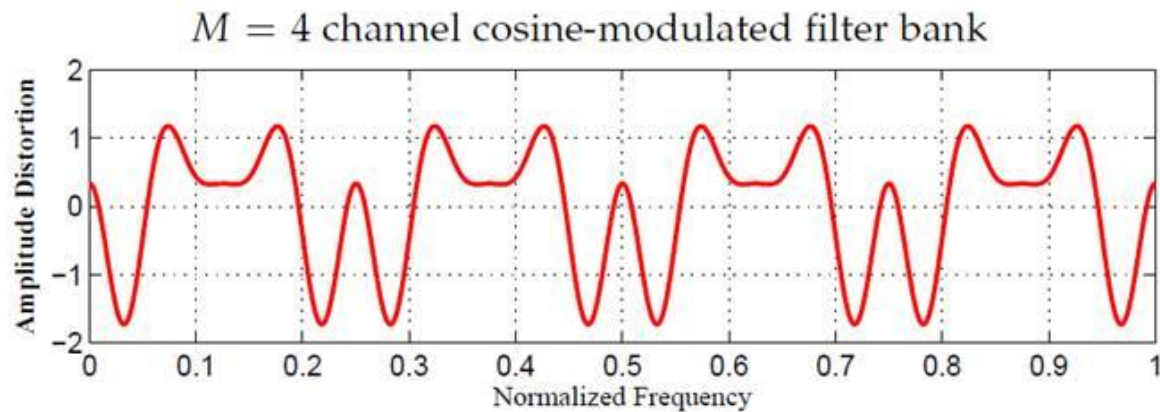
FILTER BANK MULTICARRIER (FBMC)



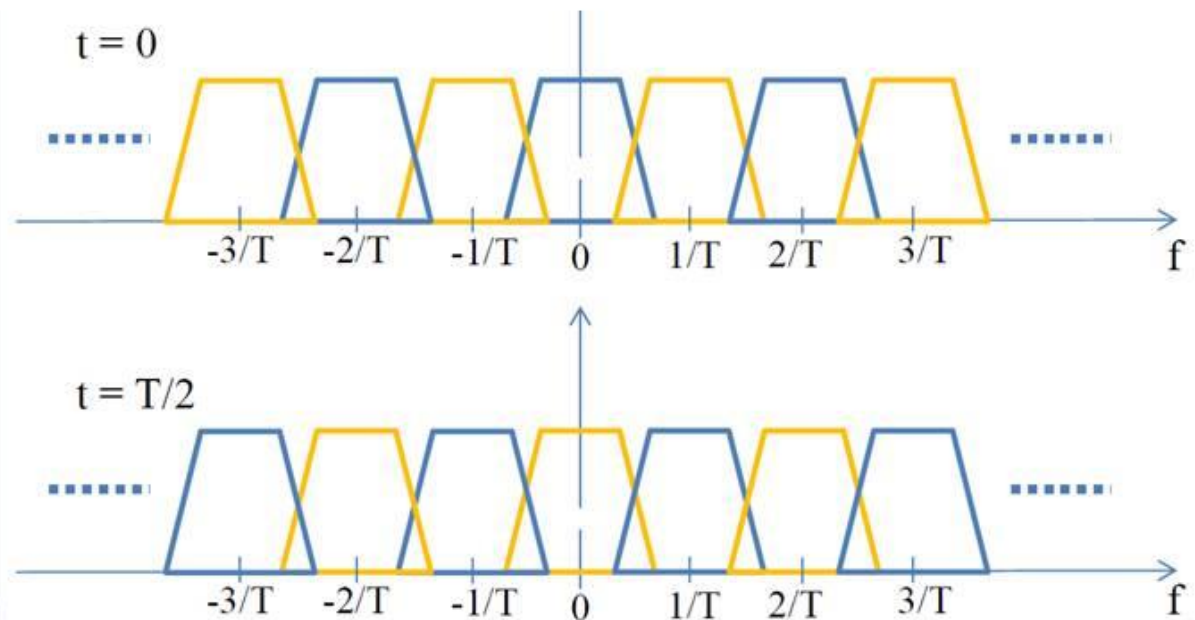
FBMC

FBMC Filterbank

COSINE MODULATED MULTITONE (CMT) TA STAGGERED MULTITONE (SMT)



SMT Spectra



СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ OFDM, CMT, SMT ТА SEFDM СИГНАЛІВ

В експериментальній частині кваліфікаційної роботи було проведено імітаційне моделювання системи зв'язку з використанням OFDM, CMT, SMT та SEFDM сигналів.

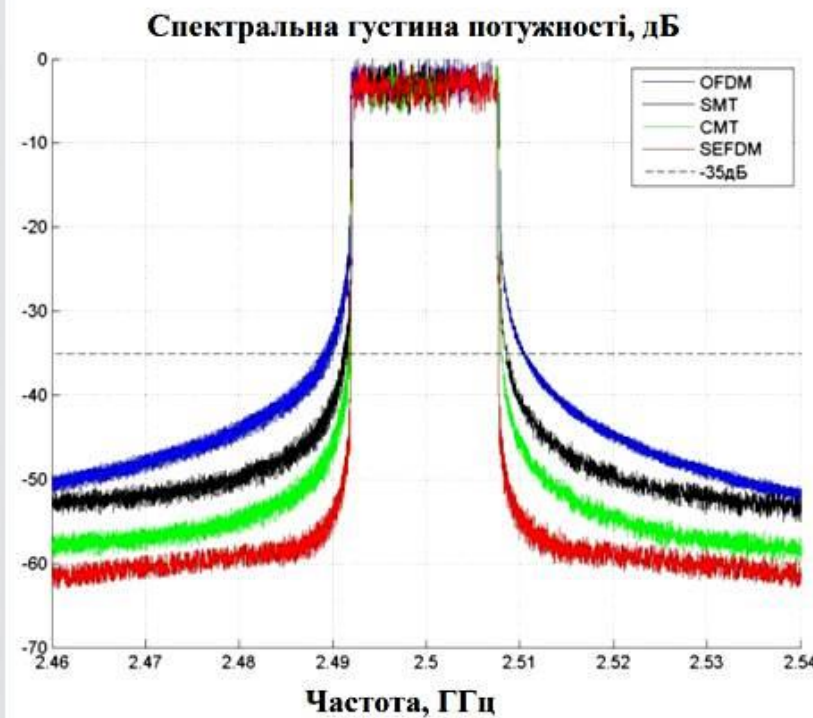
Тривалість символів OFDM було обрано рівною 12.8 мкс. Використовувався циклічний префікс, який становив 25 % тривалості OFDM сигналу. Оскільки в CMT, SMT та SEFDM сигналах циклічний префікс не використовується, то тривалість символів було обрано рівною 16 мкс. В такому разі при різній сигнальній швидкості швидкість передачі інформації для усіх дослідних систем зв'язку буде однаковою.

Кількість носійних частот було обрано 256. Ширина смуги однієї носійної для OFDM становила $1/12.8 \text{ мкс} = 78.125 \text{ кГц}$. При цьому для передачі використовувалося тільки 200 носійних, інші 56 використовувалися як захисний інтервал – по 28 з кожного боку. Ширина спектру для 200 носійних становила 15.625 МГц, ширина захисного інтервалу з кожного боку становила 2.1875 МГц. Загальна ширина спектру сигналу склала 20 МГц.

Для методів CMT, SMT і SEFDM захисний інтервал може бути набагато меншим або взагалі не використовуватися. Але для проведення порівняльного аналізу було прийнято рішення алгоритм формування спектру не міняти: 200 смуг по $1/16 \text{ мкс} = 62.5 \text{ кГц}$, тобто 12.5 МГц, та 2 захисних інтервали по $28/16 = 1.75 \text{ МГц}$. Отже, загальна ширина спектру сигналу для CMT, SMT і SEFDM склала 16 МГц.

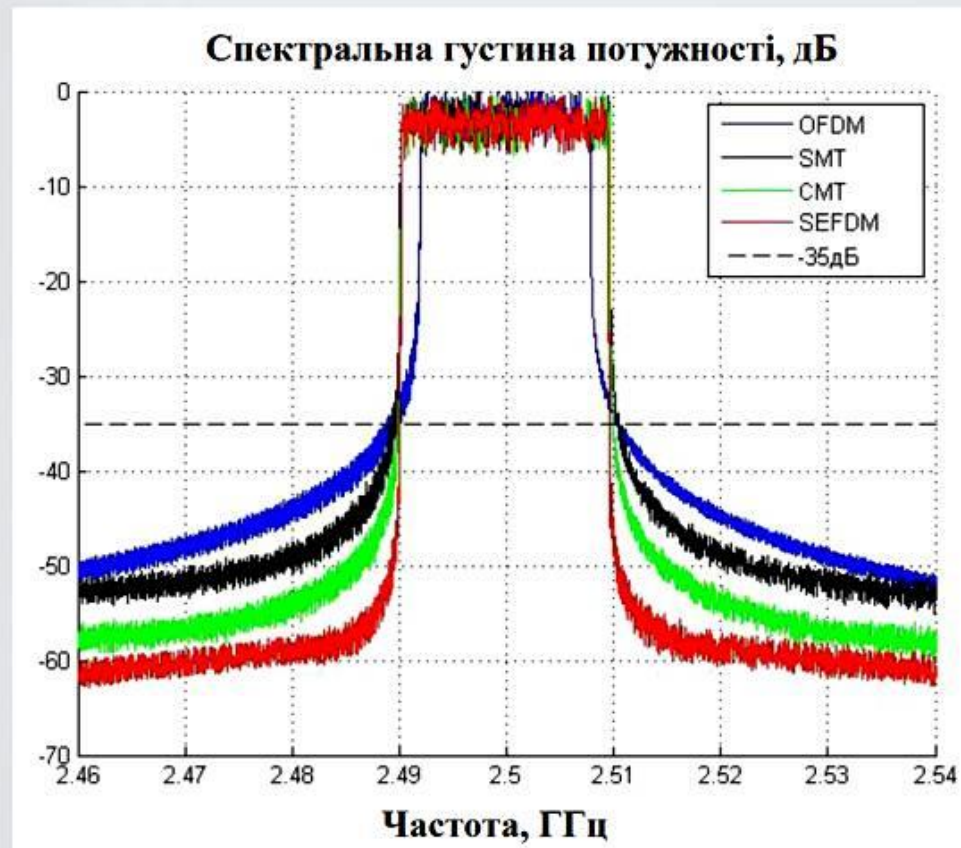
СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ OFDM, CMT, SMT ТА SEFDM СИГНАЛІВ

Сигнал	Ширина смуги за рівнем -35 дБ	Спектральна ефективність біт/с/Гц	Спектральна ефективність %
OFDM	20.7	2.26	57
OFDM без циклічного префікса	20.7	3.02	75
SMT	17.2	2.91	73
CMT	16.3	3.07	77
SEFDM	15.9	3.14	79



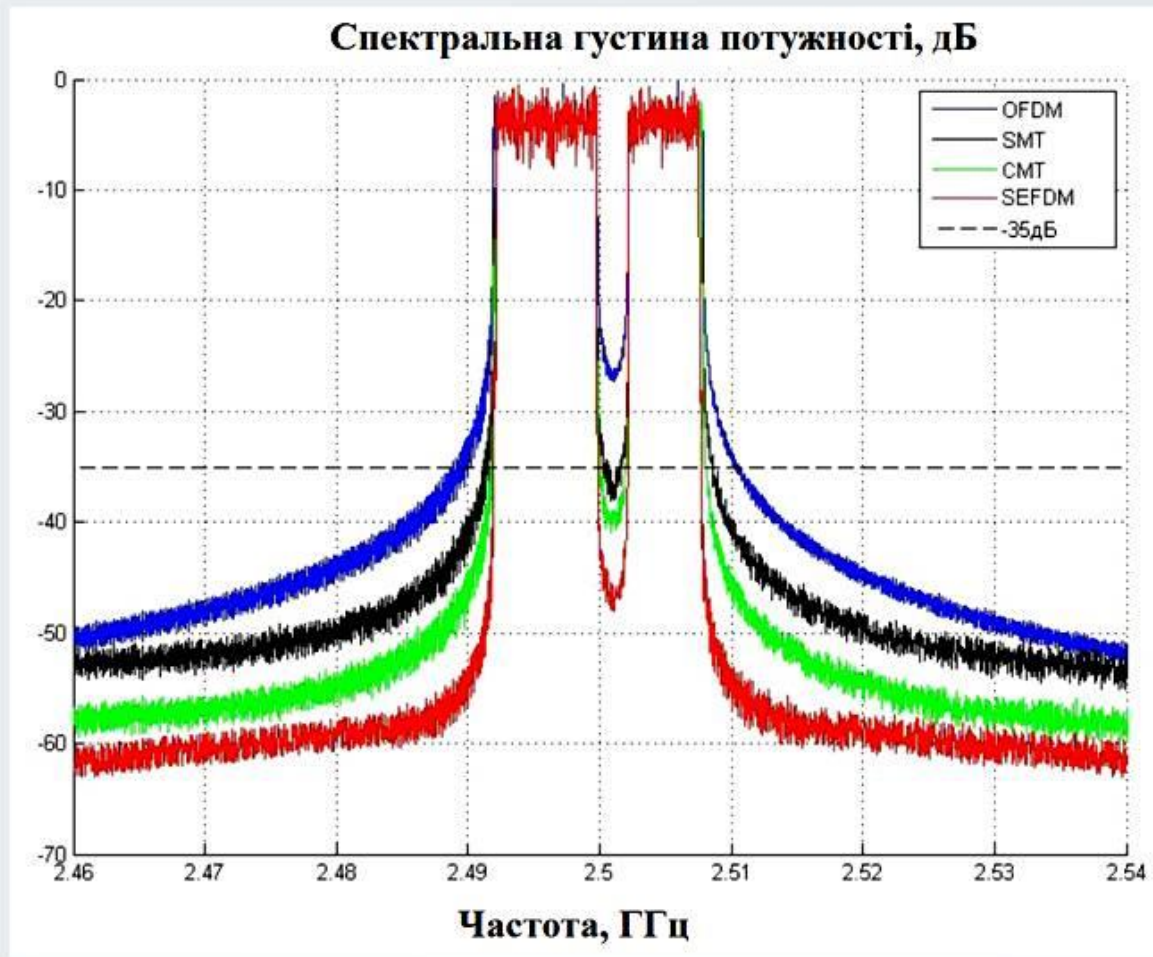
Спектральна ефективність 100%
відповідає максимально можливій
за Шеноном спектральній ефективності
4 біт/с/Гц для ширина смуги 15.625 МГц.

СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ OFDM, SMT, SMT ТА SEFDM СИГНАЛІВ



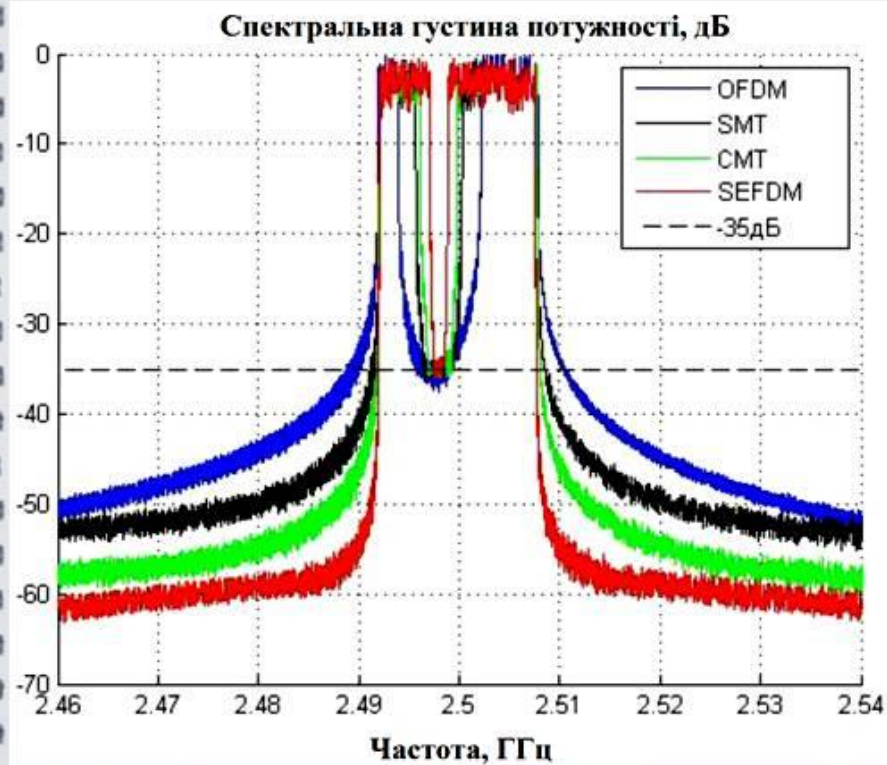
Сигнал	Кількість носійних
OFDM	194
OFDM без циклічного префікса	194
SMT	232
CMT	240
SEFDM	248

СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ OFDM, SMT, SMT ТА SEFDM СИГНАЛІВ

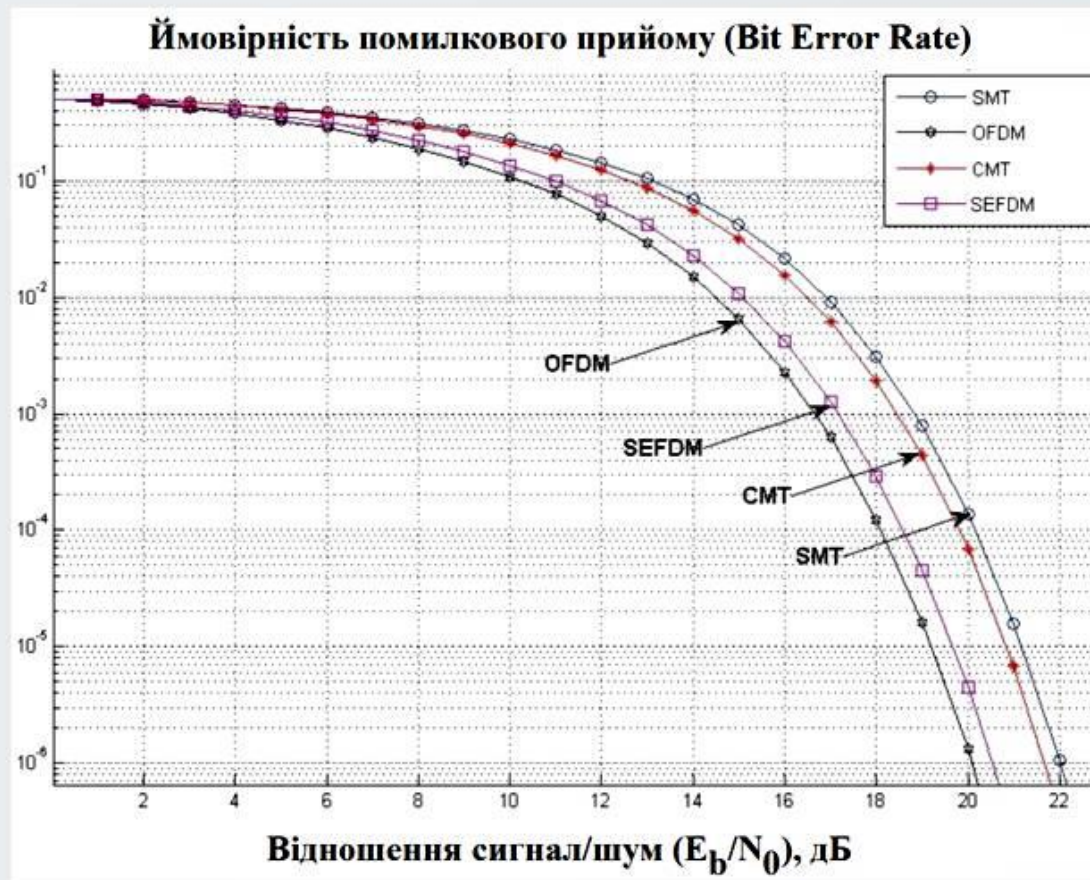


СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ OFDM, CMT, SMT ТА SEFDM СИГНАЛІВ

Характеристика	Сигнал			
	OFDM	SMT	CMT	SEFDM
Кількість «обнулених» носійних	84	42	34	19
Відсоток всіх носійних	42	21	17	10
Ширина займаної смуги частот, МГц	17.2	14.6	14.3	14.9
Ширина порожньої області в спектрі, МГц	3.5	2.6	2	1.1



ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ OFDM, CMT, SMT ТА SEFDM СИГНАЛІВ



ВИСНОВКИ

1. В кваліфікаційній роботі досліджено спектральну ефективність та завадостійкість багаточастотних сигналів у системах широкосмугового радіодоступу. В дослідженнях спектральної ефективності оцінювались смуга частот, рівень бічних пелюсток, можливість формування порожньої області в ліцензованому частотному інтервалі. В дослідженнях завадостійкості оцінювалось необхідне відношення сигнал/шум для забезпечення рівня помилкового прийому 0.000001.

2. В процесі аналізу ході OFDM сигналів було виявлено наступне. Сигнали з OFDM є високочутливими до розстроювання частоти і фазового шуму, що спостерігаються в синтезаторах частот. Також у разі появи значного доплерівського ефекту в OFDM сигналі відбувається зміна значення центральної носійної частоти, що призводить до порушення ортогональності його носієвих частот. При значній кількості носієвих високі значення пікової потужності при порівняно низькому рівні середньої потужності негативно позначаються на роботі підсилювачів. Вплив амплітуди вхідного сигналу на нелінійну ділянку амплітудної характеристики підсилювача призводить до виникнення нелінійних спотворень на виході підсилювача. Третій недолік технології OFDM полягає у високому рівні позасмугових випромінювань сигналів, отже, дані сигнали можуть бути прийняті в суміжних смугах частот. Таким чином, сигнали з OFDM не є перспективними для роботи в системах широкосмугового доступу через вкрай неефективне використання спектру та порівняну з іншими сигналами завадостійкість.

3. Сигнал з SEFDM у всіх дослідженнях спектральної ефективності показав найкращі результати серед інших сигналів, поступившись лише 0.5 дБ за значенням завадостійкості OFDM сигналу.

4. За спектральною ефективністю та завадостійкістю з незначним погіршенням відносно сигналів з SEFDM розташувались сигнали, засновані на баках фільтрів FBMC: CMT та SMT. У ході дослідження дані сигнали показували приблизно рівні результати спектральної ефективності та завадостійкості. Також варто зазначити, що сигнали з CMT були завжди трохи кращими за сигнали з SMT, але не більше ніж на 10%.

5. За результатами проведених досліджень сигнали з SEFDM і CMT найкраще підходять для формування сигналу в системах широкосмугового радіодоступу.

Номер документа		Позначення			Найменування	Прим.		
					Текстові документи			
1					Пояснювальна записка	90 с.		
					Графічний матеріал			
2					Технічні вимоги до мереж 5G	А4 ел.ф.		
3					Методи ортогонального та	А4 ел.ф.		
					квазіортогонального множинного			
					доступу			
4					Методи неортогонального	А4 ел.ф.		
					множинного доступу			
5					Orthogonal Frequency	А4 ел.ф.		
					Division Multiplexing (OFDM)			
6					Spectrally Efficient Frequency	А4 ел.ф.		
					Division Multiplexing (SEFDM)			
7					Filter Bank Multicarrier (FBMC)	А4 ел.ф.		
8					Cosine Modulated Multitone (CMT) та	А4 ел.ф.		
					Staggered Multitone (SMT)			
9-13					Спектральні характеристики OFDM,	5хА4 ел.ф.		
					CMT, SMT ТА SEFDM сигналів			
14					Енергетичні характеристики OFDM,	А4 ел.ф.		
					CMT, SMT ТА SEFDM сигналів			
15					Висновки	А4 ел.ф.		