

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Кафедра електроніки і комп'ютерних технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

«Інфокомунікаційний пристрій з технологією радіодоступу ІМТ-2020»

Завідувач кафедри

А.С. Опанасюк

Керівник роботи

О.В. Бережна

Студент групи

О.М. Гагіна

Суми

2021 р.

Сумський Державний Університет
Факультет ЕІТ
Кафедра «Електроніки і комп'ютерної техніки»
Спеціальність 6.172 «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. Кафедрою Е і КТ
Опанасюк А.С.

«__» _____ 2021р.

Завдання

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Гагіній Оксані Миколаївні

Тема роботи: «Інфокомунікаційний пристрій з технологією
радіодоступу ІМТ-2020»

1. Затверджено наказом по університету від «05.04.2021 р» № 0154 - VI

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 30.05.2021р.

3. **Вихідні дані до роботи:** Технологія передачі даних – відповідно до стандарту ІМТ-2020. Сфера застосування пристрою – інформаційні мережі. Завадостійкий код - циклічний. При розробленні застосувати елементи типу «Система на кристалі» (SoC).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної

- Вступ
- Огляд літератури та постановка завдання.
- Розробка алгоритму функціонування та структурної схеми проєктованого пристрою.
- Розробка схеми електричної функціональної.. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу:

- 1 Схема алгоритму.
- 2 Схема електрична структурна.
- 3Схема електрична функціональна.
4. Слайди за тематикою роботи

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Огляд технічної літератури	20.04.21	
2.	Розробка алгоритму функціонування та структурної схеми	30.04.21	
3.	Розрахунок вузлів та блоків пристрою та розробка схеми електричної принципової	10.05.21	
4.	Оформлення графічної частини	11.05.21	
5.	Оформлення пояснювальної записки	15.05.21	
6.	Рецензування та підготовка до захисту	30.05.21	

Студент-дипломник _____

Керівник проекту _____

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	5 Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 80 аркушів, 8 джерел, 38 рисунків.

Графічна частина містить: блок-схему алгоритму роботи пристрою, структурну, функціональну електричну схеми

Пояснювальна записка містить три розділи: огляд літератури, розробка структурної схеми пристрою та алгоритму його функціонування, розробка функціональної схеми Інфокомунікаційного пристрою з технологією ІМТ-2020

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	6 Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	6
1.1 ЩО ТАКЕ 5G, ТА ЯК З'ЯВИЛАСЬ ТЕХНОЛОГІЯ.....	6
1.2 АКТУАЛЬНІСТЬ МЕРЕЖІ.....	7
1.3 ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ 5G	9
1.4 АБОНЕНТСЬКІ МОДУЛІ 5G.....	10
1.5 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	17
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ ТА АЛГОРИТМУ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ.....	17
2.1 СТРУКТУРНА СХЕМА РАДІОДОСТУПУ ІМТ-2020	21
2.2 ОСНОВНІ ПОНЯТЯ МЕРЕЖІ В ПОРІВНЯННІ З 4G-LTE.....	24
2.3 ОГЛЯД ФІЗИЧНОГО РІВНЯ 5G-NR.....	29
2.4 ПЕРЕДАЧА СИСТЕМНОЇ ІНФОРМАЦІЇ (NR-MIB, NR-SIB)	33
2.5 КОРЕКТУВАННЯ ПОМИЛОК В МЕРЕЖАХ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ	34
2.7 АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРИСТРОЮ.....	44
3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ З ТЕХНОЛОГІЄЮ ІМТ-2020 НА БАЗІ МОДУЛЯ SIM8300G-M2.....	47
3.1 ІНТЕРФЕЙСНИЙ ДОДАТОК	51
ВИСНОВОК	65
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	66

ВСТУП

Розвиток інформаційного суспільства залежить від ефективності використання «розумних» систем на базі реалізації розподілених обчислювань. Ефективне вирішення цієї актуальної задачі залежить від алгоритмів, які забезпечують високу надійність та швидкість при обчислюванні та передачі даних, захист обладнання від завад та збоїв [7].

Оскільки ми обмінюємося великою кількістю даних в наших мережах та є нетерпінням чекаємо появу більшої кількості підключених пристроїв, які обіцяють більш високий рівень соціальних мереж, наші технологічні підходи повинні масштабуватись, щоб підтримати цю еволюцію. Тому, в наш світ стали впроваджувати різні інфокомунікаційні системи. Найбільш розповсюдженими стали: 3G та 4G, а з 2015 року стали впроваджувати системи п'ятого покоління – 5G, з технологією радіодоступу IMT-2020.

Це нове покоління мобільного зв'язку, що володіє рядом принципових переваг в порівнянні з 4G:

- Більш висока швидкість передачі даних;
- Низька затримка сигналу;
- Можливість підключення більшого числа девайсів ;
- Висока енергоефективність;
- Багаторазово зросла пропускна здатність;
- Висока мобільність користувачів.

Хоча технологія 5G досліджується та концептуалізується для рішення всіх проблем радіосигналу і труднощів мобільного зв'язку, але виділяють декілька мінусів, в яких є ризики інформаційної безпеки :

- Швидкий розвиток IoT неминує тягне приріст ботнет мереж і збільшення масштабів DDoS атак, в тому числі направлені на збільшену полосу пропускання.
- Створення 5G мереж потребує активного впровадження IPv6, що несе свої ризики – в першу чергу збільшення мережевої видимості пристроїв
- IoT – технології є носіями екстремальної - персональної інформації , та є слабо захищеними

Дослідження показали, що використовуючи технологію E-UTRAN New Radio Dual Connectivity, вдалося досягти показника в 5,23 Гбіт/с. За оцінками

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

експертів, 5G – мережі до 90 % більш енергоефективні, чим мережі 4G. Також утверджується, що при використанні технології 5G покращиться безпечність та ефективність руху поїздів

Також при дослідженні мережі між швидкісним потягом з системою Shinkansen типу N700S та базовою станцією було виявлена можливість безпроводної передачі даних на швидкості вище 1 Гбіт/с, та послідовне перемикання обслуговування між трьома базовими станціями, розташованих вздовж шляхів. Утверджується, що при використанні технології 5G покращиться безпечність та ефективність руху поїздів. Дослідженнями доказано - при використанні технології E-UTRAN New Radio Dual Connectivity, вдалося досягти показника в 5,23Гбіт/с, що є до 90% більш енергоефективне, ніж мережі 4G.

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 РОЗВИТОК МЕРЕЖІ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Одна з важливих особливостей 5G - масштабна віртуалізація. Технологія, що виходить за рамки тільки апаратних рішень. Багато її функцій доступні не на рівні фізичної інфраструктури, а програмно.

Ключовим аспектом технології порядку з параметрами пропускної здатності мережі є продуктивний підхід. Частотні діапазони, конструктивні особливості станцій і програмні компоненти будуть адаптовані під потреби різних категорій споживачів - від користувачів гаджетів до промислових підприємств і міської інфраструктури.

У минулому кожне покоління мобільного зв'язку перевершувало попереднє в основному за рахунок фізичних характеристик. 5G розширює контекст, пропонуючи нове розуміння технології: інноваційну платформу, на базі якої багато галузей отримують додатковий імпульс для розвитку. Це означає появу абсолютно нових послуг, бізнес-моделей, типів взаємодії між пристроями, виробничими лініями і інфраструктурою.

Покоління мобільного зв'язку спочатку були досить загальноприйнятою концепцією, але ретроспективно хронологія їх розвитку виглядає так:

1G - ~ 1980. Аналоговий стільниковий зв'язок.

2G - ~ 1990 р. Перше покоління цифрових мобільних технологій: CDMA, GSM, TDMA. SMS як вбивча функція.

3G - ~ 2000. Мобільний широкосмуговий доступ, кілька мегабіт в секунду: EVDO, HSPA, UMTS;

4G - ~ 2010. Мобільний Інтернет широко доступний до гігабітних швидкостей: LTE, WiMAX.

Готуючись до розгортання мереж п'ятого покоління, ми найближчі до єдиного глобального стандарту. Він розробляється кількома міжнародними організаціями, серед яких:

- 3GPP

Консорціум який був заснований для стандартизації технологій 3G і став однією з провідних організацій галузі, що об'єднує міжнародні регуляторні органи та бізнес для спільної розробки бездротових стандартів.

- ITU-R

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Відділ комунікаційних технологій ООН, який контролює процес стандартизації технологій радіозв'язку та керує міжнародним радіочастотним спектром.

Робота над 5G розпочалася в 2015 році, коли ITU-R сформулював стандарт IMT-2020, який містить ключові вимоги до технологій наступного покоління. Порівняно з попереднім стандартом IMT-Advanced для 4G, вони мають такий вигляд:

Таблиця 1 – Стандарти IMT-2020

Параметри	4G	5G
Пікова швидкість завантаження	1 Гбіт/с	20 Гбіт/с
Швидкість завантаження для користувачів	10 Мбіт/с	100 Мбіт/с
Затримка	10 мс	4 мс (1 мс для URLLC)
Максимальна швидкість переміщення без втрати сигналу	350 км/год	500 км/год
Щільність підключення	100тис. пристроїв/кв.км	1 млн пристроїв/кв.км
Трафік на одиницю площі	0,1 Мбіт/с/кв.м	10 Мбіт/с/кв.м

1.2 АКТУАЛЬНІСТЬ МЕРЕЖІ

5G асоціюється з супершвидким інтернетом, AR / VR, розумним будинком та безпілотним транспортом. Однак, крім споживчого використання, ця технологія має і промисловий аспект. Крім того, головним замовником комунікацій нового покоління є корпоративний сектор. Сегмент IoT, включаючи промисловий сегмент, демонструє найшвидший ріст з точки зору трафіку даних та кількості пристроїв.

Глобальний досвід комерційного запуску мереж 5G показав, що ці абоненти зростають у кілька разів швидше, ніж 3G та LTE.

Network Slicing передбачає розділення фізичної архітектури 5G на кілька віртуальних мереж або шарів. Кожен мережевий рівень включає функції рівня управління, функції рівня користувацького трафіку та мережу радіодоступу (5G-NR або не 3GPP). На основі архітектури NFV / SDN кожен рівень має свої особливості і орієнтований на вирішення конкретної бізнес-проблеми. 3GPP визначає три стандартні мережеві рівні:

1. eMBB — Enhanced Mobile Broadband / Покращена Мобільна Широкопasmугова мережа

2. URLLC – Ultra Reliable and Low Latency Communications / Наднадійні

3. mMTC — massive Machine Type Communication / Масові міжмашинні комунікації

Для кожного з шарів підходить певний частотний спектр та інфраструктура:

- Радіохвилі в низькочастотній смугі до 1 ГГц добре працюють у закритих приміщеннях завдяки своїй здатності проникати. Вони дозволять використовувати IoT, розумний дім та системи M2M. Частота 700 МГц також може бути використана для забезпечення зв'язку у віддалених громадах.

- Середній спектр або mid – band frequencies (1 – 6 ГГц) поєднує в собі оптимальну ємність та покриття для первинного впровадження eMBB, а далі – URLLC та mMTC

- Міліметрові хвилі (> 24 ГГц) використовують увесь потенціал 5G. Пріоритетними сферами використання є зони з великим трафіком (гарячі точки), де накопичуються користувачі.

Release 16 3GPP додає до цього списку нові сценарії, зокрема:

- V2X (Vehicle-to-Everything) - передача даних із низькою затримкою між рухомими безпілотними транспортними засобами та хмарними центрами обробки даних при віддаленому адмініструванні та обслуговуванні

- Satellite access - супутниковий доступ.

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8



Рисунок 1.1 - Ретранслятори стільникового зв'язку 5G на стовпі

1.3 ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ 5G

Дуже багато вже сказано про сфери використання мережі 5G – так як це дуже популярна тема.

Ось основні сфери використання :

1. IoT
2. Безпілотний транспорт
3. Хмарні технології
4. Охорона здоров'я
5. Віртуальна та доповнена реальність (**VR/AR**)

Дивлячись у далеке майбутнє, з появою 5G будуть активно розвиватися «розумні» системи, такі як будинок, місто та виробництво. Варто згадати тенденцію використання голосових помічників. Крім того, із розширенням 5G штучний інтелект отримає друге життя і стане доступним для набагато більшої кількості користувачів.

1.4 АБОНЕНТСЬКІ МОДУЛІ 5G

5G-смартфони та планшети вже надійшли в продаж. Компанія SIMCom Wireless Solutions, з 2002 року спеціалізується на розробках і виробництві модулів стільникового зв'язку для M2M-ринку, в 2019 році анонсувала плани розширити продуктову лінійку модулями 5G.

Сьогодні портфолію модулів поповнено чотирма моделями: SIM8200G, SIM8200EA-M2, SIM8300NA (поки версія тільки для Північної Америки) і SIM8300G-M2

Всі чотири модулі побудовані на платформі SoC Snapdragon X55
Snapdragon 865

Snapdragon 865 (повна назва - «Qualcomm SDM865 Snapdragon 865») - флагманська мобільна система на кристалі (SoC) компанії Qualcomm, відмінною рисою нового SDM865 є процесори, що базуються на архітектурі ARM - Cortex A77. Дана однокристална схема позиціонується як високопродуктивна платформа для смартфонів і планшетів вищого цінового сегмента. Новий модем X55 5G дозволяє домогтися максимальної швидкості скачування (download) в 7 Gbps і максимальної швидкості вивантаження (upload) до 3 Gbps. Іншою особливістю чіпсета стане підтримка оперативної пам'яті стандарту LPDDR5 з максимальною частотою 2750 МГц.

Snapdragon 865 - це 64-розрядна SoC. Процесори (ЦП) у наборі мікросхем називаються процесорами Qualcomm Kryo 585, їх розміщення 1 + 3 + 4, а їх склад такий:

- 1x: Cortex A77 2,84 ГГц;
- 3x : Cortex A77 2,42 ГГц;
- 4x: Cortex A55 1,8 ГГц.

Snapdragon 865 буде оснащений основним ядром ARM Cortex A77 з тактовою частотою 2,84 ГГц, а також трьома іншими ядрами 2,47 ГГц A77 та чотирма ядрами Cortex A55 з частотою 1,8 ГГц. Ядра Cortex A77 традиційно тут називають Kryo Gold, тоді як ядра A55 - Kryo Silver. У презентації виробник заявив, що процесор на 25% швидший, ніж Snapdragon 855+

Іншими словами, SD865 побудований за схемою 1 + 3 + 4, ось його блок-схема:

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

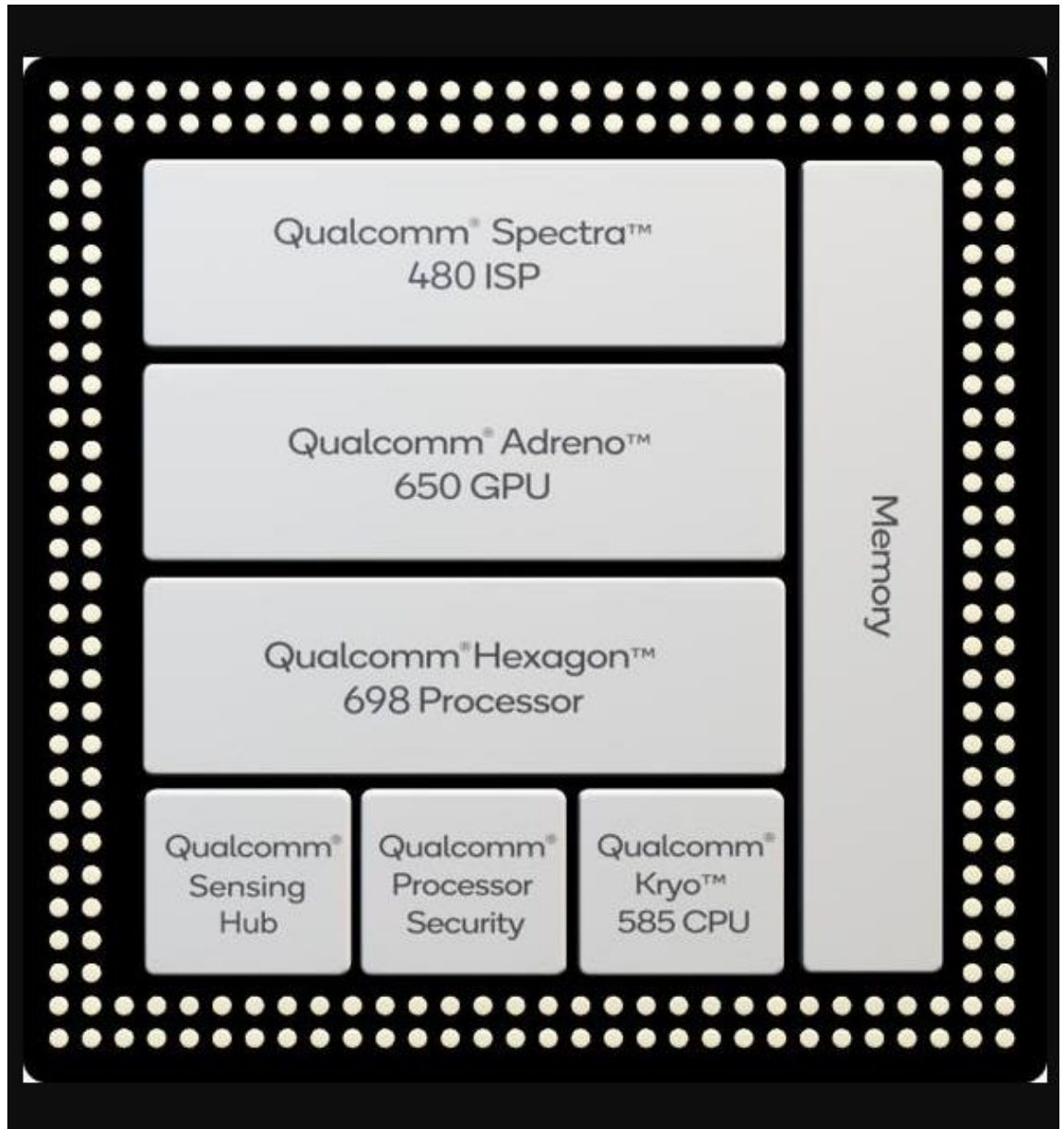


Рисунок 1.2 - Схема чіпсета Snapdragon 865 і його склад

Arm Cortex-A77 - все, що потрібно знати

Компанія ARM сьогодні представила нову архітектуру процесора ARM Cortex-A77, а також нове графічне ядро ARM Mali-G77 та процесор машинного навчання ARM, які, за словами розробників, призначені для використання в мережеві пристрої. 5G. ARM Cortex-A77 забезпечує розширені можливості ML (машинне навчання) та AR / VR (доповнена / віртуальна реальність) завдяки 20-відсотковому збільшенню продуктивності IPC (міжпроцесорного зв'язку) порівняно з пристроями Cortex-A76. Завдяки поєднанню апаратної та

програмної оптимізації загальна продуктивність ML зросла у 35 разів за останні два покоління процесорів Cortex-A7x (Cortex-A76 та Cortex-A77)

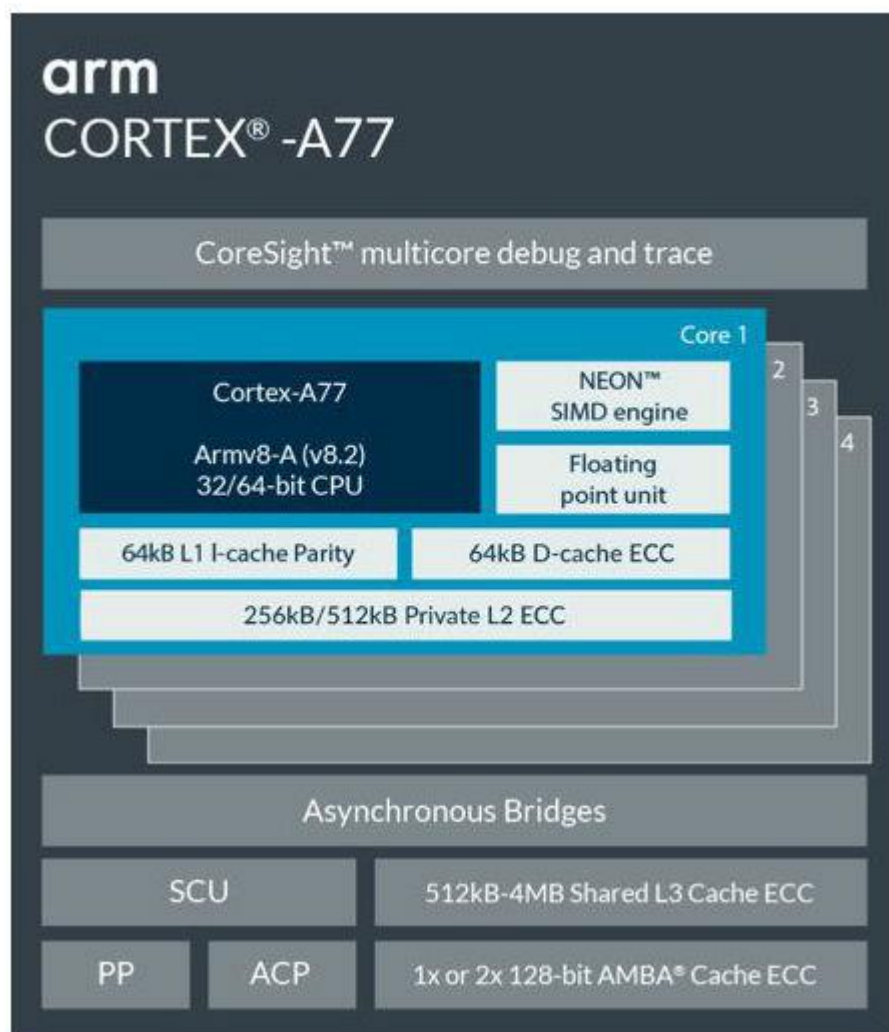


Рисунок 1.3 - Arm Cortex-A77

Основні функції процесора:

- 64-розрядний процесор Armv8 з підтримкою розширень Armv8.1 та Armv8.2, а також Armv8.3 (лише з інструкціями LDAPR)
- До 4 процесори на кластер
- Кеш-пам'ять 64 Кб L1 I-Cache / D-Cache, 256 Кб до 512 Кб кеш-пам'яті L2, ще 512 Кб до 4 Мб кеш-пам'яті L3
- Покращена продуктивність мобільних пристроїв та ноутбуків, включаючи ігри AAA, як а також пришвидшення перегляду веб-сторінок та запуску програм

- Додає набір функцій мобільних ноутбуків, таких як завжди включені та підключені

- Сумісність із нещодавно анонсованим процесором Mali-G77 та машинним навчанням (ML)

Архітектура Arm Cortex-A77

Основні зміни порівняно з Cortex-A76

- Уявлення

- Збільшення IPC (сама рука повідомляла про 20% IPC у тестах SPEC CPU2006 / SPEC CPU2017)

- Зовнішній інтерфейс

- Прогнозування гілки

- Підвищена точність

- Удвічі більше вікно тригера (64В, було 32В)

- В 1,33 рази більша ємність ВТВ (запис 8К замість 6К)

- В 4 рази більша ємність L1 BRB (64 входи замість 16)

- Покращено попереднє завантаження

- Новий буфер L0 MOP

- в 1,5 рази ширша вибірка інструкцій (6 інструкцій / цикл замість 4)

- Механізм виконання

- в 1,5 рази ширша вибірка інструкцій (6 Insta./Cycle замість 4)

- в 1,0 рази ширше декодування (4 напрямки)

- в 1,5 рази ширше rename / comit (6 -way замість 4-стороннього)

- Відновлення з меншою затримкою від помилкового передбачення

гілки

- в 1,25 рази більший ROB (160 замість 128 записів)

- 1,25 рази ширша експедиція (в 10 разів більша ніж 8x)

- в 1,5 рази ширше запитання (12 позицій замість 8 позицій)

- Блоки виконання

- черга завдань (IQ) тепер уніфіковано для цілих чисел

- черга завдань (IQ) тепер уніфікована для номерів із плаваючою

КОМОЮ

- Новий цілочисельний блок і порт ALU

- Нова гілка та порт

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

- Нові спеціальні порти даних магазину
- Додано новий блок AES
- Підсистема пам'яті
- Черга завдань (IQ) тепер об'єднана для підсистеми пам'яті
- 1,25 більшої буферної пам'яті (замість 85 записів з 68)
- 1,25 більший кеш (90 записів замість 72)
- вдвічі більше пропускної здатності для читання / зберігання
- Покращене попереднє завантаження
- Попереднє завантаження з інформацією про систему
- Підвищена стійкість до різних реалізацій підсистеми пам'яті
- Динамічна відстань / агресивність

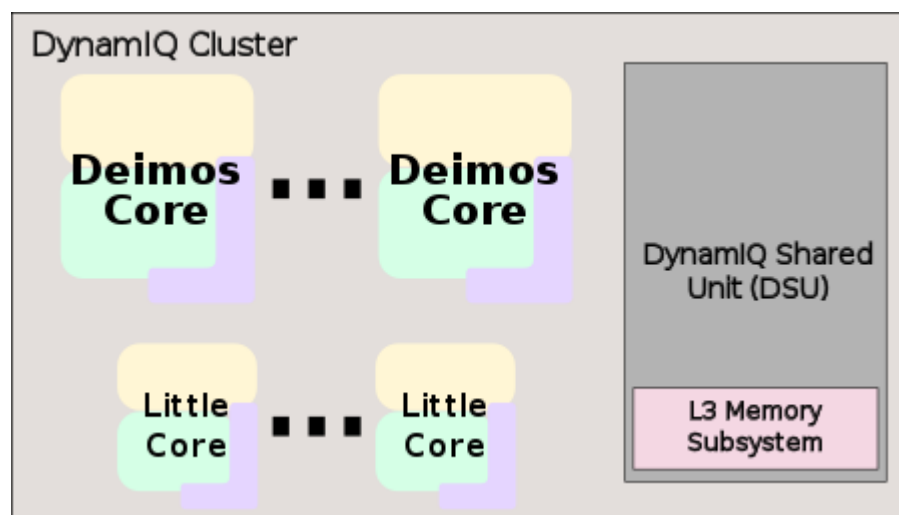


Рисунок 1.4 - Типовий SoC

Завдання проектування

Ядро Cortex-A77 поставляється у вигляді синтезованого опису на рівні передачі регістрів (RTL) у Verilog HDL. Перш ніж використовувати ядро Cortex-A77, його потрібно впровадити, інтегрувати та запрограмувати. Кожне з наступних завдань може виконувати інша сторона. Кожне завдання може включати реалізацію та інтеграцію, що впливають на поведінку та можливості ядра.

Завдання проектування

Ядро Cortex-A77 поставляється у вигляді синтезованого опису на рівні передачі регістрів (RTL) у Verilog HDL. Перш ніж використовувати ядро Cortex-A77, його потрібно впровадити, інтегрувати та запрограмувати. Кожне з наступних завдань може виконувати інша сторона. Кожне завдання може включати реалізацію та інтеграцію, що впливають на поведінку та можливості ядра

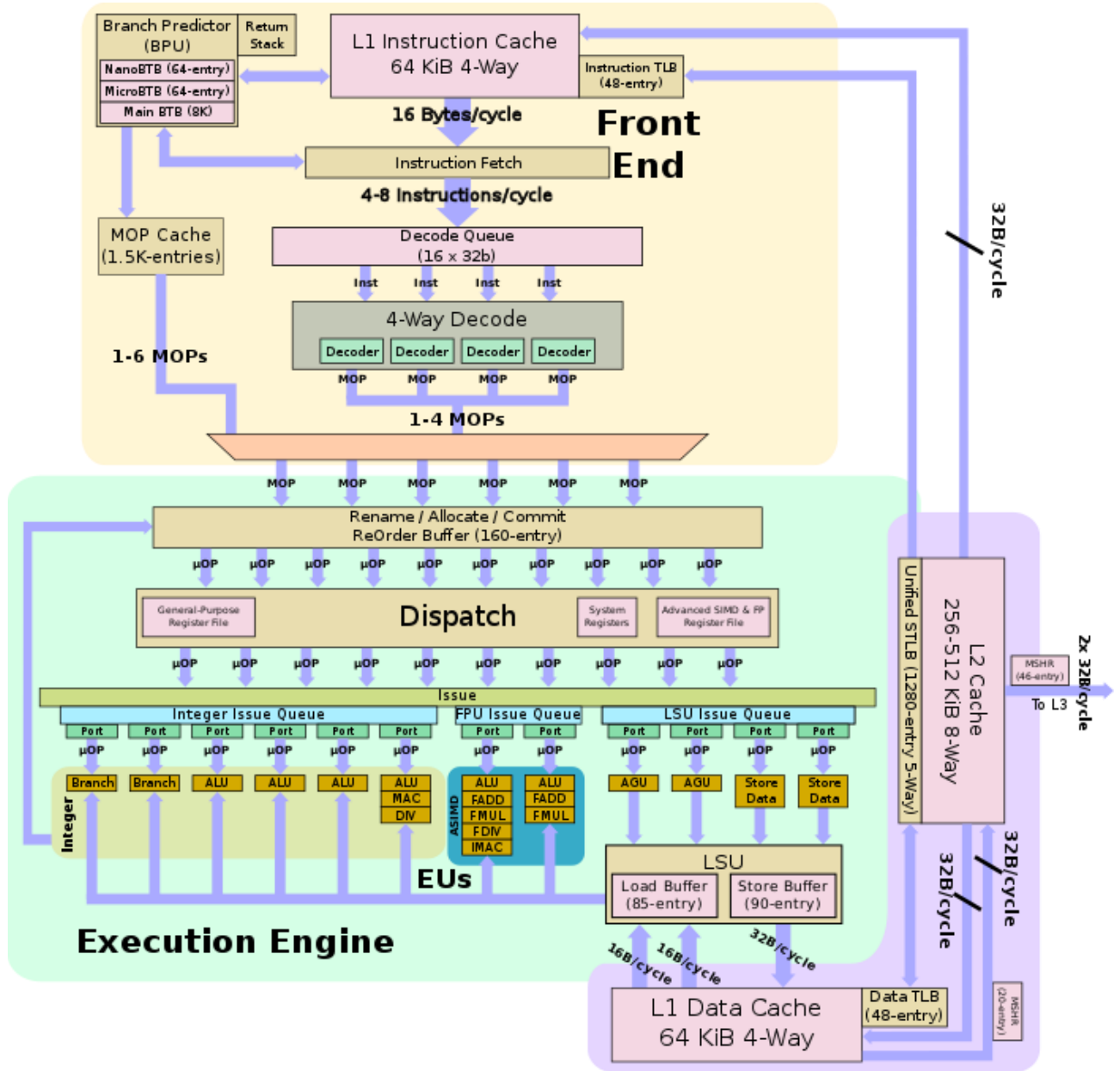


Рисунок 1.5 - Індивідуальне ядро

Завдання проектування

Ядро Cortex-A77 поставляється у вигляді синтезованого опису на рівні передачі регістрів (RTL) у Verilog HDL. Перш ніж використовувати ядро Cortex-

A77, його потрібно впровадити, інтегрувати та запрограмувати. Кожне з наступних завдань може виконувати інша сторона. Кожне завдання може включати реалізацію та інтеграцію, що впливають на поведінку та можливості ядра

Реалізація

Реалізатор налаштовує та синтезує RTL для створення надійної макроячейки. Це завдання передбачає інтеграцію оперативної пам'яті в проект

Інтеграція

Інтегратор підключає макроелемент до SoC. Це завдання передбачає підключення до пам'яті через систему пам'яті та периферійні пристрої

Програмування

На останньому кроці програміст створює програмне забезпечення для налаштування та ініціалізації ядра та тестування прикладного програмного забезпечення. ядро та протестуйте прикладне програмне забезпечення.

Робота терміналу залежить від наступного:

- Конфігурація збірки.

Виконавець вибирає параметри, що впливають на попередню обробку вихідних файлів RTL.

Ці параметри зазвичай включають або виключають логіку, яка впливає на одну або кілька областей, максимальну площу, максимальну частоту та властивості результуючої макроячейки

- Входи конфігурації

Інтегратор конфігурує деякі функції ядра, прив'язка входів до конкретних значень. Ці налаштування конфігурації впливають на поведінку запуску перед виконанням будь-якої конфігурації програмного забезпечення.

Вони можуть також обмежувати функції, доступні для програмного забезпечення.

- Конфігурація програмного забезпечення

Програміст налаштовує ядро, програмуючи певні значення В реєстрах. Вибір конфігурації на місці впливає на поведінку ядра.

1.5 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Отже, метою роботи є розробка інфокомунікаційного пристрою з технологією радіодоступу ІМТ-2020, який повинен забезпечувати функціонування інформаційних мереж із використанням цієї технології, підвищення швидкості та стабільності обміну інформацією між абонентами інформаційної мережі.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступне:

1. Визначити основні функції та завдання, які повинен виконувати інфокомунікаційний пристрій з технологією радіодоступу ІМТ-2020.
2. Розробити алгоритм функціонування інфокомунікаційного пристрою.
3. Розробити схему електричну структурну пристрою.
4. Розробити схему електричну функціональну інфокомунікаційного пристрою з технологією радіодоступу ІМТ-2020.

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ ТА АЛГОРИТМУ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ

5G (від англ. Fifth generation - п'яте покоління) - покоління мобільного зв'язку, що діє на основі стандартів телекомунікацій, наступних за існуючою технологією 4G-LTE. Початок стандартизації мереж 5G поклав семінар 3GPP, що пройшов у вересні 2015 року в США, де були визначені плани з підготовки специфікацій. Відповідно до цих планів 1-ша фаза специфікацій повинна бути завершена до другої половини 2018 року (в рамках релізу 15 3GPP), 2-а фаза - до грудня 2019 року (в рамках релізу 16 3GPP). З тих пір у відповідності до вимог учасників ринку плани були скориговані і в грудні 2017 року було завершено стандартизація так званої Non-Stand-Alone архітектури побудови 5G. Поточний план-графік стандартизації показаний на рисунку 2.1

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

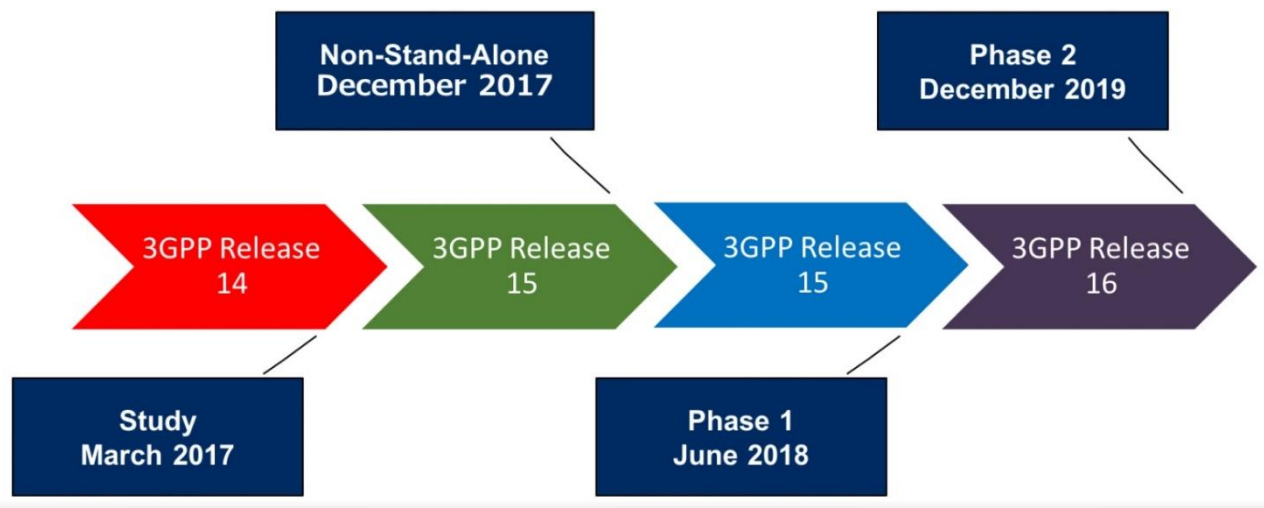


Рисунок 2.1 - Стандартизація мереж 5G

Основними «фішками», що характеризують мережі мобільного зв'язку п'ятого покоління є:

- понадширокосмуговий мобільний доступ (enhanced Mobile Broadband, eMBB),
- ультранадійний зв'язок з низькими затримками (Ultra-Reliable and Low Latency Communications, URLLC),
- масовий міжмашинний зв'язок (massive Machine Type Communications, mMTC).

Ключові принципи архітектури мережі 5G полягають в наступному:

- Поділ мережевих вузлів на елементи, що забезпечують роботу протоколів «площині користувача» (UP - User Plane) і елементи, що забезпечують роботу протоколів «площині управління» (CP - Control Plane), що значно збільшує гнучкість в частині масштабування і розгортання (допускаючи централізоване і децентралізоване розміщення окремих складових мережевих вузлів).
- Поділ мережевих елементів на мережеві шари (Network Slicing), ґрунтуючись на послуги, що надаються конкретним групам кінцевих користувачів.
- Реалізація мережевих елементів у вигляді віртуальних сеті функцій - VNF (Virtual Network Functions)

- Підтримка одночасного доступу до централізованих і локальних службам, що дозволяє реалізовувати концепції хмарність их (fog computing) і прикордонних (edge computing) обчислень.
- Визначення конвергентної архітектури, що об'єднує різні типи мереж доступу (AN - Access Network) - 3GPP (New Radio - NR) і не 3GPP (WiFi та ін.) з єдиною опорною мережею (CN - Core Network).
- Підтримка єдиних алгоритмів і процедур аутентифікації (в не залежності від типу мережі доступу).
- Підтримка мережевих функцій без збереження стану (stateless), де обчислювальний ресурс відділений від ресурсу зберігання.
- Підтримка роумінгу з маршрутизацією трафіку як через домашню мережу (Home routed), так і з локальним приземленням (Local breakout) в гостьовій мережі (VPLMN).

В архітектурі 5G взаємодія між мережевими функціями представлено двома способами:

- сервіс-орієнтоване, коли одні мережеві функції (наприклад, AMF) дозволяють іншим авторизованим мережних функцій отримувати доступ до їх сервісів.
- частиною інтерфейсу, яке показує яка взаємодія існує між сервісами втратити зв'язок із мережею, описаних як взаємодія точка-точка (наприклад, інтерфейс N11) між будь-якими двома мережевими функціями (наприклад, AMF і SMF).

Мережеві функції на площині управління 5G повинні використовувати тільки сервіс орієнтовані інтерфейси для їх взаємодії.

Мережа 5G включає в себе наступні основні програмні модулі і мережеві функції (NF):

- функція управління доступом і мобільністю (AMF - Access and Mobility Management Function);
- функція управління сесіями (SMF - Session Management Function);
- функція передачі даних користувачів (UPF - User Plane Function);
- модуль управління даними користувачів (UDM - Unified Data Management);
- уніфікована база даних (UDR - Unified Data Repository);

- система зберігання неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data Storage Function);
- функція вибору мережевого шару (NSSF - Network Slice Selection Function);
- функція управління політиками (PCF - Policy Control Function);
- функція забезпечення взаємодії з зовнішніми додатками (NEF - Network Exposure Function);
- сховище втратити зв'язок із мережею (NRF - NF Repository Function);
- прикладна функція (AF - Application Function);
- функція підтримки обміну короткими текстовими повідомленнями за допомогою протоколу NAS (SMSF - SMS Function); { {1}} • функція взаємодії з не-3GPP мережею доступу (N3IWF - Non-3GPP InterWorking Function);

На Рис.2.2 зображена архітектура мережі 5G з точки зору сервіс-орієнтованої взаємодії різних мережевих функцій на плоскості управління

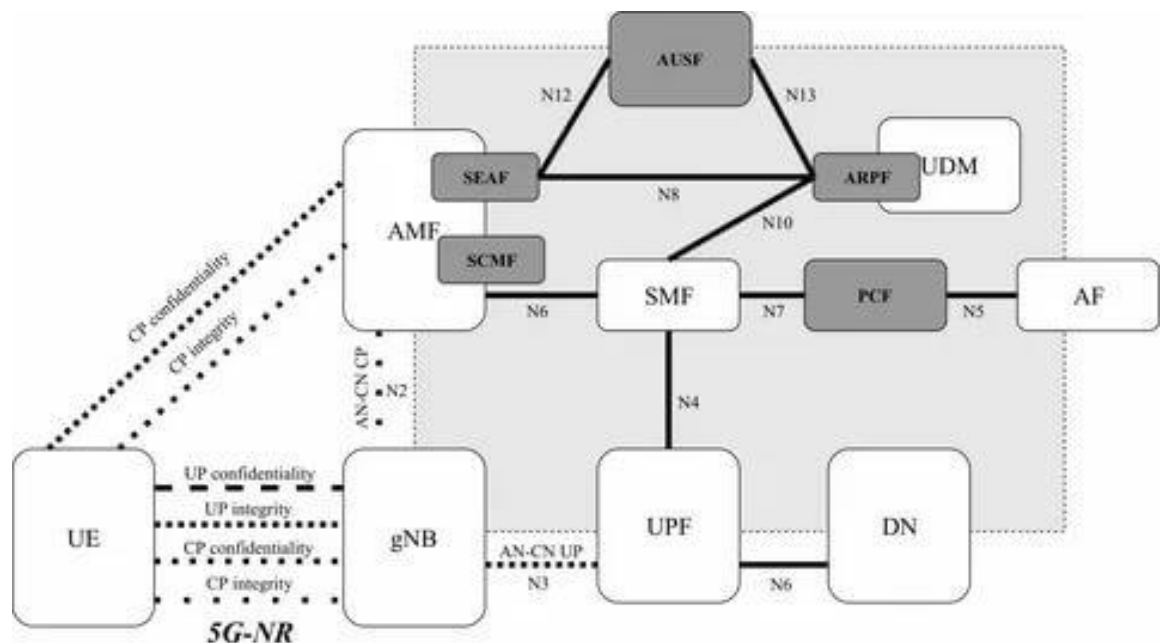


Рисунок 2.2 - Архітектура мережі 5G. Взаємодія втратити зв'язок із мережею.

На рисунку 2.3 зображено архітектура мережі 5G із зазначенням мережевих інтерфейсів. Для спрощення схеми на рис.3 не показані мережеві функції UDSF, SDSF, NEF і NRF, а також не показаний UDR

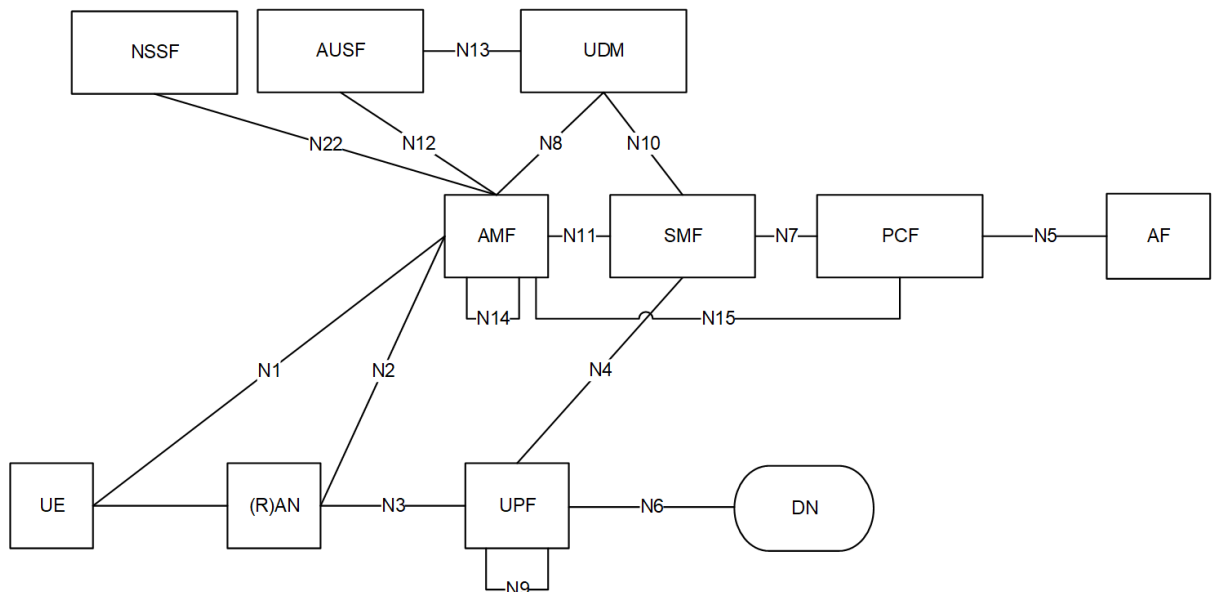


Рисунок 2.3 - Архітектура мережі 5G. Мережеві інтерфейси

2.1 СТРУКТУРНА СХЕМА РАДІОДОСТУПУ ІМТ-2020

Базові станції gNB утворюють мобільну мережу радіодоступу 5-го покоління (NR Radio Access). базова станція містить базовий блок (або BBU - модуль базової смуги), який все ще знаходиться на землі, і кілька радіомодулів (або RRU), розташованих поблизу антен мобільного зв'язку. BBU і RRU з'єднані оптичним кабелем, за допомогою якого реалізований загальний загальнодоступний радіоінтерфейс (CPRI). Радіомодуль виконує аналого-цифрове / цифро-аналогове перетворення, посилення та фільтрацію сигналу, створення радіочастотного тракту.

Стек мережевих протоколів радіодоступу

Структури стеків мережевих протоколів радіодоступу користувальницької площини та площини управління показані на рисунку 2.4

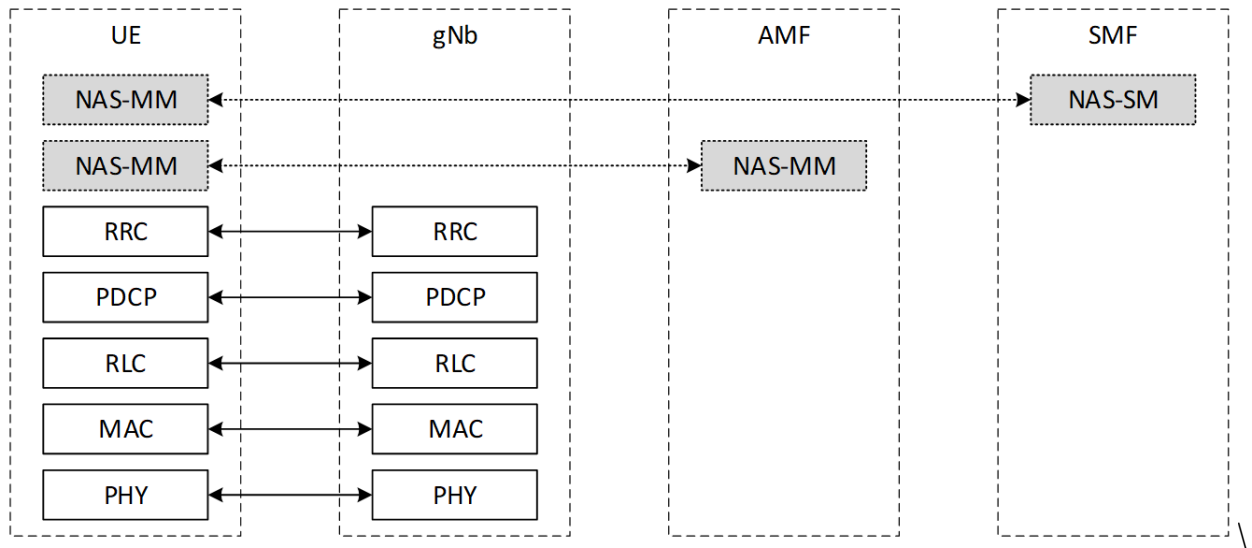


Рисунок 2.4 - Структури стеків мережевих протоколів радіодоступу

Коротко про основні функції, реалізовані на різних рівнях:

1. RRC (Radio Resource Control) - протокол управління радіоресурсами.

Основні функції, реалізовані на рівні RRC:

- передача системної інформації,
- управління підключенням RRC,
- управління механізмами мобільності між окремими RAT,
- налаштування вимірювання та звітності,
- передача сигнального трафіку, не пов'язаного з радіозв'язком (NAS - Non Access Stratum)

Основні зміни порівняно з рівнем RRC LTE S1 Інтерфейс пов'язаний із введенням нового стану RRC (RRC INACTIVE), який призначений для мінімізації обміну сигналами для певних класів постійно підключених пристроїв, а також із реалізацією механізму передачі частини системної інформації (SIB3. .n) не в ефірі, а у виділених каналах для певних пристроїв.

2. PDCP (протокол конвергенції пакетних даних)

Основні функції, реалізовані на рівні PDCP:

- передача даних користувача та даних площини управління,
- нумерація пакетів даних,
- шифрування та перевірка цілісності даних;
- перевпорядкувати пакети даних, видалити дублікати,
- повторити пакети даних для підвищення надійності передачі

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- маршрутизація маршруту «розділеного» віртуального каналу (розділений носій) у режимі подвійного підключення (лише для пакетів даних користувача)

- стиснення заголовків протоколів вищого рівня за методом ROHC (Надійне стиснення заголовків - лише для пакетів даних користувача)

- відкидання пакетів даних після discardTimer закінчення

3. RLC (Управління радіозв'язком)

RLC може працювати в одному з трьох режимів:

- прозорий режим (прозорий режим, TM);

- передача без підтвердження (непідтверджений режим, UM) ;

- передача з підтвердженням (режим підтвердження, AM)

Основні функції, реалізовані на рівні RLC:

- передача пакетів, сформованих вищим рівнем (PDCP PDU);

- нумерація пакетів даних незалежно від рівня PDCP,

- сегментація та десеґментація пакетів даних (лише режими AM та UM),

- виявлення та виправлення помилок при передачі RLC PDU за допомогою методу автоматичної повторної передачі - ARQ (лише режим AM),

- виявлення повторюваного PDU RLC (лише режим AM),

- видалення пакета даних на основі запиту вищого рівня PDCP - Відхилення RLC SDU (Тільки режими AM та AM) TM).

4. MAC (контроль доступу до медіа)

Основні функції, реалізовані на рівні MAC:

- відображення між логічним та транспортним каналами,

- мультиплексування MAC SDU, що належать до одного або декількох логічних каналів, до транспортні блоки (TB), передані на фізичний рівень,

- демультимплексування MAC-PDU, отримані в транспортних блоках з фізичного рівня,

- динамічне розподіл ресурсів з урахуванням терміналу користувача (UE) та логічного каналу пріоритети, а також повідомлення про перешкоди - функція планувальника

- Виявлення та виправлення помилок передачі MAC PDU за допомогою гібридного методу автоматичного повторного надсилання (HARQ)

Функція, що реалізує метод HARQ, умовно є частиною низький підшар - MAC, інші до підшару High-MAC

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

5. Фізичний рівень

Фізичний рівень реалізує функції, перелічені в наступній таблиці. Деякі функції (залежно від опції розбиття) умовно призначаються підрівню Low-PHY, інші - підшару High-PHY.

Таблиця 2 - Функції, які виконуються на фізичному рівні

Функции на физическом уровне		относим к Low-PHY		
		7-1	7-2	7-3
Downlink – DL	- вычисление CRC,			
	- канальное кодирование (channel coding),			
	- перемежение и выравнивание скорости (rate matching)			
	- скремблирование			X
	- модуляция		X	X
	- распределение по потокам (layers mapping)		X	X
	- <u>предкодирование</u>		X	X
	- распределение по ресурсным элементам (RE mapping)	X	X	X
	- обратное быстрое преобразование Фурье (IFFT)	X	X	X
	- вставка циклического префикса (CP)	X	X	X
Uplink – UL	- удаление циклического префикса (CP)	X	X	X
	- быстрое преобразование Фурье (FFT)	X	X	X
	- объединение данных из ресурсных элементов (RE de-mapping)	X	X	X
	- объединение данных из нескольких потоков (layers de-mapping)		X	X
	- де-модуляция		X	X
	- де-скремблирование			X
	- восстановление перемеженных данных (rate de-matching)			
	- канальное декодирование (channel de-coding)			

2.2 ОСНОВНІ ПОНЯТЯ МЕРЕЖІ В ПОРІВНЯННІ З 4G-LTE

Структура радіоінтерфейсу мережі 5G-NR

А) Нумерологія

5G-NR використовує піднесучі OFDM з різною шириною спектру - 15 кГц, 30 кГц, 60 кГц, 120 кГц і 240 кГц - див. Таблицю 3 (на відміну від мереж LTE, які використовують стандартний спектр піднесучих 15 кГц). Використання різних нумерологій відкриває широкий спектр можливостей для гнучкої

адаптації поведінки мережі при наданні певних послуг, таких як програми, критичні до затримки (URLCC). Речі для використання "вузьких" піднесучих.

Таблиця 3 – Використання піднесучих OFDM з різною шириною спектру

u (нумерологія)	$\Delta F=2^u \cdot 15$ [кГц]	Циклічний префікс
0	15 (відповідає LTE)	Normal
1	30	Normal
2	60	Normal, Extended
3	120	Normal
4	240	Normal

Б) Побудова кадру (кадр / підкадр / канавка)

- У 5G-NR передача даних у напрямках вище (за висхідною лінією - UL) та за нижчою течією (за нижчою лінією - DL) організована на основі кадрів тривалістю $T_f = 10$ мс;
 - кожен кадр розділений на 10 підкадрів, кожен з яких триває $T_{sf} = 1$ мс;
 - кожен підкадр також розділений на два поля (поле 0 та поле 1);
 - Кожен підкадр розділений на слоти; кількість слотів визначається спектральною шириною піднесучої (або нумерологією) і складається з 1, 2, 4, 8 або 16 слотів (на відміну від мереж LTE-FDD, де використовується одна структура з двома слотами на підкадр).

Таблиця 4 – Побудова кадру

Нумерологія (u)	0	1	2	3	4
Ширина піднесущої, кГц	15	30	60	120	240
Кількість слотів в субфреймі	1	2	4	8	16
Кількість слотів в фреймі	10	20	40	80	160
Тривалість слота, мс	1,0	0,5	0,25	0,125	0,0625
Тривалість символу мкс	66,7	33,3	16,6	8,33	4,17
Тривалість звичайного CP, мкс	4,7	2,41	1,205	0,6	0,3
Тривалість розширеного CP, мкс	-	-	4,2	-	-

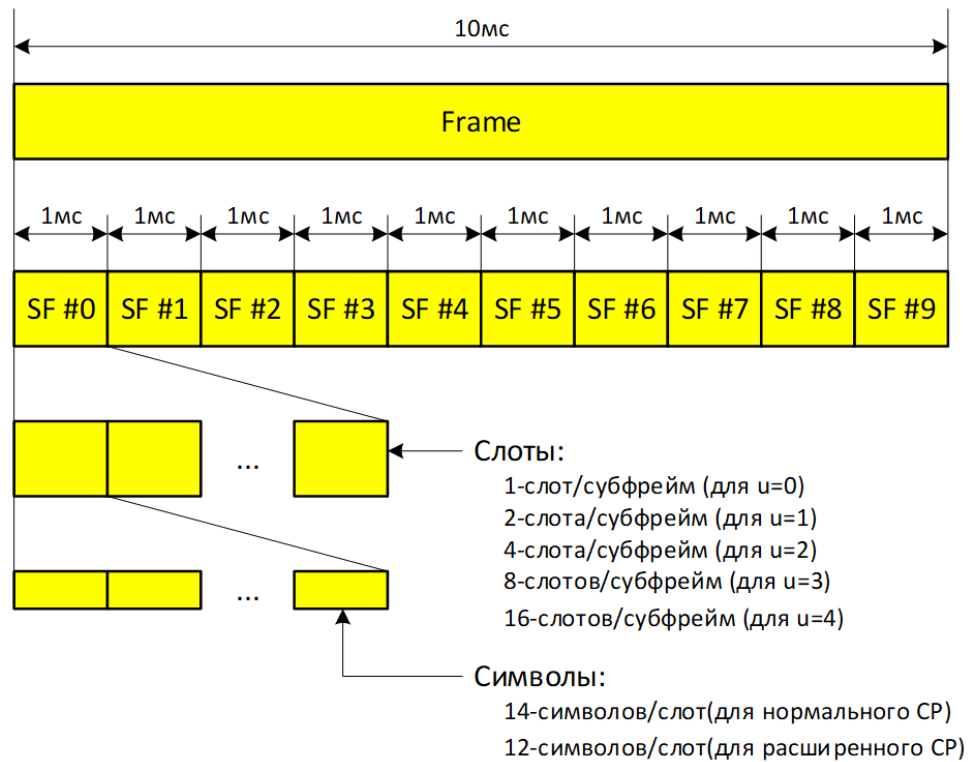


Рисунок 2.5 - Структура фрейму

В) OFDM-символы

У 5G-NR кількість OFDM-символів на слот (N_{slot}^{symb}) не залежить від нумерології, і, аналогічно мережам 4G-LTE, визначається лише типом циклічного префікса: 14 символів для звичайного і 12 - для розширеного префікса. На рисунку 2.6 показана схема символів OFDM в координатній мережі "частота" - "час".

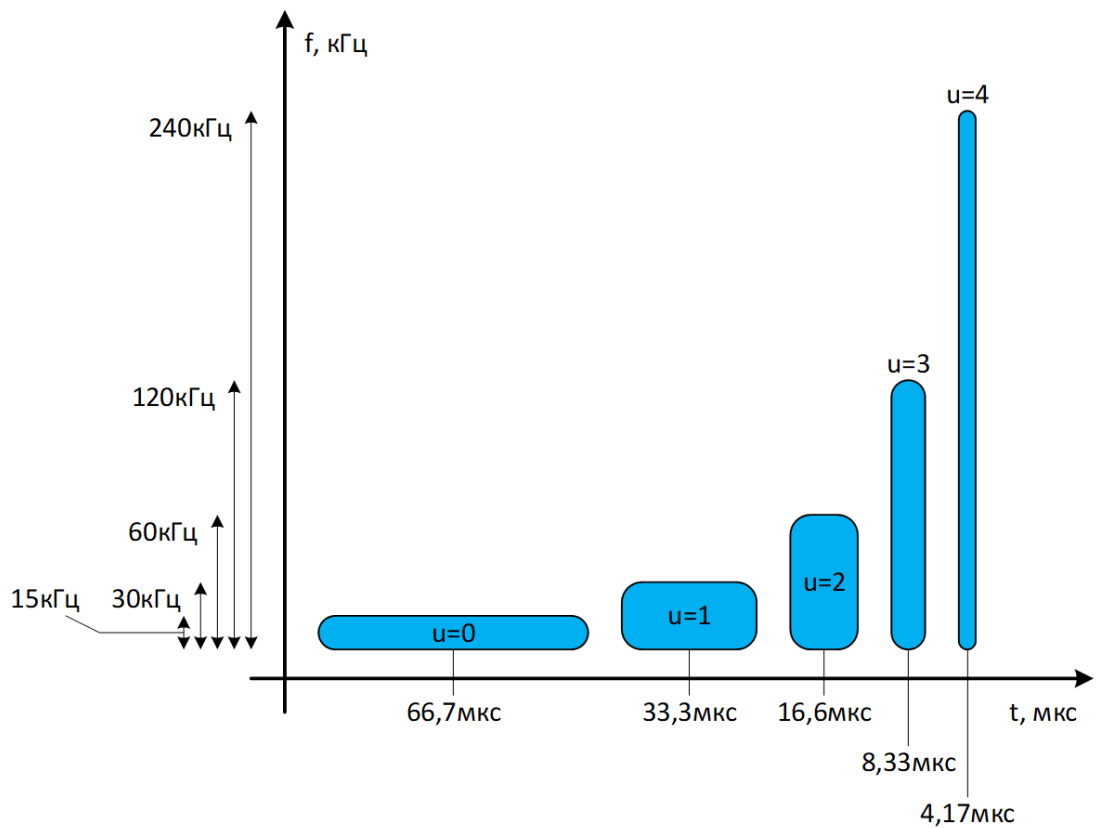


Рисунок 2. 5 - OFDM-символи

У 5G-NR розподіл між напрямками передачі (висхідна лінія - UL / низхідні канали DL) виконується на рівні символів (на відміну від мереж TD-LTE, де цей розподіл здійснювався на рівні субкадру), т. ј. в межах одного слота, деякі символи можуть використовуватися для організації UL, а деякі для DL.

Кожен символ OFDM в слоті може мати "низхідну лінію" або "D" (низхідну лінію), "висхідну лінію" або "U" (висхідна лінія.) та "гнучка" або "X" (гнучка конфігурація).

Г) Сітка ресурсів

Подібно до мережі 4G-LTE, РБ (Блок ресурсів) у мережах 5G-NR є одиницею частотно-часового ресурсу. Кожному абонентському терміналу присвоюється кількість блоків ресурсів передачі / прийому даних протягом періоду часу, який визначається системним планувальником. Кожен блок засобів у частотній області містить $N_{sc}^{RB} = 12$ сусідні піднесучі. Пропускна здатність одного блоку ресурсів залежить від використовуваної нумерології

Таблиця 5 – Нумерологія сітки ресурсів

u (нумерологія)	Піднесуча, ΔF [кГц]	N_{sc}^{RB}	Ресурсний блок W_{RB}^u [кГц]
0	15	12	180
1	30	12	360
2	60	12	720
3	120	12	1 440
4	240	12	2 880

У 5G-NR максимально дозволена смуга пропускання одного радіоканалу збільшена з 20 МГц до 100 МГц для радіочастотного блоку порівняно з мережами 4G-LTE. FR1 та на частоті 400 МГц для FR2. Інтервал охорони між двома сусідніми радіоканалами також був скорочений, що призвело до збільшення кількості доступних блоків ресурсів. У цьому випадку ширина захисного інтервалу визначається не тільки шириною частоти радіоканалу, але і пропускну здатністю піднесучої, що може призвести до асиметрії захисного інтервалу, якщо в одному радіоканалі використовується кілька числових одиниць.

2.3 ОГЛЯД ФІЗИЧНОГО РІВНЯ 5G-NR

1. Дуплекс

У мережах 5G-NR дуплекс частоти (FDD) і часу (TDD) використовується для розділення послань низхідній лінії зв'язку (DL) і висхідної лінії зв'язку (UL) - залежно від використовуваної смуги (див. <https://itechinfo.ru/content/радиочастоты-для-сетей-5g>). Для поліпшення радіохвильового покриття в більш високочастотних діапазонах, де сигнал, що обмежує діапазон, зазвичай надходить від терміналу користувача, можна також працювати з іншою несучою на "Додатковому висхідному каналі" в нижній смузі частот.

2. Мультиплексування технологія

Система радіодоступу 5G-NR заснована на технології ортогонального мультиплексування з частотним поділом (OFDM)

Простий метод CP-OFDM (циклічний префікс OFDM), при якому кожен користувацький канал у певний час інтервал складається з набору сигналів, що передаються паралельно на наборі піднесучих.

У напрямку від абонентського терміналу до базової станції (Uplink - UL) можливі два варіанти - CP-OFDM (подібний до DL) і DFT-s-OFDM (аналогічно технології 4G-LTE SC-FDMA). Він містить блок "Попереднє кодування перетворення", який фактично виконує операцію дискретного перетворення Фур'є (DFT) і дозволяє зменшити піковий коефіцієнт (відношення максимального до середнього рівня потужності).

3. Схеми модуляції

Можливі схеми модуляції в 5G-NR: $\pi / 2$ -BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM. Однак модуляція $\pi / 2$ -BPSK (не використовується в мережах 4G-LTE) доступна лише в режимі висхідної лінії зв'язку (UL) у режимі DFT-s-OFDM і актуальна для енергоефективних мереж IoT.

4. Просторові просторові потоки (MIMO)

Одним з ключових нововведень у технології 5G є використання масивних систем із декількома входами та кількома виходами, які зазвичай розуміють як системи з більш ніж 8 керованими антенами та трактами прийому та передачі . Використання технології Massive MIMO дозволяє, з одного боку, збільшити пропускну здатність мережі (у 5G-NR існує низка паралельних просторових потоків даних у низхідній лінії зв'язку "DL" - 8; у лінії зв'язку "UL" - 4), з іншого боку, для поліпшення захищеності від шуму шляхом формування променя направлення

5. Спадний канал (Downlink - DL)

В Downlink 5G-NR визначені наступні канали та сигнали:

- Physical Downlink Shared Channel (PDSCH) - фізичний канал для передачі інформації "вниз" з поділом користувачів . Використовується для передачі призначених для користувача даних, повідомлень пейджінга, відповідей на запити доступу до мережі з боку призначених для користувача терміналів (UE) і блоків системної інформації SIB (System Information Blocks).

- Physical Downlink Control Channel (PDCCH) - фізичний канал управління "вниз". Використовується для передачі інформації про призначення ресурсів для користувача терміналів.

- Physical Broadcast Channel (PBCH) - фізичний канал передачі широкомовної інформації. Використовується для трансляції блоку головної інформації (MIB - Master Information Block). Для передачі PBCH використовуються піднесущі 0-239 символів 1 і 3, а також піднесущі 0-47, 192-239 символу 2 - см. Рис. 6 (на відміну від мереж 4G-LTE, де для передачі PBCH використовуються 72 центральні піднесущі символів 0,1,2,3 другого слота першого субфрейма).

- Primary synchronization signal (PSS) - сигнал первинної синхронізації. Дозволяє призначеному для користувача терміналу здійснити частотну і тимчасову синхронізацію з сигналом активної стільниці, а також обчислити компонент $N_{ID}^{(2)} \in \{0,1,2\}$ фізичного ідентифікацію стільникової мережі (Physical Layer Cell Identity, PCI). Зазначу, що в 5G-NR для формування PSS використовується m-послідовність, на відміну від мереж 4G-LTE, де PSS формується на підставі послідовності Задова-Чу. LTE-PSS мапується на 72 центральні несущі радіоканалу, NR-PSS - на 127

- Secondary synchronization signal (SSS) - сигнал вторинної синхронізації. Дозволяє призначеному для користувача терміналу обчислити компонент $N_{ID}^{(1)} \in \{0,1,\dots,335\}$ фізичного ідентифікацію стільникової мережі (PCI). У 5G-NR визначено 1008 унікальних PCI, тобто в два рази більше, ніж в 4G-LTE. LTE-SSS мапується на 72 центральні несущі радіоканалу, NR-SSS - на 127

- Channel-state information reference signal (CSI-RS) - референсний сигнал, який використовується для користувача терміналом (UE) для оцінки параметрів середовища поширення радіосигналу і обчислення CSI-RSRP, CSI-RSRQ, CSI-SINR з подальшим формуванням індикатора якості радіоканалу (Channel Quality Indicator - CQI) і індикатора матриці предкодування (Precoding Matrix Indicator - PMI). Є специфічним для кожного стільника і кожного антенного порту.

- Demodulation reference signals (DM-RS) - референсний сигнал, який використовується UE для настройки еквалайзера приймальної ланцюга і демодуляції сигналів, що переносять інформацію "вниз". Є специфічним для кожного UE і кожного просторового потоку. Присутній тільки в ресурсних елементах, що переносять призначену для користувача інформацію

- Phase-tracking reference signals (PT-RS) - референсний сигнал, який використовується для компенсації фазових шумів опорних генераторів. Актуальність введення даного типу референсних сигналів обумовлена задіянням в 5G-NR високих діапазонів радіочастот (FR2) Є специфічним для кожного UE.

- Зауважу, що в 5G-NR відсутній пілотний сигнал CRS (Cell specific Reference Signals), визначений ще в Release 8 3GPP і використовуваний в тому числі для обчислення призначеним для користувача терміналом таких ключових параметрів визначення якості каналу, як RSSI і RSRQ

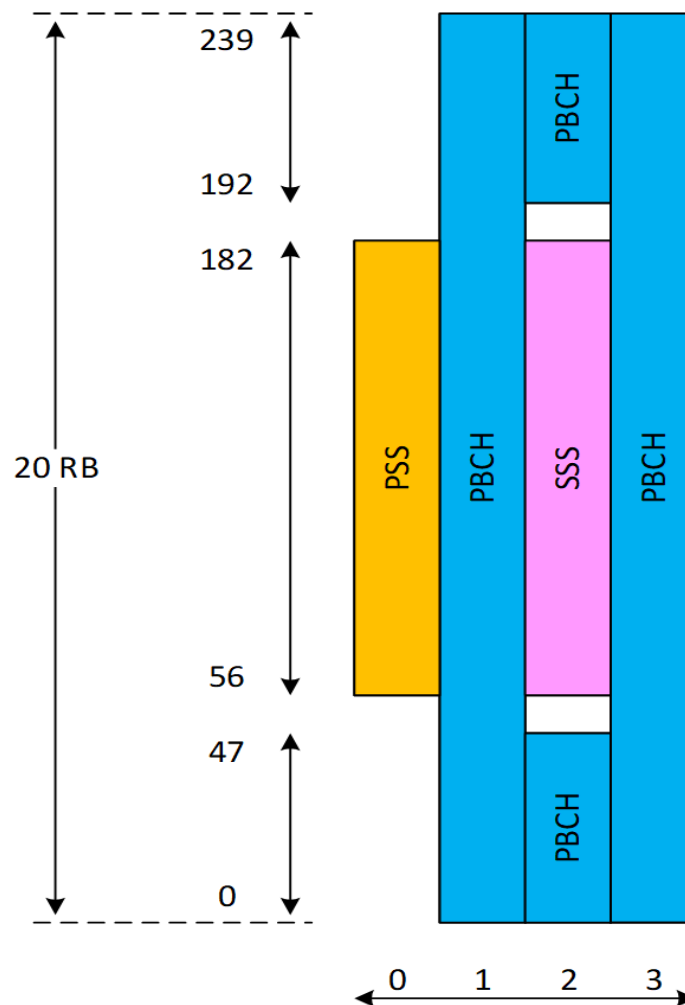


Рисунок 2.6 - (SS/PBCH блоки)

6. Канал висхідної лінії зв'язку (UL)

У Uplink 5G-NR визначені такі канали та сигнали:

- фізичний спільний канал (PUSCH)
- фізичний канал для передачі користувацького трафіку та сигналізації.

- Фізичний канал керування вищим з'єднанням (PUCCH) - фізичний канал сигналізації у випадку, якщо канал PUSCH недоступний

- Фізичний канал довільного доступу (PRACH) - фізичний канал для передачі запитів довільного доступу

- опорні сигнали демодуляції (DM-RS) - аналогічні відповідному опорному сигналу низхідної лінії зв'язку, що використовується базовою станцією для встановлення еквалайзера приймаючої схеми та демодуляції сигналів низхідної лінії зв'язку

- опорні сигнали моніторингу фаз (PT-RS) - подібний до відповідного опорного сигналу низхідної лінії зв'язку, що використовується для компенсації фазового шуму опорних генераторів

- Аудіосигнал опорного сигналу (SRS) - використовується для оцінки стану радіоканалу з метою вибору найбільш відповідні параметри передачі

2.4 ПЕРЕДАЧА СИСТЕМНОЇ ІНФОРМАЦІЇ (NR-MIB, NR-SIB)

Інформація про систему, що передається базовими станціями 5G-NR, містить різні параметри конфігурації радіоінтерфейсу, які користувачські термінали (UE) потребують для доступу до мережі, прийому та передачі даних. Інформація про систему передається в блоках MIB (основний інформаційний блок) та SIB (системний інформаційний блок). Блок MIB передається по фізичному каналу PBCH, блоки SIB по PDSCH. У мережах 4G-LTE всі блоки системної інформації передаються з певним інтервалом часу в режимі передачі і приймаються всіма UE, розташованими в зоні покриття відповідних осередків мережі. У 5G-NR блоки MIB та SIB1 передаються в режимі передачі; інші SIB можуть передаватися або в режимі трансляції, або у виділених каналах на запит конкретних UE, залежно від політики оператора (див. рис. 7). Інформація про те, які блоки передаються за запитом, а які - і параметри їх передачі, міститься у SIB1.

Таким чином, для терміналу користувача (UE) можливий наступний сценарій отримання системної інформації:

- UE дозволяють,
- пошук стільникових мереж, синхронізація мережі, виявлення PCI (через PSS / SSS);

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

- прийом PBCH, декодування MIB,
- якщо cellBarred = заборонено - кінець процедури,
- декодувати SIB1 за допомогою параметрів, отриманих у MIB,
- декодувати інші передані SIB у режимі передачі з використанням параметрів, отриманих у SIB1,
- запуск процедури довільного доступу (RACH) та запит необхідних SIB,
- отримання та декодування необхідних SIB

2.5 КОРЕКТУВАННЯ ПОМИЛОК В МЕРЕЖАХ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

Однією з ключових проблем, з якою стикаються розробники кожної системи зв'язку (і особливо систем радіозв'язку), є завдання виявлення та виправлення помилок, кількість яких у мобільних мережах визначається двома факторами - зовнішніми перешкодами, а також перешкодами від передавачів сусідні базові станції. Цей фактор особливо важливий для одночастотних систем мобільного зв'язку, включаючи 4G-LTE та 5G.

Давайте узагальнимо основні технології та концепції, пов'язані з вирішенням цієї проблеми в мережах 4G-LTE та 5G:

Схема виправлення помилок вперед (FEC)

Суть схеми FEC полягає у перетворенні переданих блоків даних передавачем у кодові слова (шляхом кодування каналу та вставки надлишкової інформації) таким чином, що приймач може виявити та відновити певну кількість бітів, спотворених під час передачі. Такі системи характеризуються швидкістю кодування, яка є відношенням довжини блоку корисних даних до довжини кодового слова. Недоліком є втрата функціональності при перевищенні кількості помилок виправлення коду.

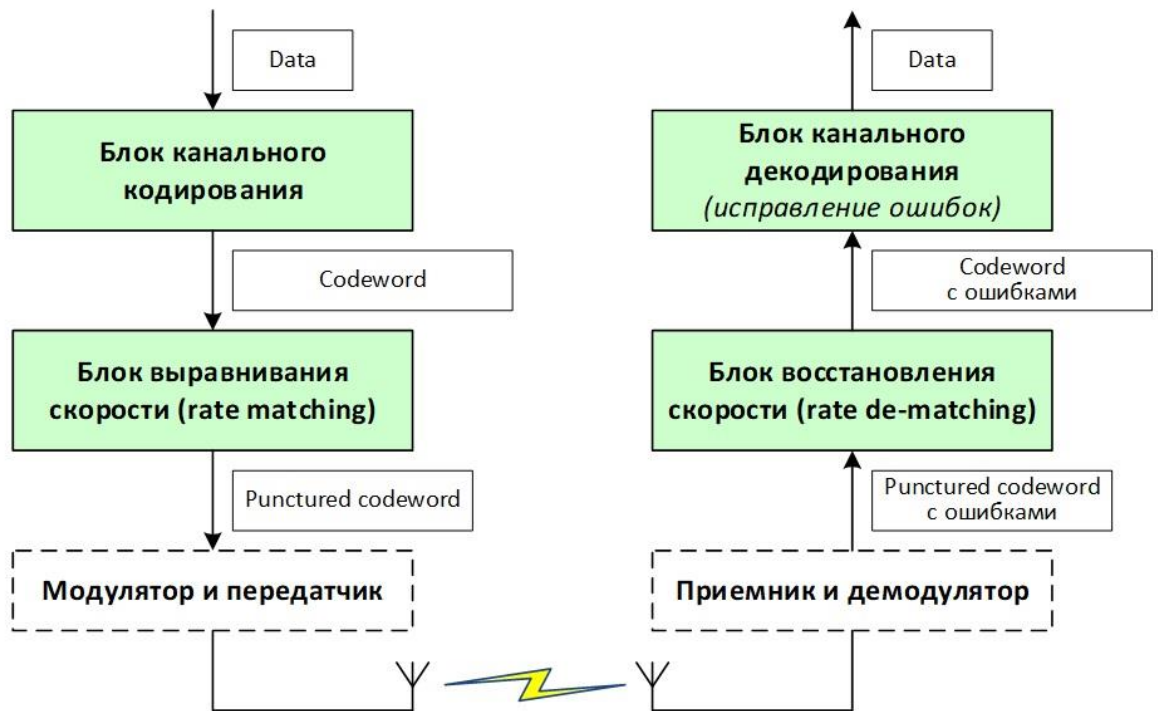


Рисунок 2.7 - (FEC + Rate matching)

Вирівнювання швидкості – це функція, яка заздалегідь доповнює технологію виправлення помилок. Вона видаляє (або «вискакує») деякі біти з кодових слів, генерованих ланцюгом FEC, тим самим зменшуючи їх довжину до бажаного розміру транспортного блоку. Це, з одного боку, зменшує обсяг даних, що передаються по каналу зв'язку, а, з іншого боку, підтримує достатню коригуючу здатність системи. На приймальній стороні фіктивні біти вставляються в позиції, пробиті передавачем, а потім кодові слова відновленої довжини надсилаються в декодер каналу.

Схема автоматичного повторного запиту (ARQ)

Суть схеми ARQ полягає в розрахунку циклічної перевірки надмірності (CRC) блоку даних, що передаються передавачем, що дозволяє приймачу знаходити пакети, що містять спотворені дані, і вимагати їх повторної передачі, порівнюючи розраховані та отримані значення CRC

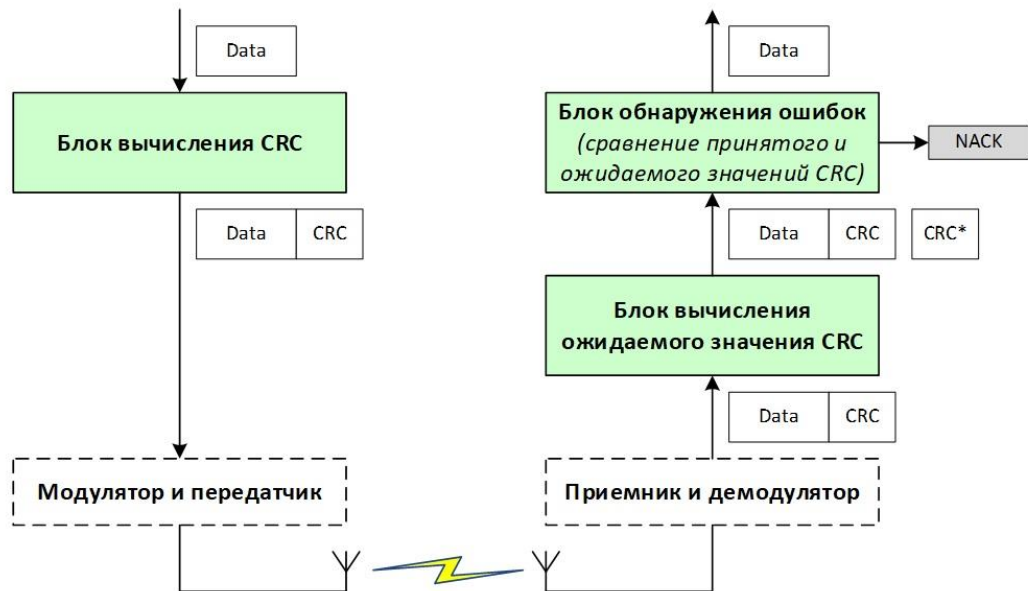


Рисунок 2.8 - ARQ

У схемі ARQ зазвичай використовується метод, який називається селективною ретрансляцією (рис. 3), коли приймач чекає отримання декількох блоків даних, перш ніж їх підтвердити. Цей метод, з одного боку, дозволяє передавачу продовжувати відправляти пакети, не чекаючи підтвердження, але з іншого боку, він вносить значну затримку, якщо потрібна повторна передача. Тому схема ARQ підходить лише для потоків даних з нереальним часом, таких як веб-сайти та електронні листи. На додаток до вже згаданої затримки, недоліком схеми ARQ є додаткове навантаження на канал зв'язку, оскільки навіть для однієї помилки потрібно повторно відправити весь пакет даних.

Гібридний ARQ із запитом на автоматичну повторну передачу - HARQ використовується для виправлення помилок. Відповідно, передавальна сторона:

- кодує передані дані за допомогою коду FEC (з використанням функції компенсації швидкості), що дозволяє одержувачу відновлювати біти, спотворені під час передачі (у межах параметрів корекції коду);

- обчислює код CRC і додає його до переданих даних, дозволяючи приймачу виявляти блоки, що містять помилки, які не були виправлені FEC, і вимагати повторної передачі.

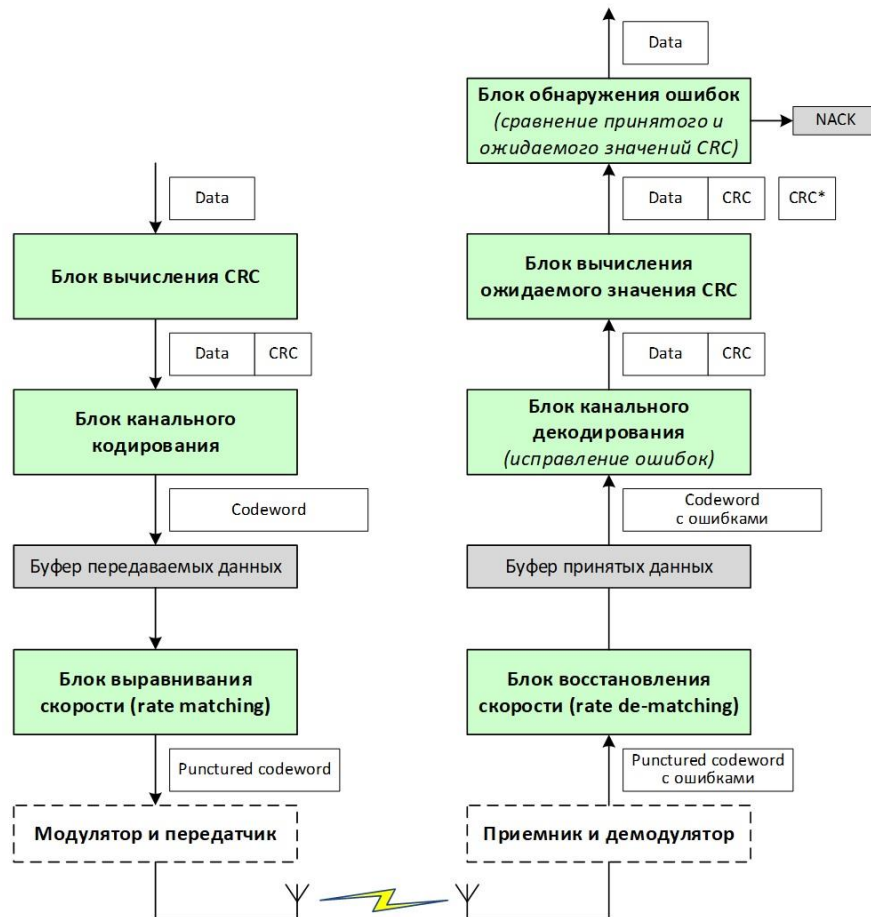


Рисунок 2.9 - HARQ

Схемы HARQ можуть бути синхронними або асинхронними. У синхронному режимі блоки даних повторно передаються через точно визначені інтервали часу. Номер процесу HARQ (див. Розділ 3) та версію резервування (RV - див. Розділ 2) не потрібно передавати, що зменшує частку трафіку сигналу. Таким чином, у кожному підкадрі планувальник базової станції розподіляє ресурси передачі лише для одного заздалегідь визначеного процесу HARQ із заздалегідь визначеним RV, а в системі, що містить 8 процесів, кожен процес виконує передачу строго раз на 8 мс. Планувальник базової станції для розподілу мережі ресурсів більш гнучко. Ціною цієї гнучкості є збільшення накладних витрат на сигнальну інформацію (номер процесу HARQ, а також номер RV включені до блоку інформації управління - DCI - передається через PDCCH). Використовується синхронний режим HARQ, в той час як асинхронний режим використовується на низхідній лінії зв'язку.

Алгоритми HARQ також можуть працювати в адаптивному та неадаптивному режимах. В адаптивному режимі такі параметри, як швидкість кодування, кількість та кількість виділених блоків ресурсів та схема модуляції можуть змінюватися під час повторної передачі пакета. Як і асинхронний режим, адаптивний режим збільшує гнучкість розподілу ресурсів і забезпечує механізми підвищення надійності прийому даних (наприклад, за рахунок зменшення індексу модуляції), але також збільшує частку трафіку сигналізації на PDCCH.

Неадаптивний режим не включати зміни параметрів під час повторної передачі пакетів.

Принципи гібридного ARQ (HARQ)

Розглянемо три можливі реалізації схеми HARQ:

Простий HARQ або HARQ першого типу

Це найпростіша реалізація алгоритму. Отримавши пакет, що містить помилки, які не були виправлені декодером каналу, приймач відкидає отриманий пакет і просить його відправити знову.

Однак відхилений пакет може містити інформацію, яка може допомогти в декодуванні повторно переданої пакет. Саме використання раніше отриманих даних є основою техніки м'якого комбінування, яка є основою двох інших реалізацій HARQ. У цьому випадку пакети, що містять помилково декодовані біти, не відкидаються, а кешуються. Повторна передача для будь-якої реалізації HARQ завжди містить однакові інформаційні біти, але контрольні біти (або, як їх іноді називають бітами парності), можуть бути різними.

Chase combining HARQ або інший тип HARQ

Після отримуючи пакет, що містить помилки, які не були виправлені декодером каналу, приймач зберігає цей пакет в буфері прийому (замість того, щоб відкинути його, як у простому HARQ), і просить його повторно надіслати. В межах кожної повторної передачі (на запит приймача) передавач передає один і той же пакет даних, що містить кодове слово, сформоване з незмінених інформаційних бітів і використовуючи незмінений шаблон видалення бітів (або кльовання) за допомогою блоку відповідності швидкості. На основі всіх отриманих копій пакету та з використанням техніки поєднання максимального співвідношення (MRC) приймаюча сторона створить так званий комбінований пакет. Цей алгоритм відповідає збільшенню відношення сигнал / шум.

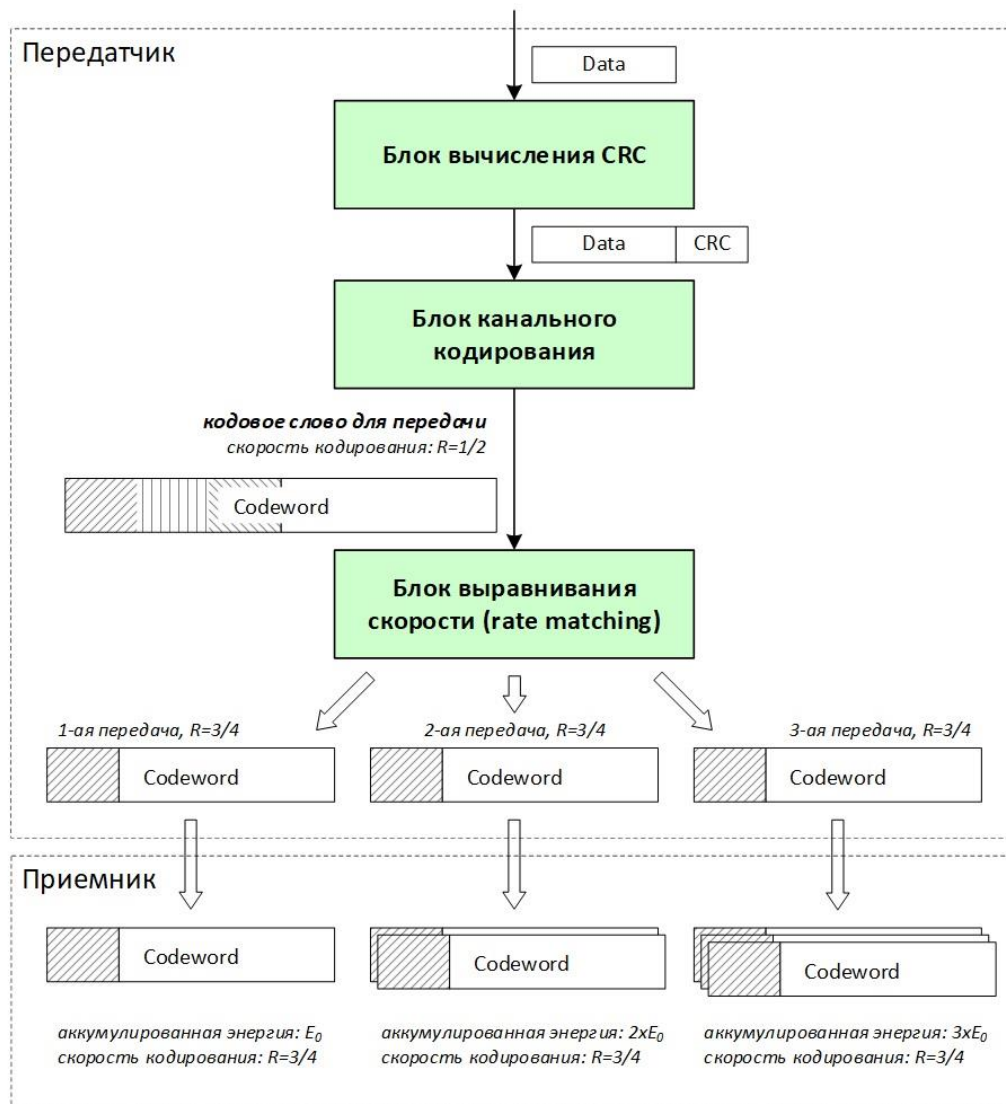


Рисунок 2.10 - Chase combining HARQ

Особенности реализации исправления ошибок в сетях 5G

Функции исправления ошибок в сетях 5G реализованы на трёх уровнях - физическому уровню, уровню MAC та уровню RLC.

1) **Физический уровень** обеспечивает реализацию математических алгоритмов для расчёта проверки циклической избыточности (CRC), кодирования канала та регулирования скорости:

а) **Расчёт CRC** выполняется за помощью "Расчёта CRC" модуля. Этот модуль вычисляет CRC (або біти парності) з вхідних бітів послідовності та генерує вихідну послідовність

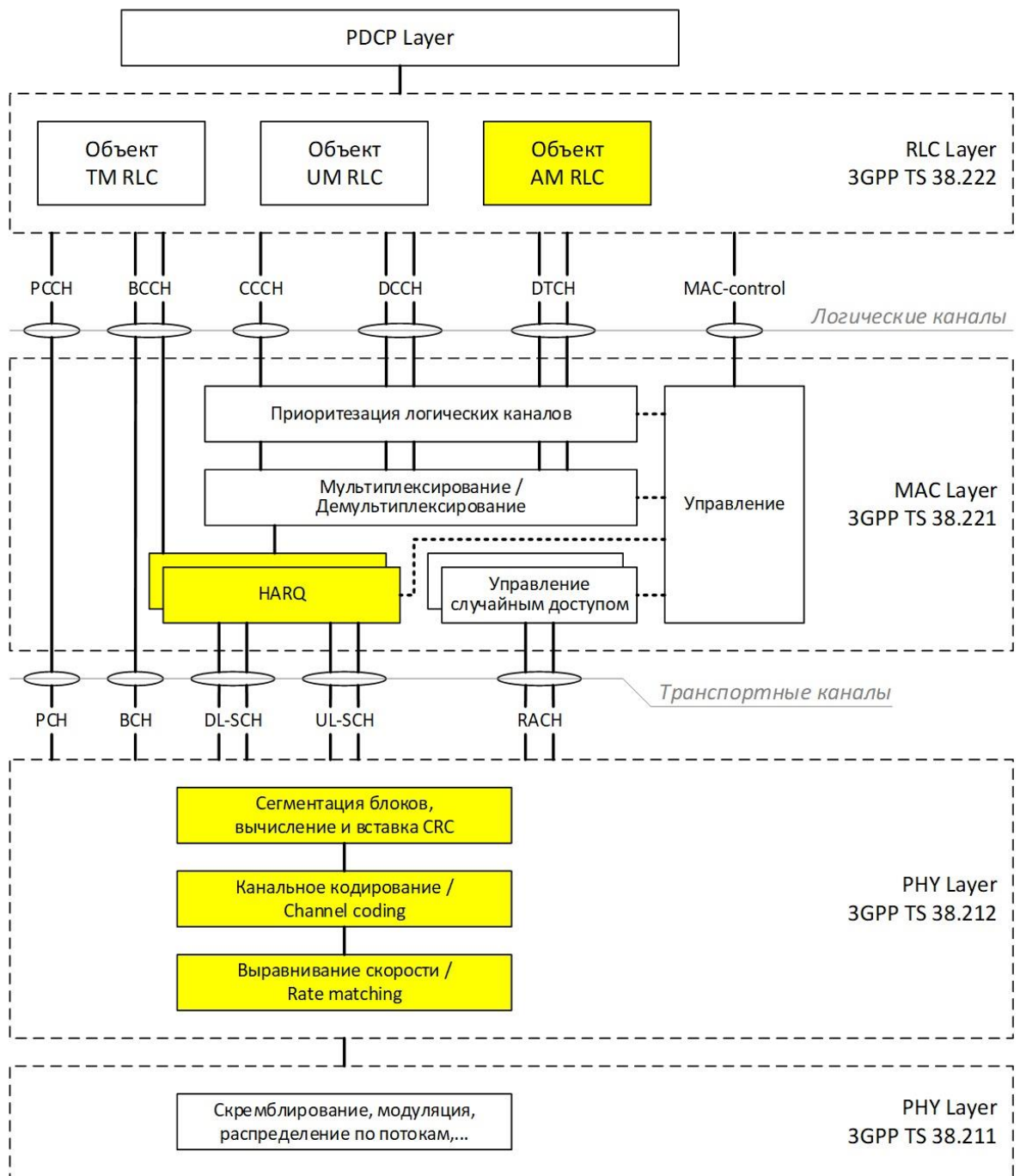


Рисунок 2.11 - Корекція помилок в 5G

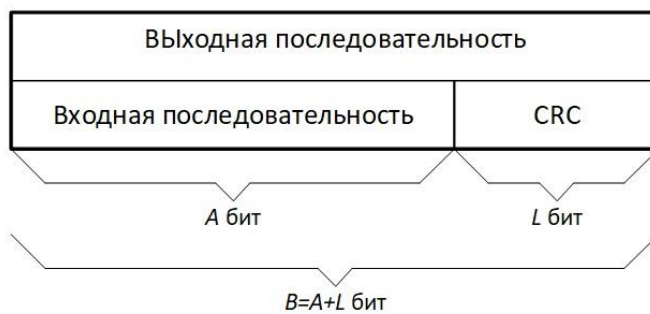


Рисунок 2.12 - Модуль обчислення CRC

б) Мережі 5G використовують дві основні схеми кодування. Для кодування контрольних інформаційних блоків (DCI, UCI) - полярне кодування, для кодування транспортних каналів BCH, PCH, DL-SCH, UL-SCH - Коды проверки парности низкой щільності - LDPC . Схема описана в розділі 5.3.3 3GPP TS 38.212 також використовується для кодування коротких блоків керуючої інформації. Швидкість кодування коливається від 120/1024 до 948/1024 в залежності від поточних радіоумов, а потім індексу модуляції та схеми кодування (MCS) призначеної мережі

Таблица 6 – Коды проверки парности низкой щільності

Направлення	Транспортний канал/ керуюча інформація	Схема кодування	Умова
<i>Downlink</i>	<i>BCH</i>	<i>Polar code</i>	
	<i>PCH</i>	<i>LDPC</i>	
	<i>DL-SCH</i>	<i>LDPC</i>	
	<i>DCI</i>	<i>Polar code</i>	
<i>Uplink</i>	<i>RACH</i>	-	
	<i>UL-SCH</i>	<i>LDPC</i>	

Направлення	Транспортний канал/ керуюча інформація	Схема кодування	Умова
	UCI	<i>Polar code</i>	
		<i>Block code</i>	Кол-во бит 1..11

Коди LDPC - це лінійні блокові коди, встановлені матрицею перевірки H , яка містить, по суті, нулі та відносно невелику кількість одиниць. Коди LDPC характеризуються відносно високою швидкістю декодування, що обумовило їх вибір для використання в високошвидкісних каналах передачі мереж 5G. Коди LDPC замінили турбокодера, що використовуються для кодування каналів трафіку в мережах 4G-LTE. Це в основному пов'язано з тим, що турбокодера мають вищу складність реалізації декодера і меншу швидкість роботи порівняно з LDPC. Крім того, LDPC дозволяє використовувати схеми кодування з нижчою швидкістю, і, отже, має більше можливостей для відновлення спотворених сигналів.

Полярні коди, що використовуються для кодування інформаційних блоків управління (DCI, UCI), теоретично дозволяють досягти межі Шеннона при довжина блоку коду $N \rightarrow \infty$ зі складністю кодування та декодування $\sim N \log N$. Нагадаємо, що мережі 4G-LTE використовували згорткові коди (VBCC) для кодування каналів управління.

в) Балансування швидкості є частиною схеми HARQ з поступовим надмірністю. Цей блок зберігає послідовність бітів з виходу кодера каналу в круговому буфері, а потім вибирає біти даних з цього буфера для первинної та подальшої повторної передачі, починаючи з початкового положення, визначеного значенням версії резервування (RV)

На рисунку 2.13 зображена структурна схема Інфокомунікаційного пристрою радіодоступу IMT-2020

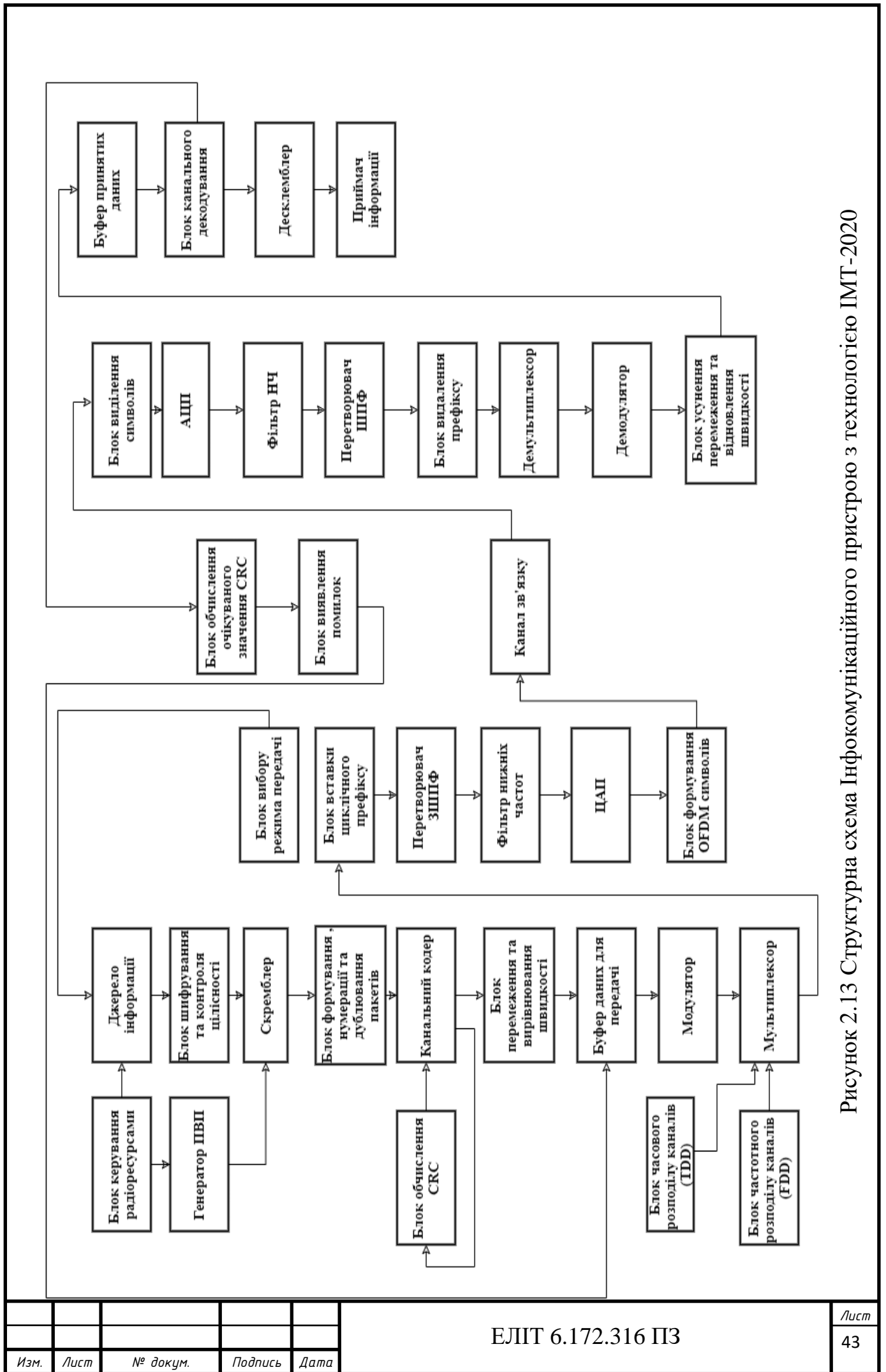


Рисунок 2.13 Структурна схема Інфокомунікаційного пристрою з технологією IMT-2020

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2.7 АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРИСТРОЮ

Етап 1. Формування вхідних даних.

Етап 2. Якщо дані сформувалися, процес йде до наступного етапу, якщо ні – відбувається повернення на перший етап.

Етап 3 - 10 . Шифрування даних та контроль їх цілості, аналіз, кодування даних, робота циклічного надлишкового коду, формування даних та корегування швидкості

Етап 11. При виконанні 3-10 етапів відбувається запис сформованого пакету в буфер

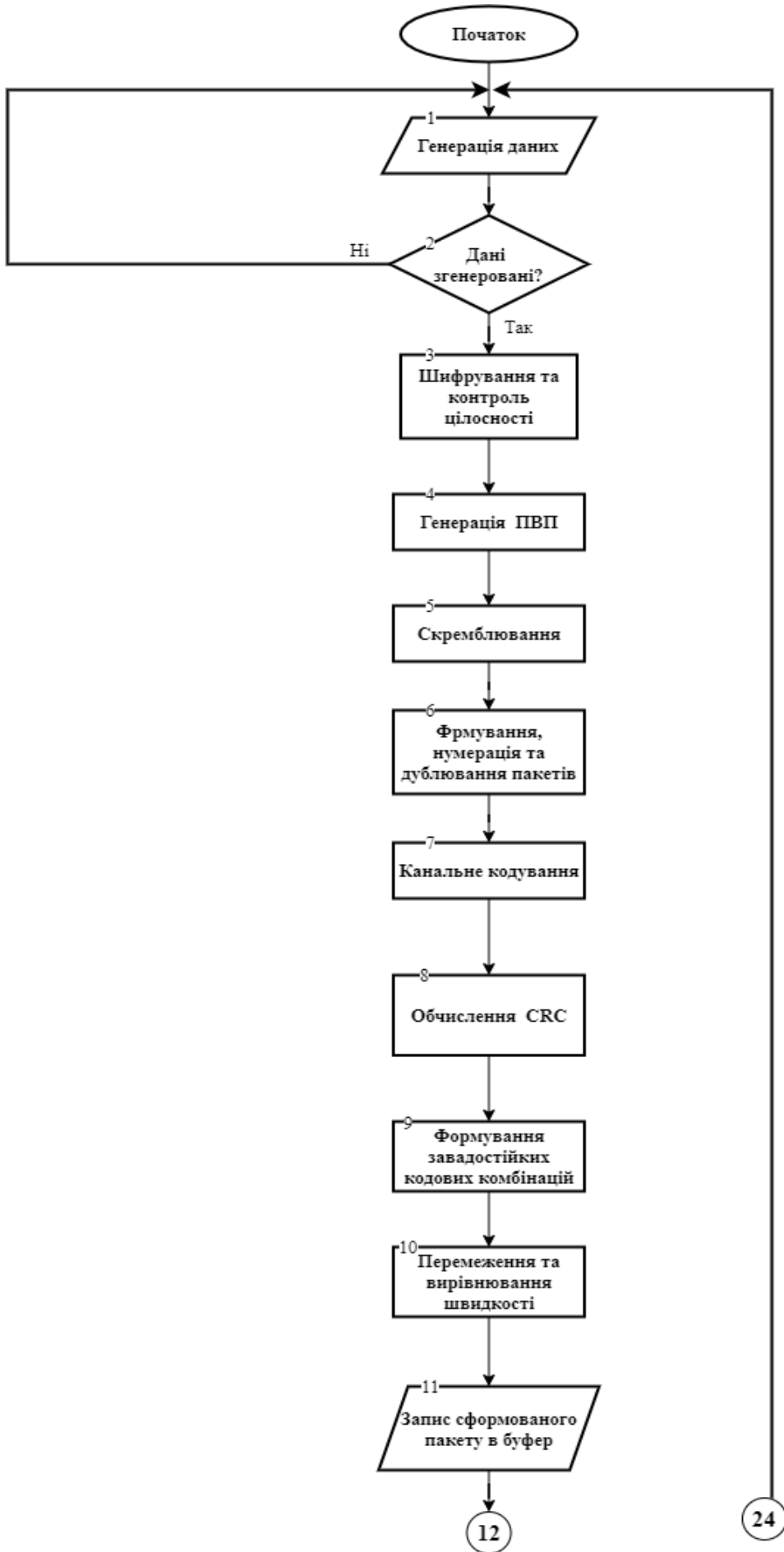
Етап 12 – 20. Відбувається формування, фільтрація та обробка частотних сигналів, перетворення цифрових сигналів в аналоговий, формування сигналів

Етап 21. Всі сформовані сигнали передаються в канал зв'язку

Етап 22. Якщо при передачі сигналів в канал зв'язку запит на повторну передачу надійшов, тоді процес повертається до 12 етапу, якщо ні – відбувається наступний процес.

Етап 23. Якщо всі дані відправлені відбувається завершення процесу, якщо ні – все починається спочатку

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

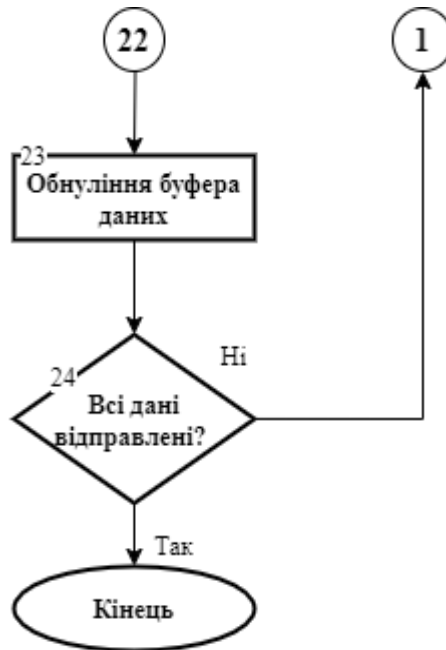


Рисунок 2.14 – Алгоритм роботи пристрою

3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ З ТЕХНОЛОГІЄЮ ІМТ-2020 НА БАЗІ МОДУЛЯ SIM8300G-M2

SIM8300G-M2 - це модуль бездротового зв'язку, розроблений для ринку 5G.

Він підтримує багатопотокові технології, включаючи 5G NR FR1 та FR2, LTE

та WCDMA, і може відповідати вимогам 3GPP R15 NR.

Функція міліметрової хвилі реалізована за допомогою антенного модуля Qualcomm QTM525 або QTM527, QTM525 для загальних програм, таких як MiFi,

і QTM527 для високопродуктивних програм, таких як HP CPE.

Фізичні розміри SIM8300G-M2 складають 30,0 мм. * 52,0 мм * 3,65 мм, що відповідає специфікації PCI Express M.2 і відповідає майже всім вимогам до

простору в клієнтських додатках.

SIM8300G-M2 з M.2 Type 3052 має багаті інтерфейси, включаючи USB3.1, PCIe3.0, (U) SIM, цифрова, аудіо (I2S або PCM), I2C, GPIO, чотири антени для

3G / 4G / 5G та GNSS.

1. Блок-схема обладнання

Блок-схема SIM8300G-M2 показана на наступному рисунку.

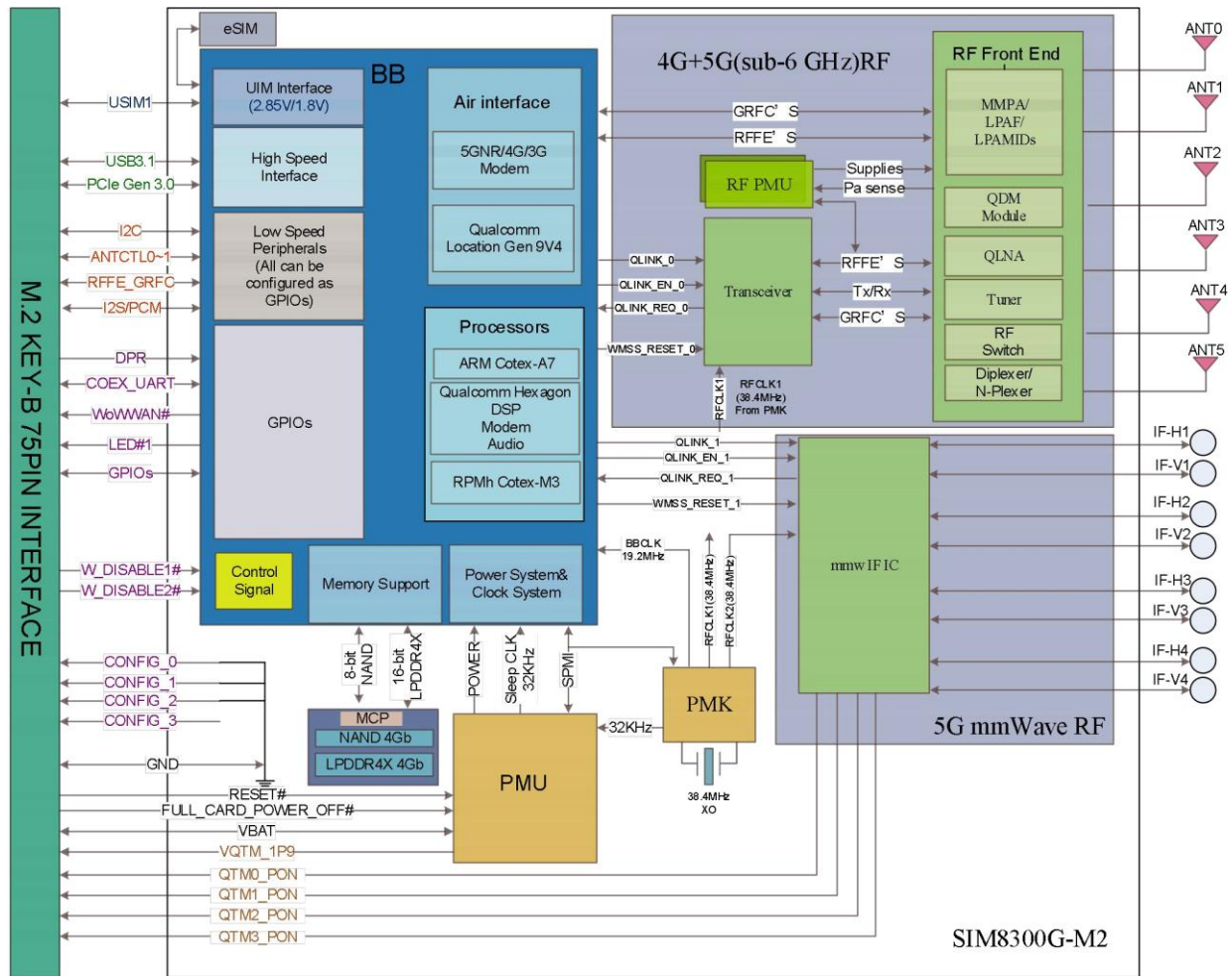


Рисунок 3.1 - Блок-схема SIM8300G-M2

Таблиця 7 Опис модуля SIM8300G-M2

Особливість	Характеристики
Джерело живлення	VBAT: 3,135 4,4 В Типовий: 3,8 В
Споживана потужність *	5 мА в сплячому режимі (VBAT = 3,8 В, AT + CFUN = 0) *

Потужність передачі	Клас потужності 1 для 5G мм-хвилі (з QTM527) Клас потужності 3 для 5G мм-хвилі (з QTM525) Клас потужності 3 для WCDMA / LTE / 5G NR Клас потужності 2 для n41 / n78 / n79
Передача інформації пропускна здатність	7 Гбіт / с (DL) / 3 Гбіт / с (UL) для 5G mmWave 4 Гбіт / с (DL) / 1 Гбіт / с (UL) для 5G Sub-6G 2 Гбіт / с (DL) / 200 Мбіт / с (UL) для LTE 42 Мбіт / с (DL) / 5,76 Мбіт / с (UL) для HSPA +
Антенa	Шість антен для 3G / 4G / 5G і GNSS Вісім портів інтерфейсу IF для підключення антенного модуля mmWave
GNSS	Двигун GNSS: GPS L1 + L5 / ГЛОНАСС / BeiDou / Galileo / QZSS Протокол: NMEA
СМС	Режими MT, MO, CB, Text і PDU Зберігання SMS: (U) SIM-карта або ME (за замовчуванням) Альтернативна передача SMS через CS або PS
(U) Інтерфейс SIM-карти	Підтримка (U) SIM-карти: 1,8 В / 3,0 В
(U)Набір інструментів додатка для SIM-карти	Включає інтерфейси (U) SIM1 і e-SIM (всередині модуля)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Управління телефонною книгою	Підтримка типів телефонної книги: DC, MC, RC, SM, ME, FD, ON, LD, EN
Цифровий аудіоінтерфейс	Один інтерфейс I2S з виділеними основними годинами для первинного цифрового звуку, I2S також може бути налаштований як PCM <ul style="list-style-type: none"> • Частота MCLK: 12,288 МГц (за замовчуванням) • WCDMA AMR-NB • VoLTE AMR-WB • Придушення луни • Придушення шуму
Інтерфейс PCIe	<ul style="list-style-type: none"> • Однополосний інтерфейс PCIe, підтримка Gen 3 (сумісність з Gen 1/2) • Висока швидкість передачі даних до 8 Гбіт / с
I2C інтерфейс	<ul style="list-style-type: none"> • Відповідає специфікації I2C, версія 5.0 • швидкість передачі даних до 400 Кбіт / с
Інтерфейс USB	Підтримка USB 3.1 Gen2 USB3.1: супер швидкість, швидкість передачі даних до 10 Гбіт / с

SIM8300G-M2 має 75 контактів, включаючи 8 контактів з насічками.
Дизайн замовника повинен відповідати функції штифтів. На сторінці
На наступному малюнку показано призначення контактів модуля.

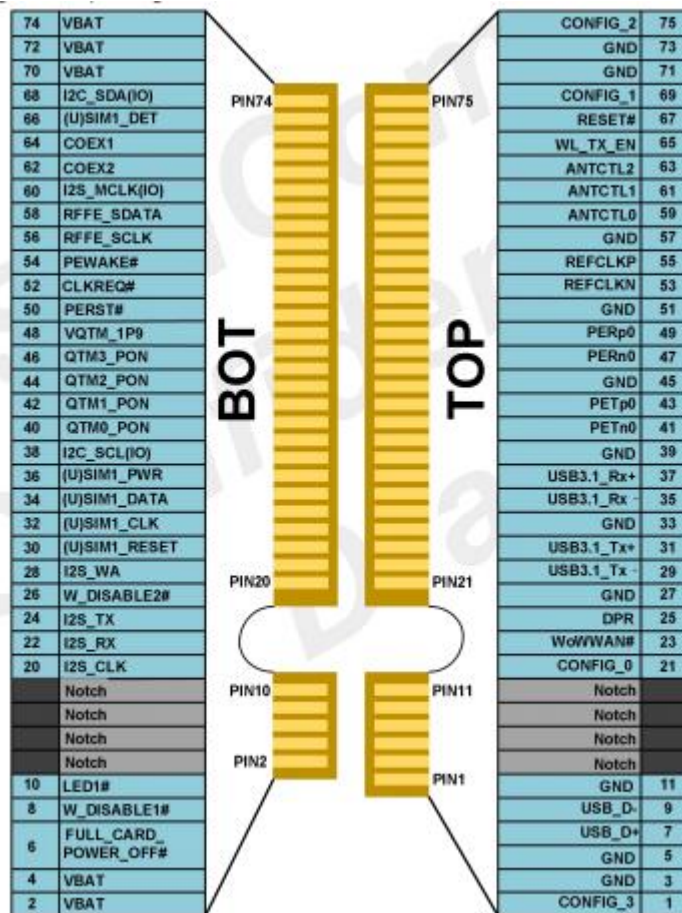


Рисунок 3.2 - Контакти модуля

3.1 ІНТЕРФЕЙСНИЙ ДОДАТОК

Електроживлення

Рекомендоване джерело живлення для SIM8300G-M2 становить 3,8 В, а напруга коливається від 3,135 В до 4,4 В. Переконайтеся, що вхідна напруга ніколи не опускається нижче 3,135 В, інакше модуль автоматично вимкнеться. Модуль має 5 контактів живлення та 11 контактів заземлення. Щоб переконатися, що модуль працює правильно, слід підключити всі виводи

Таблиця 8 - Електричні характеристики контактів VBAT

Символ	Опис	Мін.	Тип	Макс.	Одиниця
VBAT	Напруга живлення модуля	3.135	3.8	4.4	V

I_{Peak}	Піковий струм	-	-	TBD	A
I_{Sleep}	Струм у сплячому режимі (AT + CFUN = 0)	-	5	-	mA
$I_{Leakage}$	Струм у режимі вимкнення	-	50	-	uA

Коли модуль передає струм з максимальною потужністю, піковий струм буде дуже високим, що призведе до падіння напруги на VBAT. Щоб напруга не була нижчою за необхідну 3,135 В, зовнішнє джерело живлення має мати достатню струмову потужність зовнішнього джерела живлення. На наступному малюнку показано максимальне падіння напруги протягом максимальної потужності радіопередачі.

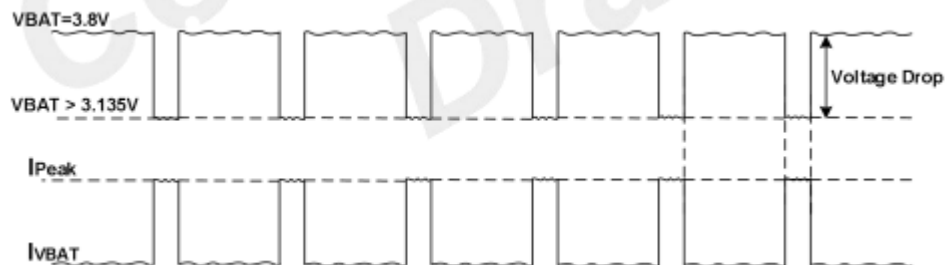


Рисунок 3.3 - Падіння напруги VBAT при максимальній потужності радіопередачі

1. Загальна кількість конденсаторів VBAT становить не менше 420 мкФ
Щоб зменшити падіння напруги, переконайтесь, що конденсатори VBAT не повинні бути менше 420 мкФ.

На наступному малюнку показано еталонну схему живлення VBAT:

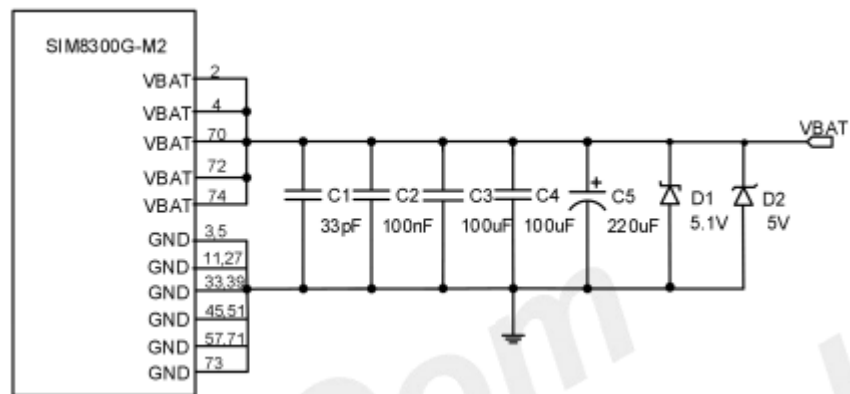


Рисунок 3.4 - Еталонна схема джерела живлення

Деякі багатошарові керамічні конденсатори (0,1 / 1 мкФ) з низьким коефіцієнтом ESR у високочастотній смузі частот використовуються в цій опорній схемі і можуть використовуватися для придушення ЕМІ. Ці конденсатори слід розміщувати якомога ближче до висновків VBAT. Користувачі також повинні мати трасування VBAT на друкованій платі шириною більше 3,0 мм, щоб мінімізувати імпеданс трасування друкованої плати.

Примітки:

1. C5 - танталовий конденсатор 220 мкФ, ESR = 0,7 Ом.
2. C1 і C2 - це багатошарові керамічні чіп-конденсатори (MLCC) від 33pF до 1uF з низьким коефіцієнтом ESR у високочастотній смузі, які можна використовувати для роботи EMC.
3. D2 використовується для захисту від електростатичного розряду, а D1 - для захисту від перенапруги.

Інструкції з розміщення джерела живлення:

- Як VBAT, так і зворотний тракт повинні бути якомога коротшими та ширшими, щоб мінімізувати падіння напруги.
- Ширина колії VBAT не повинна бути менше 3,0 мм.
- Конденсатори повинні розташовуватися якомога ближче до виводів VBAT.
- Трасування VBAT має проходити через діод TVS, стабілітрон і конденсатори, а потім через клеми VBAT. На сторінці конденсатор малої величини повинен бути розташований поблизу штифтів VBAT.

- Конструкція друкованої плати повинна мати фіксовану площину землі як основну опорну площину для більшості сигналів.

Схема джерела живлення

Рекомендується використовувати імпульсний блок живлення. Переконайтеся, що струм може забезпечити достатній струм. Вихідна потужність комутованого режиму повинна бути розділена на джерело живлення ВВ та джерело живлення антени RF mmw. На рисунку 6 показана опорна схема імпульсного джерела живлення з входом 12 В і виходом 3,8 В.

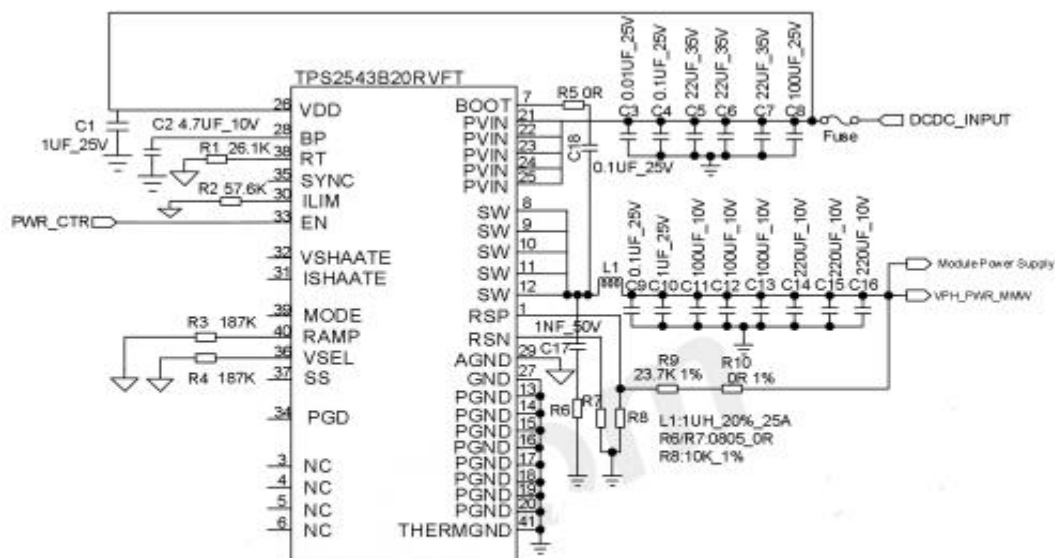


Рисунок 3.5 - Комутаційна схема імпульсного джерела живлення

1. Щоб запобігти пошкодженню модуля, не вимикайте живлення, поки модуль працює нормально. Вимкніть модуль лише після вимкнення командою FULL_CARD_POWER_OFF # або командою AT, тоді можна відключити джерело живлення.
2. Пропонується, щоб конструкція замовника могла вимкнути живлення модуля в ненормальному стані, а потім увімкнути живлення для перезапуску модуля.
3. Ми рекомендуємо підключити сигнал PWR_CTRL до хосту, і можна ним керувати.
4. Використовуйте адаптер живлення мінімум 12 В 8 А.
Модуль включення / виключення.

Якщо штифт FULL_CARD_POWER_OFF # встановлений на високий рівень, SIM8300G-M2 увімкнеться. Це може бути для керування GPIO 1,8 В або 3,3 В. На наступному малюнку показано схему включення / виключення.

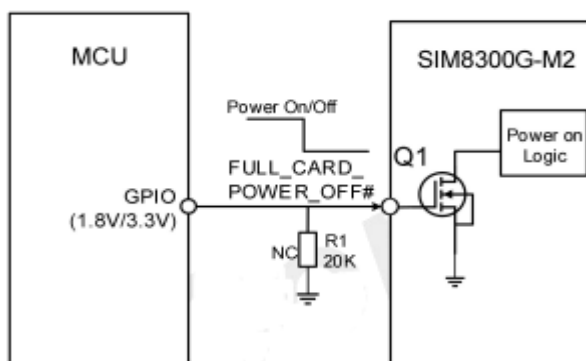


Рисунок 3.6 - Схема включення / вимкнення опорного живлення

Після того, як модуль переходить у режим примусового завантаження, сигнал FULL_CARD_POWER_OFF # потрібно відпустити і не завжди тягнути високо. Якщо ні, модуль перезапуститься, а потім спричинить помилку завантаження.

Увімкнення живлення

Послідовність включення зображена на наступному малюнку.

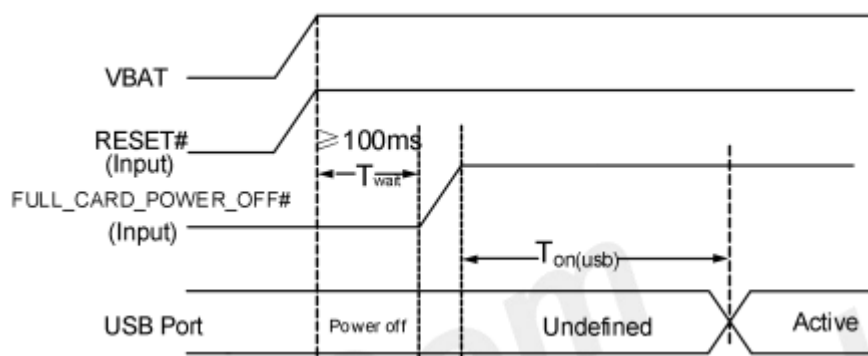


Рисунок 3.6 Послідовність включення живлення

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Таблиця 9 - Дані послідовності включення живлення

Символ	Параметр	Мін.	Тип.	Макс.	Одиниця
T_{wait}	Час очікування від джерела живлення, доступного для дії	100	-	-	ms
$T_{on(usb)}$	Час від включення живлення до готовності порту USB	-	12	-	s
V_{IH}	Вхідна напруга високого рівня на FULL_CARD_POWER_OFF #	1.2	1.8	4.4	V
V_{IL}	Подача напруги низького рівня на висновок FULL_CARD_POWER_OFF #	0	-	0.2	V

Після вимкнення модуля зачекайте принаймні 12 секунд, перш ніж вимкнути живлення, а потім увімкніть модуль.

Вимкнення живлення

Для вимкнення модуля можна використовувати наступні методи.

Спосіб 1: Вимкніть модуль, утримуючи штифт FULL_CARD_POWER_OFF # на низькому рівні.

Спосіб 2: Вимкніть модуль командою AT "AT + CPOF

При вимкненні живлення модуль відключається від мережі, програмне забезпечення переходить в безпечний стан та зберігає ключові дані до повного вимкнення живлення. Послідовність вимкнення подана на наступному рисунку.

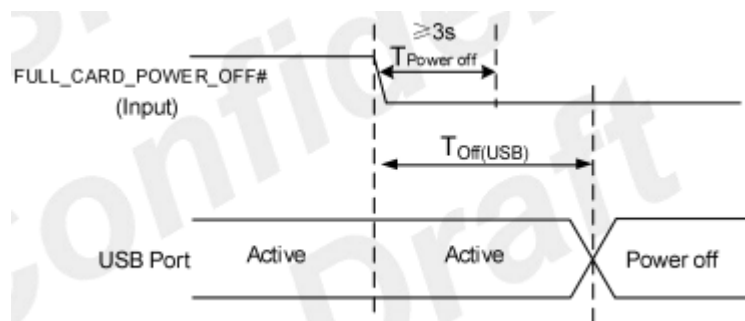


Рисунок 3.8 - Послідовність вимкнення

Таблиця 10 - Дані послідовності вимкнення

Символ	Парам.	Мін.	Тип.	Макс.	Одиниця
$T_{Off(USB)}$	Час від вимкнення живлення до вимкнення USB-порту	-	9	-	S
$T_{Power\ off}$	Час, утримання виводу FULL_CARD_POWER_OFF # на низькому рівні для переходу модуля в стан вимкнення	-	3	-	S

Функцію скидання SIM8300G-M2 можна скинути, встановивши низький рівень на RESET#. Сигнал RESET# внутрішньо витягнутий до 1,8 В, тому його не потрібно витягувати зовні. Наступну довідкову схему можна знайти на наступному малюнку.

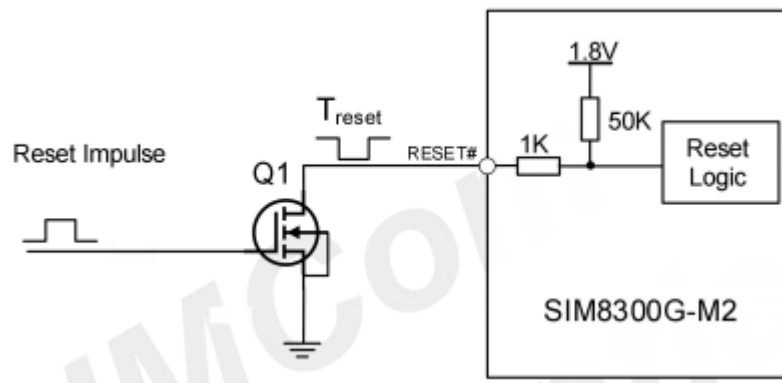


Рисунок 3.9 - Схема скидання опорного значення

Послідовність синхронізації модуля показана на наступному малюнку.

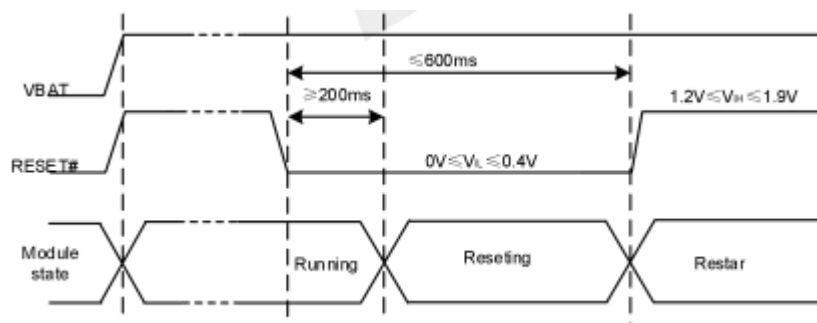


Рисунок 3.10 - Послідовність синхронізації модуля

Таблиця 10 Дані послідовності синхронізації модуля

Символ	Парам.	Мін.	Тип.	Макс.	Одиниця
T_{reset}	Затримка низького рівня на виводі RESET#	200	-	600	ms
V_{IH}	Вхідна напруга високого рівня	1.2	-	1.9	V
V_{IL}	Вхідна напруга низького рівня	0	-	0.4	V

Інтерфейс I2C

SIM8300G-M2 підтримує інтерфейс I2C, що відповідає специфікації I2C версії 5.0, зі швидкістю передачі даних до 400 кбіт / с. На наступному малюнку показано еталонну схему інтерфейсу I2C.

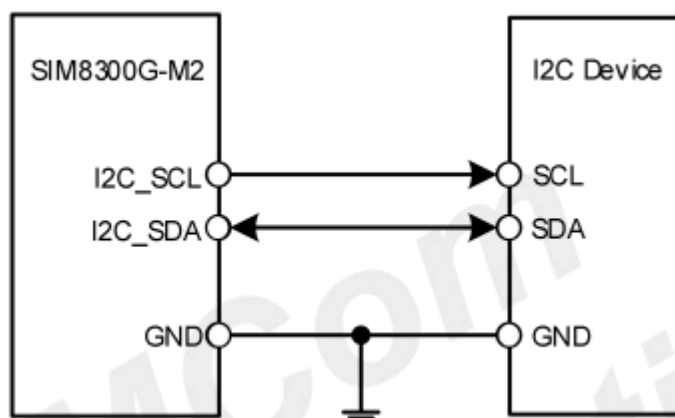


Рисунок 3.11 - I2C опорний контур

WoWWAN#

Контакт WoWWAN # - це сигнал пробудження системи, який може використовуватися як сигнал переривання хосту. Зазвичай він підтримується на високому рівні. І він змінюється на низький рівень, коли виникають певні умови, наприклад, отримання SMS, голосового дзвінка (CSD, відео) або повідомлення URC, час імпульсу низького рівня становить 1 секунду.

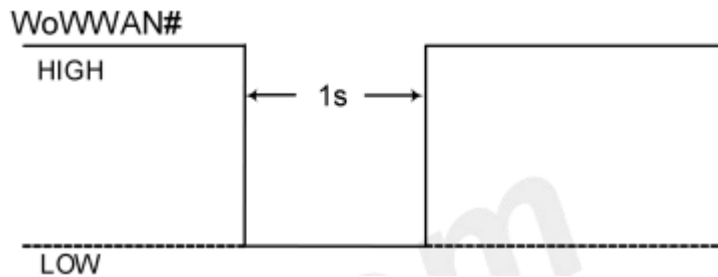


Рисунок 3.12 - Рівень сигналу WoWWAN # у звіті SMS та URC

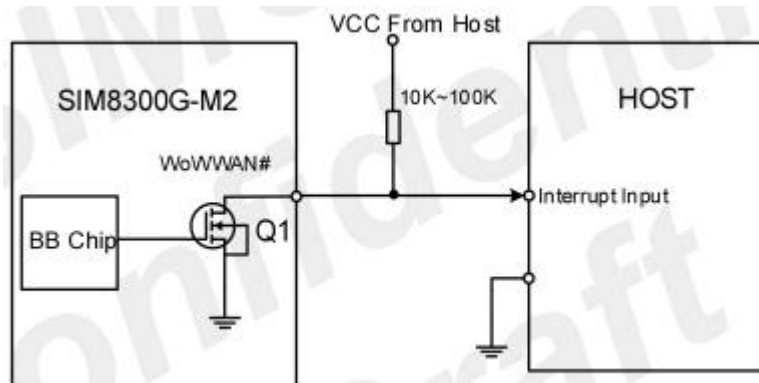


Рисунок 3.13 - Опірна схема WoWWAN #

USB Інтерфейс

SIM8300G-M2 підтримує один інтерфейс USB, який відповідає вимогам USB3.1 та 2.0. Клієнти можуть вибрати USB3.1 або USB2.0 для своїх потреб. Швидкість передачі даних USB 3.1 до 10 Гбіт / с.

Інтерфейс USB використовується для обміну команд АТ, передачі даних, виводу GNSS NMEA, оновлення мікропрограми та налагодження програмного забезпечення.

Модуль підтримує механізм призупинення та відновлення роботи USB, що дозволяє заощадити енергоспоживання. Якщо на USB-шині немає передачі даних, модуль автоматично переходить у режим призупинення

На наступному рисунку наведено еталонну схему USB

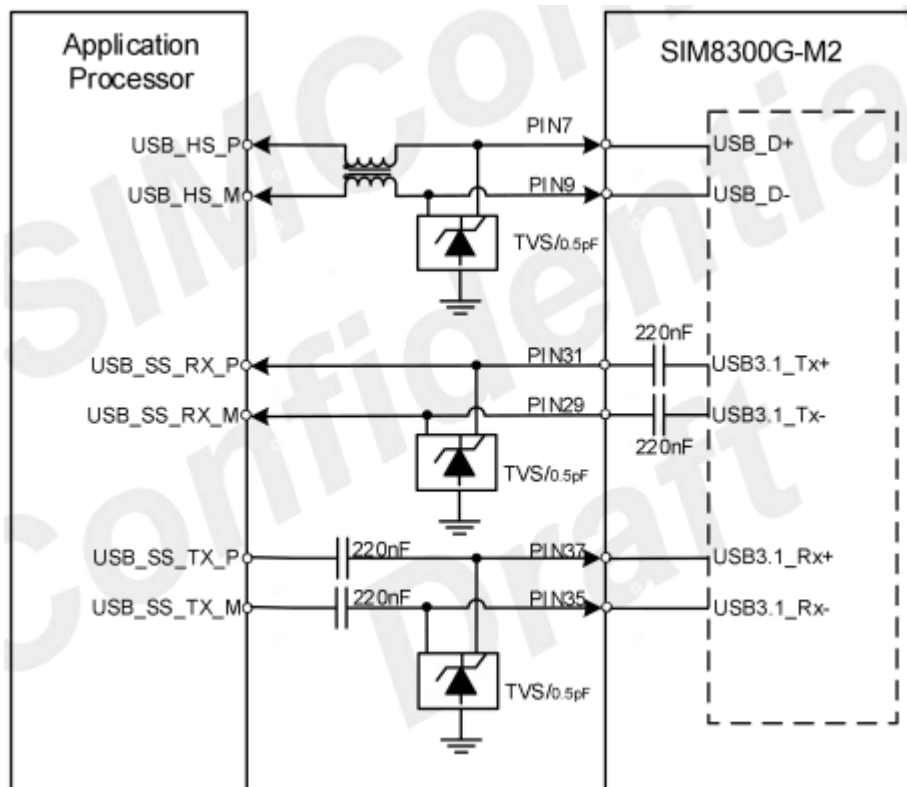


Рисунок 3.14 - Опорна схема USB

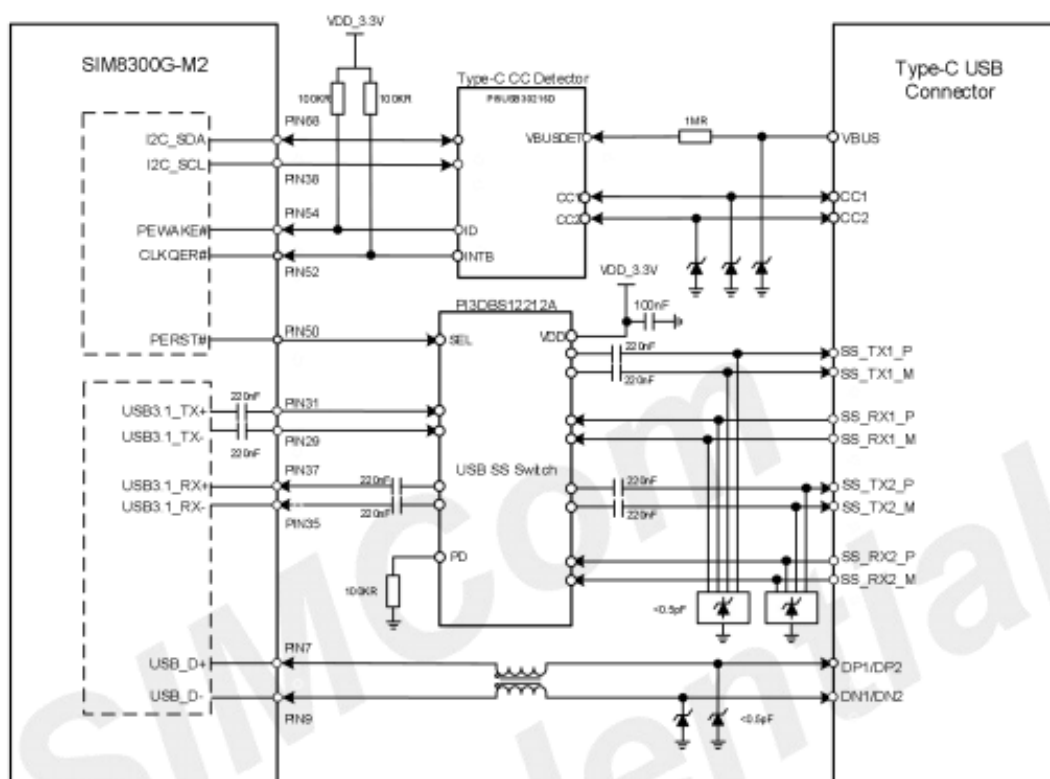


Рисунок 3.15 - Опорна схема USB типу C з детектором CC

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

1. “*”: PEWAKE #, CLKREQ #, PERST # використовується за замовчуванням для керуючого сигналу PCIe , при необхідності налаштування USB-інтерфейсу типу C рекомендуємо ці три сигнали, що використовуються для функції GPIO

Вказівки щодо розташування USB HS D + / D :

- Необхідний диференціальний опір трасування становить $90 \pm 10\%$ Ом.
- Невідповідність довжини смуг диференціального сигналу менше 1 мм.
- Розрив від інших сигналів повинен бути в ширину 3x ліній.
- Зовнішні компоненти повинні розташовуватися поблизу роз'єму
- Лінії віддалені від інших чутливих сигналів (ВЧ, аудіо та 38,4 М ХО).
- Діод TVS повинен бути розташований поблизу контактів роз'єму USB M.2.
- Максимальна довжина доріжки друкованої плати не повинна перевищувати 100 мм поза модулем, чим коротша доріжка і тим краще.
- Вказівки щодо конфігурації USB SS TX / RX:
- Необхідний диференціальний опір трасування становить $90 \pm 10\%$ Ом.
- Невідповідність довжини смуг диференціального сигналу менше 500 мкм.
- Відстань від інших сигналів підтримує ширину 4 x лінії. Розрив між Rx-to-Tx підтримує ширину 4xline.
- Зовнішні компоненти повинні розташовуватися поблизу роз'єму USB.
- Дотримуйтеся маршрутів для чутливих сигналів (ВЧ, особливо 2,4 ГГц).
- Діод TVS повинен бути розташований поблизу контактів роз'єму USB M.2.
- Маршрутизуйте диференціальні пари у внутрішніх шарах із фіксованою опорою GND, щоб мати хороший контроль опору та мінімізувати розриви.
- Підтримуйте ізоляцію між парами Tx, Rx та DP / DM, щоб запобігти перехресним перешкодам.
- Якщо використовуються втулки сердечника, не використовуйте більше двох втулок сердечника на одній сигнальній лінії, щоб зменшити відводи

PCIe Інтерфейс

SIM8300G-M2 підтримує односмуговий інтерфейс PCIe Gen3, швидкість передачі даних до 8 Гбіт / с, і може використовуватися як режим EP або RC *. CLKREQ # та PEWAKE # потребує підключення до 3,3 В на 100 тис. Повторних

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

посередників в дизайні замовника. На наступному малюнку наведено еталонну схему PCIe.

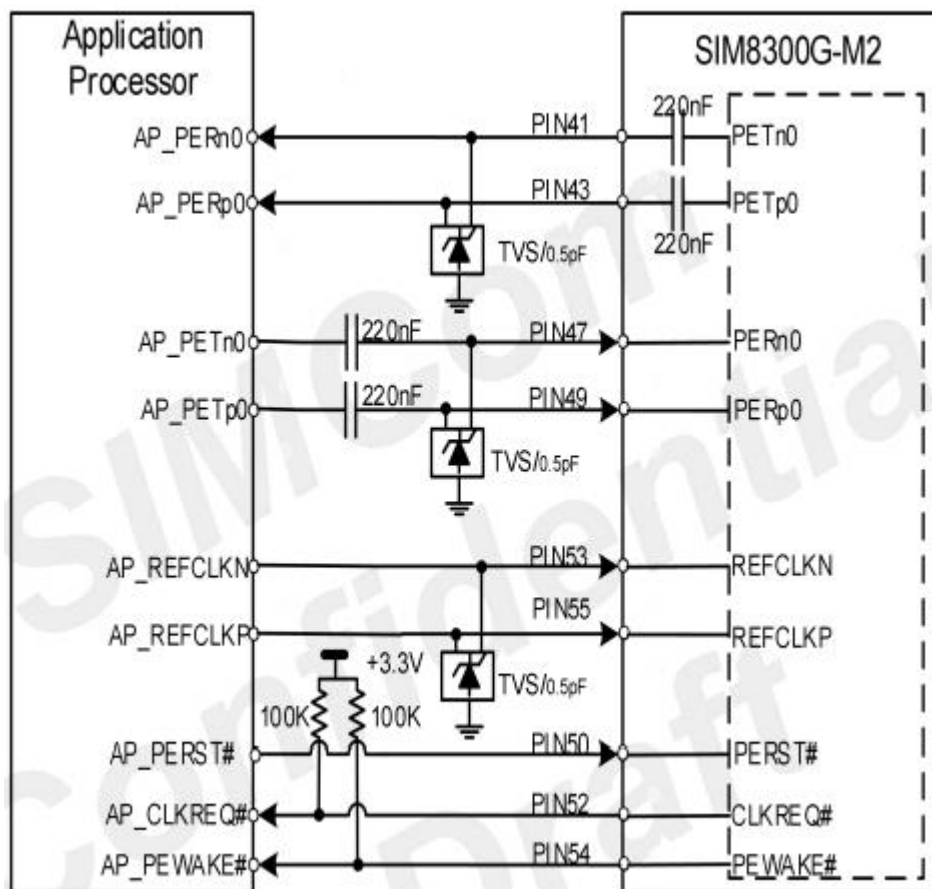


Рисунок 3.16 - Довідкова схема інтерфейсу PCIe (режим EP)

1. Конденсатори змінного струму AP_PETn0 та AP_PETp0 повинні бути закриті на AP.
2. Область напруги сигналів помічника PCIe становить 3,3 В.
3. Якщо модуль використовується як EP-модуль, інтерфейс USB одночасно не підтримується.

Вказівки щодо компонування інтерфейсу PCIe:

Необхідний диференціальний опір трасування становить $90 \pm 10\% \Omega$

Невідповідність довжини смуг диференціального сигналу в одній лінії повинно бути не більше 500мкм.

Відстань від інших сигналів повинна бути в ширину 4x ліній.

Розрив між Rx-to-Tx в ширину 4x ліній.

Їх слід відводити від чутливих сигналів

Діод TVS повинен розташовуватися поблизу контактів PCIe роз'єму M.2

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Усі інші чутливі / високошвидкісні сигнали та схеми повинні бути захищені від пошкодження PCIe.

Сигнали PCIe повинні бути захищені від перешкод (годинник, SMPS).

Кожна колія повинна прилягати до площини землі.

Максимальна довжина доріжки друкованої плати не повинна перевищувати 150 мм від модуля, чим коротша доріжка і тим краще..

(U)SIM Interface

SIM8300G-M2 підтримує подвійну напругу 1,8 В або 3,0 В (U)SIM1 карти або e- (U) SIM (внутрішню частину модуля) карту, розмір e- (U) SIM становить 2 мм * 2 мм * 1 мм.

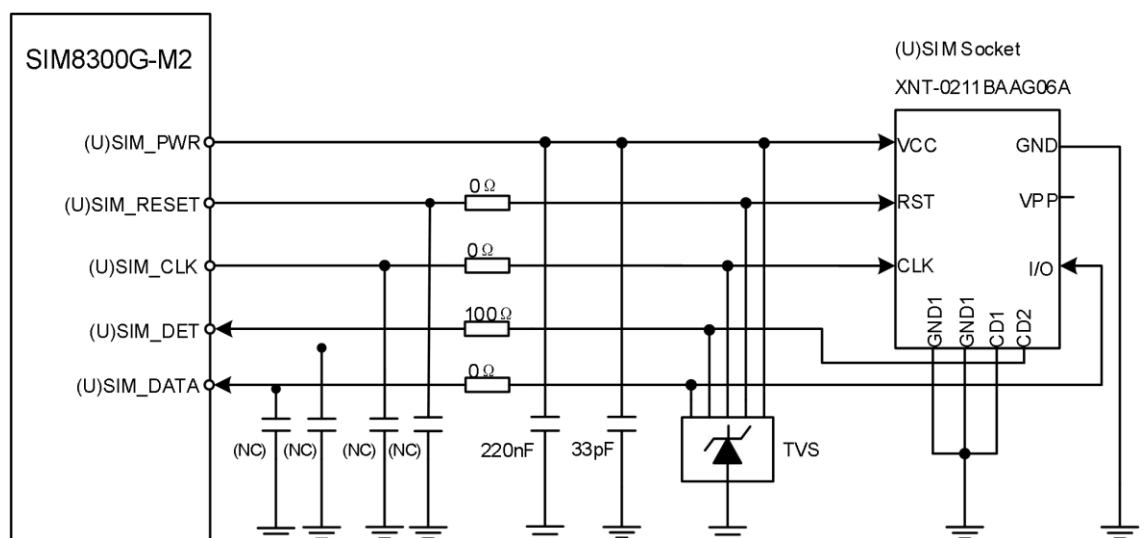


Рисунок 3.17 - (U) еталонна схема інтерфейсу SIM

I2S Опірний ланцюг

На наступному рисунку показана зовнішня схема дизайну опорних кодеків.

ALC5616 - це високопродуктивний стереокодек з низьким енергоспоживанням та аудіокодек з інтерфейсом I2S. Дані можуть передаватися через аналоговий вхід або цифровий мікрофонний вхід. Отримані дані також можуть надходити на вихід слухавки, лінійний вихід.

ALC5616 відрізняється дуже низьким енергоспоживанням без конденсатора для навушників. Під час відтворення він споживає менше 6,5

мВт енергії, що гарантує довший час автономної роботи мобільної системи в режимі навушників.

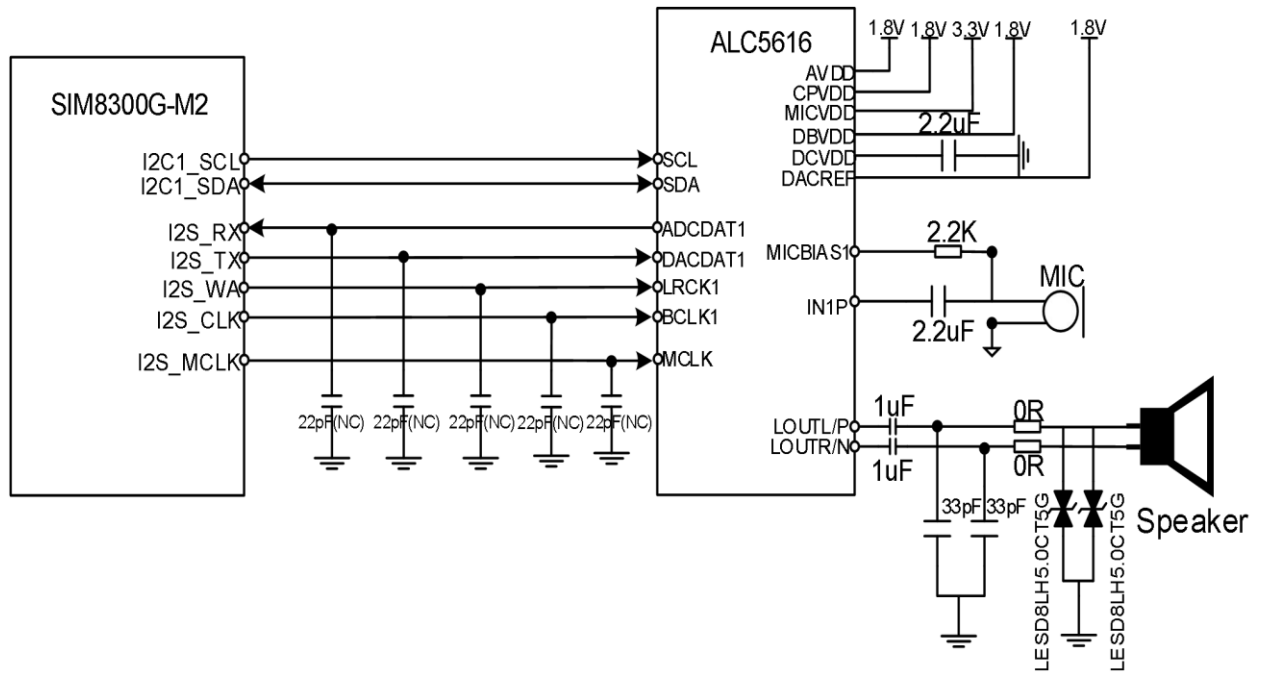


Рисунок 3.18 - Зовнішня схема дизайну опорних кодеків

Вбудований контролер динамічного діапазону (DRC) та 7-смуговий параметричний еквайзер забезпечують додаткові можливості цифрової обробки звуку на шляхах відтворення аудіо. DRC в ALC5616 постійно контролює рівень вихідного ЦАП. Коли рівень потужності низький, це збільшує коефіцієнт посилення вхідного сигналу, щоб він звучав голосніше.

У той же час, якщо виявляється піковий сигнал, він автоматично зменшує коефіцієнт підсилення, щоб уникнути раптового зменшення. Забезпечує максимальну / стабільну амплітуду сигналу без різання звуку та пошкодження динаміків. 7-смуговий параметричний еквайзер включає 7 незалежних фільтрів із програмованим коефіцієнтом підсилення, центральною частотою та смугою пропускання для регулювання частотної характеристики вбудованої акустичної системи відповідно до уподобань користувача.

Під час запису з мікрофона DRC в ALC5616 можна використовувати як AGC (контролер автоматичного посилення), щоб підтримувати постійний рівень гучності запису. Крім того, в трек запису вбудований динамічний фільтр вітру. Фільтр може виявляти рівень шуму вітру та динамічно вмикати / вимикати його, щоб підтримувати якість запису. ALC5616 вимагає лише двох

джерел живлення і має дуже низьке енергоспоживання, що робить його ідеальним для мобільних пристроїв.

Апаратне забезпечення SIM8300G-M2 за замовчуванням налаштовано як звичайний комунікаційний UART (команда AT). Рівень UART SIM8300G-M2 становить 1,8 В, якщо потрібен зв'язок із рівнем послідовного порту 3,3 В, рекомендується використовувати ІС зі зміщенням рівня. На наступному рисунку показано еталонну схему проектування зсуву рівня

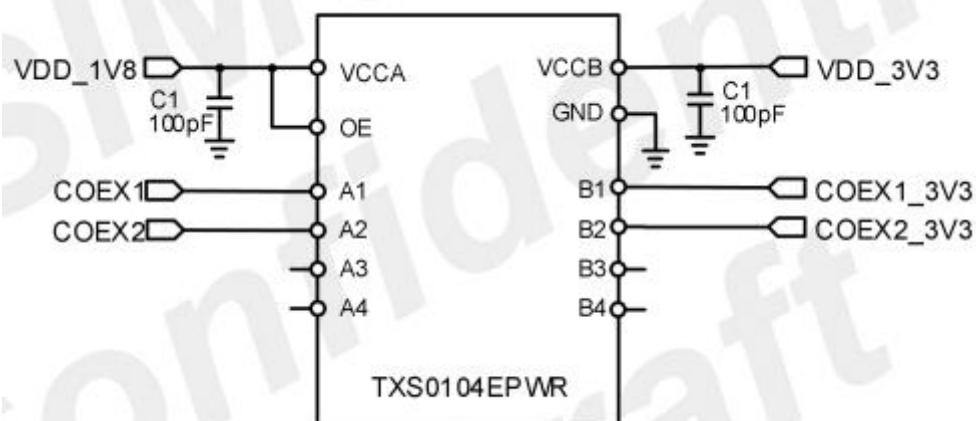


Рисунок 3.19 - Схема перетворення рівня UART

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ВИСНОВОК

В процесі виконання роботи, аналізуючи джерела літератури, були визначено напрям дипломної роботи. За допомогою огляду літератури було визначена та поставлена задача : «Розробка інфокомунікаційного пристрою з технологією радіодоступу ІМТ-2020, який повинен забезпечувати функціонування інформаційних мереж із використанням цієї технології, підвищення швидкості та стабільності обміну інформацією між абонентами інформаційної мережі»

Дане завдання було вирішене шляхом визначення основних функцій та завдання, які повинен виконувати інфокомунікаційний пристрій з технологією ІМТ-2020.

На підставі існуючої інформації був розроблений алгоритм функціонування інфокомунікаційного пристрою, структурна та функціональна схеми даного пристрою. Вихідні дані до проекту: Технологія передачі даних – відповідно до стандарту ІМТ – 2020. Сфера застосування пристрою – інформаційні мережі. Завадостійкий код – циклічний. При розробленні було застосовано елементи типу «Система на кристалі» (SoC).

					ЕЛІТ 6.172.316 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. http://mt-system.ru/sites/default/files/documents/sim8300g-m2_hardware_design_v1.04.pdf
2. https://en.wikichip.org/wiki/arm_holdings/microarchitectures/cortex-a77
3. <https://itechinfo.ru/content/%D0%B0%D1%80%D1%85%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0-%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8-5g>
4. https://www.researchgate.net/publication/347264435_5G_ARCHITECTURE_OVERVIEW_AND_DEPLOYMENTS_SCENARIOS/citations#fullTextFileContent
5. <http://www.mforum.ru/news/article/121089.htm>
6. <https://texnoblogger.com/snapdragon-865-novyj-flagmanskij-chip/#>
7. Бережна О.В. Система збору даних із використанням технології WIMAX / О.В. Бережна, Т.О. Протасова, Є.С. Романенко, О.М. Гагіна // Фізика, електроніка електротехніка (ФЕЕ-2021). Матеріали та програма науково-технічної конференції. – Суми: СумДУ, 2019. – С. 95
8. Борисенко О.А. Коди Фібоначчі в системах обробки інформації / О.А. Борисенко, О.В. Бережна, Є.С. Романенко, О.М. Гагіна., О. Р. Погуляй // Фізика, електроніка електротехніка (ФЕЕ-2021). Матеріали та програма науково-технічної конференції. – Суми: СумДУ, 2019. – С. 93

