

Гарчиг

1	Хамрах хүрээ.....	5
2	Норматив эшлэл.....	6
3	Нэр томъёо, тодорхойлолт.....	7
3.1	Алсын радио нэгж – (RRU).....	7
3.2	Үндсэн зурвасын нэгж– BBU (Base Band Unit)	7
4	АЛСЫН РАДИО НЭГЖ (RRU).....	7
4.1	RRU-ийн үндсэн тодорхойлолт	7
4.2	RRU-ийн функцүүд.....	7
4.3	RRU-ийн техник хангамж.....	8
5	5G RRU ТУРШИЛТ, ХЭМЖИЛТИЙН АРГАЧЛАЛ	9
5.1	Хэмжилт туршилтад бэлтгэх дараалал	9
5.1.1	Бэлтгэл ба тохируулга.....	9
5.1.2	RRU болон хэмжилтийн орчны тохиргоо	9
5.1.3	Гүйцэтгэлийн хэмжилт	10
5.1.4	Хөдөлгөөний хэмжилт	10
5.1.5	Ачааллын хэмжилт.....	10
5.1.6	Дулааны болон хүрээлэн буй орчны хэмжилт	10
5.1.7	Гэмтэл болон сэргээх хэмжилт	11
5.1.8	Баримтжуулалт ба үр дүн	11
5.1.9	Нийцлийн шалгалт	11
6	5G RRU SUB-6ГГЦ ХЭМЖИЛТИЙН АРГА.....	11
6.1	А ангиллын тоног төхөөрөмжийн хэмжилтийн арга.....	11
6.1.1	5G RRU – Жигд цацаргалттай эквивалент чадлын (P _{e.i.r.} p) тооцоолол	11
6.1.2	5G RRU – Цацраг хэлбэржүүлэлт болон цацаргалтын графикууд.....	13
6.2	Давтамжийн муж	14
6.3	5G RRU-ийн цацаргалтыг хэмжих.	15
6.4	Хүсээгүй (Unwanted Emission) цацаргалтын хэмжилтийн арга	16
6.4.1	5G RRU-ийн нийт цацаргалтын (Total Emissions TE) хэмжилт	16
6.4.2	5G RRU-ийн бусад цацаргалтын (Other Emissions-OE) хэмжилт.....	18
6.5	Нийт цацаргалтын (TE) хэмжилтийн арга	18
6.5.1	5G RRU талбайн хэмжилтийн тайлангийн загвар	20
6.6	Хэмжих 5G RRU хүлээн авагчийн шаардлагууд	20
6.6.1	5G RRU eirp хэмжилт.....	21
6.6.2	Бусад цацаргалтыг (Other emission-OE) хэмжих арга.....	23
6.6.3	Төхөөрөмжийн ангилал, түүний хязгаарууд	24

6.6.4 Бусад цацаргалт (OE)	26
6.6.5 Нийт чадлын спектр нягт (UE-TP)	26
7 ЦУУРАЙГҮЙ КАМЕР БУЮУ ЧЕМБЕРИЙН ӨРӨӨНД 5G RRU ХЭМЖИЛТ ХИЙХ АРГАЧЛАЛ	27
7.1 5G RRU хамгийн их дамжуулах чадварыг (5G RRU Throughput Testing Plan) хэмжих хэмжилт.....	27
7.2 5G RRU лабораторийн хэмжилтийн тайлан загвар	29
7.3 5G RRU нэвтрүүлэгчийн асаах / унтраах (on/off) үеийн чадлын хэмжилт.....	29
7.4 5G RRU-ийн нэвтрүүлж буй дохионы чанарыг хэмжих	30
7.4.1. Хүлээн авсан дохионы эталон дохио (RSRP), хүлээн авсан дохионы чанарын эталон (RSRQ), дохио шуугиан, интерференцийн харьцаа (SINR) хэмжих.....	30
7.5 EVM хэмжих модуляцийн чанарын тест:	31
7.6 Spectrum Emission Mask (SEM) болон (Adjacent Channel Leakage Ratio -ACLR) шалгах	31
7.6.1 SEM болон ACLR хэмжих арга:	31
7.6.2 Тайлангийн загвар (Жишээ):	31
7.7 Динамик царын тодорхойлох:	32
7.8 5G RRU-ийн	33
нэвтрүүлэх дохионы чанар.....	33
7.9 Спектрийн хэтрэлтийн хязгаарыг тодорхойлох Хэмжилтийн аргачлал:.....	34
7.10 5G RRU-ийн хүсээгүй цацаргалт (Unwanted Emissions).....	35
7.11 Хуурамч цацаргалт (Spurious Emission)	37
7.12 Интермодуляц	38
7.13 5G RRU-ийн түлхүүр RF үзүүлэлтүүдийг цуурайгүй камер буюу радио долгионы нөлөөллөөс бүрэн тусгаарлагдсан орчин буюу чемберт хэмжих	39
7.14 ЦУУРАЙГҮЙ ЧЕМБЕРТ ХИЙХ 5G RRU ХЭМЖИЛТ	42
ХАВСРАЛТ 1	45
1. Төвлөрсөн ба виртуал Радио хандалтын сүлжээ (PXC)	45
2. C-RAN	45
3. Виртуал Радио хандалтын сүлжээ V-RAN	46
4. Front-haul.....	47
X.1.1 RRU суурилуулах интерфэйс ба жишээ	48
X.1.2 RRU Хажуу байрлалд суурилуулсан интерфэйс.....	49
X.1.3 RRU-ын өгөгдлийн холболт	50
ХАВСРАЛТ 2	54
X.2.1 RRU суурилуулалт	55
X.2.2 Цахилгаан тэжээлийн хангамж.....	57

Х.2.3 Төвлөрсөн газруудаас авах тогтмол гүйдлийн тэжээл	58
ХАВСРАЛТ 3 ЦУУРАЙГҮЙ ЧЕМБЕР	61
Х.3.1 Цуурайгүй Чемберийн Хэмжилтийн орчин ба ерөнхий зохицуулалт	61
Х.3.2 Газардуулгын дамжуулагч хавтгайтай чембер	62
Х.3.3 Антену хэмжилт	63
Х.3.4 Антену хэмжилт	63
Х.3.5 Сайтын цацаргалтыг хэмжих зөвлөмж.....	64
Х.3.5.1 Хэмжилтийн талбайн баталгаажуулалт	64
Х.3.5.2 DUT-ийг бэлтгэх.....	64
Х.3.5.3 DUT тэжээлийн хангамж	64
Х.3.5.4 Хамрах хүрээний урт.....	65
Х.3.5.5 Сайтын бэлтгэл.....	65
Х.3.5.6 RF кабелийн ерөнхий шаардлага	66
Х.3.5.7 Дизайны норматив шаардлага	66
Х.3.5.8 Хэмжилтийн антен ба урьдчилсан өсгөгчийн үзүүлэлтүүд.....	66
Х.3.6 Төлөөлөл болгосон хананы тодорхойлолт	67
Х.3.7 Хананы унтралтыг хэмжих журам	68
Х.3.8 Ердийн хананы хэмжилтийн үр дүн	69
Х.3.9 ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖИЙН БАТАЛГААЖУУЛАЛТ, ХЭМЖИЛТИЙН ЖУРАМ..	69
Х.3.10 ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖИЙН БАТАЛГААЖУУЛАЛТ	69
Х.3.10.1 БАТАЛГААЖУУЛАЛТЫН ХЭМЖИЛТИЙН АРГАЧЛАЛ	70
Х.3.10.2 Хэмжилтийн горимын шаардлага	70
Х.3.10.3 Техникийн шаардлага.....	70
Х.3.11 Ерөнхий радио параметрийн шаардлагууд:	72
Х.3.12 RRU ТӨХӨӨРӨМЖИЙН ТЕСТИЙН ЕРӨНХИЙ ШААРДЛАГА	74
Х.3.13 АЮУЛГҮЙ БАЙДЛЫН ШААРДЛАГА	74
Х.3.14. RRU Хэмжилтийн систем ба арга.....	75
ХАВСРАЛТ 4	79
Х.4.1 Хэмжилт, хэмжилтийн аргачлал.....	79
Х.4.2 5G RRU – Төхөөрөмжийн Тестийн Ерөнхий Шаардлага	80
Х.4.3 ОТА ба Beamforming хэмжилт	81
Х.4.4 Хэмжилтийн орчны нөхцөл	81
Х.4.5 Ашиглах стандартууд	81
Х.4.6 RRU Хэмжилтийн Систем ба Арга.....	81
Х.4.6.1 Хэмжилтийн системийн бүрдэл хэсгүүд	81
Х.4.6.2 Хэмжилтийн аргачлал	81

Х.4.7 RRU Төхөөрөмжийн Дотоод Архитектур (Блок схем)	82
Х.4.8 RRU блок диаграммд суурилсан хэмжилтийн аргачлал.....	82
Х.4.8.1 CPU ба Удирдлагын хэсэг	82
Х.4.8.2 FPGA – Өгөгдөл боловсруулах хэсэг	82
Х.4.8.3 RF Интерфейс – DL/UL/OPT	82
Х.4.8.4 Хэмжилт хийх дараалал	83
Х.4.9 RRU хэмжилтийн гаднах системийн холболтын схем	83
Х.4.9.1 Системийн бүрэлдэхүүн хэсгүүд	83
Х.4.10 RRU хэмжилтийн алхам бүрийн тайлбартай шалгах хуудас	84
Мэдээллийн товчилсон хураангуй.	93
НОМ ЗҮЙ	97

МОНГОЛ УЛСЫН СТАНДАРТ

Ангилалтын код

Хөдөлгөөнт холбооны “5G Алсын радио нэгж (RRU)”, Алсын радио нэгжийн хэмжилтийн аргачлал	MNS
Methodology of measurement in Mobile communication radio unit "5G Remote Radio Unit (RRU)	MNS

Стандарт, хэмжил зүйн газрын даргын 2025 оны.. дүгээр сарын -ний өдрийн С/дүгээр тушаалаар батлав.

Энэ стандарт нь 2025 оны дүгээр сарын ... -ний өдрөөс эхлэн хүчинтэй.

1 Хамрах хүрээ

Монгол улсад өнөөгийн нөхцөлд хөдөлгөөнт холбооны 4G LTE-д суурилсан 5G сүлжээг нэвтрүүлэхэд зайлшгүй шаардлагатай төхөөрөмжийн нэг нь Алсын радио нэгж (5G RRU) юм.

Үүрэн хөдөлгөөнт холбооны үйлчилгээ явуулж байгаа оператор компаниудын бааз станцад 4G-ээс 5G сүлжээнд шилжихэд тэдгээрийн төрөл, ангилал, үйлдвэрлэгчийн болон техникийн үзүүлэлтүүдийг хэмжиж баталгаажуулахад уг стандартыг хэрэгжүүлнэ.

Энэ стандарт нь 4G сүлжээнд 5G үйлчилгээг нэвтрүүлэхэд үүр хоорондын харилцан нөлөөллийг бууруулахад чиглэгдэнэ.

Алсын радио нэгж (RRU) нь гар утас, хөдөлгөөнт төгсгөлийн төхөөрөмж зэрэг хэрэглэгчийн төхөөрөмжийн (UE) тусламжтайгаар бүхий л операторын сүлжээнд холбогддог тархмал байрлалтай, нэгдсэн давтамж бүхий нэгж юм.

Уламжлалт үүрэн хөдөлгөөнт холбооны системд зориулсан радио бүтэц нь ихэвчлэн дотор орчны бие даасан дан системд буюу бааз станцад суурилдаг бол 5G үүрэн холбооны бүтэц нь "тархмал ба нэгдмэл" гэсэн логик нэр томъёололтой. Иймд BTS (Бааз терминал станц) нь BBU, Алсын радио нэгж (RRU) зэрэг радио нэгжүүдийн нэгтгэл юм. Уг радио нэгжүүдийг антены цамхаг дээр эсвэл гэрлийн баганад суурилуулна.

3GPP суурь стандартын үүрэн хөдөлгөөнт холбооны 4G-ээс 5G нэвтрүүлэх үе шатанд 5G алсын радио нэгжийг (RRU) нэвтрүүлэх үүрүүдийн тоо, хэмжээ болон хамрах хүрээнээс хамааран олон тоогоор ашиглах хэрэгцээ шаардлагын дагуу тэдгээрийн үндсэн үзүүлэлтүүдийг хэмжих, зөвшөөрөгдөх стандартын утгатай харьцуулан баталгаажуулах хэрэгцээ, шаардлага үүсэх бөгөөд энэ нь харилцан нөлөөллийг бууруулах үндсэн нөхцөлийн нэг болно.

Энэ стандарт нь 5G алсын радио удирдлагатай нэгжийг (RRU) шинээр нэвтрүүлэх, төлөвлөх, өргөтгөхөд техникийн болон суурилуулалтын хамгийн бага шаардлагыг тодорхойлно.

Энэ стандартыг хөдөлгөөнт холбооны сүлжээг байгуулахад, түүний ашиглалт үйлчилгээг явуулах оператор компаниуд уг үйлчилгээ явуулах бусад аж ахуйн нэгж, байгууллага, тэдгээрийн инженер техникийн ажилтнууд, зураг төсөл зохиогч болон төслийн байгууллага мөрдөнө.

2 Норматив эшлэл

Энэ стандартад дараах эш татсан баримт бичгийг хэрэглэнэ.

- [1] ETSI TS 132 450 V13.0.0 (2016-02), 3GPP TS 32.450 version 13.0.0 Release 13
- [2] [http://Project%20RF%20antenna/Алсын радио нэгж \(RRU\)%20standard/Алсын радио нэгж \(RRU\)-Remote%20Radio%20Unit_%20Function,Concept,Details%20-%20Telecomkhabar.html](http://Project%20RF%20antenna/Алсын%20радио%20нэгж%20(RRU)%20standard/Алсын%20радио%20нэгж%20(RRU)-Remote%20Radio%20Unit_%20Function,Concept,Details%20-%20Telecomkhabar.html)
- [3] <http://www.morelinktec.cpm/news/what-is-the-difference-between-5G-base-station-system-and-4G>
- [4] АЛСЫН РАДИО НЭГЖ (RRU) ETSI TS 110 174-2-2 V1.2.1 (2020-11) Chapter 6
- [5] ETSI EN 300 113 V2.1.1 (2016-08)
- [6] ETSI TS 138 141-1 V15.3.0 (2019-10), Technical specification: 5G; NR; Base Station (BS) conformance testing Part 1: Conducted conformance testing (3GPP TS 38.141-1 version 15.3.0 Release 15)
- [7] Chamber ETSI EN 302 498-1 V1.1.1 (2009-08)
- [8] CISPR 16-1 (2003): "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus".
- [9] ETSI TR 100 028 (all parts) (V1.4.1): " Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics".
- [10] ETSI TR 102 273 (all parts) (V1.2.1): "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Improvement on Radiated Methods of Measurement (using test site) and evaluation of the corresponding measurement uncertainties".
- [11] ANSI C63.5 (2006): "American National Standard for Calibration of Antennas Used for Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference (EMI)". ECC Decision of 30 March 2007 on specific Material Sensing devices using Ultra Wideband (UWB) technology (ECC/DEC/(07)01), amended 26 June 2009
- [12] [https://www.etsi.org/standards#page=1&search=5G%20АЛСЫН РАДИО НЭГЖ \(RRU\)&title=1&etsiNumber=1&content=1&version=0&onApproval=1&published=1&withdrawn=1&historical=1&isCurrent=1&superseded=1&startDate=1988-01-15&endDate=2025-04-13&harmonized=0&keyword=&TB=&stdType=&frequency=&mandate=&collection=&sort=1](https://www.etsi.org/standards#page=1&search=5G%20АЛСЫН%20РАДИО%20НЭГЖ%20(RRU)&title=1&etsiNumber=1&content=1&version=0&onApproval=1&published=1&withdrawn=1&historical=1&isCurrent=1&superseded=1&startDate=1988-01-15&endDate=2025-04-13&harmonized=0&keyword=&TB=&stdType=&frequency=&mandate=&collection=&sort=1)

[13]https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/128500_128599/128552/18.10.00_60/ts_128552v181000p.pdf

[14]

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138500_138599/13852103/15.02.00_60/ts_13852103v150200p.pdf 5GNSA

3 Нэр томьёо, тодорхойлолт

Энэ стандартад дараах нэр томьёо, тодорхойлолтыг хэрэглэнэ.

3.1 Алсын радио нэгж – (RRU)

Энэ нь 4G LTE eNB-ын антены дор байрлах 5G үйлчилгээг нэвтрүүлэхэд шаардагдах төхөөрөмж болно.

3.2 Үндсэн зурвасын нэгж– BBU (Base Band Unit)

Үндсэн зурвасын нэгжийг (BBU) үйлдвэрлэгч бүр өөрийн шийдлийнхээ хувьд арай ялгаатай системийн бүтэцтэй байдаг ч 3GPP 5G стандартын нийцлийг хангасан байдаг. Уламжлалт үндсэн зурвасын нэгж BBU нь цамхгийн доод хэсэгт байрлах бааз станцын кабинет дотор тус тусдаа байрладаг байсан бол 5G сүлжээнд эдгээр үндсэн зурвасын нэгжүүд нь нэг BBU нэгжид төвлөрснөөр системийг илүү төвөгтэй болгосон ч илүү үр ашигтай, хэмнэлттэй болгож, үүнтэй холбоотой хурдны асар их давуу талтай болсон. Алсын радио нэгжээс (RRU) ирсэн шилэн кабелийн дохиог BBU дээр цахилгаан дохио болгон хувиргаж, үндсэн зурвасын давтамжийг тохируулсны дараа үндсэн сүлжээнд дамжуулал хийгдэнэ.

4 АЛСЫН РАДИО НЭГЖ (RRU)

4.1 RRU-ийн үндсэн тодорхойлолт

RRU-ийн үндсэн үзүүлэлт:

- RF антены коннектор дээрх хамгийн их гаралтын чадал (Maximum output power at RF antenna connector)
- RF антены коннектор дээрх хуурамч цацагдал (Spurious emissions at RF antenna connector)
- Цацагдсан хуурамч цацагдал (Radiated spurious emissions)
- Давтамжийн тогтворжилт (Frequency stability)
- Эзлэгдсэн зурвасын өргөн (Occupied bandwidth RSS-Gen)
- Хүлээн авагчийн хамаарагдах хязгаар (Receiver conducted limits).

RRU нь RBS-ийн үйлчлэх хүрээг алсаас 10 км хүртэл сунгадаг. Иймд антены ойролцоо байрлуулах зориулалттай. Шилэн кабель нь алсын радио нэгжийг (RRU) RBS үндсэн нэгж эсвэл өргөтгөсөн макро RBS-тэй холбоно. Алсын радио нэгжүүдийг (RRU) каскадын тохиргоонд болон оптикийн тусламжтайгаар од тохиргоонд холбож болно. RRU нь зөвхөн босоо бэхэлгээнд зориулагдсан.

4.2 RRU-ийн функцүүд

1. RRU нь нэвтрүүлэгч болон хүлээн авагчийн үүрэг гүйцэтгэнэ: Хэрэглэгчийн дохиог үндсэн станц руу дамжуулах, хүлээн авах ба эсрэг чиглэлд гүйцэтгэх.
2. Чадал, саатал зэрэг хэрэглэгчийн төхөөрөмжийн хооронд дэс дараалан дэмжлэг үзүүлж, холболтыг хангах.

3. Оптик ба цахилгаан соронзон (ЕМ) хоёр физик шугамын хоорондох интерфейсийг хангах.
4. Алсын цахилгаан хазайлтыг (RET) тохируулахад зориулсан алсын удирдлагын нэгж (RCU) зэрэг туслах төхөөрөмжийг дэмжих.
5. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio), RET (Remote Electrical Tilt), (ACT) зэрэг ялгаатай дохионуудыг үүсгэж, илгээх.

4.3 RRU-ийн техник хангамж

RRU-ийн өөр өөр зориулалттай түгээмэл портуудыг нэгтгэн харуулав.

1. CPRI порт: CPRI0 ба CPRI1 гэсэн ерөнхийдөө 2 порт байх ба зарим загварт нэг байж болно. Үндсэн үүрэг нь BBU-д холбогдох
2. RF порт: Үүнийг Jumper порт гэнэ. Ерөнхийдөө холбогч портын тоо нь загвар болон компанийн бүтцээс хамаарч ялгаатай байж болно. Хамгийн багадаа 2 холбогч порт байх ба тэдгээрийн нэг нь нэвтрүүлэх (Tx), нөгөө нь (Tx/Rx) Нэвтрүүлэх/Хүлээн авах үүрэгтэй. RF порт нь холбогч кабелиар дамжуулан антентай холбогдоно.
3. RET порт: Алсын удирдлагын нэгжтэй RCU холбоход хамгийн багадаа нэг RET порт байна. Ихэнх тохиолдолд холбогч нь DB9 байдаг боловч бусад тохиолдолд өөр өөр байж болно. RCU нь антентай холбогдсон. RET кабель нь RCU болон RRU-г холбодог.

RRU нь нээлттэй радио хандалтын сүлжээг (OpenRAN) үүсгэхэд чиглэсэн хос зурвастай.

Энэхүү загвар нь нээлттэй радио хандалтын сүлжээний экосистемд шинээр гарч ирж буй чадлын хоёр зурвасын радио нэгжүүдтэй холбоотой цахилгаан болон механик сорилтуудыг шийдвэрлэх шийдлүүдтэй. Тоон урьдчилсан гажуудал (DPD) болон крест фактор бууруулалт (CFR) нь долгионы хэлбэрийн чадлын харьцааг өндөр утгаас дундаж руу бууруулах аргууд юм. Эдгээр дохио боловсруулах нарийн төвөгтэй алгоритмуудтай холбоотойгоор одоогийн зах зээлийн бүтээгдэхүүнээс илүү сайн үзүүлэлттэй болсон.

Алсын радио нэгжийг (RRU) модуль бүтэцтэй болгосон. Модульчлагдсан бүтэц нь радио нэгжийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг өсгөгч, тэжээлийн хэсэг болон бусад хэсгүүдтэй нэгтгэх боломжтой, олон төрлийн радио нэгжийг дахин холбох уян хатан байдлыг хангадаг.

1. Цахилгаан хангамжийн порт

Алсын радио нэгжийг (RRU) тэжээх нэг порт байдаг. Ихэнхдээ хөх, хар өнгөтэй байдаг. Цэнхэр нь сөрөг (-), хар нь тэг (0) гэсэн утгатай. Ерөнхийдөө RRU нь -48V-д ажиллана.

2. Газардуулгын порт

Газардуулга хийх хоёр OT порт байдаг. Газардуулгын кабель: ихэвчлэн зэс утас, нэг төгсгөл нь RRU-д, нөгөө төгсгөл нь RRU-ийн ойролцоох Bus Bar руу холбогддог.

3. RRU инновац ба үйлдвэрлэгчид

Сүүлийн жилүүдэд харилцаа холбооны тоног төхөөрөмж үйлдвэрлэгчид радио алсын удирдлагатай нэгж (RRU)-ийн загвар, үйл ажиллагааг тасралтгүй шинэчилж байна. Инновацийн үр дүнд RRU нь илүү хөнгөн жинтэй, бат бөх, уян хатан бүтэцтэй болсон төдийгүй ихээхэн багтаамжтай болж, олон зурвасыг нэг төхөөрөмжөөр дэмжих боломжтой болсон. Өмнө нь нэг RRU нь зөвхөн нэг зурвасын дохиог дэмждэг байсан бол одоо нэгж нь 2100 МГц давтамжийн хоёр буюу түүнээс дээш зурвасыг нэгэн зэрэг дэмжих чадвартай болсон. Энэ нь нийт тоног төхөөрөмжийн өртгийг бууруулах, системийн найдвартай ажиллагааг сайжруулах, суурилуулалтын үр ашгийг нэмэгдүүлэхэд чухал хувь нэмэр оруулж байна.

5 5G RRU ТУРШИЛТ, ХЭМЖИЛТИЙН АРГАЧЛАЛ

5G RRU-ийн хэмжилтийн аргачлал нь 5G сүлжээн дэх RRU-ийн гүйцэтгэл, найдвартай байдал, ажиллагааг үнэлэхэд чиглэсэн хэд хэдэн үе шаттай байна. Хэмжилт нь ихэвчлэн шаардагдах гол бүрэлдэхүүн хэсгүүдээс тогтоно.

1. Хэмжилтийн зорилтууд: Хэмжилт нь нэвтрүүлэх чадвар, саатал, багтаамж болон бусад гүйцэтгэлийн хэмжигдэхүүн шиг тодорхойлох зорилтуудтай.

2. Хэмжилтийн орчны тохиргоо:

- Лабораторийн хэмжилтүүд: Төрөл бүрийн нөхцөл байдлыг илэрхийлсэн, төхөөрөмж бүхий хяналттай орчин байна.
- Талбайн хэмжилтүүд: Хүрээлэн буй орчны янз бүрийн хүчин зүйлсийн гүйцэтгэлийг үнэлэхийн тулд бодит нөхцөл байдлыг ашиглах.
- Гаднын нөлөөллөөс бүрэн тусгаарлагдсан орчин (чембер)

3. Хэмжилтийн үндсэн үзүүлэлтүүд (KPI):

- **Дамжуулах чадвар:** Төрөл бүрийн ачааллын үед өгөгдөл дамжуулах хурдыг хэмжих.
- **Хоцролт:** Өгөгдөл дамжуулах саатлыг үнэлэх.
- **Дохионы чанар:** Хүлээн авсан лавлагаа дохио (RSRP), хүлээн авсан лавлагааны чанар (RSRQ), дохио-шуугианы харьцаа (SNR) зэрэг параметруудийг үнэлнэ.

4. Ачааллын хэмжилт: RRU-ийн гүйцэтгэлд сөрөг нөлөө үзүүлэлгүйгээр дээд даацыг нь тодорхойлохын тулд хамгийн их ачааллын нөхцөлд хэмжилт хийгдэнэ.

5. Интерференцийн сорилт: Хос сувгийн болон зэргэлдээ сувгийн интерференцийн нөлөө байгаа үед RRU хэрхэн ажиллаж байгааг үнэлнэ.

6. Хөдлөмжийн хэмжилт: Хэрэглэгчийн төхөөрөмж (UE) хөдөлгөөний үеийн гүйцэтгэлийг үнэлэх, үүнд гардвар (handover) хийх хувилбарууд орно.

7. Гэмтэл, түүнийг сэргээх хэмжилт: Гэмтлийг зориудаар дуурайн үүсгэж, сэргээх механизмыг үнэлэх замаар найдвартай байдлыг шалгана.

8. Хөргөх ба дулааны хэмжилт: RRU нь тогтоосон температурын хүрээнд хэвийн ажиллаж байгаа эсэхийг шалгана.

9. Баталгаажуулалт ба нийцлийн хэмжилт: 3GPP болон ETSI-аас тогтоосон стандартад нийцэж байгаа эсэхийг шалгана.

10. Баримтжуулалт ба тайлагнах: Шинжилгээ, нийцлийн зорилгоор хэмжилтийн журам, үр дүн болон аливаа зөрүүг бүртгэнэ.

Эдгээр аргачлалын дагуу RRU-ийн гүйцэтгэл нь 5G сүлжээний ашиглалтын техникийн үзүүлэлтүүд болон хэрэглэгчийн шаардлагад нийцэж байгаа эсэхийг баталгаажуулж чадна.

5.1 Хэмжилт туршилтад бэлтгэх дараалал

5.1.1 Бэлтгэл ба тохируулга

Шаардлагатай тоног төхөөрөмжүүд:

- Чемберийн өрөө
- Хэмжилтийн хэрэгсэл (жишээ нь, сүлжээний анализатор, спектр анализатор, дохио үүсгэгч)
- RRU-д зориулсан алсын удирдлагатай интерфейс
- Антен (жишээ нь, бааз станцын антен)
- Хэмжилт тохируулга: Нарийвчлалтай хэмжилтийг баталгаажуулахын тулд хэмжилтэд ашиглах бүх төхөөрөмжийг тохируулах.

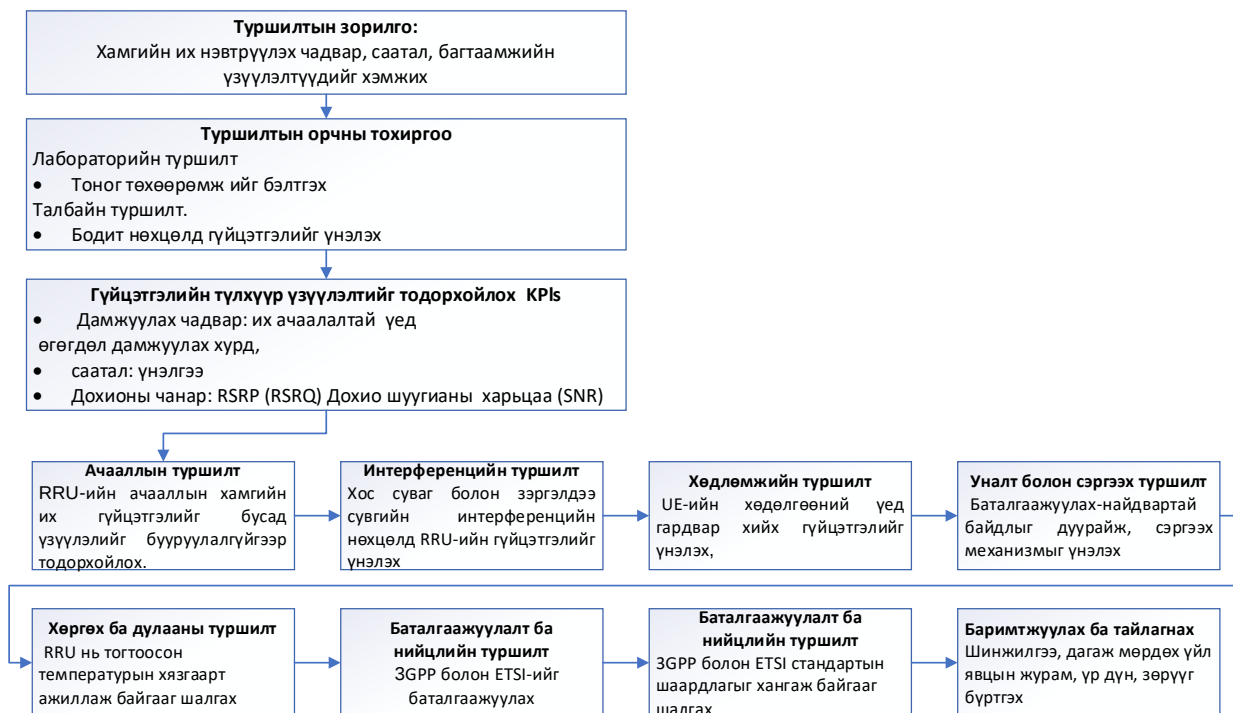
5.1.2 RRU болон хэмжилтийн орчны тохиргоо

- Байршил: RRU болон антенуудыг стандарт тохиргооны дагуу чемберийн камерт суулгах.

- Холболт: RRU-г шаардлагатай хэмжилтийн төхөөрөмж болон цахилгаан тэжээлийн үүсвэрт холбох.

5.1.3 Гүйцэтгэлийн хэмжилт

- Дамжуулах чадварын хэмжилт: Төрөл бүрийн нөхцөлд RRU-ийн ажиллах хамгийн дээд чадварыг үнэлэхийн тулд тодорхой протоколуудыг (жишээ нь, TCP/UDP) ашиглан өгөгдөл дамжуулах хурдыг хэмжинэ.
- Дохионы чанарын хэмжилт: Шалгаж тохируулсан хэмжих төхөөрөмжийг ашиглан хүлээн авсан чадлын эталон дохио (Reference Signal Received Power -RSRP), Reference Signal Received Quality -RSRQ, Дохио шуугианы харьцаа SNR зэрэг параметруудийг үнэлнэ.



5.1-р зураг - 5G Radio Remote Unit (RRU) түршилт, хэмжилтийн дараалал

- Хоцролтын хэмжилт: Дамжуулалтын хүлээн зөвшөөрөгдөх хоцрогдлын түвшнийг баталгаажуулахын тулд өгөгдөлд хүрэх хоёр талын хугацааг хэмжинэ.
- Хөндлөнгийн сорилт: Хамтарсан суваг болон зэргэлдээ сувгийн хөндлөнгийн оролцоотой үед RRU хэрхэн ажилладгийг үнэлнэ.

5.1.4 Хөдөлгөөний хэмжилт

Хүлээж авах хувилбарууд: Хэрэглэгчийн төхөөрөмжийн (UE) хөдөлгөөнийг дуурайж, RRU нь дуудлага, дамжуулалтыг зогсоохгүйгээр гардварын процессыг хэр сайн хийгдэж байгааг тэмдэглэх.

5.1.5 Ачааллын хэмжилт

Ачааллын симуляци: RRU-ээр дамжуулах ачааллын төвшнийг өөрчилж, ачаалал ихтэй нөхцөлд түүний гүйцэтгэлийг тодорхойлох, хамгийн их багтаамжийг тодорхойлох

5.1.6 Дулааны болон хүрээлэн буй орчны хэмжилт

Температур ба чийгшлийн хяналт: Төрөл бүрийн үйл ажиллагааны нөхцөлд найдвартай байдлыг хангахын тулд RRU-ийн гүйцэтгэлийг янз бүрийн температур, чийгшлийн түвшинд турших.

5.1.7 Гэмтэл болон сэргээх хэмжилт

Чадлын мөчлөгийн хэмжилтүүд: RRU-г сэргээх процессыг туршихын тулд цахилгааны гэмтлийг дуурайж, өгөгдөл алдалгүйгээр хэвийн ажиллагааг үргэлжлүүлэх боломжтой.

5.1.8 Баримтжуулалт ба үр дүн

Мэдээллийн бүртгэл: Хэмжилтийн бүх үр дүнг гажуудалтай болон тухайн бүх үр дүнг тэмдэглэх.

- Дүн шинжилгээ хийх: Гүйцэтгэлийг үнэлэхийн тулд цуглуулсан өгөгдөлд урьдчилан тодорхойлсон босго болон KPI-ийн эсрэг утгуудад дүн шинжилгээ хийнэ.

5.1.9 Нийцлийн шалгалт

- Стандартын баталгаажуулалт: Зохицуулалтын нийцлийг баталгаажуулахын тулд бүх хэмжилт, үр дүн нь холбогдох стандартад (жишээ нь, ETSI, 3GPP) нийцэж байгаа эсэхийг шалгах.

Энэхүү аргачлалыг дагаснаар инженерүүд хяналттай орчинд 5G RRU-ийн гүйцэтгэлийн нарийвчилсан үнэлгээг хийх боломжтой бөгөөд энэ нь бодит нөхцөл байдалд ашиглахаас өмнө давуу болон сул талуудыг тодорхойлох боломжийг олгоно.

6 5G RRU SUB-6ГЦ ХЭМЖИЛТИЙН АРГА

5G RRU Нэвтрүүлэгчийн параметруудийн хэмжилтийн арга ба хязгаар

Нэвтрүүлэгч нь зөөгчийн чадлын тохируулгатай тохиолдолд хамгийн их, дундаж чадлын нягтын утгад нэвтрүүлэгчийн бүх параметруудийг хэмжинэ. Бүх хэмжилтийг төхөөрөмжийн хэвийн ажиллагааг илэрхийлдэг ердийн модуляцийг ашиглан гүйцэтгэнэ. Нэвтрүүлэгчийг хаах автомат төхөөрөмжтэй бол хэмжилтийн туршид тухайн хугацаанд ажиллагааг зогсоох боломжтой.

Ашиглалтын давтамжийн зөвшөөрөгдсөн хүрээ

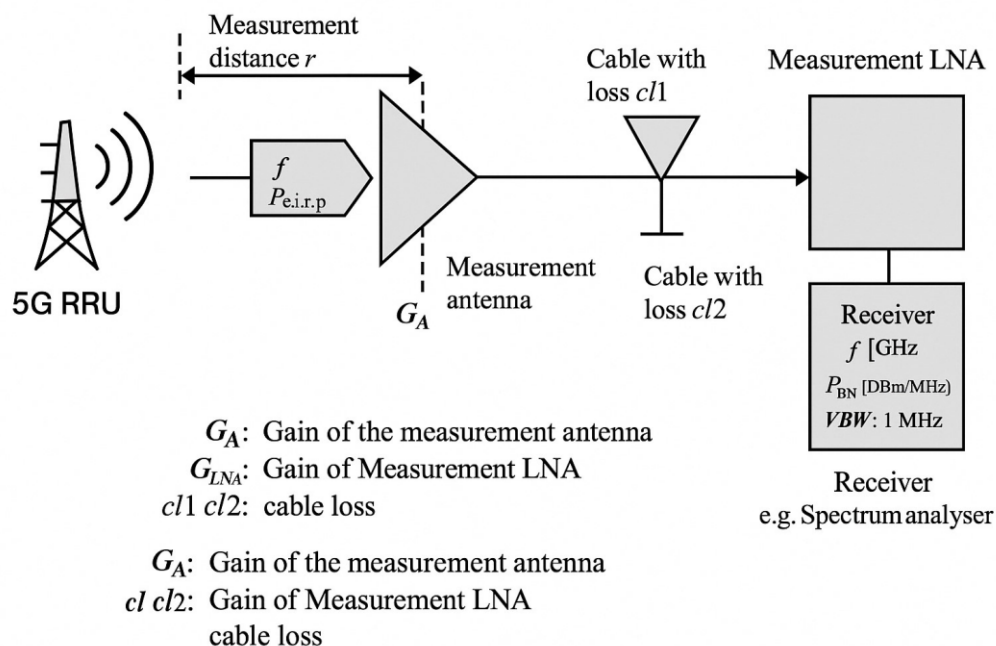
Тодорхойлолт: Ашиглалтын давтамжийн зөвшөөрөгдсөн хүрээ нь 5G RRU-д Sub 6 ГГц болон миллиметрийн долгионд 24 ГГц-ээс дээш байна. Иймд антен болон бага шуугианы өсгөгч (LNA) нь 5G зурваст тохирох эсэхийг шалгах шаардлагатай тухайн төхөөрөмжийг ажиллуулах эрх бүхий давтамжийн мужид байна.

6.1 А ангиллын тоног төхөөрөмжийн хэмжилтийн арга

Давтамжийн зөвшөөрөгдөх хязгаараас гадуурх хамгийн бага ба хамгийн их давтамжийг 6.1-р зурагт үзүүлсэн аргаар хэмжинэ.

6.1.1 5G RRU – Жигд цацаргалттай эквивалент чадлын ($P_{e.i.r.}$) тооцоолол

Энэхүү баримт бичгээр 5G RRU төхөөрөмжийн жигд цацаргалтын эквивалент чадлыг (Equivalent Isotropic Radiated Power- $e.i.r.p$) хэмжилтийн орчин, төхөөрөмжийн өсгөлт, кабелийн алдагдал, болон чөлөөт замын унтралтын нөхцөлд тооцоолох математик хувиргалтыг тайлбарлана. $P_{e.i.r.p}$ нь давтамжаас хамааралтай, чөлөөт замын унтралт болон хэмжилтийн төхөөрөмжөөс хамаарах чадлын нягт болно.



6.1-р зураг - Ашиглалтын давтамжийн хүрээг хэмжих тохируулга

Тооцоолол:

Тохиргооны бүрэлдэхүүнүүдийн логарифм болон шугаман утгуудын шилжилт:

$$g_{LNA} = 20 \log(G_{LNA}) \quad (6.1) \text{ ба}$$

$$g_A = 10 \log(G_A) \quad (6.2)$$

$$cl_x = 10 \left(\frac{cl_x}{20} \right) \quad (6.3)$$

Логарифм чадлын хувилбар:

$$p_{e.i.r.p} = p_m - g_A - cl1 - cl2 - g_{LNA} + 20 \cdot \log \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) \quad [\text{dBm/МГц}] \quad (6.4)$$

Шугаман чадлын хувилбар:

$$P_{e.i.r.p} = \frac{P_m \cdot (4\pi r)^2}{G_{LNA} \cdot \lambda^2 \cdot G_A \cdot cl1 \cdot cl2} \quad [\text{mW/МГц}] \quad (6.5A)$$

$$p_{e.i.r.p} = p_m - g_A - cl1 - cl2 - g_{LNA} + 20 \cdot \log \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) \quad [\text{dBm/МГц}] \quad (6.5B)$$

Хувьсагчийн утгын тайлбар:

Тэмдэглэгээ	Тайлбар
p_m	Хэмжигч төхөөрөмжид бүртгэгдсэн чадал [dBm/МГц]
g_{LNA}, G_{LNA}	LNA урьдчилан өсгөгчийн логарифм болон шугаман өсгөлт
g_A, G_A	Антенны логарифм болон шугаман өсгөлт
cl_x	Кабелийн алдагдлын лог утга (1-ээс бага шугаман утгатай)
λ	Долгионы урт ($\lambda = c / f$)
r	Хэмжилтийн антен хүртэлх зай (метр)
$\frac{4\pi r}{\lambda}$	Чөлөөт замын унтралтын коэффициент

Жишээ тооцоолол:

- $G_{LNA} = 20$ (урьдчилан өсгөгчийн өсгөлт)
- $G_A = 10$ (антенны өсгөлт)
- $cl1 = cl2 = 0.89$ (кабелийн алдагдал)
- $\lambda = 0.0857$ м (давтамж 3.5 ГГц)

- $r = 3$ м
- $P_m = -40$ dBm/МГц

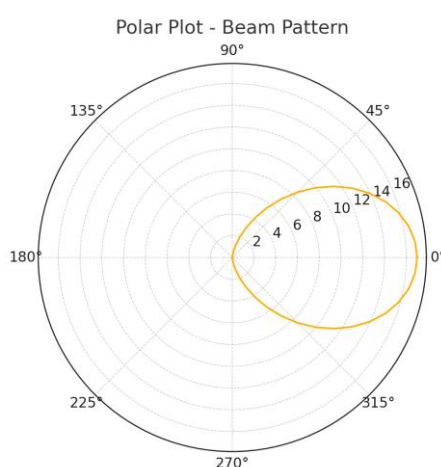
Энд, $cl1$ ба $cl2$ нь кабелийн алдагдлын утгууд нэгээс бага байна. Үүний үр дүнд $cl1$ ба $cl2$ логарифмын утгууд нь сөрөг байна.

Хэмжилтийн талбайг сонгохдоо (жишээ нь, дотор болон гадна задгай хэмжилтийн талбайд) тогтоосон давтамжийн муж болон энэ хэмжилтийн хамгийн бага тогтоосон цацаргалтын түвшний шаардлагыг хангасан хэмжилтийн талбайг ашиглана.

6.1.2 5G RRU – Цацраг хэлбэржүүлэлт болон цацаргалтын графикууд

1. Beam Pattern – Polar Plot

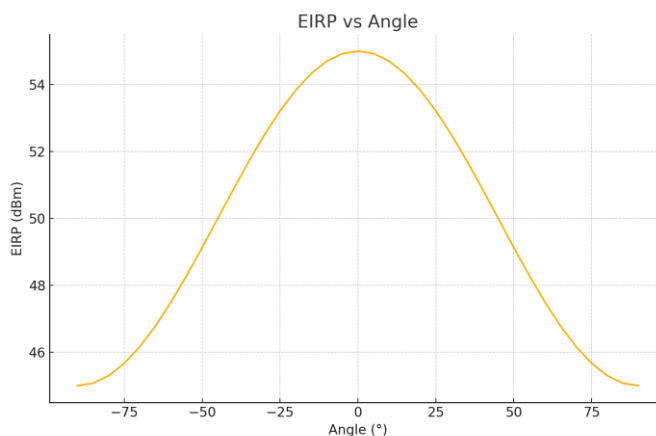
Зураг 6.2-т А ангиллын RRU төхөөрөмжийн цацраг хэлбэржүүлэлтийн чадвартай холбоотой чиглэл дагасан цацаргалтын график (polar plot) үзүүлэв. Цацрагийн үндсэн чиглэлд хамгийн өндөр өсгөлттэй байх ба ердийн косинус тархалтаар түвшин буурна.



6.2-р зураг - Чиглэл дагасан Beam Pattern (Polar Plot)

2. Цацаргалтын түвшин – EIRP vs Angle

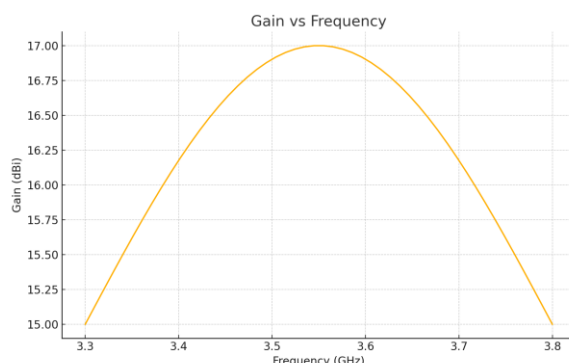
Зураг 6.3-т өнцгийн өөрчлөлттэй уялдуулан e.i.r.p-ийн түвшин хэрхэн өөрчлөгдөхийг харуулсан. Цацаргалтын үндсэн чиглэлд хамгийн өндөр e.i.r.p гарч байгаа нь дохионы төвлөрлийн нотолгоо юм.



6.3-р зураг - EIRP түвшин өнцгөөс хамааран (EIRP vs Angle).

3. Давтамжийн өсгөлт

Зураг 6.4-т 3.3–3.8 ГГц давтамжийн хүрээнд антены өсгөлт хэрхэн өөрчлөгдөж буйг жишээ болгон харуулж байна. Синусойд хэлбэртэй өөрчлөлт нь бүтэц, элементүүдийн зохион байгуулалтаас хамаарсан өсгөлтийн өөрчлөлтийг харуулж байна.



6.4-р зураг - Давтамжийн дагуух чиглэлийн өсгөлт.

6.2 Давтамжийн муж

Ашиглалтын давтамжийн зөвшөөрөгдөх хүрээ нь 0.96 ГГц - 2.2 ГГц, 2.2 ГГц-ээс 8 ГГц хүртэл (хүснэгт 6.2.1).

5G RRU-ийн ашиглах давтамжийн зөвшөөрөгдсөн хүрээ нь тухайн улс орны зохицуулагч байгууллагаас баталсан радио давтамжийн хуваарилалтад үндэслэнэ.

Ашиглалтын давтамжуудын ангилал:

0.96 ГГц – 2.2 ГГц:

- Энэ хүрээ нь LTE Band 8 (900 МГц) болон 5G Band n1 (2100 МГц) зэрэгт хамаарах.
- RRU ашиглаж болох давтамж бүхий зурвас, үүнд:
- n1 (1920–1980 МГц uplink / 2110–2170 МГц downlink)
- n5, n8 зэрэг FDD зурвасууд орно.
- Бага цацаргалттай нөхцөл шаардахгүй.

2.2 ГГц – 8.0 ГГц:

- Энэ хүрээний зарим зурвасууд 5G-д ашигладаг ч:
- 3.3–4.2 ГГц (Band n78, n77) — хамгийн түгээмэл Sub-6ГГц 5G зурвасууд.
- 6 ГГц орчим нь Wi-Fi 6E / 7 болон боловсруулж буй IMT-2020 зурвасууд орно.
- Зохицуулалттай цацаргалтын түвшин шаардана.
- Ашиглалтад хуурамч цацаргалтын (SE), EIRP хязгаар, цахилгаан соронзон нийцлийн (EMC) шаардлагуудыг хангах ёстой. Зөвхөн 5G RRU төхөөрөмжийн хэмжилтийн тохиргоонд зориулсан давтамжийн зурвасуудыг IMT-2020 (5G) зориулалттай зурваст үндэслэн Монгол Улсад ХХЗХ-оос баталсан зурвасуудыг хүснэгт 6.2.1-д үзүүлэв.

6.2.1-р хүснэгт - Монгол Улсад 5G RRU хэмжилт хийхэд тохирох давтамжийн зурвасууд

3GPP Band	Давтамжийн хүрээ (МГц)	Хэмжилтийн зорилгод тохиромжтой	Санал болгож буй тохиргоо
n28	703–748 (UL) / 758–803 (DL)	Хөдөөгийн бүсэд 5G RRU	RBW: 1 МГц / VBW: 3 МГц
n78	3300–3800	Хот суурин газрын 5G RRU	RBW: 1–5 МГц / VBW: 3–10 МГц

n3	1710–1785 (UL) / 1805–1880 (DL)	LTE-Advanced зурваст 5G NR DSS (Dynamic Spectrum Sharing)	DSS хэмжилт хийх бол тохиромжтой
n1	1920–1980 / 2110–2170	DSS бүхий зурваст тохиромжтой	EIRP хэмжилт хийх
n8, n5	880–960	Хязгаарлагдмал өргөн зурвастай	Хэмжилт хийхэд өргөн зурвас дутмаг
n257, n258	24.25–29.5 ГГц (мм долгион)	Монголд одоогоор ашиглагдаагүй	mmWave хэмжилтэд тохирно

Монгол Улсад 5G RRU-ийн хэмжилт хийхэд ашиглах боломжтой зурвасууд:

- n28 (700 МГц) — алслагдсан газарт тохиромжтой
- n78 (3.5 ГГц) — хот, үйлдвэрийн орчинд стандарт
- n3/n1 — Шууд дарааллын аргаар спектрийг өргөтгөсөн (Direct sequence system-DSS) ашиглаж буй тохиолдолд тохиромжтой.

Хамгийн түгээмэл хэмжилтийн зурваст техникийн хэмжилтэд ашиглах тохиргооны жишээ:

- Band n78 (3300–3800 МГц):
- 5G Sub-6ГГц зурвас

Хэмжилт хэмжилтэд:

- RBW (Resolution Bandwidth): 1 МГц
- VBW (Video Bandwidth): 3 МГц
- Reference level: +10 to +30 dBm
- Detector: RMS or Peak

Спектрийн анализаторын тохиргооны жишээ:

Төвийн давтамж (Center frequency): 3500 МГц

- Span: 100 МГц
- RBW: 1 МГц
- VBW: 3 МГц
- Sweep time: Auto
- Detector: RMS
- Attenuation: 0–10 dB

6.3 5G RRU-ийн цацаргалтыг хэмжих.

5G RRU-ийн хэмжилтийн тохиргоо:

5G RRU-ийн хэмжилт хийхэд дараах тохиргоонуудыг ашиглана:

- Давтамжийн зурвас: Байршил болон операторын ашиглаж буй зурвасаас хамааран сонгоно (жишээ нь, 3.5 ГГц зурвас).
- RBW (Resolution Bandwidth): 1 МГц
- VBW (Video Bandwidth): 3 МГц
- Detector: RMS эсвэл Peak
- Sweep Time: Auto эсвэл тохирох утгаар
- Attenuation: 0–10 dB

ETSI / ITU-R-ийн холбогдох стандартууд:

5G RRU-ийн хэмжилттэй холбоотой дараах стандартуудыг ашиглана:

- ETSI TS 128 552: 5G сүлжээний гүйцэтгэлийн хэмжилтийн шаардлагуудыг тодорхойлсон стандарт.
- ETSI TS 138 104: 5G NR суурь станцын тохиргоо болон хэмжилтийн шаардлагуудыг агуулсан стандарт.
- ITU-R M.2150: IMT-2020 (5G)-ийн радио интерфэйсийн дэлгэрэнгүй техникийн үзүүлэлтүүдийг тодорхойлсон стандарт.

Эдгээр стандартуудыг ашиглан 5G RRU-ийн хэмжилтийг олон улсын шаардлагад нийцүүлэн гүйцэтгэх боломжтой. 5G RRU-ийн хэмжилтийн стандарт тохиргоонд 5G RRU төхөөрөмжүүдийн хамгийн их зөвшөөрөгдөх цацаргалт (e.i.r.p)-ийн хэмжээг давтамжийн цараа болон өнцгийн хамааралтайгаар дараах байдлаар тодорхойлогдоно:

6.3.1-р хүснэгт - 5G RRU хэмжилтийн e.i.r.p хязгаарууд (dBm/МГц)

Давтамжийн муж [ГГц]	Хэвтээ хавтгайд ($-20^\circ \rightarrow +30^\circ$)	Өндрийн өнцгүүдэд ($-90^\circ \rightarrow +20^\circ, +30^\circ \rightarrow +90^\circ$)
$f < 1.73$	—	-85 dBm/МГц
$1.73 \leq f < 2.2$	-70	-65
$2.2 \leq f < 2.5$	-	-50
$2.5 \leq f < 2.69$	-70 (харин LBT ашиглавал -50)	-65 (LBT ашиглавал -50)
$2.69 \leq f < 2.7$	-75	-55
$2.7 \leq f < 2.9$	-70	-50
$2.9 \leq f < 3.4$	-70	-50
$3.4 \leq f < 3.8$	-70	-50
$3.8 \leq f < 4.8$	—	-50
$4.8 \leq f < 5$	-75	-55
$5 \leq f < 5.25$	—	-50
$5.25 \leq f < 5.35$	-60	-50
$5.35 \leq f < 5.6$	—	-50
$5.6 \leq f < 5.65$	-65	-50
$5.65 \leq f < 5.725$	-60	-50
$5.725 \leq f < 8.5$	—	-50
$8.5 \leq f < 10.6$	—	-65
$f \geq 10.6$	—	-85

Тайлбар Шуугианы төвшнөөс дээш цацаргалт илрээгүй бол, хэмжилтийн UE UWB цацаргалтын цараанд зөвшөөрөгдсөн хязгаар биелсэн гэж үзнэ.

Хэмжилтийн практик хэрэглээ:

- 5G RRU төхөөрөмжийг шалгахдаа:
 - Спектрийн анализаторт дээрх хязгааруудаар EIRP спектрийн нягтралыг шалгана.
 - Налалтын өнцөг бүрд (хэвтээ болон босоо) чиглэлээр тохирох e.i.r.p хязгаарт нийцэж байгаа эсэхийг баталгаажуулна.

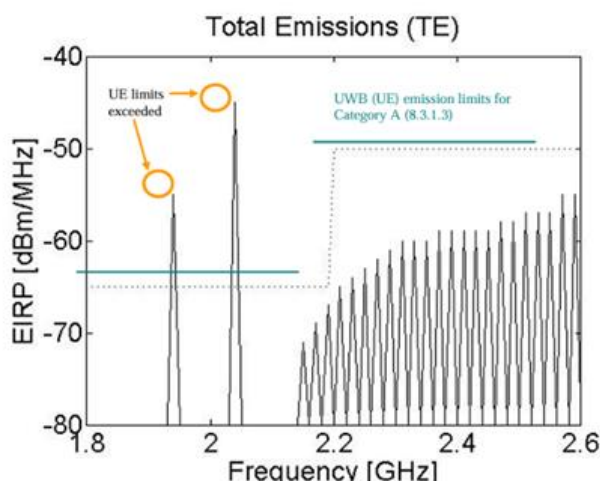
Хүснэгт 6.3.1. 5G RRU төхөөрөмжийн ашиглаж болох давтамжийн муж болон хамгийн их зөвшөөрөгдөх цацаргалт (e.i.r.p) үзүүлэлтүүдийг хэмжилтийн өнцгийн хамааралтайгаар үзүүлсэн.

6.4 Хүсээгүй (Unwanted Emission) цацаргалтын хэмжилтийн арга

5G RRU-ийн нийт цацаргалтын (Total Emissions-TE) хэмжилт нь зөвшөөрөгдөх хязгаарыг зөрчиж буй эсэхийг шалгахад зориулагдана.

6.4.1 5G RRU-ийн нийт цацаргалтын (Total Emissions TE) хэмжилт

Зураг 6.4.1-д 5G RRU-ийн нийт цацаргалтын (TE) мэдээллийг харуулсан. Энэхүү хэмжилт нь 5G RRU хэрэглэгчийн төхөөрөмжид тавигдах эмиссын хязгаар Хүснэгт 6.3.1) болон стандартыг хэтрүүлсэн эсэхийг шалгахад ашиглаж Зураг 6.4.1-д зарим 1 давтамжийн мужид зөвшөөрөгдөх хязгаарыг давсан үзүүлэлтүүд байна.



6.4.1-р зураг - 1.8-2.6 ГГц давтамжийн мужийн 5G RRU-ийн нийт цацаргалтын хэмжилтийн график.

Графикийн гол агуулга:

- Х тэнхлэг: Давтамжийн муж (Frequency [ГГц])
- Y тэнхлэг: EIRP буюу Effective Isotropic Radiated Power [dBm/МГц]
- Хар муруй: RRU-ийн бодит нийт цацаргалт (Total Emissions)
- Цэнхэр шулуун: UWB UE emission limits (6.4.1) буюу хэрэглэгчийн төхөөрөмжид тавигдах хязгаар (эмиссын стандарт хязгаар)
- Улбар шар дугуй тэмдэглэгээ: Хязгаар хэтэрсэн хэсгүүд (UE limits exceeded)
- Зураг 6.4.1-д RRU-ийн давтамжийн зурвасын гадуурх буюу хажуугийн цацаргалтыг харуулж байна.
- Цахилгаан соронзон нийцэл (Electromagnetic Compatibility- EMC) болон зохицуулалтын нийцэл (regulatory compliance) шалгалтуудад зайлшгүй шаардлагатай.
- Хэрэв цацаргалт зөвшөөрөгдөх хязгаараас давсан бол төхөөрөмжийг ашиглахыг хориглох, дахин тохируулах шаардлагатай.

Энэ хэмжилт нь 5G RRU-ийн журмын нийцэл, интерференц үүсгэхгүй байх, улс орон бүрийн радио давтамжийн зохицуулалтад нийцэж буй эсэхийг тодорхойлоход шаардлагатай стандарт шалгуур юм.

1.8–2.6 ГГц давтамжийн зурваст:

- Band 3 (1800 МГц) – FDD
 - Band 7 (2600 МГц) – FDD
 - Band 38/40/41 – TDD (TD-LTE)
- Эдгээр зурвасууд нь ихэвчлэн:
- 4G LTE системд эсвэл NSA (Non-Standalone 5G) дэд бүтцэд ашигладаг.
 - 5G NR-ийн зарим зурвас (Band n41: 2496–2690 МГц) орж болно.

5G RRU 3.5 ГГц буюу Band n78 (3300–3800 МГц):

- 5G NR Standalone (SA) болон Non-Standalone (NSA) горимд ашиглагддаг C-band зурвас.
- Үндсэн 5G өндөр хурдны дата үйлчилгээ
- Энэхүү зурваст зориулсан RRU нь өөр өөр RF дизайн, антен, болон зөвшөөрлийн шалгууртай.

6.4.1-р хүснэгт - 5G RRU 1.8–2.6 ГГц ба 3.5 ГГц буюу Band n78 (3300–3800 МГц)

Үзүүлэлт	1.8–2.6 ГГц	3.5 ГГц (n78)
Давтамжийн зурвас	Band 3/7/41 гэх мэт	Band n78

Ашиглалт	LTE / NSA anchor	5G NR primary carrier
RRU-ийн төрөл	4G эсвэл NSA Hybrid	5G NR RRU

Тухайн 3.5 ГГц (n78) зурваст ажиллаж буй RRU-аас 1.8–2.6 ГГц зурваст үзүүлж болзошгүй нөлөөллийг тодорхойлоход энэ хэмжилтийг ашиглана.

Нийт цацаргалт (TE) нь UE эсвэл бусад цацаргалтын (OE) хязгаараас хэтэрсэн давтамжийн мужуудын хувьд бусад цацаргалтуудыг нэвтрүүлэгч эсвэл антенныг салгаж идэвхгүй болгох замаар хэмжинэ. Хэмжилтийн тодорхойгүй байдлын хүрээнд ижил агууригтай OE болон TE-д байгаа цацаргалтыг OE гэж үзнэ.

6.4.2 5G RRU-ийн бусад цацаргалтын (Other Emissions-OE) хэмжилт

Зураг 6.5.1 нь 5G RRU буюу нэвтрүүлэгч төхөөрөмжийн "Other Emissions (OE)" буюу бусад хүсээгүй цацаргалтыг хэмжсэн үр дүнгийн жишээг харуулна.

Хэмжилтийн үр дүн нь зарим мужид зөвшөөрөгдөх хязгаарыг давж байгаа нь дүрслэгдсэн байна. Ийм төрлийн хэмжилт нь төхөөрөмжийн зохицуулалтын шаардлагад нийцэж буй эсэхийг тогтооход зайлшгүй шаардлагатай.

Бүх хэмжилтийг удаан хугацаанд хийх боломжтой байхын тулд тасралтгүй цацаргалтаас зайлсхийхийн тулд хэрэгжүүлсэн механизмуудыг хэмжилтийн зорилгоор жишээ нь завсарлага, хөдөлгөөн мэдрэгч, гарын авлагын товчлуурыг идэвхгүй болгоно.

RRU нь бусад зурвасуудад хөндлөн интерференц үүсгэж байгаа эсэх, мөн тухайн давтамжийн UWB эсвэл UE emission limits-ыг зөрчиж байгаа эсэхийг илрүүлдэг. Хэмжилтийн тодорхой бус байдал (uncertainty)-г тусгаж өгсөн нь техникийн тайланд ач холбогдолтой.

- RRU conformity testing
- Regulatory compliance тайлан
- Unwanted Emission (UE), Other Emission (OE) хэсэгт тайланд оруулах
- Тоног төхөөрөмжийн pre-certification болон lab test-ийн тайлан гаргах

6.5 Нийт цацаргалтын (TE) хэмжилтийн арга

5G RRU-ийн хувьд:

- 3D антен диаграм, beam sweeping зэргийг шалгах шаардлагатай
- Anechoic chamber буюу долгион тусгаарласан өрөөнд хэмжилт хийх шаардлагатай
- ETSI EN 301 908-13, 3GPP 38.141-1, эсвэл FCC стандартууд-ын дагуу хэмждэг.

5G RRU Хэмжилтийн стандарт, схем ба тайлангийн загвар

Хэмжилтийн зорилго:

- Энэ баримт бичиг нь 5G Remote Radio Unit (RRU)-ийн цацаргалттай холбоотой хэмжилтүүдийг гүйцэтгэхэд ашиглагдах стандарт аргачлал, схем болон тайлангийн загварыг агуулна. Үүнд дараах хэмжилтүүд хамаарна:
- Нийт цацаргалт (Total Emissions, TE)
- Хүсээгүй цацаргалт (Unwanted Emissions, UE)
- Бусад цацаргалт (Other Emissions, OE)
- Хажуу сувгийн алдагдал (ACLR)
- Нэвтрүүлэх хамгийн их хурд ба цацраг хэлбэржүүлэлтийн хэмжилт

Ашигласан стандартууд:

- 5G RRU хэмжилтэд дараах олон улсын стандартуудыг дагаж мөрдөнө:
- 3GPP TS 38.104: Base Station (BS) radio transmission and reception
- 3GPP TS 38.141-1: NR Base Station conformance testing
- ETSI EN 301 908-13: IMT cellular networks; Harmonised Standard for access to radio spectrum
- FCC Part 30 (АНУ-д ашиглагддаг бол)
- ITU-R SM.329, SM.1541 (interference, spurious emissions)

Хэмжилтийн ерөнхий схем:

Хэмжилт нь долгион тусгаарласан орчин цуурайгүй чемберт хийгдэнэ. Дараах үндсэн бүрэлдэхүүнүүдтэй байна:

- 5G RRU төхөөрөмж
- Хэмжилтийн антен (жигд цацаргалттай болон чиглүүлэмжтэй антен)
- Spectrum Analyzer эсвэл Signal Analyzer
- Антенны байрлал тохируулах систем (Antenna positioning system)
- Үндсэн зурвасын симулятор (gNB симулятор эсвэл UE эмүлятор)
- Кабель ба холболтын төхөөрөмжүүд
- Цацаргалтын хэмжилтийн программ (Keysight, Rohde & Schwarz)

Хэмжилтийн нөхцөл:

- Давтамжийн зурвас: n78 (3.4–3.8 ГГц) эсвэл тухайн операторын ашиглаж буй зурвас
- Чадал: 30–43 dBm (гадна суурилуулалт)
- Антенны өндөр ба зай: 1.5–3 метр, 3–5 метрийн радиустай
- Орчны температур: 20–25°C
- DUT (Device Under Test) нь PUSCH эсвэл SSB дамжуулж байх

Тайлангийн загвар

Доорх бүтэцтэйгээр тайлан бэлтгэнэ:

- Хэмжилтийн орчны зураг
- Ашигласан төхөөрөмжийн жагсаалт
- Хэмжилтийн аргачлал (стандартуудын дагуу)
- Хэмжилтийн үр дүн (график, хүснэгт хэлбэрээр)
- Дүгнэлт ба нийцлийн үнэлгээ

Бүх хэмжилтэд хэвийн ажиллагааны дохиог ашиглана.

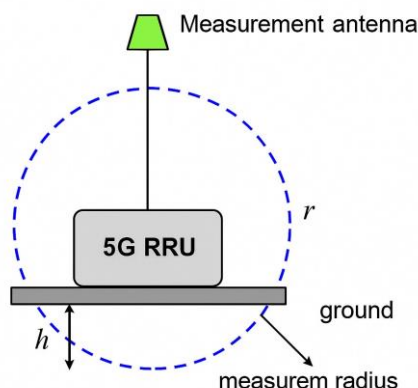
- Спектрийн анализаторын төвийн давтамжийг шаардлагатай давтамжид тохируулна.
- Давтамжийн спектрийн сегментийн тохиромжтой эсэхийг шалгахын тулд давтамжийн хүрээг тохируулна уу.
- RBW-г 1 МГц, VBW-ийг 3 МГц болгож тохируулна уу.
- Детекторыг RMS-д тохируулна уу.
- Хэмжлийн цэг бүрд нэг мс-ээс илүүгүй буюу түүнээс бага интеграцийн хугацаа байхаар хугацааг тохируулна уу.

Хэмжих хамгийн бага түвшинд шаардлагатай мэдрэмжийг авахын тулд илүү нарийвчлан зурвасын өргөнийг тохируулах шаардлагатай. Үүнийг хэмжилтийн тайлангийн маягтад тусгана.

Хэмжилтийн явцад DUT-ийг барилгын байгууламж дээр антенныг нь шууд тусахаар хэмжилтийн антенныг 0.8 м-ээс 1.5 м-ийн зайд байрлуулна.

Хэмжилтийн антенны туйлшрал нь хэмжилтийн цэг бүрийн үндсэн талбайн бүрэлдэхүүн хэсгийн туйлшралыг хангасан байх ёстой. Тиймээс хэмжилтийн антенныг хамгийн өндөр утгыг авах хүртэл цэг бүрд эргүүлж болно. Өөр нэг боломжит арга бол хоёр

ортогональ туйлшралын чиглэлтэй хэмжих антеныг ашиглах явдал юм. Холбогдох хэмжилтийн утга нь дугуй болон бүх туйлшралын өнцөг дээрх хамгийн их утга юм.



6.5.1-р зураг - 5G RRU хэмжилтийн геометр ба өнцгийн тодорхойлолт.
А ангиллын төхөөрөмжийн цацаргалтын бүх (TE, UE, OE, UE-TP) хэмжилтүүд

6.5.1 5G RRU талбайн хэмжилтийн тайлангийн загвар

Суурилуулсан 5G RRU төхөөрөмжийн бодит орчинд үзүүлж буй сүлжээний гүйцэтгэл, цацраг хэлбэржүүлэлт, нэвтрүүлэх чадамж, дохионы хүчлэгийг шалгах.

Хэмжилтийн орчны нөхцөл:

Байршил: BTS сайт дээр

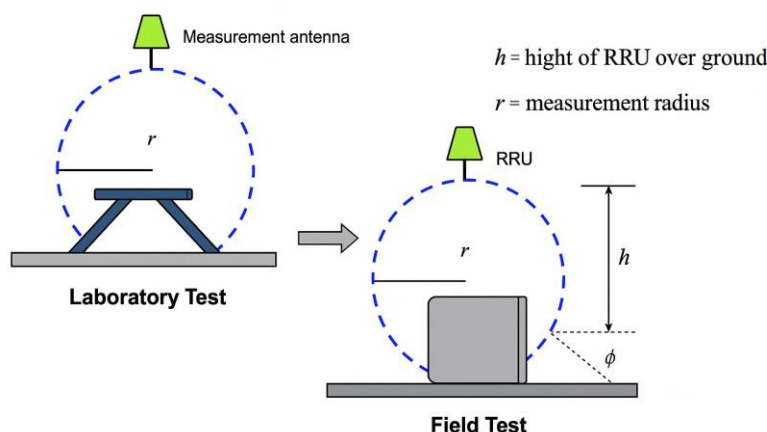
- Хэмжилтийн арга: Drive test, Walk test, Fixed Point Test
- Ашиглах төхөөрөмж: UE, Scanner, Spectrum Analyzer, GPS

Хэмжих үзүүлэлтүүд:

- DL/UL Throughput
- SINR, RSRP, RSRQ
- Beam tracking
- Interference level
- Cell coverage mapping

Ашиглагдах программ хангамж, төхөөрөмж:

- UE тест төхөөрөмж (Qualcomm, Samsung test UE)
- Drive test төхөөрөмж (TEMS, Nemo Outdoor)
- Iperf, UDP/TCP тест хэрэгсэл
- GPS, лог бүртгэгч программ



6.5.2-р зураг - Лабораторийн болон гадна талбайд цацаргалтын бүх хэмжилтийг (TE, UE, OE, UE-TP) хийх

6.6 Хэмжих 5G RRU хүлээн авагчийн шаардлагууд

Энэхүү баримт бичиг нь 5G RRU-ийн хэмжилт хийх үед хүлээн авагчийн тохиргоонд шаардлагатай нэмэлт төхөөрөмжүүдийн зориулалт, тохирох нөхцөл, антены төрөл

болон бага шуугианы урьдчилан өсгөгч (LNA), хүлээн авагчийн мэдрэмжийг нэмэгдүүлэх, өндөр давтамжтай дохионы дохио шуугианы харьцааг (SNR)-г сайжруулах, хуурамч цацаргалт (Spurious emission-SE) болон цацраг хэлбэржүүлэлтийн хэмжилтэд (beamforming test) онцгой шаардлагатай, шуугиантай орчинд дохио илрүүлэх чадварыг нэмэгдүүлнэ.

6.6.1-р хүснэгт - Антенны төрөл ба хэрэглээ

Антенны төрөл	Давтамжийн муж	Ашиглах нөхцөл
Диполь антен	< 1 ГГц	Low-band emission шалгалт
Horn антен	1–18 ГГц	Beamforming, directional test
Log-periodic антен	700 МГц – 6 ГГц	Field test, wideband coverage
Жигд цацаргалттай антен	< 3.5 ГГц	General signal coverage, field test

LNA шаардлагатай нөхцөлүүд:

- Цуурайгүй камер буюу чемберт хийх хэмжилтүүд (хуурамч (spurious) ба хэрэглэгчийн төхөөрөмжийн (UE) цацаргалт)
- Нам давтамж (< 1 ГГц) хэмжилт
- SNR багатай үед дохио хүлээн авах шаардлагатай үед
- Цацрагийн замчлал, бага чадлын замын хэмжилт (low power path test)

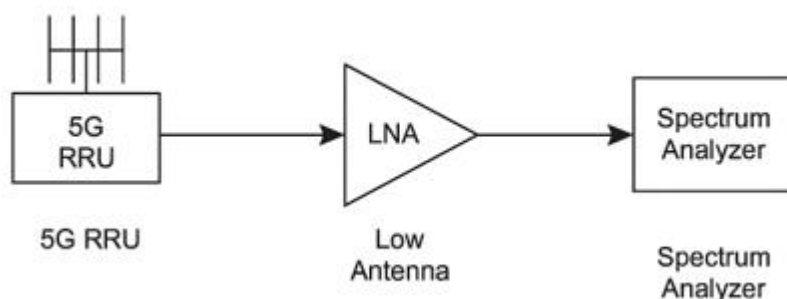
Хүлээн авагчийн тохиргооны схем:

Доорх схемийн дагуу хүлээн авагчийн талын антен ба хэмжилтийн төхөөрөмжүүд дараалан холбогдоно:

- Антен (Horn, Dipole, гэх мэт)
- LNA (шүүлтүүр бүхий бага шуугиант өсгөгч)
- Кабель (low-loss RF cable)
- Спектр анализатор

Хүлээн авагчийн тохиргооны зураг (Receiver Chain Diagram)

Зураг 6.6.1 нь 5G RRU-ийн дохионы хэмжилтийн системийн дарааллыг харуулсан. Антен → LNA → Анализатор гэсэн дараалалтайгаар тохиргоо хийгдэх бөгөөд LNA нь дохионы түвшнийг нэмэгдүүлж, бодит хэмжилтийг гүйцэтгэх боломжийг сайжруулдаг.



6.6.1-р зураг - 5G RRU хүлээн авагчийн тохиргооны блок диаграмм.

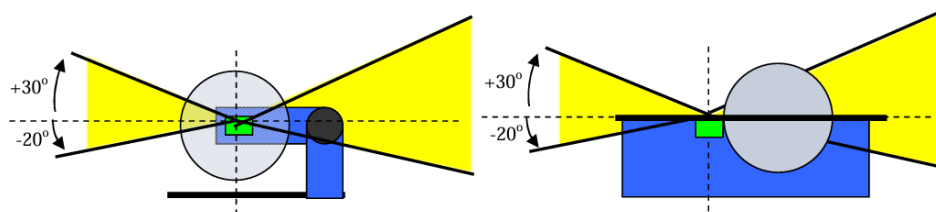
Бага шуугианы өсгөгч (LNA) хүлээн авагчийн мэдрэмжийг сайжруулах, нам түвшний дохиог хэмжихэд ач холбогдолтой. 1 ГГц-ээс доош эвэр ба диполь антен ашиглана.

6.6.1 5G RRU eirp хэмжилт

RRU-ийн хэвтээ болон босоо талаас хэмжих өнцөг:

RRU төхөөрөмжийн цацаргалтын өнцгийг хэмжихэд голлон ашигладаг налалтын өнцгийн хүрээ нь +30° болон -20° хооронд байна. Доорх зургаар RRU-гийн байрлалаас хамааран дохио хүлээн авах талбайн ялгаатай хязгаарыг харуулж байна. Энэхүү

өнцгийн хүрээ нь хуурамч ялгаруулалт болон цацрагийн өргөний тооцоололд ашиглана.



6.6.2-р зураг - RRU төхөөрөмжийн цацаргалтын босоо хазайлтын өнцгийн хязгаарлалт.

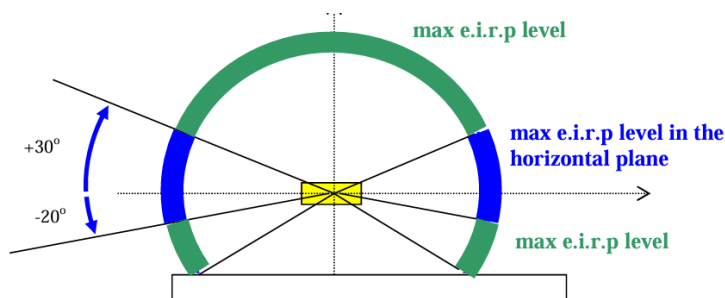
5G RRU – Хэмжилтийн зохион байгуулалт ба орон зайн шаардлага
Энэхүү баримт бичиг нь 5G ангиллын RRU төхөөрөмжийн лабораторийн болон талбайн Хэмжилтийн орчны орон зайн шаардлага болон цацаргалтын дээд түвшнийг тодорхойлох өнцгийн хүрээг тайлбарлана.

Орон зайн шаардлагууд

- RRU–антен хоорондын зай: 3–5 метр
- RRU-ийн өндөр (h): 1.5–2 метр
- Хэмжих радиус (r): 1–3 метр
- Налалтын өнцөг: -20° – +30°
- Антен болон RRU-ийн хооронд шулуун харагдах шугамтай (LoS) байх
- Цацраг хэлбэржүүлэлтийн хэмжилт хийх боломжтой 3D зохион байгуулалт
- Цуурайгүй чөмбөр эсвэл тусгаарлагдсан орчин шаардлагатай.

Цацаргалтын дээд түвшний өнцгийн хүрээ

Зураг 6.6.3-т RRU төхөөрөмжийн e.i.r.p-ийн хамгийн өндөр түвшнийг тооцоолж болох босоо болон хэвтээ өнцгийн хүрээг харуулсан. Энэ хүрээнд хэмжилтийг хийх нь хамгийн оновчтой цацаргалтын чиглэлийг тодорхойлоход тусална.



6.6.3-р зураг - RRU-ийн цацаргалтын хамгийн их түвшнийг тодорхойлох өнцгийн хүрээ.

Pe.i.r.p. чөлөөт орны унтралт ба хэмжилтийн төхөөрөмжөөс хамаарах давтамжийг харгалзан UWB мэдрэгчийн чадлын нягтын лавлагаа байршил юм.

$$\begin{aligned}
 g_{LNA} &= 20\log(G_{LNA}) \\
 g_A &= 10\log(G_A) \\
 cl_x &= 10^{\left(\frac{cl_x}{20}\right)}
 \end{aligned}
 \tag{6.6} \tag{6.7} \text{ ба } \tag{6.8}$$

Децибеллээр илэрхийлбэл:

$$p_{e.i.r.p.wall} = p_m - g_A - cl1 - cl2 - g_{LNA} + 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right) \quad [\text{dBm/МГц}] \quad (6.9)$$

Шугаман тэгшитгэлээр илэрхийлбэл:

$$P_{e.i.r.p.wall} = \frac{P_m \cdot (4\pi r)^2}{G_{LNA} \cdot \lambda^2 \cdot G_A \cdot cl1 \cdot cl2} \quad [\text{mW/МГц}] \quad (6.10)$$

Кабелийн алдагдлын утгууд $cl1$ ба $cl2$ нь нэгээс бага байна. Тиймээс $cl1$ ба $cl2$ логарифмын утгууд сөрөг байна!

Сонгогдсон хэмжилтийн талбай (дотор хэмжилтийн талбай эсвэл задгай талбайн хэмжилтийн талбай) нь шаардлагыг хангасан байна. Энэ хэмжилтийн тогтоосон давтамжийн муж болон хөндөгдөөгүй хамгийн бага тогтоосон цацаргалтын түвшнийг ашиглана.

Хүсээгүй цацаргалтыг зөв хэмжихийн тулд хэмжих хүлээн авагчийн зурвасын өргөнийг зохих утгад тохируулна. Энэ зурвасын өргөнийг хэмжилтийн тайланд тэмдэглэнэ. DUT-ийн нийт хамгийн их цацаргалтын (TE) түвшнийг хэмжиж, бүртгэнэ. Шаардлагатай хэмжилтийн үр дүнг гаргаж авахын тулд спектр анализаторын оролтод бага шуугианы өсгөгч (LNA) ашиглахыг зөвлөдөг.

Хэмжих хүлээн авагчийн давтамжийг 30 МГц-ээс 26 ГГц хүртэлх давтамжийн мужид тохируулна. Хуурамч бүрэлдэхүүн хэсэг бүрийн давтамжийг тэмдэглэнэ. Хэмжилтийн талбай гаднаас ирж буй цацрагийн нөлөөгөөр өөрчлөлт орсон бол энэ чанарын хайлтыг шаардлагатай бол нэвтрүүлэгч болон хэмжилтийн антены хоорондох зай багатай дэлгэцтэй өрөөнд хийж болно.

Хэмжилтийн системийн бага шуугианы урьдчилан өсгөгчийг хэт ачааллаас хамгаалахын тулд урьдчилан сонгосон зөв шүүлтүүрийг оруулна. Түүнчлэн хэмжсэн спектрүүдэд байгаа орчны дохионы хувь нөлөөг арилгахын тулд нэвтрүүлэгчийг идэвхжүүлэхээс өмнө бүх орчны дохиог илрүүлнэ. Энэ нь компьютер болон өгөгдлийн шинжилгээний программ хангамж ашиглан хэмжилтийн өгөгдлийн дараах боловсруулалтыг шаарддаг. Цацаргалтын дБм/МГц-ийн утгыг (TE-хэмжилт) 960 МГц-ээс 10.6 ГГц хүртэлх хэмжсэн давтамж болон хэмжилтийн байрлалын тоон мэдээллийн багцын функц байдлаар хадгална.

6.6.2 Бусад цацаргалтыг (Other emission-OE) хэмжих арга

Хэмжилтийг дараах байдлаар гүйцэтгэнэ.

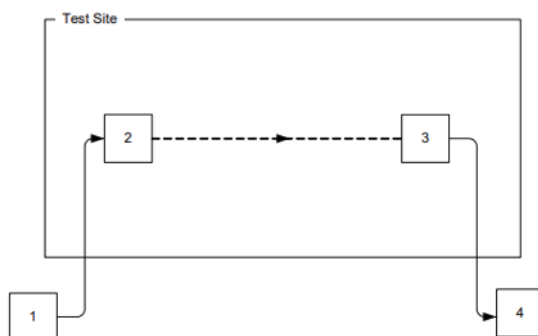
- Шаардлага хангасан хэмжилтийн талбайд заасан өндөрт хэмжих антеныг тулгуур дээр байрлуулна.
- Нэвтрүүлэгчийг салшгүй антентайгаар ердийн хэвийн модуляцтайгаар ажиллуулна.
- Хэмжих хэрэгслийн нарийвчлалын зурвасын өргөн нь хэмжиж буй хуурамч бүрэлдэхүүн хэсгийн спектрийн өргөнөөс их, хамгийн бага зурвасын өргөн байх ёстой.

Дараагийн хамгийн их зурвасын өргөн нь агууригийг 1 дБ-ээс бага өсгөхөд үүссэн тохиолдолд үр дүнг хүрсэн гэж үзнэ. "Хэмжилтийн нарийвчлал, мэдрэмж, үр ашгийг дээшлүүлэхийн тулд нягтралын зурвасын өргөн нь жишиг зурвасын өргөнөөс өөр байж болно. Нарийвчлалын зурвасын өргөн нь жишиг зурвасын өргөнөөс бага байх үед үр дүнг жишиг зурвасын өргөн дээр нэгтгэх хэрэгтэй. Нарийвчлалын зурвасын өргөн нь стандартаас их байх үед жишиг зурвасын өргөн, өргөн зурвасын хуурамч цацаргалтын

үр дүнг зурвасын өргөний харьцаатай хэвийн болгох хэрэгтэй лавлагаа зурвасын өргөнийг ашиглах боломжтой." (CEPT/ERC/REC 74-01).

Холбогдох хэмжилтэд ашигласан нөхцөлүүдийг хэмжилтийн тайланд тусгана.

- Давтамж бүр дээр бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг илрүүлэх хэмжих элементийг хамгийн их хариу үйлдэл үзүүлэхээр эргүүлэх ба 6.6.4-р зурагт үзүүлсэн хэмжилтийн зохицуулалтыг ашиглан орлуулах хэмжилтээр тухайн бүрэлдэхүүн хэсгийн эффектив цацаргалтын чадлыг тодорхойлно.
- Тухайн бүрэлдэхүүн хэсгийн эффектив цацаргалтын чадлын утгыг бүртгэнэ.
- Хэмжилтийг хэмжилтийн антенаар ортогональ туйлшралын хавтгайд давтан гүйцэтгэнэ.



Тэмдэглээ 1: Дохионы генератор

Тэмдэглээ 2: Орлуулах антен

Тэмдэглээ 3: Хэмжилтийн антен

Тэмдэглээ 4: Спектр анализатор эсвэл сонгомол вольтметр (хүлээн авагч)

6.6.4-р зураг - Хэмжилтийн зохион байгуулалт

6.6.3 Төхөөрөмжийн ангилал, түүний хязгаарууд

А ангиллын хязгаар:

Төхөөрөмжийн (UE) UWB хүсээгүй цацаргалтын хэмжсэн утга $P_{e.i.r.p}$ нь 6.6.1-р хүснэгтэд заасан хязгаараас хэтрэхгүй байх ёстой.

$P_{e.i.r.p}$ нь давтамжийн хязгаараас гадна цацаргалт нь бөмбөрцөг дээрх байршилд бас хязгаарлагдана. Эдгээр хязгаарлалтыг хэвтээ хязгаарлалт гэнэ.

6.6.2-р хүснэгт - Хамгийн их дундаж $e.i.r.p$ -ийн хязгаар.

Бараг суурин суурилуулалтын спектрийн нягтрал (А ангилал)

Давтамжийн цараа [ГГц]	Хамгийн их $e.i.r.p$ (-90° - $+20^\circ$ болон $+30^\circ$ - $+90^\circ$ налалтын өнцөгт) [dBm/МГц]	Хамгийн их $e.i.r.p$ хэвтээ хавтгайд (-20° - $+30^\circ$ налалтын өнцөгт) [dBm/МГц]
$f < 1.73$ (2 болон 3 дугаар тайлбарыг харах)	-85	
$1.73 \leq f < 2.2$ (2 болон 3 дугаар тайлбарыг харах)	-65	-70
$2.2 \leq f < 2.5$	-50	
$2.5 \leq f < 2.69$ (2 болон 3 дугаар тайлбарыг харах)	-65	-70 (Тайлбар 1-ийг харах)
$2.69 \leq f < 2.7$	-55	-75
$2.7 \leq f < 2.9$	-50	-70
$2.9 \leq f < 3.4$	-50	-70
$3.4 \leq f < 3.8$	-50	-70
$3.8 \leq f < 4.8$	-50	
$4.8 \leq f < 5$	-55	-75

$5 \leq f < 5.25$	-50	
$5.25 \leq f < 5.35$	-50	-60
$5.35 \leq f < 5.6$	-50	
$5.6 \leq f < 5.65$	-50	-65
$5.65 \leq f < 5.725$	-50	-60
$5.725 \leq f < 8.5$	-50	
$8.5 \leq f < 10.6$	-65	
$f \geq 10.6$ (2 болон 3 дугаар тайлбарыг харах)	-85	

ТАЙЛБАР 1: Зарим давтамжийн хүрээнд UWB цацаргалтын хязгаар нь маш бага чадалтай радио дохиотой төстэй бөгөөд эдгээр нь аналог болон дижитал хэлхээнээс үүсэх цацаргалтын чадлын хязгаартай адил байна. Хэрэв UWB төхөөрөмжийн цацаргалт нь UWB цацаргалтад хамаарахгүй гэдгийг тодорхой харуулж чадах (жишээ нь, төхөөрөмжийн UWB нэвтрүүлэгчийг унтраах, эсвэл хэмжилтийн тодорхой бус байдалд ОЕ (бусад цацаргалт) ба UE (UWB дамжуулагчийн цацаргалт)-ийн ялгааг тодорхойлох боломжгүй болохыг нотолбол, энэхүү цацаргалтыг ОЕ (бусад цацаргалт)-д хамааруулан үзнэ.

ТАЙЛБАР 2: Хэмжилтийн тохиргоог оновчтой болгосны дараа ч ОЕ эсвэл UE цацаргалт нь шуугианы доод хэмжээнээс дээш илрэх боломжгүй бол, тухайн тохиолдолд UE хязгаар биелэгдсэн гэж үзнэ.

В ангиллын хязгаар:

Төхөөрөмжийн (UE) UWB хүсээгүй цацаргалтын хэмжсэн утга $P_{e.i.r.p}$ нь 6.6.3 хүснэгтэд заасан хязгаараас хэтрэхгүй байх ёстой.

6.6.3-р хүснэгт - UWB цацаргалтын В ангиллын хязгаар

Давтамжийн цараа [ГГц]		В ангиллын тоног төхөөрөмжийн хамгийн их дундаж $e.i.r.p$ спектрийн нягтрал [dBm/МГц]
$f < 1.73$	(3 болон 4 дүгээр тайлбарыг харах)	-85
$1.73 \leq f < 2.2$	(3 болон 4 дүгээр тайлбарыг харах)	-70
$2.2 \leq f < 2.5$		-50
$2.5 \leq f < 2.69$	(Тайлбар 1-ийг харах)	-65
$2.69 \leq f < 2.7$	(2, 3 болон 4 дүгээр тайлбарыг харах)	-70
$2.7 \leq f < 2.9$	(3 болон 4 дүгээр тайлбарыг харах)	-70
$2.9 \leq f < 3.4$	(Тайлбар 1-ийг харах)	-70
$3.4 \leq f < 3.8$	(Тайлбар 2-ыг харах)	-50
$3.8 \leq f < 4.8$		-50
$4.8 \leq f < 5$	(Тайлбар 2-ыг харах)	-55
$5 \leq f < 5.25$		-50
$5.25 \leq f < 5.35$		-60
$5.35 \leq f < 5.6$		-50
$5.6 \leq f < 5.65$		-65
$5.65 \leq f < 5.725$		-60
$5.725 \leq f < 8.5$		-50
$8.5 \leq f < 10.6$	(3 болон 4 дүгээр тайлбарыг харах)	-65
$f \geq 10.6$	(3 болон 4 дүгээр тайлбарыг харах)	-85

ТАЙЛБАР 1: Duty Cycle 1 секунд тутамд 10%-иар хязгаарлагддаг.

ТАЙЛБАР 2: Зарим давтамжийн хүрээнд UWB цацаргалтын хязгаар нь маш бага чадалтай радио дохиотой адил бөгөөд эдгээр нь дижитал болон аналог хэлхээнээс үүсэх цацаргалтын чадлын хязгаартай ижил байна. Хэрэв UWB төхөөрөмжийн цацаргалт хүснэгт 6.6.3-д заасан UWB цацаргалтад хамаарахгүй гэдгийг тодорхой харуулж чадах (жишээ нь, ОЕ (бусад цацаргалт) ба UE (UWB дамжуулагчийн цацаргалт)-ийн хоорондох ялгааг тодорхойлох боломжгүй бол, тухайн цацаргалтыг ОЕ (бусад цацаргалт)-д хамааруулан үзнэ

6.6.4 Бусад цацаргалт (ОЕ)

Бусад цацаргалт (жишээ нь, нарийн зурвасын хуурамч цацаргалт, аналог эсвэл тоон удирдлагын хэлхээний цацаргалт) нь нэвтрүүлэгчийн эзэлсэн давтамжийн зөвшөөрөгдсөн хязгаараас гадуур давтамж эсвэл давтамж дээр DUT-ийн антенаас эсвэл түүний кабинетаас цацруулж буй цацаргалтыг хэлнэ. Ийм хуурамч цацаргалт нь гармоник цацаргалт, паразит цацаргалт, Интермодуляцын бүтээгдэхүүн, давтамж хувиргалтын явцад үүсэх бүтээгдэхүүнүүд орно.

Хэмжилтийн арга:

Хэмжилтийн арга нь 6.6.2-р бүлэгт заасан аргачлалтай ижил байна.

Хязгаарлалт:

Хуурамч цацаргалтын бүсэд эдгээр хүсээгүй цацаргалтын аль нэгийн жигд цацаргалттай эквивалент чадал нь 6.6.4-р хүснэгтэд заасан утгаас хэтрэхгүй байх ёстой.

6.6.4-р хүснэгт - Бусад цацаргалтын хязгаар

Давтамжийн царгаа	ОЕ-ийн хязгаар утгууд
47 МГц - 74 МГц	-54 dBm/100 kHz
87.5 МГц - 118 МГц	-54 dBm/100 kHz
174 МГц - 230 МГц	-54 dBm/100 kHz
470 МГц - 862 МГц	-54 dBm/100 kHz
Бусад 30 МГц - 1 000 МГц-ийн завсарт	-36 dBm/100 kHz
1 000 МГц - 40 000 МГц (Тайлбар харах)	-30 dBm/1 МГц
ТАЙЛБАР: Зөвшөөрөгдсөн давтамжийн хүрээнд UE цацаргалтад дээрх хязгаар утгууд хамаарахгүй.	

6.6.5 Нийт чадлын спектр нягт (UE-TP)

Хүсээгүй цацаргалтын нийт чадлын спектр нягт (UE-TP) нь дараах байдлаар тодорхойлогдоно. Нэмэлт нь зөвхөн В ангиллын төхөөрөмжид шаардлагатай.

$$PSD = \frac{|E_{rms}|^2}{Z_{F0}} \quad (6.11)$$

Үүнд: $Z_{F0} = 120\pi\Omega$ чөлөөт орон зайн долгионы эсэргүүцлийг илэрхийлнэ. Орны хүчлэгийн RMS дундаж квадрат утгыг дараах аргаар олно.

$$E_{rms} = \frac{|E|}{\sqrt{2}} \quad (6.12)$$

Үүнд: E нь цахилгаан орны агууриг

Спектр анализатор ашиглан чадлын урсгалыг дараах байдлаар тодорхойлно.

$$S = \frac{P_r}{A_r} \quad (6.13)$$

Үүнд: P_r нь хүлээн авах антены коннектор дээрх чадал ба A_r нь хүлээн авах антены эффектив талбай

Нийт чадал дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$TP = \int_{\Theta=0}^{\pi} \int_{\Phi=0}^{2\pi} S \times r^2 \times \sin(\Theta) d\Theta d\Phi \quad (6.14)$$

Энд r нь бөмбөрцгийн радиус, Θ нь өндийх өнцөг, Φ нь азимутын өнцөг юм.

Хэмжилтийн арга

Хэмжилт хийх журам нь 6.6.2-р бүлэгт заасан аргачлалтай ижил байна. Цахилгаан орны хүчлэгийг болон чадлыг хэмжихдээ RBW-ийг 1 МГц, VBW-ийг 3 МГц болгон тохируулна.

Бөмбөрцөг гадаргуу дээр 0.8 м-ээс 1.5 м-ийн зайд хамгийн ихдээ 15° тутамд (өнцөг бүрийн хувьд) хэмжилтийг хийнэ.

Хязгаарууд

е.и.г.р. нийт чадлын спектр нягтын хязгаар (UE-TP) нь Хүснэгт 6.6.4-д заасан хязгаараас хэтрэхгүй байх ёстой.

В ангиллын төхөөрөмж нь нийт цацаргалтын чадлын шаардлагыг хангасан байх ёстой.

6.6.4-р хүснэгт - Нийт чадлын спектр нягтын хязгаар (UE-TP)

Давтамжийн цараа [ГГц]	Хязгаарын утгууд [dBm/МГц]
$2.69 \leq f < 2.7$ (Тайлбар 1, 2-ыг харах)	-80
$3.4 \leq f < 4.8$	-60
$4.8 \leq f < 5.0$	-60

ТАЙЛБАР 1: Хэрэв цацаргалтыг хэмжих явцад (TE болон OE хэмжилт) тодорхой нэг давтамж дээр (UE) хязгаарыг нарийн илрүүлэх боломжгүй тохиолдолд, үүнд илүү хүчтэй non-UWB дохио эсвэл хэмжилтийн тохиргооны үеийн шуугиан нөлөөлсөн байж болно Энэ тохиолдолд тухайн давтамж дээр UE-TP хязгаарыг тодорхойлох боломжгүй бөгөөд уг давтамж дээр UE-TP хязгаар хангагдсан гэж үзнэ.

ТАЙЛБАР 2: Хэрэв UE хязгаарыг хэмжилтийн гадаргуугийн зарим хэсэгт л тодорхойлж, хэмжих боломжтой бол UE-TP хязгаарыг зөвхөн тэр хэсгүүдэд үндэслэн тооцно.

Үйлчилгээ үзүүлэгч нь ердийн хэмжилтийн дохиог дамжуулах үед төхөөрөмжөөр дамжих импульсийн хугацааны тодорхойлолтыг өгч, нэвтрүүлэгчийн PRF-ийг зарлана.

7 ЦУУРАЙГҮЙ КАМЕР БУЮУ ЧЕМБЕРИЙН ӨРӨӨНД 5G RRU ХЭМЖИЛТ ХИЙХ АРГАЧЛАЛ

7.1 5G RRU хамгийн их дамжуулах чадварыг (5G RRU Throughput Testing Plan) хэмжих хэмжилт

Төрөл бүрийн сүлжээ болон ачааллын нөхцөлд 5G RRU-ийн уруудах болон өгсөх шугамын багтаамжийг хэмжих, баталгаажуулах.

1. Хэмжилтийн орчны тохиргоо:

Шаардлагатай тоног төхөөрөмж:

- 5G RRU
- 5G UE симулятор эсвэл хэмжилтийн UE (Хэрэглэгчийн төхөөрөмж)
- Цөм сүлжээний эмулятор (хэрэв бодит сүлжээ ашиглаагүй бол)
- Ачааллын генератор (iPerf3, Spirent, IxLoad)
- Хяналтын хэрэгсэл (Wireshark, протокол анализатор)
- Linux/Windows үйлдлийн системтэй компьютер/сервер

Сүлжээний топологи:

- RRU нь Distributed Unit (DU) эсвэл gNB-д холбогдсон
- Агаарын интерфэйсээр (эсвэл загварчилсан холболт) RRU-д холбогдсон UE-г турших

- DU болон Core Network Emulator хооронд Ethernet backhaul

2. Хэмжилтийн хувилбарууд:

- **Хувилбар 1: Уруудах шугамын хамгийн их дамжуулах чадвар**
 - RRU болон UE-г 100 МГц зурвасын өргөн, n78 зурваст тохируулна.
 - 4x4 MIMO тохиргоог ашиглах
 - UDP ашиглан серверээс UE руу iPerf3 урсгалыг дамжуулах
- **Хувилбар 2: Өгсөх шугамын хамгийн их дамжуулах чадвар**
 - Дээрхтэй ижил тохиргоо хийнэ.
 - UDP ашиглан UE-ээс сервер рүү iPerf3 урсгалыг дамжуулна.
- **Хувилбар 3: Олон хэрэглэгчийн ачааллын Хэмжилт**
 - 5-аас 50 хүртэлх UE-г симуляц хийнэ.
 - Нэгтгэсэн дамжуулах чадвар болон хэрэглэгч бүрийн шударга байдлыг (user-fairness) хэмжих
- **Хувилбар 4: Хувьсах MCS & PRB хуваарилалт**
 - MCS-ийн янз бүрийн утгуудын дамжуулалтын тестийг ажиллуул
 - Өөр өөр тооны PRB хуваарилах
- **Хувилбар 5: Бодит интерференцийн нөлөө**
 - удирдлагатайгаар интерференцийг нэвтрүүлэх, дамжуулах чадварыг дахин хэмжих

3. Хэмжилтийн командууд өгөх

4. Бичлэг хийх хэмжүүр:

7.1.1-р хүснэгт - 5G RRU хамгийн их дамжуулах чадварын хэмжилт

Метрик	Тодорхойлолт
Уруудах шугамын дамжуулах чадамж	Серверээс UE хүртэлх өгөгдлийн хурд
Өгсөх шугамын дамжуулах чадамж	UE-ээс сервер хүртэлх өгөгдлийн хурд
Саатал	Дамжуулах чадварын хэмжилтийн үед хоёр талын дамжууллын саатал
Багцын алдагдал	Хэмжилтийн явцад алдагдсан багцуудын хувь
Життер	Багц саатлын өөрчлөлт
CPU-ийн ашиглалт	Ачааллын үед RRU нөөцийн ашиглалт

5. Баталгаажуулалт:

- Хэмжсэн дамжуулах чадварыг онолын максимумтай харьцуулах
- 3GPP нэвтрүүлэх чадварын стандартад нийцэж байгаа эсэхийг баталгаажуулах
- Ачааллын дор саад тотгор, доройтолд дүн шинжилгээ хийх

6. Хэмжилтийн хэрэгсэл:

- Wireshark (PCAP файлын шинжилгээ)
- Лог задлан шинжлэхэд зориулсан Python/Pandas
- Статистикийн тайлбарт зориулсан Stata/SPSS (заавал биш)

7. Бүртгэлжүүлэлт:

- Хэмжилтийн үр дүнгийн бүртгэл
- Дамжуулах график (DL/UL ба цаг хугацаа, хэрэглэгчийн тоо)
- Гүйцэтгэлийн тайлбар бүхий хураангуй тайлан

8. Тэмдэглэл:

- Хэмжилтийн UE болон үндсэн хооронд синхрончлолыг баталгаажуулна.
- Лабораторийн нөхцөлд хэмжилт хийж байгаа бол RF-ийн хамгаалалтыг хадгална.
- Амжилтгүй болсон хэмжилтийн тохиолдлуудыг ижил тохиргооны дагуу дахин ажиллуулна.

7.2 5G RRU лабораторийн хэмжилтийн тайлан загвар

5G RRU төхөөрөмжийн радио давтамжийн гүйцэтгэлийг олон улсын стандартын дагуу долгион тусгаарласан орчинд цуурайгүй чөмбөр хэмжин баталгаажуулах зорилготой.

Хэмжилтийн орчны нөхцөл:

- Хэмжилтийн орчин: Anechoic chamber
- Хэмжих зай: 3–5 метр
- Орчны температур: 20–25°C
- Антен: Omni эсвэл Horn төрөл

Ашиглагдах стандартууд:

- 3GPP TS 38.104
- 3GPP TS 38.141-1
- ETSI EN 301 908-13
- ITU-R SM.329

Хэмжих үзүүлэлтүүд:

- Хамгийн их дамжуулах чадал (Tx Power)
- Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR)
- Spectrum Emission Mask (SEM)
- Spurious Emissions (Unwanted Emissions)
- UE Interface Emissions

7.2.1-р хүснэгт - Хэмжилтийн жишиг үр дүн жишээ

Үзүүлэлт	Хэмжилт (dBm)	Стандарт хязгаар
Tx Power	42.1	≤ 43 dBm
ACLR	42.5	≥ 45 dB
SEM @ ±10 МГц	-30	≤ -25 dBm/МГц
Spurious Emission	-45	≤ -43 dBm
UE Interface Leakage	-50	≤ -47 dBm

7.3 5G RRU нэвтрүүлэгчийн асаах / унтраах (on/off) үеийн чадлын хэмжилт

RRU асаалттай болон унтраалттай үед нэвтрүүлэгчийн чадлын түвшнийг хэмжих замаар төхөөрөмжийн ажиллагааг шалгах.

1. Хэмжилтийн орчин:

Төхөөрөмжүүд:

- 5G RRU
- Спектрийн анализатор эсвэл чадал хэмжигч
- Үндсэн зурвасын хэсэг (Baseband Unit -BBU)
- Шаардлагатай бол хэмжилтийн хэрэглэгчийн төхөөрөмж (UE)
- Хамрах зурвас: n78 (жишээ нь 3.5 ГГц)
- Сувгийн өргөн: 100 МГц
- Хэмжилтийн хэрэгсэл: Спектр анализатор (Max Hold болон Marker функцтэй)

2. Хэмжилтийн алхмууд:

Алхам 1: RRU унтраалттай үеийн хэмжилт

- RRU-г идэвхгүй буюу дамжуулалт унтраалттай горимд байлгах.
- Спектрийн анализатораар фоны шуугианы түвшнийг хэмжих.
- Хүлээгдэж буй үр дүн: Доогуур шуугианы түвшин, жишээ нь -90 dBm-аас доош.

Алхам 2: RRU асаалттай үеийн хэмжилт

- BBU-с дамжуулалтыг идэвхжүүлж, PDSCH өгөгдөл дамжуулах.
- Спектрийн анализатораар чадлын өсөлтийг ажиглах.
- Дундаж болон дээд чадлыг тэмдэглэх.
- Хүлээгдэж буй үр дүн: Жишээ нь 40 dBm орчим нэвтрүүлэгчийн чадал

7.3.1-р хүснэгт - Хэмжилтийн үр дүнгийн жишээ

Төлөв	Давтамж (МГц)	Хэмжигдсэн чадал (dBm)
Нэвтрүүлэгч унтраалттай	3500	-93 dBm
Нэвтрүүлэгч асаалттай	3500	+40 dBm

- Хэмжилтийн үед интерференцийн дохио нөлөөлөхгүй байх.
- Орны хэмжилт хийх нөхцөлд чиглүүлэмж бүхий холбогч (coupler) эсвэл Хэмжилтийн порт ашиглах.

5G RRU-ийн (Remote Radio Unit) нэвтрүүлж буй дохионы чанарыг хэмжих нь сүлжээний гүйцэтгэл, хэрэглэгчийн туршлагыг хангах шалгуур юм. Үүнийг хэмжихдээ дараах гол үзүүлэлтүүдийг ашиглана:

7.4 5G RRU-ийн нэвтрүүлж буй дохионы чанарыг хэмжих**7.4.1-р хүснэгт - 5G RRU-ийн нэвтрүүлж буй дохионы чанарын үзүүлэлт**

Үзүүлэлт		Хэмжих хэрэгсэл / Арга
RSRP (Reference Signal Received Power)	Суурин станцын дохионы хүчийг хэмждэг.	UE log, Scanner, Drive Test Tool
RSRQ (Reference Signal Received Quality)	Дохионы чанар ба интерференцийг харуулдаг.	UE log, Drive Test Tool
SINR (Signal-to-Interference and Noise Ratio)	Дохионы ашигтай харьцаа. Өндөр байх тусам сайн.	Spectrum Analyzer, UE log
EVM (Error Vector Magnitude)	Илгээгдсэн ба хүлээн авсан дохионы алдааны хэмжээ.	Vector Signal Analyzer
ACLR (Adjacent Channel Leakage Ratio)	Хажуугийн сувгууд руу алдагдсан чадлын харьцаа.	Spectrum Analyzer
SEM (Spectrum Emission Mask)	Спектрийн хэтрэлт стандарттай нийцэж буй эсэх.	Spectrum Analyzer
Beam Quality (SS-RSRP, SS-SINR)	Beamforming дохионы чанарыг шалгах үзүүлэлт.	Drive Test, Field Scanner

7.4.1. Хүлээн авсан дохионы эталон дохио (RSRP), хүлээн авсан дохионы чанарын эталон (RSRQ), дохио шуугиан, интерференцийн харьцаа (SINR) хэмжих

Хэрэгсэл: Drive test tool (e.g. TEMS, Nemo Outdoor) эсвэл test UE

Алхам:

- Хэрэглэгчийн төхөөрөмжийг (UE) RRU-гийн ойролцоо байрлуулах.
- Тест горимд ажиллуулж PDSCH эсвэл SSB дохионы чанарыг лог файлд бичих.
- Дохионы чанарыг график болон тайланд тусгах.

7.5 EVM хэмжих модуляцийн чанарын тест:

- Хэрэгсэл: Vector Signal Analyzer (e.g., Keysight, R&S)
- Тооцооллын илэрхийлэл

$$EVM (\%RMS) = \sqrt{\frac{|\sum S_{meas} - S_{ideal}|^2}{\sum |S_{ideal}|^2}} \times 100 \quad (7.1)$$

S_{meas} : Хүлээн авсан дохионы вектор

S_{ideal} : Тохирсон(ideal) модуляцийн дохио

Алхам:

- RRU-гээс PDSCH эсвэл тест дохио дамжуулна.
- Analyzer дээр IQ constellation-г бичиж авна.
- Соронзон векторын алдааны (Error Vector Magnitude -EVM) үзүүлэлт 3GPP TS 38.104 стандарттай нийцэж буй эсэхийг шалгана.
 - QPSK $\leq 17.5\%$
 - 16QAM $\leq 12.5\%$
 - 64QAM $\leq 8\%$
 - 256QAM $\leq 3.5\%$

7.6 Spectrum Emission Mask (SEM) болон (Adjacent Channel Leakage Ratio -ACLR) шалгах

ACLR нь зэрэгцээ сувгууд руу алдагдсан дохионы чадлын харьцаа юм. Энэ нь тухайн сувгийн дохио бусад сувгууд руу алдагдаж байгаа эсэхийг шалгадаг үзүүлэлт юм. Өндөр ACLR-ийн утга нь интерференц бага, илүү цэвэр дамжуулалт гэсэн үг.

Тооцооллын томьёо:

$$ACLR (dB) = \log_{10} \left(\frac{P_{main}}{P_{adjacent}} \right) \quad (7.2)$$

P_{main} : Үндсэн сувгийн дамжуулалтын дундаж чадал

$P_{adjacent}$: Дэргэдэх сувгийн дундаж чадал

7.6.1 SEM болон ACLR хэмжих арга:

- RRU-г нэвтрүүлж буй гол сувгийг төв давтамжид тохируулна.
- Analyzer дээр Spectrum Plot авна.
- Хажуугийн сувгууд руу дохионы алдагдлыг хэмжиж, стандарт (≥ 45 dB) хангаж буй эсэхийг шалгана.

7.6.2 Тайлангийн загвар (Жишээ):

- Дохионы чанарын хэмжилтийн тайлан
- RRU загвар:

- Хэмжилтийн огноо:2025-04-16
- Байршил: Ulaanbaatar Test Site
- Хэмжилтийн үр дүн:

7.4.2-р хүснэгт - 5G RRU дохионы чанарын хэмжилтийн тайлан

№	Үзүүлэлт	Хэмжсэн утга	Хүлээгдэж буй стандарт	Нийцэл	Хэмжилтийн огноо	RRU загвар
1	RSRP	-82	>-95 dBm	Тийм	2025-04-16	RRU-X1000
2	RSRQ	-9	>-12 dB	Тийм	2025-04-16	RRU-X1000
3	SINR	23.5	>20 dB	Тийм	2025-04-16	RRU-X1000
4	EVM (QPSK)	4.2	<=17.5%	Тийм	2025-04-16	RRU-X1000
5	EVM (256QAM)	2.8	<=3.5%	Тийм	2025-04-16	RRU-X1000
6	ACLR	47	>=45 dB	Тийм	2025-04-16	RRU-X1000
7	SEM	Passed	Passed	Тийм	2025-04-16	RRU-X1000

Дүгнэлт (Жишээ):

RRU нь 3GPP-ийн шаардлагад нийцэж байгаа бөгөөд дохионы чанар сайн байна. 3GPP Стандартын эшлэлүүд

- 3GPP TS 38.104 – NR Base Station RF requirements
https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/38_series/38.104/
- 3GPP TS 38.141-1 – Conformance Testing Part 1: RF
https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/38_series/38.141-1/
- 3GPP TS 38.141-2 – Part 2: Radiated
https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/38_series/38.141-2/
- IEC 62232 – BS RF Exposure Standard

5G RRU-ийн динамик цараа нь тухайн RRU-ийн хүлээн авах эсвэл дамжуулах дохионы хамгийн өндөр болон хамгийн бага боломжит чадлын түвшин хоорондын зөрүүг дБ-р илэрхийлснийг харуулна.

7.7 Динамик царын тодорхойлох:

Динамик цараа нь RRU-ийн эсвэл ямар нэгэн RF төхөөрөмжийн дэмжиж чадах хамгийн хүчтэй дохио болон хамгийн сул (шуугианаас ялгарахуйц) дохио хоорондын дээд хязгаар юм.

$$\text{Dynamic Range (dB)} = P_{\max} - P_{\min} \quad (7.3)$$

$P_{\max}$: Хамгийн өндөр чадал (RRU-ийн дамжуулж чадах дээд утга)

$P_{\min}$: Хамгийн бага ялгаж чадах дохио (receiver sensitivity)

5G RRU-ийн динамик царааны утгууд:

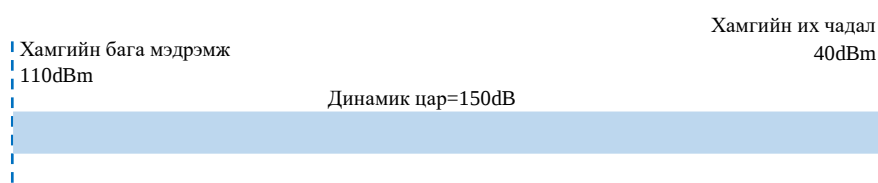
7.7.1-р хүснэгт - Динамик царааны утгууд

Үзүүлэлт	Утга (жишээ)
Хамгийн их чадал	+40 dBm (10 Ватт)
Хүлээн авах мэдрэмж	-110 dBm
Динамик цар	150 dB

Энэ нь RRU нь -110 dBm дохио хүлээж авч чаддаг, +40 dBm хүртэл дамжуулж чаддагийг харуулж байна. 150 dB динамик цараа нь өндөр чанартай RRU-ийн үзүүлэлтэд тооцогдоно.

Динамик цараа:**7.7.2-р хүснэгт - Динамик царын хэрэглээ**

Ашиглах зорилго	Тайлбар
Өндөр ба нам дохио ялгах	Хол ойрын хэрэглэгчдийг зэрэг хүлээж авах боломж
Шуугиан ба интерференцээс ялгах	Бага дохионуудыг ч зөв ялгаж авна
Beamforming болон MIMO-д ашигтай	Хүчтэй/сул дохионы ялгаатай нөхцөлд ч ажиллана
Хэмжилт хийх чадвар	Спектрийн анализ, дохионы анализ хийх боломжтой

5G Динамик цар**7.7.1-р зураг - 5G RRU-ийн динамик цараа**

- Хөх сумтай хэсэг нь RRU хүлээн авч чадах хамгийн бага дохио (Receiver Sensitivity: -110 dBm)
- Улаан сумтай хэсэг нь RRU-ийн дамжуулж чадах хамгийн өндөр дохио (Max Tx Power: +40 dBm)
- Цэнхэр зурвас нь тэдгээрийн хоорондох динамик цараа (150 dB).

7.8 5G RRU-ийн**нэвтрүүлэх дохионы чанар**

5G RRU-ийн нэвтрүүлэх дохионы чанар нь тухайн RRU-гийн дамжуулж буй дохио хэр цэвэр, нарийн, хэр стандарттай нийцсэн байгааг илэрхийлнэ.

7.8.1-р хүснэгт - 5G RRU-ийн нэвтрүүлэх дохионы чанарын үндсэн үзүүлэлтүүд

Үзүүлэлт	Тайлбар
Алдаа векторын хэмжээ EVM (Error Vector Magnitude)	Модуляцийн алдааны түвшин. Дохио хэр нарийн илгээгдэж байгааг хэмждэг.
Зэргэлдээх сувгийн алдагдлын харьцаа ACLR (Adjacent Channel Leakage Ratio)	Хажуугийн сувгууд руу алдагдсан чадлын хэмжээ. Интерференцийг багасгах шалгуур.
Спектр ялгаруулах маск SEM (Spectrum Emission Mask)	Спектрийн хэтрэлтийн график. Стандарттай нийцэж буй эсэхийг шалгана.
Нэвтрүүлэх чадлын нарийвчлал (Tx Power Accuracy)	Дамжуулалтын чадлын жинхэнэ болон тохиргооны утгын зөрүү.
Давтамжийн алдаа (Frequency Error)	Илгээгдэж буй дохионы бодит болон хүссэн давтамжийн зөрүү.
IQ Imbalance	I/Q (in-phase, quadrature) дохионуудын тэнцвэртэй байдал.
Фазын шуугиан (Phase Noise)	Давтамжийн хэлбэлзэл, цэвэршилтийн үзүүлэлт.

EVM – Илгээх дохионы алдааны нарийвчлал:

Модуляцын төрөл бүрд дараах EVM шаардлага тавигдана (3GPP TS 38.104):

7.8.2-р хүснэгт - Модуляцлагдсан дохионы үзүүлэлтүүд

Хүснэгт	Хүснэгт
---------	---------

QPSK	$\leq 17.5\%$
16QAM	$\leq 12.5\%$
64QAM	$\leq 8\%$
256QAM	$\leq 3.5\%$

ACLR – Хажуугийн сувгийн алдагдлыг шалгах:

RRU өөрийн суваг дээр дамжуулал хийх үед хажуугийн сувгууд руу чадал алдсанаас хөрш сувагт интерференц үүсгэнэ. Энэ нь 3GPP стандартын дагуу ACLR ≥ 45 dB байна.

SEM – Спектрийн хэтрэлтийн хязгаар

- Илгээгдэж буй дохио стандартын маскны хязгаар дотор байх ёстой.
- Энэ нь бусад системд нөлөөлөхөөс сэргийлнэ.

7.8.3-р хүснэгт - Бусад дохионы үзүүлэлтүүд

Үзүүлэлт	Хүлээн зөвшөөрөгдөх хязгаар
Нэвтрүүлэх чадлын алдаа	± 2 dB (ихэнх тохиолдолд)
Давтамжийн алдаа	± 0.05 ppm
Фазын шуугиан	-97 dBc/Hz @ 100 kHz offset
IQ Imbalance	< 25 dB (image rejection ratio)

7.9 Спектрийн хэтрэлтийн хязгаарыг тодорхойлох Хэмжилтийн аргачлал:

1. RRU-г PDSCH дамжуулах горимд оруулна.
2. Vector Signal Analyzer ашиглаж дараах хэмжилтийг хийнэ:
 - EVM (IQ constellation plot)
 - ACLR (spectrum leakage)
 - SEM (mask graph)
3. Power meter ашиглан Tx power шалгана.
4. Frequency counter ашиглан давтамжийн алдааг хэмжинэ.

5G системийн хугацааны тохируулгын алдааг хэмжих жишээ:

5G систем дэх хугацааны тохируулгын алдааг хэмжих жишээ (Time Alignment Error Measurement Example) юм. Энэ нь хэрэглэгчийн төхөөрөмж (UE) суурин станц руу илгээж буй дохионууд цаг хугацааны хувьд зөв таарч байгаа эсэхийг шалгана.

Зорилго:

- Time Alignment Error (TA Error) гэдэг нь UE-ийн uplink дохио гишүүдийн хооронд давхцал байгаа эсэхийг тодорхойлох.
- TA алдаа их байвал олон хэрэглэгч өгсөх шугамд хоорондоо мөргөлдөж, интерференц үүсгэнэ.

Шаардагдах тоног төхөөрөмж:

- 5G UE (Хэмжилтийн хэрэглэгчийн төхөөрөмж)
- gNB RRU (суурин станц)
- Protocol Analyzer (Keysight, R&S, Viavi гэх мэт)
- Oscilloscope эсвэл Signal Analyzer (шаардлагатай тохиолдолд)

7.8.4-р хүснэгт - Жишээ хэмжилтийн үр дүн

UE ID	Хүлээгдэж буй цаг (μ s)	Үнэн цаг (μ s)	ТА алдаа (μ s)	Шалгуур ($\pm \mu$ s)	Нийцэж буй эсэх
UE_01	250	252.4	+2.4	± 3	Тийм
UE_02	370	375.8	+5.8	± 3	Үгүй
UE_03	120	118.5	-1.5	± 3	Тийм

3GPP стандартын дагуу TA алдаа $\pm 3 \mu\text{s}$ -аас бага байх ёстой (TS 38.133).

Хэмжилтийн алгоритм:

$$TA \text{ Error} = \text{Measured Arrival Time} - \text{Expected Time} \quad (7.4)$$

Expected Time: gNB-ээс хүлээгдэж буй өгсөх шугамын дохионы хүлээн авах хугацаа

Measured Arrival Time: Бодитоор хүлээн авсан хугацааны хэмжилт

График тайлбар

5G RRU - Хугацааны тохируулгын алдааны график

Энэ график нь 3 хэрэглэгчийн (UE_01, UE_02, UE_03) хувьд:

- Цэнхэр багана нь хүлээгдэж буй uplink дохионы ирэх хугацаа
- Улбар шар багана нь бодитоор ирсэн хугацаа
- Дээр нь харуулсан утга бол хугацааны тохируулгын алдаа (TA Error)

Жишээ нь, UE_02 хэрэглэгчийн дохио хүлээгдэж байснаас $5.8 \mu\text{s}$ хожуу ирсэн тул стандартын $\pm 3 \mu\text{s}$ хязгаараас хэтэрсэн, синхрончлолын асуудал үүсгэх магадлалтай.

Хугацааны тохируулгын алдаа нь өгсөх шугамын дохионы синхрончлолд заавал шалгах параметр юм. Энэ нь TDD горимд RRU бүрийн нарийвчлалтай ажиллах үндэс болно.

7.10 5G RRU-ийн хүсээгүй цацаргалт (Unwanted Emissions)

5G RRU-ийн хүсээгүй цацаргалт нь RRU нэвтрүүлгээс зорилтот бус давтамжууд дээр санамсаргүй эсвэл системийн шалтгаантай үүссэн дохио бөгөөд энэ нь интерференц, бусад системд нөлөөлөх, эрсдэлийг үүсгэдэг.

7.10.1-р хүснэгт - Хүсээгүй цацаргалтын төрөл

Төрөл	Тайлбар
Out-of-Band Emissions (OOB)	Сувгийн хажуугийн ойролцоох давтамжуудад үүссэн илүүдэл дохио
Spurious Emissions	Хяналтгүй, өөр хэсгийн спектрт гарсан дохио (e.g., harmonics, mixer products)
Harmonic Emissions	Үндсэн дохионы давтамжийн үржвэрт (2nd, 3rd harmonic) гарсан дохионууд

7.10.2-р хүснэгт - 3GPP стандартын шаардлага (TS 38.104 дагуу)

Үзүүлэлт	Хязгаар
Conducted Spurious Emissions	$\leq -13 \text{ dBm}$ (жишээ)
Radiated Spurious Emissions	$\leq -30 \text{ dBm/1 МГц}$
OOB Emission Limit	$\leq -40 \text{ dBc}$ (үндсэн дохиотой харьцсан хэмжигдэхүүн)

Хэмжих арга:

Хэрэгсэл:

- Spectrum Analyzer
- Directional Coupler (RRU output-аас дохио ялгах)
- Antenna chamber (radiated хэмжилтэд)

Хэмжих алхмууд:

1. RRU-ийг PDSCH дамжуулах горимд оруулна.

2. Spectrum Analyzer дээр ширээний (wide-span) хэмжилт хийж, 30 МГц–12.75 ГГц хүртэл шалгана.
3. Спектрийн дээд хэмжээ, хажуугийн сувгууд, гармоник дохионууд байгаа эсэхийг шалгана.
4. Хэмжилтийн үр дүнг 3GPP стандарттай харьцуулна.

График жишээ (тайлбар):

- Үндсэн дохио (жишээ нь 3.5 ГГц) хамгийн өндөрт байрлана.
- ООВ дохионууд нь үндсэн дохионы ойролцоо, гэхдээ үндсэн спектрийн гадна байрлах “илүүдэл” дохио.
- Spurious (гармоник) дохионууд 7 ГГц, 10.5 ГГц гэх мэт давтамж дээр бага хэмжээтэй харагдана.

7.10.3-р хүснэгт - Жишээ тайлан

Давтамж (ГГц)	Хэмжсэн чадал (dBm)	Стандарт хязгаар	Нийцэж байгаа эсэх
3.5 (Main)	+40	—	—
3.6 (OOB)	-42	≤ -40 dBc	Тийм
7.0 (2nd Harm)	-17	≤ -13 dBm	Тийм
10.5 (3rd Harm)	-11	≤ -13 dBm	Үгүй

Хүсээгүй цацаргалт нь онцгой зөвшөөрөлтэй системд (e.g., нислэгийн радар, онцгой байдлын холбоо) хөндлөнгийн нөлөө үзүүлдэг. Стандарт зөрчсөн тохиолдолд RRU-ийг сертификатгүй, хууль бус гэж үзэж болно.

7.10.4-р хүснэгт - Хэмжилтийн шаардлага

БС сувгийн зурвасын өргөн ($BW_{Channel}$)	Хажуугийн сувгийн гажилт	Хажуугийн сувгийн зөөгч	Шүүрийн зурвасын өргөн	ACLR хязгаар
5,10,15,20	$BW_{Channel}$	NR нь ижил зурвас	Square (BW_{Config})	44.2 dB
	$2 \times BW_{Channel}$	NR нь ижил зурвас	Square (BW_{Config})	44.2 dB
	$BW_{Channel}/2+2.5MHz$	5MHz E-UTRA	Square (BW_{Config})	44.2 dB
	$BW_{Channel}/2+7.5MHz$	5MHz E-UTRA	Square (BW_{Config})	44.2 dB
25,30,40,50,60,70,80,90,100	$BW_{Channel}$	NR нь ижил зурвас	Square (BW_{Config})	43.8 dB
	$2 \times BW_{Channel}$	NR нь ижил зурвас	Square (BW_{Config})	43.8 dB
	$BW_{Channel}/2+2.5MHz$	5MHz E-UTRA	Square (BW_{Config})	43.8 dB
	$BW_{Channel}/2+7.5MHz$	5MHz E-UTRA	Square (BW_{Config})	43.8 dB
$BW_{Config}=N_{RB} \times SCS \times 12kHz$, Дамжууллын зурвасын өргөн				

Хүсээгүй цацаргалт нь радио дамжуулагч төхөөрөмжөөс (жишээ нь 5G RRU) зорилтот бус давтамжууд дээр гарч буй дохионууд юм. Эдгээр дохионууд нь өөр системүүдэд интерференц (саад) учруулж болзошгүй байдлыг харуулна.

7.10.5-р хүснэгт - Хүсээгүй цацаргалт (UE)-ийн төрлүүд

Төрөл	Тайлбар
Зурвасын гаднах цацаргалт (Out-of-Band Emission-OOB)	Үндсэн сувгийн ойролцоох (сувгийн хязгаарын гадна) дохионы алдагдал
Хуурамч цацаргалт (Spurious Emission)	Илүү хол давтамж дээр санамсаргүй эсвэл системийн шалтгаантайгаар үүссэн дохио (e.g., harmonics, intermodulation)

7.10.6-р хүснэгт - Хүсээгүй цацаргалт (UE)-ийн стандарт (3GPP TS 38.104)

Үзүүлэлт	Хязгаар
Conducted Spurious Emission	≤ -13 dBm (нэг сувгийн өргөнд)
Radiated Spurious Emission	≤ -30 dBm/1 МГц
OOB Emission	≤ -40 dBc (гол дохиотой харьцуулахад)

5G RRU дахь хүсээгүй цацаргалт (UE)-ын жишээ:

- Үндсэн дохио: 3.5 ГГц дээр байрлаж байгаа (e.g., n78 band)
- OOB: 3.4 ГГц болон 3.6 ГГц хавьд үүсэж болох илүүдэл дохионууд
- Хуурамч цацаргалт:
 - 2-р гармоник: 7.0 ГГц
 - 3-р гармоник: 10.5 ГГц
 - IMD products: бусад холимог дохионы бүтээгдэхүүн

Хүсээгүй цацаргалт (UE)-ийн хэмжилт:

- Төхөөрөмж: Spectrum Analyzer
- RRU-ийн гаралт руу шууд холбож хэмжинэ
- Шалгах диапозон: 30 МГц–12.75 ГГц

Хэмжүүр:

- Antenna chamber эсвэл EMC lab ашиглаж, цацаргалт хэмжинэ
- Олон чиглэлээс хэмжиж хамгийн их утгыг тодорхойлно

Интерференцээс урьдчилан сэргийлэх шалтгаан:

- Онцгой албаны холбооны системд хөндлөнгийн нөлөө үзүүлж болзошгүй
- Бусад операторууд, системүүдийн ажиллагааг доголдуулж болзошгүй
- Олон улсын EMC (Electromagnetic Compatibility) болон 3GPP шаардлагыг зөрчвөл сертификат хүчингүй болно

7.11 Хуурамч цацаргалт (Spurious Emission)

Хуурамч цацаргалтын хэмжилтийн жишээ нь 5G RRU нэвтрүүлэгчийн стандарт хэмжилтийн нэг хэсэг болдог.

Хуурамч цацаргалт нь үндсэн дохионы зурвасаас гадуур, маш хол давтамжууд дээр гарч буй санамсаргүй дохионууд бөгөөд тэдгээрийг 3GPP болон ITU стандартын дагуу хэмжинэ.

7.11.1-р хүснэгт - Хэмжилтийн орчин (Test Setup)

Бүрэлдэхүүн	Тайлбар
5G RRU	Хэмжилт хийх төхөөрөмж
Spectrum Analyzer	Дохионы чадал болон спектр хэмжих
RF Coupler/Attenuator	Analyzer-т тохирох хэмжээнд бууруулах
Test Mode	PDSCН идэвхэжсэн, бүрэн зурвасын өргөний дамжуулал

7.11.2-р хүснэгт - Хэмжих давтамжийн хүрээ (Frequency Range)

Бүс	Диапазон (жишээ)
1	9 kHz – 30 МГц
2	30 МГц – 1 ГГц
3	1 ГГц – 12.75 ГГц (эсвэл 26.5 ГГц)

7.11.3-р хүснэгт - Жишээ хэмжилтийн үр дүн (Sample Results Table)

Давтамж (ГГц)	Хэмжсэн чадал (dBm)	Стандарт хязгаар	Нийцэж байгаа эсэх
7.0 (2-р гармоник)	-17	≤ -13 dBm	Тийм

10.5 (3-р гармоник)	-11	≤ -13 dBm	Үгүй
12.5 (хуурамч)	-14	≤ -13 dBm	Тийм

Спектрийн тайлбар:

- 3.5 ГГц – үндсэн дохио (жишээ: n78 band)
- 7.0 ГГц, 10.5 ГГц – гармоник дохио
- 12.5 ГГц – бусад системийн үүсгэсэн холимог дохио (intermodulation, leakage)
- -13 dBm шугам – 3GPP стандартын хүлцэх дээд хязгаар

Дүгнэлт:

- Хуурамч цацаргалт нь системийн гүйцэтгэлд шууд хамааралтай.
- RRU-гийн бүх дамжуулалтын нөхцөлд энэ шалгуурыг хангах шаардлагатай.
- Хэтэрсэн тохиолдолд шүүлтүүр, чадлын өсгүүрийн тохиргоо, долгионы хэлбэрийн тохиргоо хийх шаардлагатай.

5G RRU-ийн интермодуляцын хэмжилт нь радио дохионы гармоник бус нөлөөллөөс үүсэх хүсээгүй дохионуудыг илрүүлж, RRU-ийн RF гүйцэтгэлийг шалгахад зайлшгүй чухал тест юм.

7.12 Интермодуляц

Интермодуляц нь хоёр буюу түүнээс олон тусдаа дохио систем дотор харьцаж (non-linear process) байснаар шинэ, хүсээгүй давтамжийн дохионууд үүсэх үзэгдэл юм.

Жишээ нь:

- Хоёр дохио: $f_1 = 3.5 \text{ GHz}$, $f_2 = 3.6 \text{ GHz}$ ()
- Интермодуляцын бүтээгдэхүүн:
- $2f_1 - f_2$, $2f_2 - f_1 \rightarrow 3.4 \text{ GHz}$ гэх мэт

Интермодуляцыг хэмжих алхмууд:

- Нэгдүгээр шат: Хоёр дохиог үүсгэх
 - $f_1 = 3.5 \text{ GHz}$
 - $f_2 = 3.6 \text{ GHz}$
 - Дохионы түвшин: -20 dBm
- Хоёрдугаар шат: RRU эсвэл DUT-д дохионуудыг оруулах
 - Модуляц ашиглахгүй, CW (continuous wave) дохио
- Гуравдугаар шат: Spectrum Analyzer-аар дараах давтамжууд дээр шалгах
 - $f_3 = 2f_1 - f_2$
 - $f_4 = 2f_2 - f_1$
 - $f_5 = f_2 - f_1$ (difference component)

7.12.1-р хүснэгт - Интермодуляцын хэмжилтийн үр дүн

Давтамж (ГГц)	Интермодуляцын төрөл	Хэмжсэн чадал (dBm)	Стандарт хязгаар	Нийцэж байгаа эсэх
3.4	$2f_1 - f_2$	-42	≤ -40 dBm	Тийм
3.7	$2f_2 - f_1$	-38	≤ -40 dBm	Үгүй

3GPP болон FCC/ETSI-ийн ихэнх шаардлагад Интермодуляцын дохио -40 dBm-аас бага байна.

- Интермодуляцын бүтээгдэхүүнүүд нь өөрийн болон хөрш сувгуудад нөлөөлж, интерференц, үйлчилгээний чанар (QoS) бууралт, гардварын алдаа үүсгэдэг.
- Зөөгч нэгтгэл (SA), MIMO зэрэг системүүдэд илүү нөлөөлнө.

Дүгнэлт:

Интермодуляцын хэмжилт нь RRU болон антены RF хэлхээний шударга байдал, шугаман чанарыг шалгах шалгуур болно. Хэт их интермодуляц илэрвэл:

- Чадлын өсгүүрийн гажуудал (PA distortion)
- Шүүрийн алдагдал (Filter leakage)
- Антены холболт (Antenna coupling)
- Аналог гинжин хэлхээнд шугаман бус байдал (Non-linearity in analog chain)

5G RRU Интермодуляцын хэмжилтийн тайлан:

7.12.2-р Хүснэгт - 5G RRU-ийн Интермодуляцын хэмжилтийн загвар

№	Давтамж (GHz)	Интермодуляцын төрөл	Хэмжсэн чадал (dBm)	Стандарт хязгаар	Нийцэл	Хэмжилтийн тоо	RRU загвар
1	3.4	$2f_1 - f_2$	-42	≤ -40 dBm	Тийм	2025-04-16	RRU-X1000
2	3.7	$2f_1 - f_2$	-38	≤ -40 dBm	Үгүй	2025-04-16	RRU-X1000

7.13 5G RRU-ийн түлхүүр RF үзүүлэлтүүдийг цуурайгүй камер буюу радио долгионы нөлөөллөөс бүрэн тусгаарлагдсан орчин буюу чемберт хэмжих

Цуурайгүй камер буюу чембер:

- Радио долгионы тусгалыг шингээдэг хөөсөөр бүрсэн, тусгай зориулалтын Хэмжилтийн өрөө юм.
- Төхөөрөмжөөс цацарсан Радио давтамжийн цацаргалтын гүйцэтгэл буюу үзүүлэлтийг шалгах орчин болно.

Стандартууд:

- 3GPP TS 38.141-2 – NR Base Station Conformance Testing: Part 2 (Radiated)
- 5G суурин станц (RRU)-ийн OTA (Over-the-Air) болон beamforming шалгуурын стандарт.
- ETSI TR 103 585 – RF Performance for 5G Base Stations (OTA)
- RRU-ийн цацралт, чиглэлт, үр ашиг зэрэг хэмжилтийг чемберт гүйцэтгэх аргачлал.
- IEC 61000-4-3 / 61000-4-20
- ЭМС (EMC) тест хийх анхны үндсэн зааврууд. Anechoic chamber хэрэглэсэн хэмжилтийн үндэслэлтэй.

7.13.1-р хүснэгт - 5G RRU-г Чемберт хэмжих түлхүүр үзүүлэлтүүд

Үзүүлэлт	Тайлбар
Radiated Spurious Emissions (RSE)	RRU-аас хүсээгүй давтамжууд дээр гарсан цацаргалт
EIRP / TRP (Effective Radiated Power / Total Radiated Power)	Үр ашигтай цацаргалтын чадал/ Нийт цацаргаж буй бодит чадал

Beamforming Performance	Цацраг хэлбэржүүлэг чиглэлүүдээр дохио хэр цацагдаж байгааг шалгах
Field Uniformity, Far-field gain	RF талбайн жигд байдал, хол зайн орны өсгөлт

7.13.2-р хүснэгт - Хэмжилтийн орчин

Төхөөрөмж	Зорилго
Цуурайгүй камер	Цацралтын тусгалгүй орчин
Тохируулгатай	DUT (RRU)-г 360 градус эргүүлэх
Антен (V/H)	RF хүлээн авах / шинжлэх
Спектр анализатор / VSA	Доод түвшний дохио хэмжих
Үндсэн зурвасын спектр (BBU Sim)	RRU-г идэвхжүүлэх, дохио дамжуулах горимд оруулах

Хэмжилтийн жишээ:**Хуурамч цацаргалтын Хэмжилт (Radiated Spurious Emission Test-RSET):**

- RRU-г 3.5 ГГц дамжуулах горимд оруулна.
- Спектр анализатор ашиглан 30 МГц – 12.75 ГГц хүрээнд цацарсан дохионуудыг шалгана.
- Стандарт хязгаар: ≤ -30 dBm/1 МГц

Цацаргасан нийт чадал (Total Radiated Power-TRP):

- RRU-ийн 3D чиглэлүүдэд эргүүлж, нийт энергийн нийлбэрийг тооцно.
- “Beamforming” ашиглаж байгаа тохиолдолд SSB дээр байна.
- Стандарт: TS 38.141-2 6.2-р хэсэг

Цацрагийн загвар ба өсгөлт (Beam Pattern & Gain):

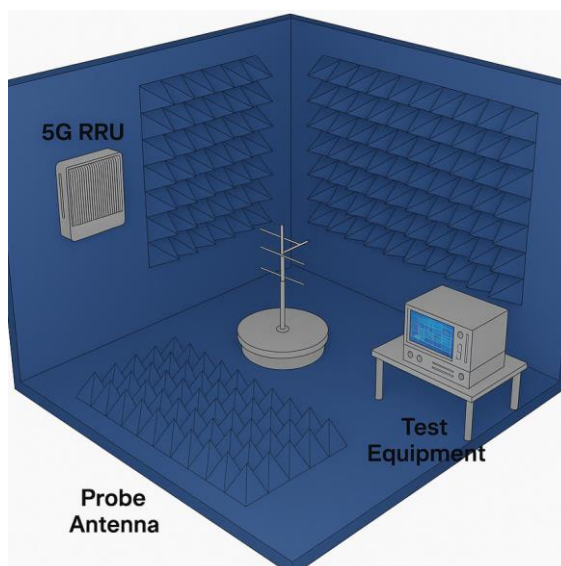
- Антену хувьд:
 - Үндсэн дэлбээ болон дэд оройнуудыг шалгах.
 - Азимут болон өндийх өнцгийн чиглэлүүдэд анализ хийх.
- RRU цацраг хэлбэржүүлэгч нь 3GPP-ийн $\pm 60^\circ$ -ийн сектор дотор 3–8 цацраг бүхий чиглүүлэмжтэй байна.

Тайлангийн бүтэц:**RRU Radiated Test Report (Anechoic Chamber)**

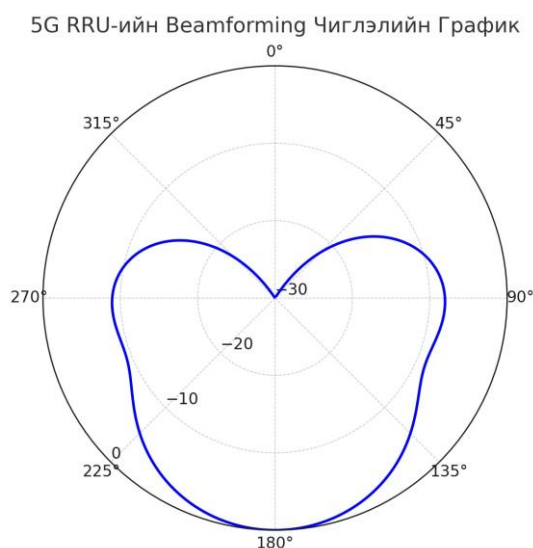
- DUT: 5G RRU (Model X1000)
- Давтамж: 3.5 ГГц (n78)
- Цуурайгүй чемберийн орчин
- Хэмжилтийн стандарт: 3GPP TS 38.141-2

7.13.3-р хүснэгт - Хэмжилтийн үр дүнгийн жишээ

Үзүүлэлт	Хэмжсэн утга	Стандарт хязгаар	Нийцэж байгаа эсэх
Цацруулсан хуурамч цацраг	-34 dBm	≤ -30 dBm	Тийм
Нийт цацаргалтын чадал	37 dBm	≥ 36 dBm	Тийм
Хамгийн их өсгөлт (0° Az)	8.5 dBi	≥ 8 dBi	Тийм
Хажуугийн дэлбээний төвшин	-17 dB	≤ -15 dB	Тийм



7.13.1-р зураг - 5G RRU-ийн e.i.r.p буюу нийт цацаргаж буй чадлыг хэмжих



7.13.2-р зураг - 5G RRU-ийн цацраг хэлбэржүүлэлтийн чиглүүлэмж.

RRU-ын 0° – 360° чиглэлд дохионы цацаргалт. Үндсэн дэлбээ нь хамгийн их өсөлттэй чиглэл бөгөөд ихэвчлэн хэрэглэгч рүү чиглэнэ. Хажуугийн дэлбээ нь бусад чиглэл рүү сул дохио цацагдаж байгааг илтгэнэ.

7.13.4-р хүснэгт - 5G RRU Хэмжилтийн загвар

№	Хэмжилтийн төрөл	Хэмжсэн утга	Хүлээгдэж буй стандарт	Нийцэл	Хэмжилтийн огноо	RRUзагвар
1	Tx Power Test	40 dBm	$\leq \pm 2$ dB	Тийм	2025-04-17	RRU-X1000
2	EVM (256QAM)	2.58%	≤ 3.5 %	Тийм	2025-04-17	RRU-X1000
3	ACLR (± 1 RB)	47 dB	≥ 45 dB	Тийм	2025-04-17	RRU-X1000
4	SEM	Passed	Pass	Тийм	2025-04-17	RRU-X1000
5	RSE (Spurious)	-34 dBm	≤ -30 dBm	Тийм	2025-04-17	RRU-X1000
6	TRP	37.5 dBm	≥ -36 dBm	Тийм	2025-04-17	RRU-X1000
7	Цацрагийн өсгөлт	8.2 dBi	≥ 8 dBi	Тийм	2025-04-17	RRU-X1000

Спектрийн анализаторын RBW (1 МГц) болон VBW (3 МГц) тохиргоо нь 5G NR зурвасын өргөнд (BWP)-ийн анализ хийхэд ашиглах боломжтой байх. Энэ тохиолдолд антен болон бага шуугианы өсгөгчийн (LNA) өсгөлт, кабелийн алдагдлуудыг тооцоолон ерөнхий хүлээн авсан чадлыг үнэн зөв тодорхойлж чадна.

7.13.5-р хүснэгт - 5G RRU-ийн e.i.r.p болон спектрийн цацаргалтыг хэмжих	
Асуудал	Тайлбар
Давтамжийн цараа	5G RRU нь Sub-6 ГГц болон mmWave (>24 ГГц)-д ажилладаг. Иймд антен болон LNA нь таны 5G зурваст тохирох эсэхийг шалга.
Антен ба бага шуугианы өсгөгчийн шаардлага	5G-н хэмжилт хийх бол өндөр өсгөлт бүхий, цацраг хэлбэржүүлэлтийг дэмждэг антен шаардлагатай.
Хэмжилтийн зай r	Алсын радио нэгж (RRU)-н e.i.r.p өндөр тул safety distance болон чөлөөт орчны замын алдагдлыг зөв тооцох хэрэгтэй.
Тохируулга	Бүх төхөөрөмжүүд (antenna, cable, LNA)-ийг зөв калибровка хийх шаардлагатай.
Чиглүүлэмжтэй цацраг	Хэрэв алсын радио нэгж (RRU) нь цацраг хэлбэржүүлэлт ашиглаж байвал, хамгийн өндөр цацаргалттай чиглэлийг хэмжих ёстой.

Цацраг хэлбэржүүлэлт болон олон оролт, олон гаралтай (MIMO) сувагт хэмжилтийн нөхцөлийг сайтар зохицуулна.

7.14 ЦУУРАЙГҮЙ ЧЕМБЕРТ ХИЙХ 5G RRU ХЭМЖИЛТ

5G RRU – Цуурайгүй чемберт хэмжих аргачлал:

Зорилго:

Энэхүү аргачлалын зорилго нь 5G RRU төхөөрөмжийн цацаргалтын гүйцэтгэлийг цуурайгүй (anechoic) камерт үнэлэхэд оршино. Хэмжилт нь олон улсын стандартуудын дагуу гүйцэтгэгдэж, нэвтрүүлэх чадал, цацаргалтын хязгаар, болон цацраг хэлбэржүүлэлтийн чиглэлийн гүйцэтгэлийг хэмжихэд чиглэнэ.

Ашиглагдах стандартууд:

- 3GPP TS 38.141-1: NR Base Station conformant test
- ETSI EN 301 908-13: IMT радио системийн RF шаардлага
- ITU-R SM.329 / SM.1541: Spurious болон unwanted emissions хязгаар
- FCC Part 30 (шаардлагатай тохиолдолд)

Хэмжилтийн тоног төхөөрөмж ба орчны шаардлага:

- Anechoic chamber хэмжээ: $\geq 5 \text{ м} \times 5 \text{ м} \times 3 \text{ м}$
- Дохио хүлээн авагч антеннтай зай: 3–5 м
- Камерын ханын шингээлт: $\geq 60 \text{ dB}$
- Turntable болон antenna positioner ашиглах боломжтой байх
- Температур: 20–25°C, Чийг: $\leq 60\%$

Хэмжилтийн алхмууд:

1. DUT (RRU)-г камерын дунд төв байрлалд суурилуулна.
2. Хүлээн авагч антенныг 3–5 м-ийн зайд байрлуулна.
3. DUT (RRU)-ийг бүрэн асааж, TDD горимд ажиллуулна.
4. Хэмжилтийн үзүүлэлт тус бүрд тохирох хэмжилтийн дарааллыг гүйцэтгэнэ:

- Нэвтрүүлэх чадал Tx Power (EIRP)
- ACLR (Adjacent Channel Leakage Ratio)
- Хуурмаг цацаргалт
- Spectrum Emission Mask (SEM)
- Цацраг хэлбэржүүлэх загвар (хэмжих өнцөг бүрээр)

5. Үр дүнг тэмдэглэж, стандарттай харьцуулан үнэлгээ өгнө

Жишээ тохиргоо

- DUT (RRU)-: Outdoor 5G RRU (n78, 3.5 ГГц)
- Tx bandwidth: 100 МГц
- Beamforming: $\theta = -30^\circ$ to $+30^\circ$
- Хэмжих үзүүлэлтүүд: EIRP, spurious, ACLR, SEM
- Горим: TDD, full power

6. Үр дүнгийн боловсруулалт

7.14.1-р хүснэгт - Хэмжилтийн үр дүнгийн загвар

Хүснэгт	Хүснэгт	Хүснэгт	Хүснэгт
EIRP	43.2 dBm	≤ 44 dBm	Зөвшөөрөгдөх түвшинд
ACLR	47.5 dB	≥ 45 dB	Хажуу сувгийн хязгаар хангасан
Spurious Emission	-48 dBm	≤ -43 dBm	Нийцсэн
SEM @ ± 10 МГц	-27 dBm/МГц	≤ -25 dBm	Хязгаар ойролцоо

5G RRU – Цуурайгүй чөмбөрт хэмжсэн жишээ тайлан:

Энэхүү баримт бичиг нь 5G RRU-ийн цуурайгүй чөмбөрт хийдэг хэмжилтийн шаардлага, стандарт, техникийн нөхцөл болон гүйцэтгэлийн шалгуур үзүүлэлтүүдийг багтаасан болно. Хэмжилт нь олон улсын стандартуудын дагуу 5G RRU-ийн нэвтрүүлэх чадал, цацаргалтын хязгаар, болон цацраг хэлбэржүүлэлтийн чиглэлийн гүйцэтгэлийг үнэлэх зорилготой.

Ашиглагдах стандартууд:

- 3GPP TS 38.141-1 – NR Base Station conformant test
- ETSI EN 301 908-13 – IMT системийн радио дамжуулах төхөөрөмжийн шалгуур
- FCC Part 30 – U.S. flexible use services
- ITU-R SM.329, SM.1541 – Spurious болон unwanted emissions хязгаар

Хэмжилтийн орчны шаардлага:

- Chamber хэмжээ: $\geq 5 \text{ м} \times 5 \text{ м} \times 3 \text{ м}$
- Reflections: -60 dB буюу түүнээс баг
- Антентай зай: 3–5 метр
- RRU нь turntable эсвэл elevation механизмаар тохируулах боломжтой
- Орчны температур: 20–25°C, харьцангуй чийг $\leq 60\%$

7.14.2-р хүснэгт - Хэмжилтээр хэмжих үндсэн үзүүлэлтүүд

Үзүүлэлт	Тайлбар	Холбогдох стандарт
Radiated Tx Power (EIRP)	Антентай хамт дамжуулж буй нийт чадал	3GPP TS 38.141-1
Spurious Emission	Хүсээгүй, давтамжийн хүрээнээс гадуурх цацаргалт	ITU-R SM.329
ACLR	Хажуу сувгийн алдагдлын харьцаа	3GPP TS 38.104

SEM	Спектрийн emission mask	3GPP TS 38.141-1
Beamforming Pattern	Цацаргалтын өнцгийн зураглал	3GPP OTA

Жишээ Хэмжилтийн тохиргоо:

- DUT: Outdoor 5G RRU (n78, 3.5 ГГц)
- Tx bandwidth: 100 МГц
- Антентай зай: 3.5 м
- Beamforming хэмжилт: $\theta = -30^\circ$ to $+30^\circ$, every 5°
- Хэмжигдэх үзүүлэлтүүд: EIRP, spurious emission, ACLR, SEM
- Үйлдлийн горим: TDD, full power

Хэмжилтийн зохион байгуулалтын схем:

Доорх схем нь анукоик камер дахь хэмжилтийн ерөнхий зохион байгуулалтыг харуулж байна. RRU-ээс цацагдаж буй дохиог хүлээн авагч антен нь тохирсон зай, өнцөгт байрласан байна.

ХАВСРАЛТ 1

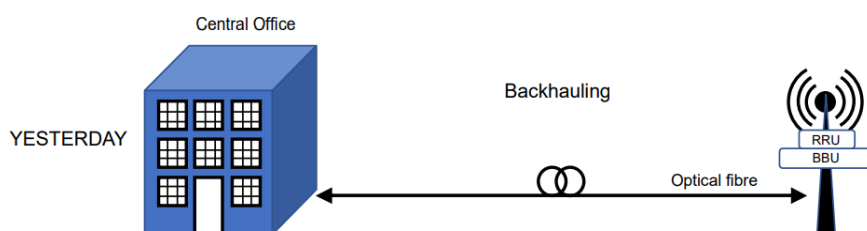
RRU-д зориулсан Хэмжилт, баталгаажуулалт; Тохиромжтой байдал ба гүйцэтгэлийн Хэмжилтийн техникийн тодорхойлолт

RRU нь нээлттэй Радио хандалтын сүлжээг (OpenRAN) нэвтрүүлэхэд чиглэсэн, шинэлэг хос зурвастай.

Энэхүү загвар нь нээлттэй Радио хандалтын сүлжээний экосистемд шинээр чадлын, хоёр зурвасын радио нэгжүүдтэй холбоотой цахилгаан болон механик дизайны сорилтуудыг шийдвэрлэх шинэ шийдлүүдтэй.

Тоон урьдчилан гажуудал (Digital Pre Distortion-DPD) болон крест фактор бууруулалт (Crest Factor Reduction -CFR) буюу долгионы чадлын харьцааг хамгийн их утгаас дундаж руу бууруулах PAPR-ын нэгэн адил арга юм. CFR нь OFDM-ийн ашиглах үед уг системийн чадлын өсгөгчийн үр ашгийг нэмэгдүүлэхэд зориулагдана.

Одоо ашиглаж байгаа 4G радио хандалтын сүлжээний (PXC) бүтэц нь үндсэндээ шилэн кабелиар эсвэл утасгүй холбоогоор холбогдсон бааз станцад (eNB) суурилдаг. Төв оффисоос үндсэн сүлжээнд холбогдох холболтыг Х.1.1.1-р зурагт үзүүлсэн. Бааз станцад антен, RRU болон дохио боловсруулахад зориулагдсан үндсэн зурвасын хэсгийг (BBU) байрлуулдаг. RRU болон үндсэн зурвасын бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн хоорондох холболтыг BS-ээс үндсэн сүлжээнд холбох холболт болох “backhauling”-оос ялгахын тулд ихэвчлэн “front-hauling” өмнөх холболт гэнэ.



Х.1.1-р зураг - Уламжлалт радио хандалтын сүлжээний (PXC) тархмал бүтэц

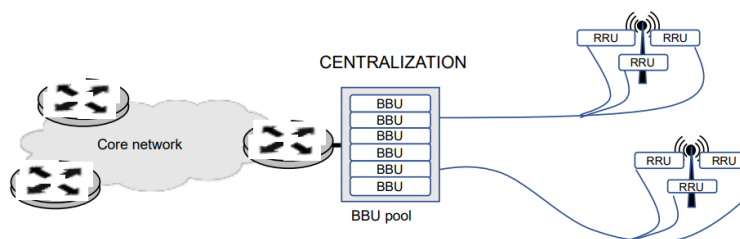
1. Төвлөрсөн ба виртуал Радио хандалтын сүлжээ (PXC)

Одоо ашиглагдаж байгаа 4G сүлжээний суурилуулалтад том хэмжээтэй биш ч Төвлөрсөн Радио хандалтын сүлжээний RAN (C-RAN) бүтцийг Х.1.2.- р зурагт тайлбарласан.

Виртуал Радио хандалтын сүлжээ RAN (V-RAN) бүтцийг Х.1.3. - р зурагт үзүүлсэн. Ирээдүйн 5G хөдөлгөөнт холбооны операторуудын бүтэц нь 4G хандалтаас ялгаатай, Виртуал Радио хандалтын сүлжээний (V-RAN) шийдэлд суурилсан байдаг.

2. C-RAN

Төвлөрсөн Радио хандалтын сүлжээний C-RAN шийдлүүд нь BBU-г зохих төвлөрсөн байршилд шилжүүлэх замаар бааз станцын (BS) функцуудыг Х.1.2. -р зурагт үзүүлсний дагуу хуваадаг. BBU-үүд нь төвлөрсөн байхаас гадна зориулагдсан хандалтын сүлжээний гүйцэтгэлийг оновчтой болгохын тулд өөр хоорондоо уялдаа холбоотой байна.



Х.1.2-р зураг - C-RAN ба уламжлалт бүтэц (“front-hauling” өмнөх)

Үүний үр дүнд бааз станцыг (BS) хялбаршуулж, зөвхөн RRU-г агуулсан болно. BBU болон RRU нь холбооны үйлдвэрлэгчдээс тавигддаг тусгай (not to exceed -NTE) шаардлагыг хэвээр хадгална. Төвлөрсөн байршилд BBU-г нэгтгэх нь үйл ажиллагааны, техник хангамжийн болон спектрийн үр ашгийн дараах давуу талуудтай:

- Суурилуулалт нь илүү хялбар, илүү хурдан бөгөөд жижиг RRU-уудыг ашигласнаар “foodprint” талбайг багасгадаг;
- Антен ба RRU хоорондын коаксиаль фидерээс үүсэх алдагдлаас зайлсхийх замаар тэжээлийн алдагдлыг бууруулна.
- BBU нь Төв оффисын UPS болон бусад нөөц цахилгаан тэжээлээр хангагдах хүртээмж сайжирсан.
- Хамтдаа байрлах BBU-уудын хоорондох протоколын хоцролт маш бага тул илүү их багтаамжийг хангах, радио болон үүрийн гүйцэтгэл сайжирсан;

3. Виртуал Радио хандалтын сүлжээ V-RAN

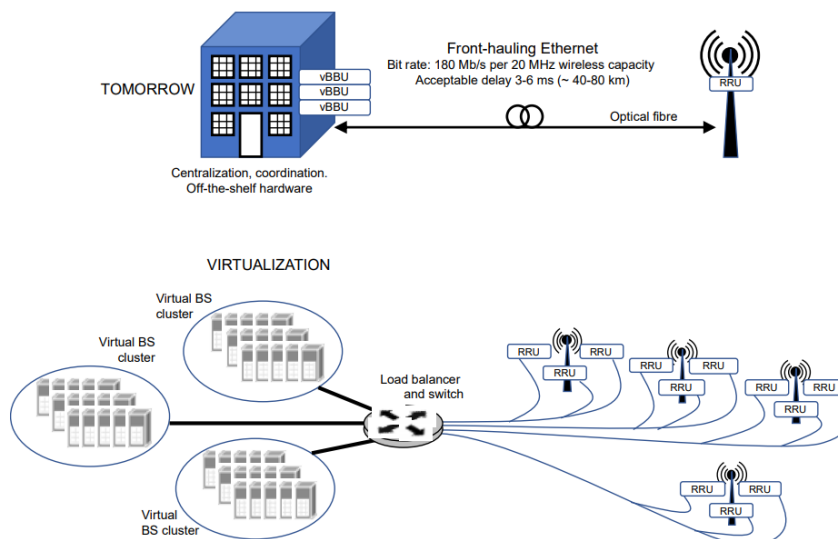
V-RAN-ы бүтцийг Х.1.3-р зурагт үзүүлсэнчлэн Мэдээллийн технологийн төвүүдэд одоо байгаа дүрэм журам, процессуудыг ашиглан BBU функцуудыг серверийн ерөнхий төхөөрөмжийн программ хангамжаар гүйцэтгэнэ.

Программ хангамжид суурилсан шийдэлд шилжихийг ерөнхийдөө сүлжээний функцийг виртуалчлал “Network Functions Virtualization (NFV)” гэж нэрлэнэ. V-RAN нь дамжууллын хөрөнгө оруулалтыг хязгаарлах (ихэвчлэн Ethernet дээр суурилсан) болон мэдээллийн технологийн технологи, NFV шийдлүүдийг ашиглахад илүү үр ашигтай өмнөх технологи нэвтрүүлснээр C-RAN-ийн давуу тал дээр суурилж, өргөтгөх чадвар, зардал, уян хатан байдлын хувьд давуу талуудтай. Энэ нь үүрэн холбооны сүлжээний үйлчилгээний платформыг (NSP-Network Service Platform) ажиллуулах боломжийг олгосноор үүлэн тооцооллын платформууд мэдээллийн технологийн орчинд ажилладагтай адил “үйлчилгээ”-г гүйцэтгэдэг. NSP нь статистик хандалтын аргыг ашигласнаар бага, үр ашигтайгаар ижил үүргийг гүйцэтгэх боломжтой. Бүрэн төвлөрсөн BBU арга нь BBU-ийн тооцооллын ихээхэн хэсгийг бүрдүүлдэг доод давхаргын боловсруулалтыг тусгай техник хангамжаар гүйцэтгэх харилцан уялдааг дээд зэргээр хангадаг. Цаашид багтаамжийг өргөтгөхөд радио үүрүүдийг ашиглан мини, макро болон пико төрлийн жижиг үүрүүдийг ч V-RAN- тай холбож холимог сүлжээг үүсгэснээр, зохицуулалтын давуу талыг хадгалах болон үзүүлэлтүүдийг оновчлох боломжтой. Ийм байдлаар Төв оффисууд дата төвийн чиг үүргийг хадгалдаг. Гэсэн хэдий ч хэт өндөр найдваржилттай бага сааталтай URLLC зэрэг зарим тусгай хэрэглээний хувьд дата төвүүд нь RRU-тай ойрхон байх ёстой. Ийм тохиолдолд олон хандалттай захын тооцоолол “Multi-access Edge Computing” гэсэн нэр томъёог ашигладаг.

Ашигласан шийдлүүд нь хөдөлгөөнт холбооны операторуудын сонголт байх боловч RRU-г зохион байгуулах гэрлийн багана, гэрлэн дохио, барилга зэрэг нийтийн дэд бүтцийг хангах ёстой.

4. Front-haul

“Front-haul” (сүлжээ): Үндсэн зурвасын нэгж BBU буюу тэдгээрт холбогдсон антенуудыг хооронд нь холбох, тэдгээр BBU-аас RRU-д мөн RRU-ээс BBU-д мэдээллийн урсгалыг цуглуулах/түгээх сүлжээ. Үндсэн зурвасын нэгж (BBU) болон алсын удирдлагатай радио толгой (RRH) хооронд RAN дэд бүтцийн шилэн холболтоор ихэвчлэн тодорхойлогддог. Энэ нь дэд бүтэц нь шилэн кабелийн холболт эсвэл тодорхой нөхцөлд утасгүй холболт байж болно.



X.1.3-р зураг - V-RAN ба “Infront hual”-ын шинэ бүтэц

Технологийн сонголт, протокол, BBU-ийн янз бүрийн функцүүдийн байршил (функциональ хуваагдал) нь хөдөлгөөнт холбооны операторуудын сонголт байх ба дараах шалгуурт тулгуурлана.

- тусгай хэрэглээний тохиолдол;
- BBU болон RRU хоорондын зай;
- шаардлагатай зурвасын өргөн;
- хоцролтын хязгаарлалт;
- үйлчилгээний алдагдалд үзүүлэх нөлөө.

Урд холболтын хэд хэдэн боломжууд байдаг - одоогийн байдлаар хамгийн түгээмэл шийдэл бол CPRI (Common Public Radio Interface) юм.

C-RAN бүтцэд өмнөх холболт нь BBU болон RRU хоорондох дохиог дамжуулна. Тиймээс C-RAN бүтэц нь олон Гигабит радио дохиог бодит хугацаанд дамжуулахын тулд оптик сүлжээг шаарддаг.

V-RAN бүтцэд дохионы боловсруулалтын нэг хэсгийг RRU-д гүйцэтгэдэг бөгөөд энэ нь өмнөх сүлжээнд тавигдах шаардлагыг бууруулдагас mmWave шийдлүүдийг авч үзэх боломжийг олгодог. Хоцролтод тавигдах зөвлөмжийг мөрдөхийн тулд өмнөх идэвхгүй холболтын хоорондын зай 10-80 км хэтрэхгүй байх ёстой. Өмнөх хөдөлгөөнт төхөөрөмжид нэмэлт хоцролт үүссэн тохиолдолд энэ зайг багасгахад хүргэнэ.

Үндсэн зурвасын болон радио давтамжийн модулиуд нь шилэн кабелийн холболтоор, зарим тохиолдолд тусгайлсан радио гүүрээр холбогдож, радио дохиог дамжуулах, сэргээх зорилго бүхий интерфэйстэй.

Радио спектрийн 20 МГц-ийн зөөгч бүр хамгийн багадаа 2.5 бит/сек хурд шаарддаг. Мөн C-RAN-д 100 мкс, V-RAN-д 1 мс хоцролтын хязгаарлалтууд байна.

MIMO техникийг ашиглах үед энэ багтаамжийг нэмэгдүүлэх шаардлагатай. Учир нь олон үүрийн болон олон давтамжийн BS сайтууд нь маш өндөр дамжууллын

багтаамжийг шаардах үед анх өөр контекст хэрэглээнд зориулагдсан CPRI (Common Public Radio Interface)-тэй үед 5G RAN-ыг үр ашигтайгаар хэрэгжүүлэхэд төвөгтэй болдог.

ТАЙЛБАР: IEEE Next Generation Fronthaul Interface (IEEE 1914) ажлын хэсгээс тодорхойлсон шинэ интерфейс eCPRI (хөгжсөн CPRI)-ийг санал болгосон.

Судалгааны болон загварчлалын үйл ажиллагаа нь BBU болон RRU хоорондын хуваагдлыг дамжууллын багтаамжид ойролцоо утгад хүргэх, зурвасын өргөний шаардлагыг багасгах, саатлыг (мсек) бууруулахын тулд функциональ хуваагдлыг хамгийн үр ашигтай тодорхойлоход чиглэгдсэн байна.

Хамгийн сайн функциональ хуваах шийдлүүд нь Ethernet-д суурилсан дамжуулалт ашиглах замаар хөдөлгөөнт холбооны сүлжээний өндөр гүйцэтгэлийг хангадаг. Энэ нь сүлжээний функцүүдийн виртуалчлалын (Network Functions Virtualization-NFV) бүтцэд ашигладаг Ethernet-д суурилсан C-RAN-аас V-RAN руу шилжих шилжилтийг дэмждэг.

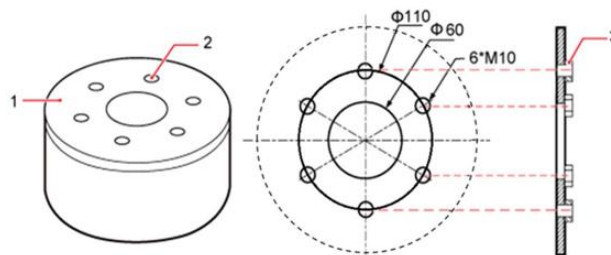
Х.1.1 RRU суурилуулах интерфейс ба жишээ

Дээд талд суурилуулсан фланцын интерфейс

RRU-г дээд байрлалд суурилуулах гэрлийн тулгууруудын жишээг Зурагт Х.1.1.1 -д үзүүлэв. Бэхэлгээний интерфейсийг гэрлийн баганын дээд талд байрлуулж болно. Бүсэлхийн гурван нүх нь гэрлийн баганын тохижилтын бүрхэвчтэй холбогдож, доторх RRU-ийн хэвтээ өнцгийг тохируулна. Физик фланцын интерфейсийн ердийн хэмжээсийг Зураг Х.1.1.2-т үзүүлэв, фланцын дотоод диаметр нь 60 мм-ээс багагүй байх ёстой бөгөөд энэ нь RRU-ийн цахилгаан кабель болон дотор талд оптик утсанд хангалттай зайг нөөцлөхөд тохиромжтой. Гэсэн хэдий ч дээд физик фланцын интерфейсийн бодит хэмжээсийг бүхэл бүтэн гэрлийн баганын дизайны дагуу тодорхойлох шаардлагатай.



Х.1.1.1-р зураг - RRU-уудыг гэрлийн тулгуурын дээд байрлалд суурилуулсан жишээ



1-фланц 2-шураг 3-бэхэлгээ
Х.1.1.2-р зураг - Фланцын интерфэйсийн хэмжээс

Х.1.2 RRU Хажуу байрлалд суурилуулсан интерфэйс

RRU суурилуулах өөр нэг байрлал нь гэрлийн баганын хажуу талд байна. Ийм шийдлийг ихэвчлэн хамрах хүрээг тусгайлан чиглүүлэх, эсвэл гэрлийн баганын хэлбэр нь RRU-г дээд байрлалд байрлуулахыг зөвшөөрөхгүй тохиолдолд Х.1.2.1 -р зурагт үзүүлснээр хийнэ. RRU хажуу талд суурилуулсан интерфэйсийг Х.1.2.2-р зурагт үзүүлэв. Өрөмдлөгийн нүхний тохирох диаметр нь 20 мм бөгөөд RRU-ийн кабель ба утаснуудыг гэрлийн баганын дотоод хэсгээр дамжуулах боломжтой. Өрөмдлөгийн цооног нь RRU-г суурилуулсны дараа ус нэвтэрдэггүй, зэврэлтээс хамгаалах хамгаалалтыг шаарддаг.



Х.1.2.1-р зураг - RRU-ын гэрлийн тулгуурын хажуу байрлалын жишээ



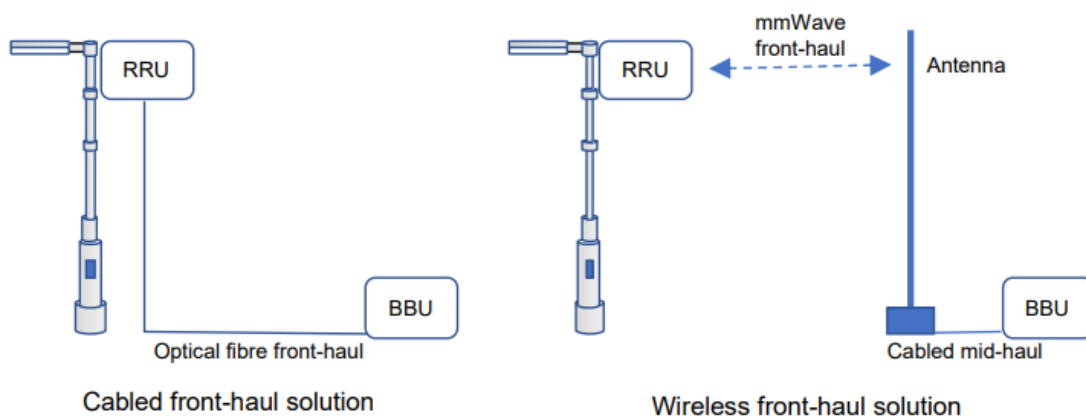
Х.1.3 RRU-ын өгөгдлийн холболт

Өгөгдлийн холболт - өмнөх болон завсрын дамжуулах сүлжээ

Гэрлийн баганад байрлуулсан RRU нь 50-аас 200 метрийн радиус бүхий хамрах хүрээтэй үүрийг үүсгэнэ. Эдгээр RRU-ууд нь жижиг макро үүрийн 100-аас 500м радиус бүхий хүрээг хамарна. Гэрлийн баганад байгаа BBU-г RRU-тай холбох өгөгдөл дамжуулах холболтыг зураг Х.1.3.1-т үзүүлсний дагуу хийнэ. Оптик шилэн кабелийг цэгээс цэгт (PtP), цэгээс олон цэгт (PtMP) эсвэл өмнө нь ашигласан технологийг ашигладаг. Нийтийн нийтлэг радио интерфэйсийн сайжруулсан хувилбар (eCPRI) эсвэл түүнтэй адилтгах шийдлийг ашиглан төхөөрөмжийг каскад буюу дараалсан холболтыг хийнэ.

BBU-д антенаас кабелиар холбогдсон мм долгионы (mmWave) агаарын интерфэйсын өмнөх технологи.

BBU-д кабелиар холбогдсон дундын холболттой антенаас мм долгионы буюу агаарын интерфэйс нь “Fronthaul” буюу үндсэн зурвасын нэгж (BBU) болон алсын зайн радио толгой (RRH) хоорондын радио хандалтын сүлжээний (RAN) дэд бүтэц шилэн кабелиар холбогдоно. BBU нь “backhaul” сүлжээнд холбогдох боломжийг олгодог. Энэ нь төвлөрсөн байршилд суурилуулсан болон олон RRU-д үйлчилгээг үзүүлэх боломжтой.



Х.1.3.1-р зураг - BBU болон RRU хоорондын өгөгдлийн холболт

Шилэн кабелиар (Зураг Х.1.3.1 -д үзүүлснээр) холбосон холболт хамгийн их багтаамж, өргөтгөх чадварыг санал болгодог боловч агаарын замыг ашиглах боломжгүй бол өгөгдөл болон цахилгаан хангамжийн кабелийн аль алинд нь бага зэрэг сувагчлал шаардлагатай. Одоо байгаа газар доорх замууд нь Мобайл сүлжээний операторт (MNO) шаардлагатай хэмжээг хязгаарладаг. mmWave шийдлүүд (Зураг Х.1.3.2-д үзүүлсний дагуу) суурилуулах, ашиглах явцад үүсэх хүндрэлээс зайлсхийхийн тулд суурин өгөгдлийн кабелийн суурилуулалт ашигладаг ч тухайлбал BBU болон RRU-ын антены суурилуулалтад агаарын замчлал ашиглах боломжгүй бол тэжээлийн кабель татах зэрэг нэмэлт ажиллагааг шаарддаг.

BBU болон RRU хоорондын дамжууллын үзүүлэлт нь мод, бороо, манан, хоорондын зай, цас, хэт их салхины улмаас гэрлийн баганын хэлбэлзлээс үүссэн дохионы алдагдлаар тодорхойлогдоно.

Цахилгаан хангамж

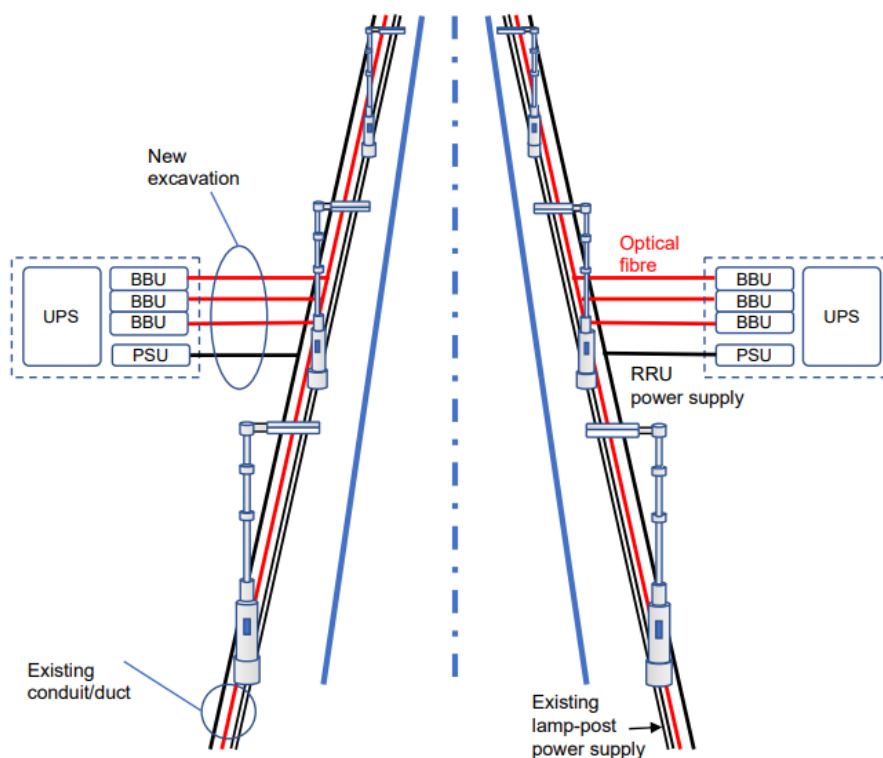
RRU-д өгөгдөл дамжуулах аргаас үл хамааран RRU бүр нь цахилгаан хангамжийг шаардана. Энэ нь Х.1.3.2-д заасан гэрэл болон мэдрэгчийн электроникийг дэмжихийн тулд гэрлийн баганын тэжээлийн эх үүсвэрээс тусдаа байх ёстой. Энэ тусгаарлалт нь гэрлийн баганын засвар үйлчилгээ, эвдрэл нь 5G сүлжээний үйлчилгээний тасралтгүй байдалд нөлөөлөхгүй байх нь чухал.

Бэлэн байдал

Боломжтой байдлын хамгийн эхний зүйл бол тухайн хотын гэрлийн багана нь хүн амын массыг дэмжих RRU-ийн физик чадвар юм. Энэхүү баримт бичгийн Х.1.3.2, Х.1.3.3-р зурагт үзүүлсэн шиг бүх гэрлийн холбох хэрэгслийг гудамжинд суурилуулсан гэрлийн багананд байрлуулж болохгүй бөгөөд заримыг нь барилга байгууламж болон бусад байгууламж, тэдгээрийн хооронд бэхлэх эсвэл өлгөх болно.

Энэхүү баримт бичигт RRU-ийн физик шинж чанарыг тодорхой заагаагүй ч масс нь RRU (ихэвчлэн 5-20 кг жинтэй) нь 2-р шатны мэдрэгчийн хэрэгжилтээс илүү байх болно.

Гэрлийн багана руу шууд тэжээгддэг нийтийн сүлжээнээс цахилгаан тэжээлийн хүртээмж, чанар нь 5G үйлчилгээг үзүүлэхэд хангалттай байх магадлал багатай. Үнэн хэрэгтээ, цахилгаан эрчим хүчний хангамж тасалдсан үед 5G сүлжээний үйлчилгээг хангах нь чухал ач холбогдолтой.



Х.1.3.2-р зураг - Тусдаа кабельд холбогдсон өгөгдөл ба цахилгаан хангамжийн замын схем

Тохиромжтой тэжээлийн болон холболтын бүтцийг хэрэгжүүлэхгүй бол аль нэг цэгийн гэмтэл (жишээлбэл, зам дээрх барилгын ажлын улмаас үүссэн холболт эсвэл цахилгаан дамжуулах шугам) нь олон тооны RRU үйлчилгээний сааталд хүргэж болзошгүй.

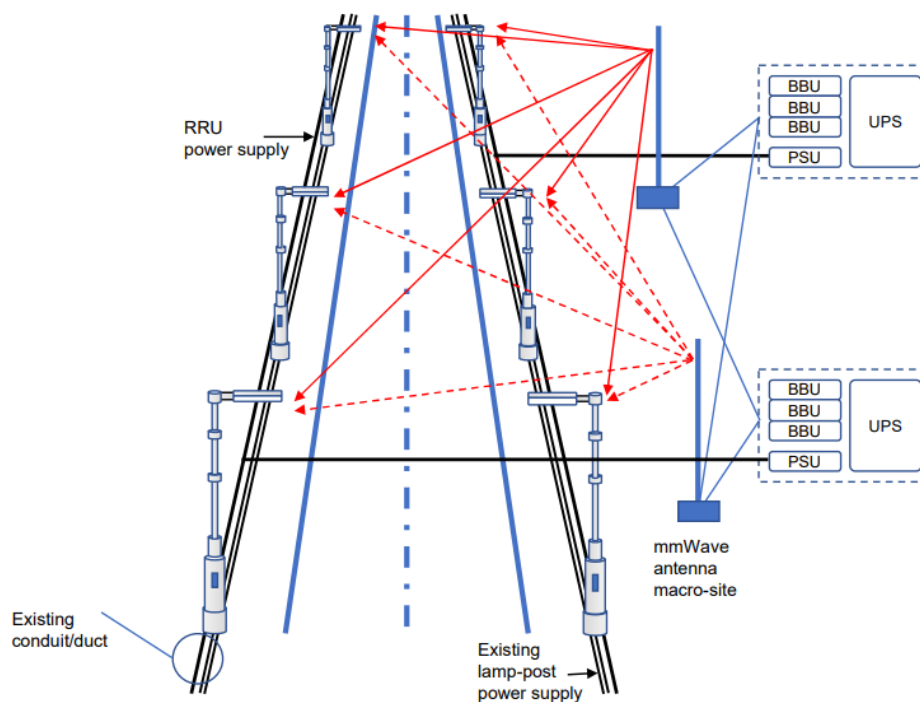
ТАЙЛБАР: Нөөцгүй шууд тэжээлийн хангамж яагаад хүлээн зөвшөөрөгдөхгүй болохыг дараах байдлаар тайлбарлав.

5G eMBB үйлчилгээний хувьд нийт бэлэн байдал нь "гурван ес" буюу 99.9-ээс их байх шаардлагатай. Энэ нь жилд 31536 секундйн сул зогсолттой тэнцэж байна.

Ийм сул зогсолт нь нэг удаа 526 минутын үйлчилгээний доголдол эсвэл 316 секундйн 100 үе байж болох тул үүнтэй төөрөлдүүлж болзошгүй юм.

Жишээлбэл, хэрэв RRU-ийн тэжээлийн хангамжийн 1 секундйн доголдол нь системийг унтрахад хүргэж болзошгүй бөгөөд RRU-ийн төлөвлөсөн ажиллагааг сэргээх нэмэлт хугацаа хамгийн багадаа 5 минут байсан бол жилд ердөө 105 удаа цахилгааны тасалдал гарах болно. Нийт бэлэн байдал 99.9. Цахилгаан хангамжийн бэлэн байдлыг хамгийн багадаа 99.99997 (өөрөөр хэлбэл "6 ес"-ээс илүү) байхыг шаарддаг.

Автомат жолоодлого зэрэг 5G URLLC үйлчилгээнүүдийн хувьд нийт бэлэн байдал нь "зургаан ес" буюу 99.9999 илүү байх шаардлагатай. Энэ нь жилд 31,5 секундйн сул зогсолттой тэнцэнэ. Хэрэв RRU-д төлөвлөсөн функцээ сэргээх нэмэлт хугацаа хамгийн багадаа 5 минут байсан бол цахилгаан тасрахыг зөвшөөрөхгүй, өөрөөр хэлбэл эрчим хүчний хүртээмж нь 100 хувь байх ёстой. "Цагирган" схем хэрэгжүүлснээр өгөгдөл болон эрчим хүчний хангамжийн хүртээмжийг нэмэгдүүлэх боломжтой. 4.13-р зурагт холболтын олон янз байдлыг нэмэгдүүлэх аргыг харуулав. Энэ нь санамсаргүй гэмтлийн улмаас тасалдал үүсэх эрсдэлийг бууруулдаг.



Х.1.3.3-р зураг - Утасгүй өгөгдөл ба кабелийн цахилгаан хангамжийн замын схем

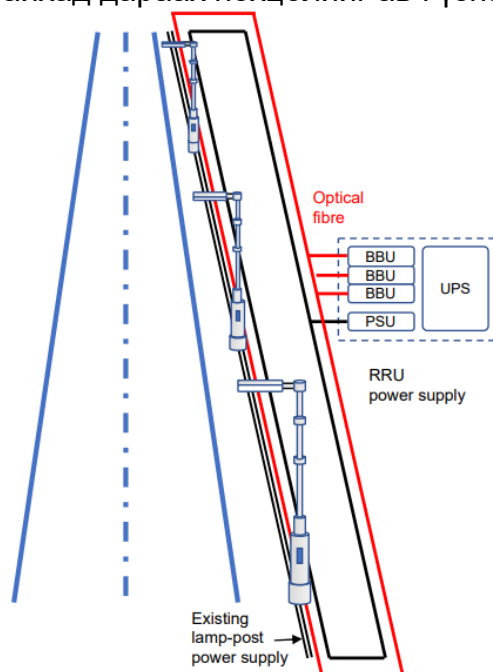
Өгөгдлийн холболт

Зэргэлдээх RRU-уудыг ялгаатай BBU болон олон mmWave антенаар тэжээх боломжтой (Зураг Х.1.3.3). Хоёр шийдлийг аль алиныг Зураг Х.1.3.2-ын холбогдох цагариган бүтцийг ашиглан сайжруулах боломжтой.

Тэжээлийн хангамж

Хэрэгжүүлсэн цахилгаан хангамжаас үл хамааран орон нутгийн хэт ачаалал нь бусад тоног төхөөрөмжийн цахилгаан хангамжийг алдагдуулахааргүй байх. Хоёр шийдлийг Зураг Х.1.3.3-т холбогдох цагариган бүтцийг ашиглан сайжруулсан.

RRU-г цахилгаан эрчим хүчээр хангах өөр хувилбаруудын тайлбар: Цахилгаан эрчим хүчний найдвартай байдал, сүлжээгээр хангадаг эрчим хүчний чанар ихэнх тохиолдолд хангалтгүй байхад дараах нөхцөлийг авч үзнэ.



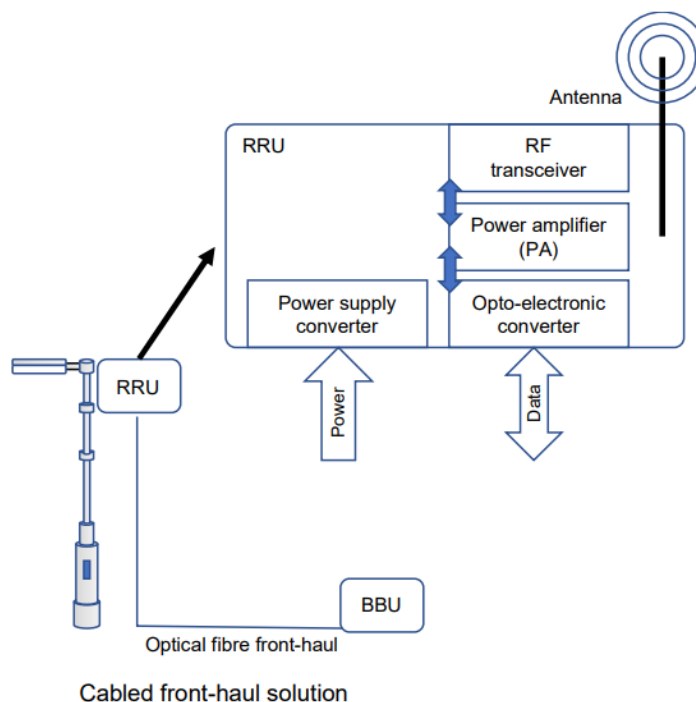
Х.1.3.4-р зураг - Өгөгдөл ба кабелийн цахилгаан хангамжийн замуудын цагариган хэрэгжилтийн схем

- Тасалдалгүй тэжээлийн системд (UPS) суурилсан зайг орон нутагт суурилуулах нь хэмжээ, жин, холбогдох зөвшөөрлийг авахад хүндрэлтэй байх ба үүнтэй холбоотой хулгай, эвдэн сүйтгэх зэрэг эрсдэлтэй;
- Орон нутгийн эрчим хүчний нөөцийн томоохон эд ангиуд, тухайлбал, дизель үүсгүүр зэрэг RRU-д зориулж суурилуулах нь бохирдол, дуу чимээтэй холбоотойгоор олон нийтийн дунд асуудал тулгардаг бөгөөд хулгай, эвдэн сүйтгэх эрсдэлтэй .
- BBU-ийн тухайд, Зураг Х.1.3.2, Зураг Х.1.3.3 -т батлагдсан кластерийн арга нь батарей болон генератор дээр суурилсан UPS-ийг хоёуланг нь ашиглах боломжийг харуулж байгаа бөгөөд хулгай, эвдрэл гэмтлээс хамгаалах боломжтой, жишээлбэл: тэдгээрийг төв оффис эсвэл түүнтэй адилтгах бүтцэд байршуулах.

ХАВСРАЛТ 2**RRU дэд бүтэц**

RRU-ийн үндсэн бүрэлдэхүүн хэсгүүдэд тэжээлийн хувиргагч, чадлын өсгөгч (PA), радио давтамж (RF) нэвтрүүлэгч ба антен (Зураг Х.2.1) хамаарагдана.

Зураг Х.2.1-д өмнөх хэсгийн кабелийн технологийн хэрэгжилтэд оптоэлектроник хувиргагчийг багтаасан болно. мм долгионы технологийн хэрэгжилт нь нэмэлт антен ба мм долгион хувиргагч бүхий оптоэлектрон хувиргагчаар сольсон.



Х.2.1-р зураг - RRU-ийн бүтэц “Front haul”-д оптик шилэн кабель ашигласан

Цахилгаан хангамжийн хувиргагч

Цахилгаан хангамжийн хувиргагч нь оролтын тэжээлийг шаардлагатай электрон хэлхээний хэрэгцээнд тохируулдаг. Үүнд шаардлагатай AC-DC хувьсах гүйдлийн болон DC-AC тогтмол гүйдлийн цахилгаан хувиргагчийг багтаасан бөгөөд индукцийн эсрэг хэт хүчдэлийн хамгаалалттай.

Чадлын өсгүүр (PA)

Чадлын өсгүүр нь опто-электрон хувиргагчаас хүлээн авсан цахилгаан дохиог RF нэвтрүүлэгч руу дамжуулахын өмнө цахилгаан дохиог өсгөдөг. Энэ нь мөн RF нэвтрүүлэгчээс ирж буй дохиог антенаар агаарын интерфэйс рүү дамжуулахаас өмнө өсгөдөг.

RF нэвтрүүлэгч/хүлээн авагч

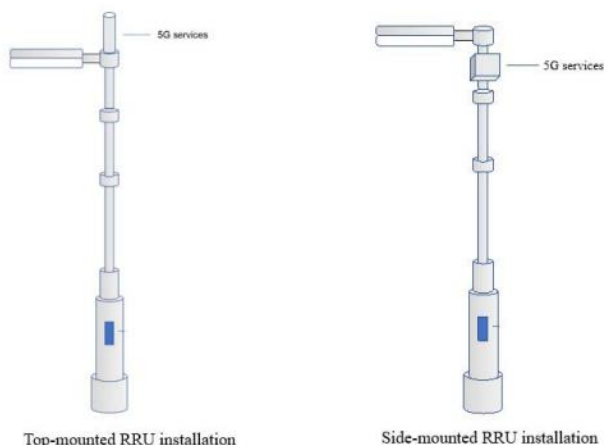
RF нэвтрүүлэгч нь завсрын давтамжийн ба үндсэн зурвасын интерфэйс болон дараах функцуудаас бүрдэнэ.

- дохионы модуляц/демодуляц;
- хүчдэлийн удирдлагатай осциллятор (VCO) ба холигч;
- тоон аналог хувиргагч;
- аналогийг тоон дохио болгон хувиргах;
- бага шуугианы өсгөгч (өсгөлт, хугацааны синхрончлол).

Х.2.1 RRU суурилуулалт

Энд RRU суурилуулах горим ба гэрлийн баганын дизайны шаардлагыг тодорхойлсон. Энэ нь гэрлийн баганад бэхлэх, механик интерфейс болон хангалттай ачааллын даах чадварыг тодорхойлдог. Х.2.1.1-р зурагт үзүүлсэнчлэн RRU-г дээд талд ба хажуу талд гэсэн суурилуулах горимуудтай. Антену хамрах хүрээг оновчтой болгохын тулд суурилуулах өндөр нь 2.5 м-ээс багагүй байх ба угсралтын аюулгүй байдлын аливаа эрсдэлээс зайлсхийхийн тулд гэрлийн баганын ханын хамгийн бага зузаан нь 4 мм байна.

Төхөөрөмжийг хэт ачааллаас хамгаалахад газардуулгын цахилгаан дамжуулагчаар тухайн газардуулга хийх боломжтой (гэмтэл гарсан үед). Энэ нь аюулгүй байдлын I ангиллын төхөөрөмжид хамаарна. Аюулгүй байдлын II ангиллын хэрэглээ (давхар тусгаарлагч) төхөөрөмж нь ихэвчлэн тухайн байршлын газардуулга хийх шаардлагагүй болгодог. Ойролцоох аянга цахилгаанаас үүссэн индукцийн хэт хүчдэл нь тэжээлийн утас эсвэл арын холболтоор дамжуулан төхөөрөмжид хүрч болно. Иймээс тоног төхөөрөмжийг цаг тухайд нь хамгаалах шаардлагатай. Зардал болон ашиглалтын асуудлаас шалтгаалж сайн (бага эсэргүүцэлтэй) газардуулга байхгүй байж болзошгүй тул тоног төхөөрөмжийг хамгаалах төхөөрөмжийн оролтын хэлхээний хэт хүчдэлийн эсэргүүцлийг нэмэгдүүлэх хамгаалалтын хэлхээг ашиглах зэрэг шийдэл байна. RRU антену хэвийн шугамын хэвтээ чиглэлд $\pm 60^\circ$, босоо чиглэлд $\pm 30^\circ$, антену цацрагийн чиглэлээс 2 м-ийн зайд RRU-д радио хамрах хүрээ сөргөөр нөлөөлөх тул металл хамгаалалтаас зайлсхийх хэрэгтэй. Зарим тохиолдолд техник эдийн засгийн үндэслэлийг үнэлсний дараа шаардлагатай бол хоёр, гурван RRU-г гэрлийн тулгуур дээр суурилуулж болно.



Х.2.1.1-р зураг - RRU-г суурилуулах горим

RRU дээд талын суурилуулалт

RRU-г дээд талд суурилуулсан угсралт нь гэрлийн багана 5G RRU-д холбогдох зориулалттай механик фланц интерфестэй байж болно.

Энэ нь цаг агаарын эрс тэс нөхцөлд гэрлийн баганын аюулгүй байдлыг хангах, салхины ачааллыг хангалттай эсэргүүцэх чадварыг баталгаажуулах ёстой. Сүлжээний байршуулалтын дагуу RRU хамрах хүрээний чиглэлийг өөрчлөхийн тулд 360° хэвтээ эргэлтийн тохируулгыг дэмжинэ.

RRU хажуугийн суурилуулалт

RRU хажуугийн суурилуулалт нь одоо байгаа гэрлийн багана дээр шууд багтах боломжтой. RRU-ийн кабель ба утаснуудыг баганын дотор талд нэвтрүүлэхийн тулд цахилгаан кабель ба оптик утаснуудад ихэвчлэн 20 мм диаметртэй нүхийг өрөмдөх боломжийн үнэлгээг хийх шаардлагатай. Үгүй бол кабель ба утаснуудыг хоолойн

хавчаараар дамжуулан багана дээр гаднаас нь суурилуулж болох боловч ийм шийдэл нь харааны нөлөөлөл, бат бөх чанар багатай тул оновчтой биш байж магадгүй юм. Нэмж дурдахад, RRU-г суурилуулах угсралтын иж бүрдэл нь хамрах хүрээг оновчтой болгохын тулд өнцгийн тохируулга хийх боломжтой.

Хамгаалах ба далдлах хайрцаг

Бүрхүүл нь олон RRU (жишээ нь, нэг чийдэнгийн багана дээр 2 RRU) суурилуулах, RRU-д зарим тохиолдолд модны мөчрөөс үүсэх гаднын механик нөлөөг далдлах, механик хамгаалалт өгөх антеныг хамгаалах зориулалттай. Иймд бүрхэвч нь RRU-д далдлах, механик хамгаалалт өгөх боломжтой. Нуух хайрцгийн загвар нь хүндрэлтэй хүчин зүйлсийг хангах шаардлагаас хамаарч (жишээлбэл, дулаан ялгаруулах, ус үл нэвтрэх, жижиглэсэн хэмжээ) нарийн төвөгтэй байж болно. Иймд боломжтой тохиолдолд RRU-гэрлийн багана дээр шууд суурилуулах нь тохиромжтой байж болох юм. Бүрхүүл нь гэрлийн баганатай уялдаж, RRU-ийн хамрах өнцгийг уян хатан тохируулах боломжийг олгоно. Энэ нь дохионы хамгаалалтаас зайлсхийхийн тулд металл бус материалыг ашиглах ёстой бөгөөд өнгө нь чийдэнгийн баганатай тохирч байх ёстой. Энэ нь дулаан ялгаруулалтыг хангахаар хийгдсэн байх ёстой. Ус үл нэвтрэх загварыг бас анхаарч үзэх хэрэгтэй.

RRU Цахилгаан тэжээлийн хэрэглээ

Олон оролт-олон гаралттай (MIMO) технологийн дэмжлэгтэйгээр гэрлийн багана дээр байрлуулсан RRU-уудын үүсгэсэн бичил үүрийн бодлогоор ердийн эрчим хүчний хэрэглээ нь 100 ваттаас илүү байж болно. Гэрлийн багана дээр байрлуулсан RRU-уудын хэрэгжүүлсэн, ижил MIMO технологи бүхий мини, макро үүрийн ердийн эрчим хүчний хэрэглээ 400 ватт байж болно. Гэсэн хэдий ч энэ нь бүх ерөнхий шаардлага биш бөгөөд MNO-аас RRU-ийн тодорхой хэрэгжилтээс хамаарна. RRU хөгжүүлэлтийн шийдлүүдийн тусламжтайгаар бага эрчим хүчний хэрэглээ нь алсын зайнаас илүү өргөн хүрээг хамардаг эрчим хүчний технологи ба зардлын сонголтуудыг авч үздэг. Ийм эрчим хүчний хэрэглээ нь ямар ч идэвхтэй арга хэмжээ авахгүйгээр цэвэр агаарыг хөргөх боломжийг олгодог. Энэ нь эрчим хүчний хэрэглээ, RRU-ийн хэмжээ, жинг бууруулж, гэрлийн баганын ойролцоо амьдардаг хүмүүсийг бухимдуулах акустик чимээ шуугианаас зайлсхийх болно.

Хувиргагчийн тэжээлийн хангамж

RRU-ийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдэд шаардлагатай хүчдэлийн хангахын тулд AC-DC эсвэл DC-DC хүчдэлийн хувиргагч шаардлагатай. Цахилгаан тэжээлийн хувиргагч нь RRU-г аянгын цохилтоос үүдэлтэй аливаа хэт хүчдэлээс хамгаалдаг. Зардал болон ашиглалтын асуудлаас шалтгаалж сайн (бага эсэргүүцэлтэй) газардуулга нь бүх гэрлийн багана дээр байхгүй байж болох тул IV ангиллын хэт хүчдэлийн хувьд хангалттай сайжруулсан тусгаарлалтыг хийхийн тулд цахилгаан тэжээлийн (8-10 kV ба хосолсон Хэмжилтийн долгион 1.2/50 мкс).

Опто-электрон хувиргуур

Опто-электрон хувиргуур нь дараах шаардлагыг хангадаг.

- Опто-электрон хувиргалт: оптик дохиог цахилгаан дохионд хувиргах
- Цахилгаан оптик хувиргалт: Чадлын өсгүүрээс (PA) цахилгаан дохиог BBU руу дамжуулах оптик дохиог үүсгэх.

Ашигласан технологи, шаардлагатай гаралтын чадал зэрэг оптик дамжуулагчийн үйл ажиллагаанд хэд хэдэн хүчин зүйл нөлөөлнө.

- Цахилгаан оптик хувиргалт: BBU-д дамжуулахын тулд чадлын өсгүүрээс цахилгаан дохиог оптик дохионд хувиргах.

Оптик нэвтрүүлэгч хүлээн авагчийн үйл ажиллагаанд ашигласан технологи, шаардлагатай гаралтын чадал болон үйл ажиллагааны нөхцөл нөлөөлнө.

Чадлын өсгүүр

Чадлын өсгүүрийн (PA) чадлын хэрэглээг дараах параметрууд дээр үндэслэн загварчилна.

- Нэвтрүүлэх антенаар цацагдаж байгаа гаралтын чадал;
- Чадлын өсгүүрийн (PA) гаралтын чадал;
- антены хамгийн их зурвасын өргөний эзлэх хувь, өөрөөр хэлбэл физик нөөцийн блокуудын бодит тоо.

Чадлын өсгүүрийн (PA) нь чадлын анхдагч хэрэглэгч юм. Ерөнхийдөө чадлын өсгүүрүүд (PA) нь антены нэвтрүүлэх чадлын хүрээнд бага үр ашиг, өндөр давтамжтай байдаг 5G сүлжээний микро үүрийн хэрэглээнд ашиглана.

Антен

Антен нь цэвэр идэвхгүй элемент учраас эрчим хүчний хэрэглээнд шууд нөлөөлөхгүй. Антены шинж чанар (антены өсгөлт ба цацаргалтын диаграм) нь нэвтрүүлэгчийн чадлыг ихэсгэх эсвэл багасгах байдлаар шууд бусаар нөлөөлдөг. Антенуыг RRU-д нэгтгэж болно. Олон оролт-олон гаралт (MIMO) технологийг дэмжих тохиолдолд нэмэлт хэрэглээ шаардлагатай болно.

Х.2.2 Цахилгаан тэжээлийн хангамж

Сүлжээнээс авах тэжээл (Power from the grid)

Х.1.3.2 ба Х.1.3.2 -р зургуудад Нэг багц RRU гэмтсэний улмаас үйлчилгээний тасалдал гарахгүй байхаар тусдаа тэжээлийн хангамжийн хувилбаруудыг харуулсан. 5G Утасгүй сүлжээг хялбархан байршуулах зорилготойгоор хөгжүүлснээр 5G-тэй холбоотой үндсэн RRU-ууд ихэвчлэн хувьсах эсвэл тогтмол гүйдлийн тэжээлийг дэмждэг. Ихэнх хөдөлгөөнт сүлжээний операторуудын (MNO) хувьд сүлжээнээс хувьсах гүйдлийн тэжээл авах нь RRU-г тэжээх хамгийн ойлгомжтой бөгөөд энгийн шийдэл болно. Хувьсах гүйдлийн сүлжээнээс гарах чадлыг дэмжих боломжгүй үед өндөр хүртээмжтэй жишээ нь хэт найдваржилттай, бага хоцролтой холбооны (URLLC) үйлчилгээний шаардлагыг хангахын тулд илүү уян хатан тэжээл шаардагдана. Үүнд тэжээлийн нөөцийг нэмэх эсвэл тогтмол гүйдлийн алсын зайн тэжээл зэрэг шийдлүүд байж болох юм.

Гэрлийн баганад суурилуулсан их масстай 5G RRU нь чухал төлөвлөлт, төслийн менежмент шаардана. Учир нь:

- Ийм цахилгаан хангамжийг сүлжээнээс бүх гэрлийн багана хүртэл суурилуулах нь хариуцлагатай томоохон ажил юм.
- Одоо байгаа барилгуудаас цахилгааны сүлжээнд холбогдох, хэдэн зуу, мянгаараа хотын захиргаанаас зөвшөөрөл авах суурилуулах гэж өмчлөгч, түрээслэгч, ханган нийлүүлэгчидтэй хэлэлцээр хийх;
- Гэрлийн баганыг сүлжээнд нэвтрэх хамгийн ойр цэгт холбоход их хэмжээний газар шорооны ухаа ажиллагаа шаардлагатай. Энэ нь замын хөдөлгөөн болон нийт хүн амд саад учруулах, болон өндөр зардал шаардагдана.

Сүлжээ, тоолуур, хамгаалалтын элементүүдийг холбоход зориулж хашлага суурилуулах шаардлагатай бөгөөд бүх тохиолдолд цахилгаан хангамжийн саатлыг дутуу үнэлж болохгүй.

Цахилгаан эрчим хүчний хангамжийн тасралтгүй байдлыг дараах тохиолдлуудад тасалдуулах эрсдэлтэй.

- бусад гуравдагч этгээдийн техникийн нөлөө;
- аянга цахилгаан (хамгаалалтын унтраалга уналтад хүргэдэг);
- Нийгэм, төрийн үйлчилгээнд хамгийн их хэрэгцээтэй байгаа үед холбооны үйлчилгээнд саад учруулж болзошгүй үер, шуурга зэрэг байгалийн гамшиг

Цаашилбал, сүлжээний цахилгаан хангамж нь ихэвчлэн ноцтой, богино хугацааны тасалдал, тэжээлийн хүчдэлийн өөрчлөлтөд өртдөг. RRU-ийн үйл ажиллагааг тасалдуулах, тэдгээр нь RRU доторх тоног төхөөрөмжийг дахин ачаалах шаардлагын улмаас үйлчилгээний чанарт QoS-д сөргөөр нөлөөлнө. Сүлжээний найдвартай байдал, цахилгаан тэжээлийн чанар нь URLLC үйлчилгээг дэмжиж байгаа үед RRU-д хангалттай байх магадлал багатай юм.

Ийм тохиолдолд хөдөлгөөнт холбооны операторууд тус бүрийг тоног төхөөрөмжөөр хангах замаар асуудлыг шийдэх шаардлагатай болно.

Хотын байршилд гэрлийн баганад байрлах батареинд суурилсан UPS-тэй RRU эсвэл түр алсаас тэжээл өгөх эрчим хүчний шийдэл шаардагдана.

X.2.3 Төвлөрсөн газруудаас авах тогтмол гүйдлийн тэжээл

Сүлжээнээс цахилгаан эрчим хүчээр хангах

Гэрлийн багана тус бүрийн өгөгдлийн болон тэжээлийн кабелийн ашиглалтыг X.1.3.2 ба X.1.3.4 -р зурагт харуулав. Өгөгдөл ба чадлыг BBU-ийн бүлгүүдтэй хамт байрладаг төвлөрсөн байршлуудад үйлчилдэг. Топологи, кабелийн боломж болон цахилгаан хангамжийн дэд бүтцийн алдагдлыг багасгах зэргээс шалтгаалан шаардлагатай бол төвлөрсөн чадлын хангамжийг өөр түр газар байрлуулах боломжтой гэдгийг тэмдэглэх нь зүйтэй. Энэ нь ямар ч батареи эсвэл UPS төхөөрөмж дээр суурилсан генераторыг цахилгаан хангамжийн төхөөрөмжтэй хамт байрлуулах нь зардлын хувьд боломж олгодог ба менежментийн давуу талтай. Бүх тохиолдолд цахилгааны кабель (өгөгдлийн хэлхээтэй тусгайлсан эсвэл гибрид) нь шинэ суурилуулалтад одоо байгаа дэд бүтцийг дахин ашиглахгүй байх ёстой. Хувьсах AC тэжээлээс илүү бага хүчдэлийн шууд гүйдэл (LVDC) ашиглахын оронд цахилгаан хангамжийн хэд хэдэн шийдлүүд байдаг. Энэ нь RRU доторх цахилгаан хувиргах хэлхээг хялбарчилж болох юм. Алсын зайнаас тэжээлийн техникийг ашиглах үед цахилгаан хангамжийн хэлхээн дэх хүчдэлийн өсөлт, хэт хүчдэлээс холбооны төхөөрөмжийг хамгаалах, гаднын нөлөө (жишээ нь, ойр орчимд аянга буух) зэрэгт зохих хамгаалалт шаардлагатай.

- **38-72 VDC дээр алсаас хангах**
- **IEEE 802.3-ын дагуу алсаас хангах**

Заримдаа Power over Ethernet (PoE) гэж нэрлэдэг. IEEE 802.3bt нь 2 ба түүнээс дээш тооны, зайнаас тэжээл өгөхийг заадаг. 5 ба түүнээс дээш ангиллынх 4 тэнцвэртэй хос кабельтай. Мөн IEEE802.3cg нь төрөл бүрийн 1 хос тэнцвэртэй кабелийн алсаас хангах цахилгаан тэжээлийг заана. Аль ч хувилбар нь 60 VDC хүчдэлээс доош тохиолдолд ашиглана.

- **Өндөр хүчдэлийн, тогтмол гүйдлийн чадлын тэжээл**
- **RTF-C ба RFT-V**

ITU-T K.50 зөвлөмж нь холбооны тоног төхөөрөмжийг алсаас тэжээх ажиллагааг тодорхойлсон. Үүнд IEC 62368-3 стандартын дагуу нэг цахилгаан хэлхээнд 100 Вт

хүртэл чадлыг (RFT-V) хүчдэл ба (RFT-C) гүйдлийн хязгаарлагдмал шийдлүүдийг ашиглана. Төхөөрөмжид илүү их чадлыг дамжуулахын тулд RFT-C болон RFT-V тус бүрийг олон тэжээлийн хэлхээнд ашиглаж болно. RFT-г чадлын алдагдлыг багасгахын тулд хэлхээ бүрд олон зэс хосыг ашиглаж болно.

Хүсээгүй цацаргалт

Хүсээгүй цацаргалт нь ITU-ээс тодорхойлсны дагуу хажуугийн хуурмаг цацаргалт болон тохируулаагүй цацаргалтуудаас бүрдэнэ. ITU-ын нэр томьёонд тохируулаагүй цацаргалтуудад нэвтрүүлэгчийн шугаман бус байдал болон модуляцын процессоос үүдэлтэй бааз станцын сувгийн зурвасын өргөнөөс хальсан цацаргалтыг хамруулан ойлгоно. Харин хажуугийн хуурмаг цацаргалтад хүсээгүй нэвтрүүлэгчийн эффектүүдээс үүдэлтэй жишээ нь дээд гармоникийн цацаргалт, паразит цацаргалт, модуляц хоорондын бүтээгдэхүүн болон давтамж хувиргалтын бүтээгдэхүүнийг хамруулан ойлгоно.

Тохируулаагүй цацаргалтуудын бааз станцын нэвтрүүлэгчид тавигддаг шаардлагууд нь зэргэлдээг сувгийн нэвчилтийн чадлын харьцаа болон ажиллагааны зурвасын хүсээгүй цацаргалтуудаас (OBUE) бүрддэг.

Ажлын зурвасын хүсээгүй цацаргалтын маскийн зөвшөөрөгдөх хамгийн их шилжилт нь Δf_{OBUE} буюу ажиллагааны зурвасын ирмэг юм. Ажлын зурвасын хүсээгүй цацаргалтууд нь дэмжиж байгаа уруудах сувгийн ажиллагааны зурвас бүрийн бүх хүсээгүй цацаргалтуудыг илэрхийлдэг. Мөн зурвас бүрийн Δf_{OBUE} –с дээш болон Δf_{OBUE} –с доош давтамжийн хүрээг илэрхийлнэ. Энэхүү давтамжийн зурвасаас гаднах хүсээгүй цацаргалтууд нь хажуугийн хуурмаг цацаргалтын шаардлагаар зохицуулагддаг.

5G NR-ын ажиллагааны зурвас дахь Δf_{OBUE} утгуудыг Хүснэгт Х.2.3.1-т харуулсан.

Х.2.3.1-р хүснэгт - Уруудах шугамын ажиллагааны зурвасаас гаднах зурвасын хүсээгүй цацаргалтуудын (OBUE) максимум шилжилт

BS-н төрөл	Зурвасын шинж чанар	Δf_{OBUE} (МГц)
BS type 1-H	$F_{DL, high} - F_{DL, low} < 100\text{МГц}$	10
	$100\text{МГц} \leq F_{DL, high} - F_{DL, low} \leq 900\text{МГц}$	40
BS type 1-C	$F_{DL, high} - F_{DL, low} < 200\text{МГц}$	10
	$200\text{МГц} \leq F_{DL, high} - F_{DL, low} \leq 900\text{МГц}$	40

n46, n96 болон n102-н хувьд Δf_{OBUE} утгуудыг дараах хүснэгтэд харуулав.

Х.2.3.2-р хүснэгт - Уруу сувгийн ажиллагааны зурвасаас гаднах ажиллагааны зурвасын хүсээгүй цацаргалтууд (OBUE)-н максимум шилжилт (n46, n96 болон n102)

Ажлын зурвас	Δf_{OBUE} (МГц)
n46, n102	40
n96	50

n104-н хувьд Δf_{OBUE} утгуудыг Хүснэгт Х.2.3.3-д харуулав.

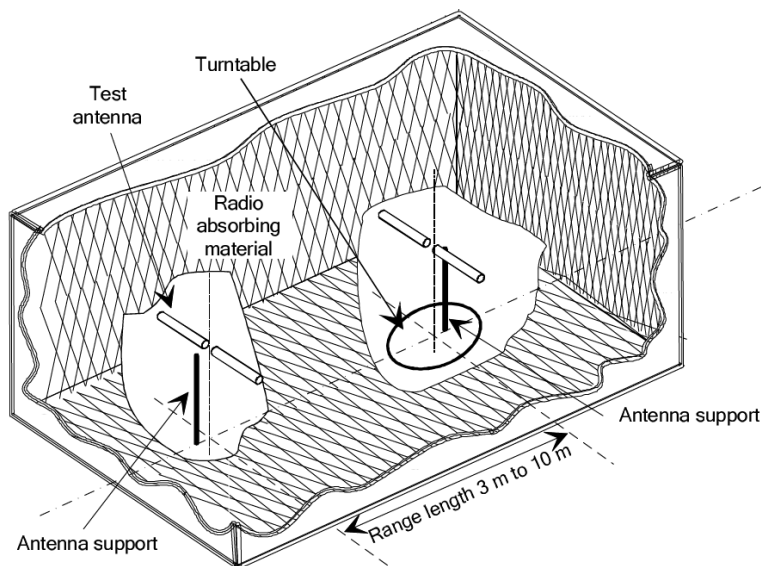
Х.2.3.3-р зураг - Уруудах шугамын ажлын зурвасаас гаднах зурваст үүсэх хүсээгүй цацаргалтуудын (OBUE)-н максимум шилжилт (n104)

BS type	Operating band	Δf_{OBUE} (МГц)
BS type 1-H	n104	100
BS type 1-C	n104	40

ХАВСРАЛТ 3 ЦУУРАЙГҮЙ ЧЕМБЕР

Х.3.1 Цуурайгүй Чемберийн Хэмжилтийн орчин ба ерөнхий зохицуулалт

Цуурайгүй чембер нь ихэвчлэн гадны нөлөөллөөс хамгаалагдсан, дотор хана, шал, тааз нь радио шингээгч материалаар хучигдсан, ихэвчлэн пирамид хэлбэрийн уретан хөөс байна. Чемберийн өрөө нь ихэвчлэн нэг төгсгөлд антены тулгуур, нөгөө талдаа эргэдэг тавцантай байдаг. Ердийн цуурайгүй хамгаалагдсан камерыг Зураг Х.3.1-д үзүүлэв.



Х.3.1-р зураг - Ердийн цуурайгүй чембер

Тасалгааны хамгаалалт бүхий цуурайгүй чембер болон радио шингээгч материалууд нь Хэмжилтийн зорилгоор хяналттай орчныг бүрдүүлэхэд чиглэсэн байна. Энэ төрлийн Хэмжилтийн өрөө нь чөлөөт орны тархалтын нөхцөлтэй адилтгасан байдаг.

Хамгаалалт нь орчны дохио болон бусад гаднын нөлөөллүүдийн хөндлөнгийн нөлөө, интерференцийг багасгаж, Хэмжилтийн орон зайг хангадаг. Радио шингээгч материал нь хэмжилтэд нөлөөлж болох хана, таазны хүсээгүй ойлтыг багасгасан байна.

Бодит байдалд хамгаалагдсан, орчны хөндлөнгийн нөлөөллөөс татгалзах өндөр түвшнийг (80дБ- 140 дБ) хангасан байна. Энэ нь ихэвчлэн орчны интерференцийн нөлөөгүй байна.

Чемберийн эргэдэг тавцан нь хэвтээ хавтгайд 360° эргүүлэх чадвартай бөгөөд Хэмжилтийн биетийг (DUT RRU) газрын гадаргуугаас тохиромжтой өндөрт (жишээ нь 1 м) байна. Чембер нь хамгийн багадаа 3 м буюу $2(d_1+d_2)^2 / \lambda$ (м) хэмжилтийн зайг хангахуйц хэмжээтэй байх ёстой. Бодит хэмжилтэд ашигласан зайг Хэмжилтийн үр дүнгийн хамт тэмдэглэнэ.

Цуурайгүй чемберийн өрөө нь ерөнхийдөө бусад Хэмжилтийн төхөөрөмжөөс хэд хэдэн давуу талтай байдаг. Орчны нөлөөлөл хамгийн бага, шал, тааз, хананы ойлт хамгийн бага, цаг агаараас үл хамаарна. Гэсэн хэдий ч энэ нь пирамид шингээгчийн

хэмжээнээс шалтгаалан хэмжих хязгаарлагдмал зай, хязгаарлагдмал доод давтамжийн хэрэглээ зэрэг зарим сул талуудтай.

Бүх төрлийн цацаргалт, мэдрэмж, дархлааны сорилыг ямар ч хязгаарлалтгүйгээр цуурайгүй камерт хийж болно.

Х.3.2 Газардуулгын дамжуулагч хавтгайтай чөмбөр

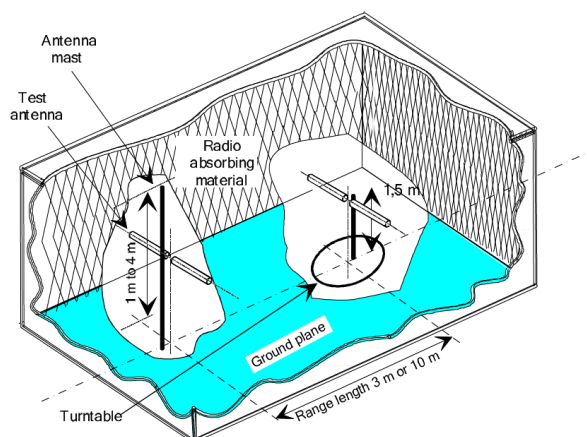
Газардуулагч бүхий дамжуулагч хавтгайтай чөмбөр нь дотоод хана, тааз нь ихэвчлэн хамгаалалттай, ихэвчлэн пирамид хэлбэрийн уретан (urethane) хөөс бүхий радио шингээгч материалаар хучигдсан байдаг. Металл шал нь хучигдаагүй бөгөөд газардуулгын хавтгайг бүрдүүлдэг. Өрөө нь ихэвчлэн нэг төгсгөлд антены тулгуур, нөгөө талдаа эргэдэг тавцантай. Газардуулгын дамжуулагч хавтгайтай ердийн чөмбөрыг Зураг Х.3.2 -т үзүүлэв.

Энэ төрлийн Хэмжилтийн чөмбөр нь хамгийн тохиромжтой нээлттэй орчныг илэрхийлсэн Хэмжилтийн талбайг загварчилдаг бөгөөд түүний үндсэн шинж чанар нь хязгааргүй хэмжээтэй газрын гадаргуугийн төгс дамжуулалт юм.

Энэ байгууламжид газардуулгын хавтгай нь хүссэн ойлтын замыг үүсгэх бөгөөд ингэснээр хүлээн авагч антены хүлээн авсан дохио нь шууд болон ойсон дохионы нийлбэр байна. Энэ нь нэвтрүүлэх антен (эсвэл DUT) болон газардуулгын хавтгай дээрх хүлээн авах антены өндөр тус бүрийн хувьд хүлээн авах дохионы өвөрмөц түвшнийг үүсгэдэг.

Антены тулгуур нь 1м-ээс 4м хүртэл хувьсах өндрийг хангана. Ийнхүү антenuудын хооронд, мөн Хэмжилтийн биет DUT RRU болон Хэмжилтийн антены хоорондох хамгийн сайн холболтыг тогтоохдоо, дохионы утгуудын тусламжтайгаар Хэмжилтийн антены байрлалыг оновчтой болгох боломжтой.

Эргэдэг тавцан нь хэвтээ хавтгайд 360° эргэх чадвартай бөгөөд Хэмжилтийн биетийг (DUT RRU) дэмжихэд ашигладаг. Тогтоосон өндөр, ихэвчлэн газрын хавтгайгаас дээш 1.5 м чөмбөрийн өрөө нь хэмжихэд хангалттай том байх ёстой, хамгийн багадаа 3 м буюу $2(d_1+d_2)/\lambda$ (м) зайтай байна. Бодит зайн хэмжилтийн утгыг Хэмжилтийн үр дүнгийн хамт тэмдэглэнэ.



Х.3.2-р зураг - Газардуулгын дамжуулагч хавтгайтай ердийн цуурайгүй камер

Цацаргалтын хэмжилт нь юуны түрүүнд баганан дээрх хүлээн авах антены орны хүчлэгийг өсгөж, буулгах (DUT-ээс шууд болон ойсон дохионы хамгийн их

интерференцийг олохын тулд), дараа нь эргэдэг тавцанг азимутын хавтгайд эргүүлэх замаар DUT-ийн орны хүчлэгийг "max" утгад хүргэх шаардлагатай юм. Шулуун дээрх хэмжилтийн антены энэ өндөрт хүлээн авсан дохионы агууригийг тэмдэглэнэ. Хоёрдугаарт, DUT нь дохио үүсгэвэртэй холбогдсон орлуулах антенаар байрлал нь солигдоно (DUT-ийн фазын болон дууны төвшин төв утгад байрласан байна). Дохио дахин "max" болж, дохионы генераторын гаралтыг хүлээн авах төхөөрөмжийн гаралт дээр 1-р шатанд тэмдэглэсэн түвшнийг дахин хэмжих хүртэл тохируулна.

Хүлээн авагчийн мэдрэмжийн тест газардуулгын талбар дээр орны хүчлэгийг "хамгийн их" болтол хэмжилтийн антеныг шууд ба ойсон долгионы хамгийн их утгад хүртэл эргүүлэх замаар тодорхойлно. Антены хэмжилтийн турших хугацаанд DUT-ийн фазын болон дууны төвшин төв утгад байрласан байна.

А "transform factor" буюу хувиргалтын коэффициентийг гаргаж авна. Хэмжилтийн антен нь хоёрдох шатанд ижил өндөрт байх бөгөөд энэ үед хэмжих антеныг DUT-ээр сольдог. Дамжуулсан дохионы агууригийг DUT-аас тодорхой хариу авах орны хүчлэгийг тодорхойлохын тулд багасгадаг.

Х.3.3 Антены хэмжилт

Антену хэмжилтэд ихэвчлэн цацаргалтын тестийн аргуудыг ашигладаг. Цацаргалтын хэмжилтүүдэд (үр ашигтай цацаргалтын чадал, хуурамч цацаргалтууд зэрэг) хэмжилтийн антен нь хэмжилтийн нэг үе шатанд DUT-ээс, нөгөө үе шатанд орлуулах антенаас орныг илрүүлэхэд ашигладаг. Хэмжилтийн талбайг хүлээн авагчийн характеристикийг (өөрөөр хэлбэл мэдрэмж, бусад дархлааны параметруудийг) антеныг нэвтрүүлэх антен болгон ашиглана.

Хэмжилтийн антеныг хэвтээ ба босоо туйлшралын аль алинд нь ашиглах боломжтой тулгуур дээр суурилуулсан байх ёстой бөгөөд энэ нь газрын гадаргуугаас дээш төвийн өндрийг заасан хязгаарт ихэвчлэн 1м-ээс 4м хүртэл өөрчлөх боломжтой байх ёстой.

30МГц-аас 1000МГц давтамжийн зурваст диполь антенуудыг (ANSI C63.5 -ын дагуу бүтээгдсэн) ерөнхийд нь санал болгож байна. 80МГц ба түүнээс дээш давтамжийн хувьд диполь антенуудын мөрний уртыг хэмжилтийн давтамж дээр резонансын дагуу тохируулсан байх ёстой. 80МГц-ээс доош давтамжийн хувьд богиносгосон мөрний уртыг санал болгож байна. 30МГц-ээс 1000МГц-ийн бүх зурвасыг хамрахын тулд бикон болон "log periodic" диполь массив антенуудыг (ихэвчлэн "log periodic" гэж нэрлэдэг) ашиглаж болно, гэхдээ 1000МГц-ээс дээш давтамжтай долгионы "Horn" антен ашиглахыг зөвлөж байна.

ТАЙЛБАР: "Horn" антены өсгөлт нь үндсэндээ жигд цацаргалттай антентай харьцангуй илэрхийлэгддэг.

Х.3.4 Антены хэмжилт

Хэмжих антеныг хүлээн авах параметрийг (өөрөөр хэлбэл мэдрэмж болон тэсвэрлэлт) хэмжиж буй DUT-ийн Хэмжилтэд ашигладаг. Үүний зорилго нь DUT-ийн ойролцоох цахилгаан орны хүчлэгийг хэмжих боломжийг олгоно.

30МГц-ээс 1000МГц давтамжийн зурваст хэмжилт хийхдээ хэмжих антен нь диполь антен байх ёстой (ANSI C63.5 стандартын дагуу хийгдсэн). 80 МГц ба түүнээс дээш давтамжийн хувьд диполууд нь хэмжилтийн давтамж дээр резонансын мөрний уртыг тохируулсан байх ёстой. 80 МГц-ээс бага давтамжтай үед диполь антены мөрний уртыг богиносгохыг зөвлөж байна. Энэ антены фазын болон дууны төв нь DUT-тэй (Хэмжилтийн аргад заасны дагуу) давхцах ёстой.

Х.3.5 Сайтын цацаргалтыг хэмжих зөвлөмж

Энд цацаргалтын аливаа хэмжилтийг хийхээс өмнө шаардлагатай хэмжилтийн төхөөрөмжийн зохион байгуулалт, баталгаажуулалтыг нарийвчлан тусгасан болно. Эдгээр схемүүд нь бүхий л төрлийн хэмжилтийн талбайд нийтлэг байдаг.

Х.3.5.1 Хэмжилтийн талбайн баталгаажуулалт

Янз бүрийн төрлийн хэмжилтийн талбайн баталгаажуулалтын журмыг TR102273[3]-д заасан.

Х.3.5.2 DUT-ийг бэлтгэх

Үйлдвэрлэгч нь ажлын давтамж, туйлшрал, тэжээлийн хүчдэл болон жишиг утгыг илэрхийлсэн DUT-ийн талаарх мэдээллийг өгөх ёстой. DUT-ийн төрөлд хамаарах нэмэлт мэдээлэлтэй холбогдох тохиолдолд зөөгчийн чадал, өөр өөр үйлдлийн горим байгаа эсэх жишээ нь их ба бага чадлын горим байгаа эсэх, хэрэв ажиллагаа тасралтгүй эсвэл хамгийн их хэмжилтийн ажлын мөчлөгт хамаарах "duty cycle" бол жишээ нь 1 минутад залгаатай, 4 минут унтраастай гэх мэт.

Шаардлагатай тохиолдолд эргэдэг тавцан дээр DUT-ийг суурилуулахын тулд хамгийн бага хэмжээтэй бэхэлгээтэй байх ёстой. Энэ хаалт нь бага дамжуулалтай, харьцангуй диэлектрик тогтмол бага (1.5-аас бага) хөөсөн полистрол, бальза мод "balsawood" зэрэг байна.

Х.3.5.3 DUT тэжээлийн хангамж

DUT тэжээлийн хангамжийн бүх хэмжилтийг боломжтой бол зөвхөн батарей ашиглах хэмжилтийг оруулаад тэжээлийн хангамжийг ашиглана. Бүх тохиолдолд цахилгааны утаснууд нь DUT-ийн тэжээлийн терминалуудад холбогдсон байх ёстой (мөн тоон вольтметрээр хянах) гэхдээ батарей нь бусад төхөөрөмжөөс цахилгаан тусгаарлалттай, контактууд нь соронзон хальс наасан байна. Гэсэн хэдий ч эдгээр цахилгаан кабель нь DUT-ийн хэмжсэн үзүүлэлтэд нөлөөлж болно.

Учир нь хэмжилтийн хувьд "transparent" ил тод байх ёстой. Үүний тулд DUT-г доош чиглүүлж, дэлгэц, газрын хавтгай эсвэл тохиромжтой бол байгууламжийн хана руу хамгийн богино зайд чиглүүлснээр гүйцэтгэж болно. Эдгээр утсыг багасгахын тулд урьдчилан сэргийлэх арга хэмжээ авах хэрэгтэй жишээлбэл утсыг мушгиж болно. Феррит бөмбөлгүүдийг 0.15м-ийн зайд эсвэл өөр өөр ачаалалтайгаар гүйцэтгэнэ.

Х.3.5.4 Хамрах хүрээний урт

Эдгээр бүх төрлийн хэмжилтийн байгууламжийн хамрах хүрээний урт нь DUT-ийн алслагдсан талбарт хэмжилт явуулахад хангалттай байх ёстой. Өөрөөр хэлбэл энэ нь дараах нөхцөлийг хангах ёстой:

$$\frac{2(d_1 + d_2)^2}{\lambda} \quad (\text{X.3.1})$$

Үүнд:

d_1 –DUT/диполь орлуулалтын дараах хамгийн том хэмжээс (м);

d_2 - Хэмжилтийн антены хамгийн том хэмжээс (м)

λ - Хэмжилтийн давтамжийн долгионы урт (м)

Хэмжилтийн болон орлуулах антенуудын аль аль нь хагас долгионы урттай диполь байдаг энэхүү хэмжилтийн орлуулах хэсэгт алсын зайн хэмжилтийн хамгийн бага хүрээний урт нь 2λ байх болно гэдгийг тэмдэглэх нь зүйтэй.

Хэмжилтийн тайланд эдгээр нөхцөлийн аль нэг нь хангагдаагүй тохиолдолд хэмжилтийн нэмэлт тодорхойгүй байдалд оруулах боломжтой гэдгийг тэмдэглэх нь зүйтэй.

Х.3.5.5 Сайтын бэлтгэл

Хэмжилтийн сайтад хоёр төгсгөлийн кабелийг хэмжилтийн талбайгаас хамгийн багадаа 2 м-ийн зайд хэвтээ байрлуулж, дараа нь босоо тэнхлэгт буулгаж, газрын хавтгай эсвэл боломжтой дэлгэцээр хэмжилтийн төхөөрөмж рүү буулгана. Эдгээр утсыг авахыг багасгахын тулд урьдчилан сэргийлэх арга хэмжээ авах шаардлагатай. Кабель, тэдгээрийн чиглүүлэлт, ороомог нь баталгаажуулалтын тохиргоотой ижил байх ёстой.

Хэмжилтийн төхөөрөмжийн бүх зүйлийн шалгалт тохируулгын өгөгдөл бэлэн, хүчинтэй байх ёстой. Хэмжилт, орлуулах, хэмжих антенуудын хувьд өгөгдөлд Хэмжилтийн давтамжийн хувьд изотроп радиатор (эсвэл антены хүчин зүйл) -тэй харьцуулахад ашиг тустай байх ёстой. Мөн орлуулах болон хэмжих антенуудын VSWR-ийг мэдэж байх шаардлагатай.

Бүх кабель ба аттюнаторын тохируулгын өгөгдөл нь хэмжилтийн бүх давтамжийн хүрээнд оролтын алдагдал болон VSWR-ийн дамжуулах чадамжийг агуулсан байх ёстой. Бүх VSWR болон оруулгын алдагдлын үзүүлэлтүүдийг тусгай шалгалтын бүртгэлийн дэвтрийн үр дүнгийн хуудсанд тэмдэглэнэ.

Засварын коэффициент / шаардлагатай бол хүснэгтээр нэн даруй бэлэн болгох. Хэмжилтийн төхөөрөмжийн бүх юмсын хувьд тэдгээрийн үзүүлж буй хамгийн их алдааг алдааны тархалтын хамт мэдэж байх, жишээлбэл:

- кабелийн алдагдал: тэгш өнцөгт тархалттай $\pm 0,5$ дБ;
- хэмжих хүлээн авагч: Гауссын алдааны тархалттай үед дохионы түвшний нарийвчлал (стандарт хазайлт) 1,0 дБ.

Хэмжилтийн эхэнд хэмжилтийн сайтад ашигласан Хэмжилтийн тоног төхөөрөмж дээр системийн шалгалт хийх шаардлагатай.

Х.3.5.6 RF кабелийн ерөнхий шаардлага

Хэмжилтэд хэмжүүрүүдийн чадлын түвшин бага байдгаас, бүх хэмжилтүүд тохируулгын хүрээнд ашигласан хоёр төгсгөлд байгаа коннектор бүхий RF кабелиуд нь коаксиаль төрлийн байх ёстой.

- 50 Ом-ын хэвийн характеристик эсэргүүцэл (impedance);
- VSWR аль ч төгсгөлдөө 1.2-оос бага;
- Хамгаалалтын алдагдал “shielding loss” 60 дБ-ээс их.

ТАЙЛБАР: Дэлгэрэнгүй мэдээллийг TR 102 273-д тусгасан болно.

Х.3.5.7 Дизайны норматив шаардлага

Дараах дизайны шаардлагыг хэрэгжүүлнэ. Дараах хоёр ангилалд хуваагдана:

- Агаарт цацруулах UWB цацаргалтыг байж болох хамгийн багаар төлөвлөнө.
- Тоног төхөөрөмж нь хамгийн сүүлд ажиллаж эхэлснээс хойш 10 секундийн дараа дамжуулалтыг автоматаар зогсоохын тулд ажиллагааны мэдрэгчтэй байх ёстой.
- А ангилал, бараг суурин суурилуулалт:
Нэвтрүүлэгч TPC хэрэгжүүлэхдээ 10 дБ динамик цараатай байх.
Нэвтрүүлэгч бараг суурин суурилуулалтад хамаарна.
- Ангилал В, суурин бус суурилуулалт (өрөмдлөгийн хэрэглээ):
Нэвтрүүлэгч зөвхөн гараар удирдаж байгаа тохиолдолд нэвтрүүлэгчийг асаана (жишээ нь энэ нь мэдрэгч байж болно. Хэрэв машин ажиллахгүй бол нэвтрүүлэгчийг "ажиллагааг мэдрэгч" унтраах ёстой.

Х.3.5.8 Хэмжилтийн антен ба урьдчилсан өсгөгчийн үзүүлэлтүүд

6-р зүйлд заасан цацаргалтын хэмжилтийн тохиргоо нь DUT-ээс маш бага цацаргалтын чадлын нягтын түвшнийг хэмжихийн тулд өргөн зурвасын “horn” антен болон өргөн зурвасын, өндөр өсгөлттэй урьдчилсан өсгөгч ашиглахыг заасан.

Хүснэгт Х.3.1-д хэмжилтийн тохиргоонд ашиглах хорн антен болон урьдчилсан өсгөгчийн санал болгож буй өгөгдөл, боломжуудын жишээг үзүүлэв.

Х.3.1-р хүснэгт - Урьдчилан өсгөгч болон хорн антенны санал болгож буй өгөгдөл

Урьдчилан өсгөгч	
Параметр	Өгөгдөл
Зурвасын өргөн	< 1 ГГц to > 15 ГГц
Шуугиан	< 2 dB
1 дБ шахалттай үеийн гаралт	> +10 dBm
Өсгөлт	> 30 dB
Зурвасын дагуу тархмал өсгөлт	±1.5 dB
Фазын реакц	Linear across frequency range
Импульсийн хариу үйлдлийг давах	< 10 %
Импульсийн хариу үйлдлийг бууруулах харьцаа	0.3 to 0.5
VSWR оролт ба гаралтын зурвас дээр	2:1
Хэвийн импеданс	50 Ω

Horn антен	
Параметр	Өгөгдөл
Өсгөлт	> 4 dBi
1 дБ-ийн зурвасын өргөн	< 1 ГГц to > 15 ГГц
Хэвийн импеданс	50 Ω
VSWR зурвасын дагуу	< 1.5:1
Хөндлөн туйлшрал	> 20 dB
Урд ба хойд харьцаа (Front to back ratio)	> 20 dB
Tripod mountable	Yes
RF холбогч	Yes

Ашиглалтын давтамжийн хүрээний цацаргалтын спектрийг бүрэн хэмжихэд хэд хэдэн хэмжилтийн антен шаардлагатай бөгөөд тус бүрийг тодорхой давтамжийн мужид оновчтой болгосон.

Х.3.2-р хүснэгт - Санал болгож буй хэмжилтийн антенууд

Антенны төрөл	Давтамжийн цар
$\lambda/2$ - dipole or biconical	30 МГц to 200 МГц
$\lambda/2$ - dipole or log periodic	200 МГц to 1 000 МГц
Horn	> 1 000 МГц

Х.3.6 Төлөөлөл болгосон хананы тодорхойлолт

Төлөөлөл бүхий ханын хэмжилтийн хувилбарыг тодорхойлсон байна. Төлөөлөл хана нь Х3.6.1-р хүснэгтэд заасан ханын унтралтын утгыг хангасан байна.

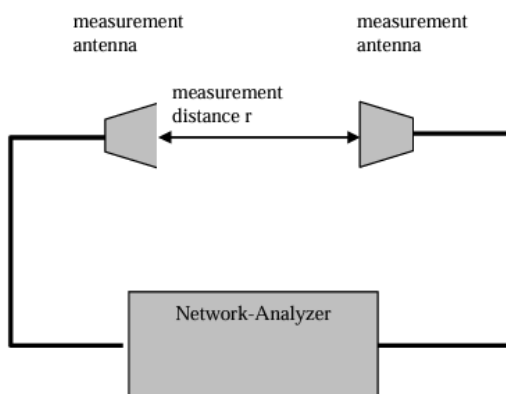
Х3.6.1-р хүснэгт - Хананы унтралтын хэмжээ

Давтамж (ГГц)	Ханын унтралт дБ		
	Min (dB)	Дундаж (dB)	Max (dB)
1	5.00	7.00	9.00
2	8.00	10.00	12.00
3	10.00	12.00	14.00
4	12.00	14.00	16.00
5	14.00	16.00	18.00
6	16.00	18.00	20.00
7	18.00	20.00	22.00
8	20.00	22.00	24.00

Практикт хананы хэмжээ нь ойролцоогоор 1x1 метр байх ёстой.

Хүснэгт Х3.6.1-ийн унтралтыг ойлгохын тулд хананы зузаан нь бетоны найрлагаас хамаарч өөр өөр байж болно.

Х.3.7 Хананы унтралтыг хэмжих журам



Х.3.7.1-р зураг - Шалгалт тохируулгын тохиргоо

Антенууд хоорондоо яг таарч байх нь чухал бөгөөд хоёр ижил антены хоорондох зай нь хамгийн бага алсын зайнаас хоёр дахин (2 ×)-аас их байна.

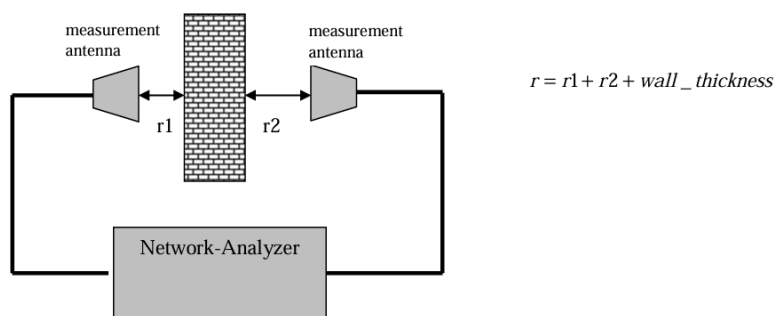
Хэмжилтийн антены антены цацрагийн өргөн нь дараах хэмжээнээс бага байна.

$$\frac{\text{ant_beam}(f)}{2} < \arctan\left(\frac{\text{size_of_the_wall}}{r}\right) \quad (\text{X.3.1})$$

Тохируулгын алхмууд:

1. Сүлжээний анализаторыг хамгийн бага ба хамгийн их давтамжийн мужид (960 МГц-ээс 10.6 ГГц) тохируулна уу. Давтамжийн цараа нь хэмжилтийн антенаас хамаарна.
2. Системийг S21 горимд тохируулна.

Хоёр дахь шатанд хананы унтралтын хэмжилтийг хийнэ.



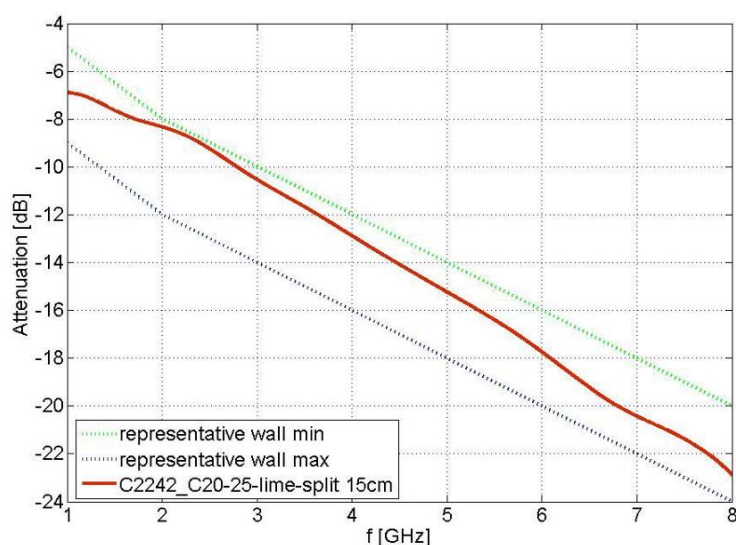
Х.3.7.2-р зураг - Унтралтын хэмжилт

Тохируулгыг хийсний дараа төлөөлөх ханыг хоёр антены хооронд байрлуулна.

Дараа нь сүлжээний анализаторыг цагийн тохируулгатай хамт хэрэглэнэ. Энэ сонголт нь унтралтыг хэмжихэд шаардлагатай дохионы хэсгүүдийг авах боломжтой тул энэ нь чухал.

Х.3.8 Ердийн хананы хэмжилтийн үр дүн

Төлөөлөл ханын тохируулгатай хэмжилтийн үр дүнг тайлбарласан.



Х.3.8.1-р зураг - Ердийн үр дүн

Х.3.9 ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖИЙН БАТАЛГААЖУУЛАЛТ, ХЭМЖИЛТИЙН ЖУРАМ

Энэхүү баримт бичиг нь RRU-ийн хэмжилт, баталгаажуулалтын аргачлалыг тодорхойлох зорилготой.

RRU-үүд нь спектрийн ашиглалтыг зохицуулж, зөвшөөрөл олгодог хамгийн багадаа нэг спектр хандалтын системд (SAS) суурилан техникийн үзүүлэлт, дүрэм, журам шаардлагыг хангаж байгааг баталгаажуулах ёстой. Үүнтэй адил, алсын зайн радио төхөөрөмж (RRU) зөвхөн ХХЗХ-ны батламж авсны дараа л зурвасын доторх давтамж дээр дамжуулал хийх шаардлагатай.

Шаардлага хангаж буйг баталгаажуулах энэхүү баримт бичиг нь гурван үндсэн хэсгээс бүрдэнэ:

Нэгдүгээрт: Тоног төхөөрөмжийн баталгаажуулалтын шаардлага, журам.

Хоёрдугаарт: RRU тестийн аргачлал. RRU төхөөрөмжийн баталгаажуулалтын тестүүд болон тодорхой радио давтамж (RF)-ын шаардлага, хязгаарлалтад нийцэж буйг харуулах санал болгож буй хэмжилтийн аргачлалуудыг тодорхойлсон. Мөн RRU хоорондын холболт, харилцан үйлчлэлийг зохицуулдаг дүрмүүдийг хангаж буйг баталгаажуулах тестүүд болон зөвлөмжит аргачлалуудыг тодорхойлсон.

Гуравдугаарт: Аюулгүй байдлын шаардлага тус тус тавигдана.

Х.3.10 ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖИЙН БАТАЛГААЖУУЛАЛТ

RRU төхөөрөмжүүд гэрчилгээ авах шаардлагатай. Гэрчилгээний өргөдлийг заасан маягтын дагуу тоног төхөөрөмжийн ангиллын кодыг ашиглан гаргах ёстой. Үүнд:

- А ба В ангиллын RRU-д зориулсан
- Хэрэглэгчийн байрны RRU-д зориулагдсан

Баталгаажуулалтын хүсэлтэд дүрэмд нийцэж буйг батлах бүх шаардлагатай баримт бичгүүдийг хавсаргах шаардлагатай. Үүнд хүснэгтэд заасан зурвасын хүрээнд хоёр талт дамжуулалт, ажиллагааг нотлох баримтууд орно.

Х.3.10.1 БАТАЛГААЖУУЛАЛТЫН ХЭМЖИЛТИЙН АРГАЧЛАЛ

Х.3.10.2 Хэмжилтийн горимын шаардлага

RRU нь Хэмжилтийн явцад инженерүүдийн хяналтын дор хэмжилтэд орох боломжтой горимтой байх шаардлагатай. Түүнчлэн радио удирдлагын программ хангамж нь SAS-тэй холбогдох чадвартай байх ёстой. Хэмжилтийн горим нь дараах боломжуудыг багтаана:

Энэ баримт бичигт тодорхойлогдсон гэрчилгээний нийцлийн тестүүдийг гүйцэтгэхийн тулд, тестийн ажилтнуудад нээлттэй (гэхдээ эцсийн хэрэглэгчийн операторуудад биш) тестийн горимыг RRU дээр тусгасан байх шаардлагатай. Радио удирдлагын программ хангамж нь RRU-с BBU руу холбогдох программ хангамжийг багтаасан байх ёстой. Тестийн горим болон радио удирдлагын программ хангамж нь хамгийн багадаа дор дурдсан чадварыг хангах ёстой.

- Хэмжилтийн мэргэжилтнүүд төхөөрөмжийн (DUT) ажиллах сувгийг сонгох боломжтой байх.
- Гаралтын чадлыг хамгийн багаас хамгийн их хүртэл тохируулах боломжтой байх.
- Шаардлагатай бол тасралтгүйгээр модуляцлагдсан дохио илгээх
- Бүх шаардлагатай RRU бүртгэлийн мэдээллийг оруулах.
- XX3X-оос олгосон радио үзүүлэлтүүдэд өгөгдсөн бүх мэдээллийг харах.
- DUT-ийг тодорхой суваг дээр ажиллахгүй болгож, эсвэл өөр суваг руу шилжүүлэх.

Х.3.10.3 Техникийн шаардлага

I. RRU төхөөрөмжүүд нь дараах шаардлагыг хангах ёстой. Үүнд:

- Байршил тогтоох: Төхөөрөмж ± 50 м хэвтээ, ± 3 м босоо нарийвчлалтай байх мэргэжлийн бус суурилуулсан төхөөрөмжүүд нь ± 50 м урт болон ± 3 м өндөрлөгөөс илүү байршилд өөрчлөлт гарвал 60 секундийн дотор мэдээлэх
- Хоёр талтын холбоо: Төхөөрөмжүүд нь XX3X-оос олгосон аль ч зөвшөөрөгдсөн долгион дээр хоёр талын үйл ажиллагааг гүйцэтгэх чадвартай байх ёстой.
- XX3X-д бүртгүүлэлт— RRU нь шаардлагатай мэдээллийг өгч, амжилттай бүртгүүлсэн байх ёстой. Удирдлагын программ хангамж нь хүснэгт 1-д дурдсан өгөгдлийг цуглуулах чадвартай байх ёстой. DUT нь хэмжилтийн системийн өгөгдлийн санд бүртгэгдээгүй, зөвшөөрөл аваагүй тохиолдолд үйлчилгээ явуулах боломжгүй гэдгийг баталгаажуулах ёстой.

Х.3.10.1-р хүснэгт - Удирдлагын программ хангамжид шаардлагатай өгөгдөл цуглуулах

Бүх тохиолдолд	
Газар зүйн байрлал	Гадна орчны хязгаарлалт
Антену өндөр (м)	Антену өсгөлт
RRU ангилал А ба В	Антену цацрагийн өргөн
Хүссэн зөвшөөрлийн статус	Антену азимут
FCC ID	Антену доош хазайлгах налалтын өнцөг
Call sign (PALs only)	

Хэрэглэгчтэй холбоо барих мэдээлэл Агаарын интерференцийн технологи Сериал дугаар # Мэдрэх чадвар (шаардлагатай бол)	
---	--

4. Дохионы түвшний тайлагнал— RRU нь өөрийн болон хөрш суваг дээрх хүлээн авсан дохионы чадал, хүлээн авсан багц алдааны хувь, эсвэл тасалдлын бусад нийтлэг стандарт хэмжигдэхүүнүүдийг тайлагнах шаардлагатай.

5. Долгионы тайлагнал— RRU нь боломжтой долгионы давтамж буюу хүлээн авах сувгийг эсвэл давтамжийг ашиглах талаар нэн даруй мэдээлэх ёстой.

5G RRU төхөөрөмжүүдийн EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power) болон PSD (Power Spectral Density) нь 3GPP болон зохицуулалтын байгууллагууд (ETSI, FCC)–ын тогтоосон давтамжийн зурвасаас хамааран ялгаатай байна.

1. Жигд цацаргалтын эквивалент чадал EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power) – Хязгаар

Давтамжийн зурвас	EIRP-ийн дээд хязгаар (Max)	Эх сурвалж
FR1 (Sub-6 ГГц)	≤ 64 dBm (2.5 – 3.5 ГГц RRU-д ихэвчлэн 44–64 dBm)	3GPP TS 38.104, ETSI EN 301 908-13
n77/n78/n79	≤ 63 dBm (e.g. 43 dBm Tx + 20 dBi gain)	ETSI, ITU-R SM.329
FR2 (mmWave)	≤ 75 dBm (beamforming орсон)	FCC Part 30 / 96, 3GPP NR FR2
ETSI 5G RRU (3.4–3.8 ГГц)	≤ 44 dBm (25 W) per carrier (1 sector)	ETSI EN 301 908-13
FCC (US, n258/n261)	≤ 75 dBm EIRP (mmWave with directional gain)	FCC Part 96

RRU бүрийн EIRP нь антены төрлөөс шалтгаална (e.g. active vs passive beamforming)

2. PSD (Power Spectral Density) – Хязгаар

Давтамж	PSD хязгаар	Тайлбар
FR1 (3.4–3.8 ГГц)	≤ -13 dBm/МГц (spurious emission)	ETSI EN 301 908
Tx PSD (NR Tx)	≤ 23 dBm/5МГц $\rightarrow \sim 7$ dBm/МГц	3GPP TS 38.104
FCC (Part 96)	≤ 30 dBm/10 МГц $\rightarrow 3$ dBm/МГц	CBRS band
Unwanted emission PSD	≤ -30 dBm/МГц beyond ± 10 МГц	3GPP SEM, ITU-R SM.1541

EIRP ба PSD хязгаарын хамаарал

- EIRP (dBm) = Tx Power + Antenna Gain – Cable Loss
- PSD (dBm/МГц) = Энгийн утгаар бол нэг МГц зурваст ногдох чадал
- Өргөн зурваст (e.g. 100 МГц) дамжуулалт хийх үед PSD хязгаар шингэрч, EMC нийцэл шалгах шаардлага илүү чухал болно.

Стандартын эх сурвалжууд:

- **3GPP TS 38.104** – Base Station RF Requirements
- **ETSI EN 301 908-13** – IMT-2020 RRU RF Test Standard
- **ITU-R SM.329 / SM.1541** – Spurious, Out-of-band Emissions
- **FCC Part 96 & 30** – EIRP болон PSD хязгаарлалт (CBRS, mmWave)

Х.3.11 Ерөнхий радио параметрийн шаардлагууд:

1. Чадлын хязгаарлалт болон чадлын удирдлага—Бүх RRU төхөөрөмжүүд нь хамгийн их EIRP хязгаар болон хамгийн их PSD (чадлын спектрийн нягтрал) хязгаар, Хүснэгт 2-т заасан шаардлагуудыг хангах ёстой. RRU төхөөрөмжүүдийг өгөгдсөн давтамжийн зурвас дээрээ ажиллах ёстой тул хэмжилтүүдийг доод, дунд, болон дээд суваг дээр хийж, тайлагнах шаардлагатай. Гэрчилгээ авах хүсэлтүүд нь бүх сувгийн тохиргоог баталгаажуулах ёстой (жишээ нь, 20МГц, 40МГц 100МГц гэх мэт) ба тестийн тайлангууд нь төхөөрөмжийн нийцлийг бүх сувгийн тохиргоонд харуулах ёстой.

Х.3.11.1-р хүснэгт - RRU төхөөрөмжүүдийн EIRP болон PSD хязгаар

Төхөөрөмж	Хамгийн их EIRP (дБм/10МГц)	Хамгийн их (дБм/МГц)
Төгсгөлийн хэрэглэгчийн төхөөрөмж	23	N/A
А ангиллын RRU	30	20
В ангиллын RRU	47	37

5G RRU – А ба В ангиллын ялгаа, EIRP ба PSD хязгаарууд

Ерөнхий ойлголт

5G RRU төхөөрөмжүүд нь цацаргалтын чадал, хэрэглээний орчин, интерференцийн менежментээс хамааран А ба В ангилалд хуваагддаг. Энэ ялгаа нь тухайн төхөөрөмжийн зөвшөөрөгдөх хамгийн их дамжуулах чадал (EIRP), спектрийн нягтрал (PSD), болон хэрэглээний нөхцөлд үндэслэсэн байна.

Х.3.11.2-р хүснэгт - Харьцуулсан хүснэгт

Шинж чанар	А ангилал	В ангилал
Хамгийн их EIRP	≤ 30 dBm/10МГц	≤ 47 dBm/10МГц
Хамгийн их PSD	≤ 20 dBm/МГц	≤ 37 dBm/МГц
Суурилуулах орчин	Indoor / Micro-cell	Outdoor / Macro-cell
Тх чадал	≤ 1 Вт (23–30 dBm)	≥ 10 Вт (40–47 dBm)
Beamforming	Энгийн эсвэл basic	Digital advanced beamforming
Интерференцийн эрсдэл	Бага	Өндөр
Холбогдох стандарт	ETSI EN 301 908-13 Annex A	ETSI EN 301 908-13 Annex B

Дүгнэлт

А ангиллын RRU нь бага чадлын, бага интерференцийн эрсдэлтэй орчинд тохиромжтой бол В ангиллын RRU нь өндөр чадлын суурин станцуудад ашиглагддаг. Хэмжилт хийх болон стандартад нийцэл шалгахад энэ ялгаа чухал үүрэгтэй.

2. Максимум EIRP—ANSI C63.26-2015-ийн 5.2-р хэсгийн журам нь чадлын хэмжилт хийхэд зөвшөөрөгдсөн. Хэмжилтүүдийг оргил эсвэл дундаж (RMS) илрүүлэгч ашиглан хийх боломжтой, зөвхөн тохирох журмыг дагаж мөрдөх шаардлагатай.

3. Максимум PSD—Энэхүү журам нь "хамгийн их чадлын спектрийн нягтрал"-ын хэмжилтийг шаарддаг бөгөөд зорилго нь тасралтгүй дамжуулалтын хугацааны туршид хэмжигдсэн чадлын спектрийн нягтралын цаг хугацааны дунд зэргийн хамгийн их утгыг хэмжих явдал юм. Энэ хэмжилт хийхийн тулд DUT нь тасралтгүй бүрэн чадлаар дамжуулах тохиргоотой байх ёстой. ANSI C63.26-2015-ийн 5.2-р хэсгийн журам нь зөвшөөрөгдсөн.

4. Оргил болон дундаж чадлын харьцаа (PAPR)—96.41-р хэсэгт дурдсан чадлын хязгаарлалттай нэмээд, RRU-үүд PAPR хязгаарлалтыг хангах шаардлагатай. Энэхүү хэмжилтэд ANSI C63.26-2015-ийн 5.2.6-р хэсгийн журам нь зөвшөөрөгдсөн.

5. Цацаргалт ба интерференцийн хязгаарлалтууд-Төхөөрөмж нь 96.41(e)-д заасан бүх сувгийн хэмжээ, зурвасын хамгийн доод ба хамгийн дээд зах ба зурвасын дунд хэсэгт заасан цацаргалтын хязгаарыг хангаж байгааг баталгаажуулна уу.

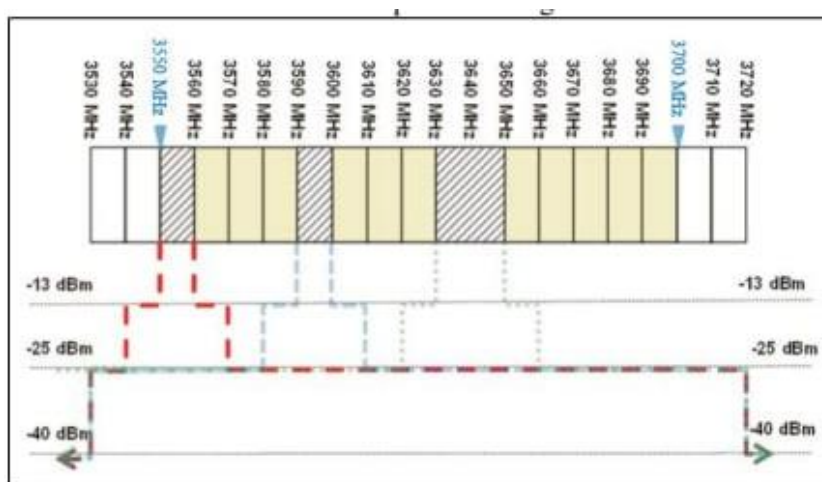
6. Үндсэн зурвасаас гадуурх цацаргалт—Үндсэн зурвасаас гадуурх ялгаруулалтын хязгаарууд нь дараах байдалтай:

- 0 МГц-аас 10МГц-ийн дотор ≤ -13 дБм/МГц
- 10МГц -аас дээш болон тухайн сувгаас доош ≤ -25 дБм/МГц
- 3530МГц -аас доош болон 3720 МГц-аас дээш ямар ч ялгаруулалт ≤ -40 дБм/МГц

i. Хэмжилтүүдийг доод, дунд, болон дээд суваг дээр гүйцэтгэх ёстой. Нарийвчлалын зурвасын өргөн: зөвшөөрөгдсөн сувгаас шууд гадна 1МГц доторх хэмжилтийн үндсэн үзүүлэлтийн 1%; болон зөвшөөрөгдсөн сувгаас гадуур 1МГц-ээс дээш 1МГц.

ii. Антен портод хийсэн хэмжилтийг холбогдох хүсээгүй цацаргалтын хязгаарт нийцэж байгаа эсэхийг харуулахын тулд тусад нь цацрагийн хэмжилт хийх шаардлагатай бөгөөд угсралтын болон ашиглалтын хэвийн нөхцөлд шүүгээ, хяналтын хэлхээ, цахилгаан утас, завсрын хэлхээний элементүүдээс шууд цацруулж болох хуурамч ялгаруулалтыг илрүүлэхийн тулд цацрагийн ялгаруулалтыг тусад нь хэмжих шаардлагатай.

iii. RRU-ийн хүсээгүй цацаргалт нь ХХЗХ-оос тогтоосон эрх бүхий сувагтай холбоотой гэдгийг анхаарна уу. Жишээлбэл, ХХЗХ-оос хуваарилагдсан сувгуудын цацаргалтын хязгаарын жишээг Зураг 8.1-д үзүүлэв.



Х.3.11.2-р зураг - Олгогдсон сувгуудын цацаргалтын хязгаар

7. Лиценз эзэмшигчдэд зориулсан шаардлага бөгөөд RRU-ийн тоног төхөөрөмжийн зөвшөөрөлд шаардлага тавихгүй. Тиймээс үүнийг тестийн тайланд оруулах шаардлагагүй.

Х.3.12 RRU ТӨХӨӨРӨМЖИЙН ТЕСТИЙН ЕРӨНХИЙ ШААРДЛАГА

I. RRU төхөөрөмжүүд нь дараах Хэмжилтийг амжилттай давах ёстой:

1. Төхөөрөмж нь зөвшөөрөл авснаар л дамжуулахыг баталгаажуулах.
2. Төхөөрөмжийн бүртгэл болон SAS-аас зөвшөөрөл авсныг шалгах – төхөөрөмж нь амжилттай болон амжилтгүй бүртгэлийн үед зөв үйл ажиллагаа явуулж байгаа эсэхийг тодорхойлох. Төхөөрөмж нь SAS-аас зөвшөөрөл авалгүйгээр дамжуулах ёсгүй.
3. Төхөөрөмж нь SAS-аас өгсөн командын дагуу үйл ажиллагааны чадвар болон/эсвэл сувгаа өөрчилж байгаа эсэхийг баталгаажуул.
4. Төхөөрөмж нь төрөл бүрийн лицензийн үндсэн дээр зөв бүтэцтэй болохыг баталгаажуул.
5. Төхөөрөмж нь SAS-аас баталгаажуулсан хамгийн их чадлын түвшнээс илүүгүй чадлаар дамжуулж байгаа эсэхийг баталгаажуул.
6. Төхөөрөмж нь SAS-аас заасан зурвасын өргөнийг хэтрэхгүйгээр дамжуулах эсэхийг баталгаажуул.
7. Төхөөрөмж нь SAS-аас заасан давтамжийг дамжуулах эсэхийг баталгаажуул.
8. Төхөөрөмж нь SAS-аас өгсөн командын дагуу дамжуулалтаа зогсоож байгаа эсэхийг баталгаажуул, шаардлагатай хугацааны дотор.
9. Төхөөрөмж нь SAS-аас өгсөн командын дагуу хэмжилтийн өгөгдлийг илгээж байгаа эсэхийг баталгаажуул.
10. Гео-байршилтай төхөөрөмжүүдийн хувьд, шаардлагатай зайны параметрээс (± 50 м) илүү байх үед шинэ байршлыг SAS-д мэдэгдэж байгаа эсэхийг баталгаажуул.
11. Төхөөрөмж нь SAS-д дохионы түвшин (мэдээллийн өгөгдөл) болон давтамжийг тайлагнах чадвартай эсэхийг баталгаажуул.
12. RRU-үүд удирдлагын системээр харилцан үйлчлэлцэж байх үед, бүх шаардлагыг хангаж буйг баталгаажуул.
13. Хэрвээ RRU болон SAS хоорондын харилцаа тасарсан бол:
 - i. Төхөөрөмж ба SAS-ийн хоорондын харилцаа тасарвал RRU хэрхэн үйлдэл үзүүлэхийг тодорхойлж, SAS-тай холболт тасарсан тохиолдолд дамжуулалт зогссон гэдгийг баталгаажуул.
 - ii. Харилцаа холбоог дахин сэргээх үйл явцыг тодорхойлж, RRU зөвшөөрөгдсөнөөр үйлдэл хийж байгаа эсэхийг баталгаажуул.
 - iii. Бүртгэлийг (дахин бүртгүүлэх) сэргээх үеийн эргүүлэн асаах процессыг баталгаажуул.
 - iv. Бүртгэлийг цуцлах (дерегистраци) үйл явцыг баталгаажуул.

Х.3.13 АЮУЛГҮЙ БАЙДЛЫН ШААРДЛАГА

RRU-ийн сертификат авах хүсэлтүүд нь баталгаажсан SAS администраторын удирддаг хамгийн багадаа нэг SAS мэдээллийн санг тодорхойлох ёстой эсвэл WInnForum Interface Specification шаардлагыг хангаж байгаагаа харуулах ёстой

бөгөөд төхөөрөмж нь SAS-аас ашиглагдсан харилцааны аюулгүй байдлын аргачлалуудтай нийцэж ажиллахыг баталгаажуулах ёстой. WInnForum Interface Specification шаардлагыг хангаж байгаагаа харуулахдаа өргөдөл гаргагчид WInnForum-аас хүлээн зөвшөөрөгдсөн хэмжилтийн лаборатори ашиглах ёстой. Төхөөрөмж нь шууд SAS-тэй эсвэл олон төхөөрөмжийг удирддаг domain proxy руу холбогдож ажиллахдаа, төхөөрөмж нь ямар SAS-тай ажиллахыг хүлээлгэн өгөхдөө дараах зүйлсийг тус бүрийн хувьд дэлгэрэнгүй тайлбарлах ёстой:

- a. SAS ба RRU-ийн хооронд ямар харилцааны протокол ашиглагддаг вэ?
- b. Харилцаа хэрхэн эхлүүлдэг вэ?
- c. RRU нь SAS-аас ирсэн мессежнүүдийг хэрхэн баталгаажуулдаг вэ?
- d. Төхөөрөмж нь SAS-тай харилцах эсвэл үнэн зөв баталгаажуулахад амжилтгүй бол ямар арга хэмжээ авдаг вэ?
- e. SAS нь RRU-аас ирсэн мессежнүүдийг хэрхэн баталгаажуулдаг вэ?
- f. Ямар криптографийн аргачлал ашиглагддаг вэ?
- g. SAS нь хамгаалагдсан төхөөрөмжүүдийн бүртгэлийг хэрхэн аюулгүй байлгадаг вэ?

Эцсийн Хэрэглэгчийн Төхөөрөмжүүдийн сертификат авах өргөдлүүд нь хамгийн багадаа нэг зөвшөөрөгдсөн RRU-тай үйл ажиллагаа явуулах тестийн үр дүнг тодорхойлж, зөвшөөрөл болон үйл ажиллагааны шаардлагуудтай нийцэж байгаа гэдгийг харуулах ёстой.

X.3.14. RRU Хэмжилтийн систем ба арга

Дэлхий нийтийн хэмжээнд LTE сүлжээ өргөн хүрээтэй ашиглах болсноор уг сүлжээнд тулгуурлан 5G сүлжээг нэвтрүүлэхэд RRU төхөөрөмжийн эрэлт хэрэгцээ эрс нэмэгдэж байгаа нь RRU тоног төхөөрөмжийн ашиглалт, нийлүүлэгч бүрд нэгдмэл шинэ шаардлага тавигдах болсон. Иймд RRU-г турших шаардлага тавигдаж байна. RRU төхөөрөмжийн багтаамж

Одоогийн байдлаар RRU тест хийх ерөнхий хоёр арга байдгийн нэг нь eNodeB системийг тохируулах, RRU-г холбож, уруудах шугамын дохио илгээх ба BBU-ийн оптик интерфэйсээр дамжуулан өгсөх шугамын дохиог хүлээн авснаар, хэмжилт хийхэд бэлэн болох. Нэгдүгээрт, илүү олон eNodeB сүлжээний элементүүд, нарийн төвөгтэй системийн бүтэц, хэвийн бус хэмжилтийн үед байршлыг тогтооход хэцүү байдаг тул энэ арга нь хэмжилтийн нарийн төвөгтэй байдал, хүндрэлийг үүсгэдэг;

Энэхүү хэрэглээний нэг хувилбар нь RRU Хэмжилтийн систем болно. RRU Хэмжилтийн систем нь турших RRU, Хэмжилтийн компьютерт дээд түвшний тестийн программ суулгасан Хэмжилтийн компьютер, сулруулагч, чадал хуваагч, давтамжийн спектрограф, дохионы эх үүсвэр ба залган салгагч хамаарна.

- турших RRU, Хэмжилтийн компьютер, давтамжийн спектрограф, дохионы эх үүсгэврийг сүлжээний кабелиар дамжуулан шилжүүлэгчтэй тус тус холбосон;
- турших RRU, аттюнатор ба чадал хуваарилагчийг радио давтамжийн кабелиар дараалан холбосон;
- Чадал хуваагч нь давтамжийн спектрограф ба дохионы эх үүсвэртэй радио давтамжийн кабелиар холбогдсон;

- Хэмжилт хийх RRU-ийн Trig порт нь давтамжийн спектрографын Trig порттой, харин турших RRU-ийн Ref порт нь давтамжийн спектрографын 10М лавлах гаралтын дохионы порттой холбогдсон;
- Давтамжийн спектрографын 10М-ийн лавлах оролтын дохионы порт нь, дохионы эх үүсвэрийн 10М-ын лавлагааны гаралтын дохионы порттой холбогдсон;
- Турших RRU нь оптик шөрмөсөөр дамжуулан эхний оптик портын хүлээн авагч болон илгээх төгсгөлтэй холбогдсон;
- Хэмжилт хийх RRU нь оптик шөрмөсөөр дамжуулан хоёр дахь оптик портын хүлээн авагч болон илгээх төгсгөлтэй холбогдсон байна.
- Хэмжилтэд хамрагдах RRU нь дараах зүйлийг агуулна.
- the device comprises a Central Processing Unit (CPU), a Flash memory, a double-rate synchronous dynamic random access memory (DDR), a field-editable gate array (FPGA), a downlink module, an uplink module and an optical link module;
- төхөөрөмж нь Төв боловсруулалтын нэгж (CPU), Флэш санах ой, давхар давтамжтай синхрон динамик санамсаргүй хандалтын санах ой (DDR), талбарт засварлах боломжтой хаалганы массив (FPGA), доош холбох модуль, дээш холбох модуль болон оптик холбоос модулиас бүрдэнэ;
- CPU нь Flash-тэй холбогдож, уруудах шугамын хэмжилтийн өгөгдөл Flash-д холбогдсон;

FPGA (Орны программчлагдах гарцын массив) нь MIG (санах ойн интерфейсийн модуль), DUC (тоон дээш хувиргагч), CFR модуль, DPD (тоон урьдчилан засвар) модуль, DDC (тоон доош хувиргагч) модуль болон IR интерфейсээс бүрдэнэ.

Нөгөөтээгүүр, энэхүү хэрэглээний нэг хувилбар нь RRU хэмжилтийн аргыг агуулсан бөгөөд дараах алхмуудтай байна:

- RRU-ын хэмжилтийн эхлүүлэх, дээд түвшний хэмжилтийн программ хангамжаар дамжуулан хэмжилтийн төлөвийг оруулах командыг илгээх;
- Турших RRU нь хэмжилтийн төлөвийг оруулах командыг хүлээн авч, хэмжилтийн төлөвт орж, DDR (double-data-rate) өөрөө Хэмжилтийг гүйцэтгэдэг;

хэрэв DDR-ийн өөрийгөө шалгах ажиллагаа амжилтгүй болбол DDR-ийн алдааны мэдээллийг гаргаж, хэмжилтээс гарах;

хэрэв DDR өөрийгөө шалгах тест тэнцсэн бол дээд давхаргын тестийн программ хангамж нь тестийн командыг илгээдэг бөгөөд хэмжилтийн энэхүү команд нь уруудах шугамын хэмжилтийн команд, өгсөх шугамын тестийн команд болон оптик холбоосны хэмжилтийн командуудаас бүрдэнэ;

Шалгагдах RRU нь хэмжилтийн команд болон гарах шугамын тестийн зөөгчийг хүлээн авч, шугамын хэмжилтийг явуулдаг, энэхүү шугамын тест нь уруудах шугамын тест, өгсөх шугамын тест, оптик шугамын тестээс бүрдэнэ;

Уруудах шугамын тест нь: RRU-ээр уруудах шугамын параметрийг тохируулах, DDR-ээр уруудах шугамын тестийн өгөгдлийг илгээх функцийг эхлүүлэх, давтамжийн спектрографыг сүлжээний портоор дамжуулан хэмжилтийн компьютероор хянах, уруудах шугамын дохионы индексийн Хэмжилтийг хийх;

Өгсөх шугамын тест нь: RRU-ээр өгсөх шугамын параметруудийг тохируулан, сүлжээний портын удирдлагын дохионы үүсгэврээр дамжуулан Хэмжилтийн

компьютерт шалгахад RRU-д өгсөх шугамын тестийн өгөгдлийг илгээх, DDR-аар өгөгдөл цуглуулах функцийг эхлүүлэх, олж авсан өгөгдлийг хэмжилтийн компьютерт дамжуулах, хэмжилтийн компьютероор өгсөх шугамын дохионы индексийн тест хийх;

- оптик шугамын хэмжилт нь оптик шөрмөсний холболтыг шалгахын тулд оптик кабелийн буцах горимыг ашигладаг.

DDR-ийн өөрийгөө шалгах тест нь DDR унших-бичих нь хэвийн эсэхийг шалгах, хэмжилтийн өгөгдлийг логик өөрөө шалгах замаар уншихыг шалгах, өгөгдөл оруулах, унших нь нийцэж байгаа эсэхийг харьцуулах, дүгнэх.

RRU-ээр уруудах шугамын параметруудийн тохиргоонд RRU зөөгч давтамж, зөөгчийн зурвасын өргөн, гаралтын чадлыг багтаасан.

-Уруудах шугамын хэмжилтийн үед CPU нь Flash-д хатуужуулсан уруудах шугамын хэмжилтийн өгөгдлийг LocalBUS болон MIG модулиар дамжуулан DDR руу холбоно.

FPGA нь DUC модуль, CFR модуль болон DPD модулиар дамжуулан доош холбоосны хэмжилтийн өгөгдлийг боловсруулж, дараа нь боловсруулсан уруудах шугамын хэмжилтийн өгөгдлийг уруудах шугамын модуль руу илгээж, радио давтамжийн дохиог гаргадаг;

Зөөгчийн уруудах шугамын дохионы индексийн хэмжилтийг хэрэгжүүлэхдээ зөөгчийн чадал, зэрэгцээ сувгийн чадлын харьцаа ба алдааны векторын агууригийг дээд түвшний хэмжилтийн программ хангамжаар спектрографын давтамжийг удирдаж хянадаг; хэмжилтийн бичлэг хийсний дараа DDR илгээх функцийг хаадаг.

RRU-д өгсөх шугамын параметрийг тохируулахдаа RRU-ын зөөгчийн давтамж болон зөөгчийн зурвасын өргөнийг тохируулна.

Өгсөх шугамын тестийн MIG модулиар дамжуулан DDC модулийн өгөгдлийн гаралтыг DDR руу импортлохын тулд CPU нь Local BUS-ээр дамжуулан FPGA дотоод өгөгдөл хүлээн авах модулийг удирддаг;

CPU нь хэмжилтийн компьютер руу DDR-т байгаа өгөгдлийг байршуулна;

дээд төвшний хэмжилтийн программ хангамж нь өгсөх шугамын дохионы индексийн хэмжилтийг гүйцэтгэдэг, үүнд өгсөх шугамын өгөгдлийг демодуляци хийх боломжтой эсэхийг шалгах; хэмжилт, бичлэг хийсний дараа DDR мэдээлэл цуглуулах функцийг хаадаг.

Оптик шугамын тест нь дараах зүйлийг агуулна:

RRU-ээр оптик шугамын параметруудийг тохируулах;

оптик шугамын хэмжилтэд CPU нь 8B10B код дамжуулах дугаарыг эхлүүлэхийн тулд IR интерфейсийг тохируулдаг;

IR интерфейсээр таних хугацаанд алдааны кодын загварын тоог хүлээн авах;

CPU нь алдааны кодын тоог цуглуулж, хэмжилтийн компьютерт дамжуулдаг;

дээд давхаргын хэмжилтийн программ хангамжийн код загварын алдааны өгөгдлийг бүртгэдэг; мөн IR интерфейсийн дугаар илгээх, хүлээн авах таних функцийг унтраах.

RRU нь оптик шугамын параметруудийг оптик интерфейсийн өгөгдлийн хурдыг 10 ГБит/с байхаар тохируулахыг илүүд үздэг.

Энэхүү хэрэглээний нэг буюу хэд хэдэн техникийн шийдэл нь дор хаяж дараах техникийн нөлөө, давуу талуудтай.

Хэрэглээний хувилбарт RRU системийн хэмжилтийг зөвхөн RRU болон хэмжилтийн үр дүнг үзэх боломжтой, нарийн төвөгтэй хэмжилтийн систем (eNodeB систем гэх мэт) барих шаардлагагүй, нэмэлт тоног төхөөрөмж (аналог BBU систем гэх мэт) боловсруулах шаардлагагүй, ингэснээр RUU төхөөрөмжийн хэмжилтийн нарийн төвөгтэй байдал, хүндрэлийг багасгах, шаардлагатай тоног төхөөрөмжийн тоо хэмжилтийг бууруулах, нэмэлт төхөөрөмжийг дахин шаардахгүй байх.

Энэхүү хувилбарын техникийн шийдлийг илүү тухайн харуулахын тулд биеллийг тайлбарлахад ашиглах шаардлагатай зургуудыг доор товч танилцуулсан.

ХАВСРАЛТ 4

Х.4.1 Хэмжилт, хэмжилтийн аргачлал

1. RRU-г цахилгаан эх үүсвэрт холбоно, зохих интерфейс тохируулна
2. RF Analyzer болон Generator-г DUT-ийн RF портуудтай холбох
3. Тохирох долгионы хэлбэр болон ажиллагааны зурвасын өргөнийг тохируулна (жишээ: n78, 100 МГц).
4. Хүснэгт Х.4.1.1-ийн хэмжилтийг нэг бүрчлэн гүйцэтгэнэ:

Хүснэгт Х.4.1.1

Tx Output Power (EIRP)	Нэвтрүүлэгчийн гаралтын чадал (EIRP)
ACLR (Adjacent Channel Leakage Ratio)	Зэргэлдээх сувгийн алдагдлын харьцаа
Spectrum Emission Mask (SEM)	Спектрийн эмиссийн маск (SEM)
Spurious Emission	Хуурамч ялгарал
Rx Sensitivity (loopback эсвэл fading channel simulation)	Хүлээн авагчийн мэдрэмж

5. Цацраг хэлбэржүүлэлт болон чиглүүлэмжийг шалгах бол OTA (Over-the-Air) setup ашиглана.

7. RRU Төхөөрөмжийн Дотоод Архитектур (Блок схем)
Доорх схем нь RRU төхөөрөмжийн үндсэн бүрэлдэхүүн хэсгүүд ба өгөгдөл дамжуулалтын урсгалыг харуулж байна. Тус схемд CPU, FPGA, DDR, DUC/DDC, CFR/DPD, DL/UL блокуудаар дамжин өгөгдөл боловсруулагдаж, хүлээн авах ба дамжуулах дохио үүсдэг. Энэхүү архитектур нь тестийн үйл явцад аль хэсэгт хяналт, хэмжилт хийхийг тодорхойлоход чухал үүрэгтэй.

8. RRU Блок диаграмд суурилсан хэмжилтийн аргачлал
RRU төхөөрөмжийн дотоод архитектурыг ойлгож, хэмжилтийн аргачлалыг зөв төлөвлөхийн тулд CPU, FPGA болон RF интерфейсүүдийн үүргийг тодорхойлно.

Блок диаграммын бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн хэмжилт:

8.1 CPU ба Удирдлагын хэсэг

- CPU нь Flash болон Ethernet сүлжээгээр дамжуулан firmware, тохиргоо болон тестийн команд хүлээн авна.
 - CPU-аас Local BUS-аар дамжин FPGA-ийн региструудийг удирдана.
- Хэмжилт хийхийн өмнө CPU-аар дамжуулан долгионы хэлбэр, TDD конфигураци илгээх шаардлагатай.

8.2 FPGA – Өгөгдөл боловсруулах хэсэг

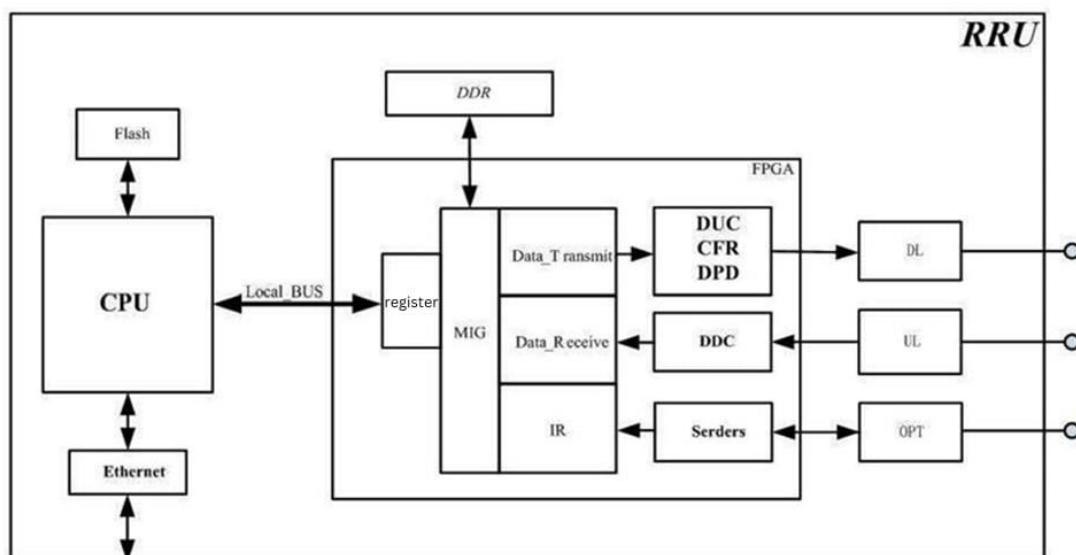
- Өгөгдөл нэвтрүүлэх, өгөгдөл хүлээн авах блокууд нь өгсөх болон уруудах шугамын урсгалыг удирдана.
 - DUC: Bit stream-ийг analog RF waveform болгон хувиргах
 - CFR/DPD: PA чадлын өсгүүрийн хариактеристикийн шугаман байдал болон үр ашгийг сайжруулах алгоритмууд
 - DDC: Хүлээн авсан дохиог уруудах хувиргалт хийж тоон хэлбэрт оруулна.
- Эдгээр модулиудын гүйцэтгэлийг шалгахын тулд RF гаралт, оролтын түвшин, долгионы хэлбэрийн бүрэн бүтэн байдал зэрэг үзүүлэлтийг хэмжинэ.

8.3 RF Интерфейс – DL/UL/OPT

- DL: Уруудах шугамын дамжуулах RF порт – нэвтрүүлэх чадал, ACLR, SEM зэрэг үзүүлэлтийн хэмжилтийг гүйцэтгэнэ.
- UL: Өгсөх шугамын хүлээн авах RF порт – Rx мэдрэмж болон интер модуляцийн ойлтыг хэмжинэ.
- OPT: Шилэн шөрмөс гэдрэг холбооны интерфэйс – DPD/CFR-ийн loopback тест хийхэд ашиглаж болно.

8.4 Хэмжилт хийх дараалал

1. CPU интерфэйсээр дамжуулан RRU-г тохируулна
2. FPGA дээр долгионы хэлбэр болон цацраг хэлбэржүүлэлтийн тохируулгыг хийж анализ хийнэ.
3. DL болон UL портуудаар RF хэмжилтийн багажуудыг холбоно.
4. Дараах үзүүлэлтүүдийг хэмжинэ:
 - Нэвтрүүлэх чадлыг (Tx Power / EIRP) DL порт дээр
 - ACLR / SEM / Хуурмаг цацаргалт DL
 - Хүлээн авагчийн мэдрэмж (Rx sensitivity) UL порт дээр
 - Цацраг хэлбэржүүлэлтийн чиглүүлэмж OTA камер ашиглан
5. Үр дүнг бүртгэж, стандарттай харьцуулна



Х.4.1-р зураг - RRU хэмжилтийн системийн бүдүүвч

Х.4.2 5G RRU – Төхөөрөмжийн Тестийн Ерөнхий Шаардлага

1. Радио Дамжуулалтын Шаардлага

- Хамгийн их EIRP: FR1 зурваст ≤ 64 dBm, FR2 зурваст ≤ 75 dBm
- Нэвтрүүлэх чадлын нарийвчлал (Tx Power Accuracy): ± 2 dB
- Spectral Emission Mask (SEM): 3GPP ба ITU-R SM.1541-д нийцсэн
- Хүсээгүй цацаргалт (Unwanted Emission): -30 dBm/МГц-ээс бага
- Хажуу сувгийн алдагдлын харьцаа (ACLR): ≥ 45 dB
- Давтамжийн алдаа (Frequency Error): ± 0.05 ppm

2. Хүлээн Авалтын Шаардлага

- Хүлээн авалтын мэдрэмж (Sensitivity): -96 dBm (15 kHz SCS, QPSK modulation)
- Хаалттай орчны тэсвэр (Receiver Blocking): ≥ 10 dB маржин
- In-band selectivity ба шүүлтүүрийн хариу: 3GPP 38.141-1-д нийцсэн
- Intermodulation rejection: ≥ 35 dB

X.4.3 OTA ба Beamforming хэмжилт

- Beamforming-ийн үндсэн чиглэлийн нарийвчлал: $\pm 3^\circ$
- SSB ба CSI-RS чадлын харьцаа: 3GPP 38.213 стандартын дагуу
- OTA Хэмжилтийн орчин: $\geq 5 \times 5 \times 3$ м хэмжээтэй цуурайгүй камер, -60 dB шингээлттэй
- Өнцгийн нарийвчлал: $\leq 5^\circ$

X.4.4 Хэмжилтийн орчны нөхцөл

- Температур: 20–25°C ($\pm 2^\circ\text{C}$)
- Харьцангуй чийг: $\leq 60\%$
- RRU болон хүлээн авагч антены хоорондын зай: ≥ 3 м (OTA), ≥ 1.5 м (дамжуулалттай хэмжилт)
- Шаардлагатай багаж хэрэгсэл: Spectrum Analyzer, Signal Generator, Vector Signal Analyzer (≥ 40 ГГц дэмжлэгтэй)

X.4.5 Ашиглах стандартууд

- 3GPP TS 38.104 – NR Base Station RF Requirements
- 3GPP TS 38.141-1/2 – Conformance Testing
- ETSI EN 301 908-13 – 5G суурин станцын RF стандарт
- ITU-R SM.329, SM.1541 – Spurious ба unwanted emission
- FCC Part 96, Part 30 – АНУ-ын зохицуулалт (EIRP болон out-of-band limits)

X.4.6 RRU Хэмжилтийн Систем ба Арга

RRU хэмжилтийг гүйцэтгэхэд дараах үндсэн системийн бүрдэл хэсгүүд болон аргачлал хэрэглэгддэг. Хэмжилтийн гол зорилго нь дамжуулалт ба хүлээн авалтын RF гүйцэтгэлийг стандартын дагуу баталгаажуулах юм.

X.4.6.1 Хэмжилтийн системийн бүрдэл хэсгүүд

- DUT (Device Under Test): RRU төхөөрөмж
- RF кабель, тохируулгатай шүүлтүүр, аттенюатор
- Spectrum Analyzer (≥ 6 ГГц эсвэл 40 ГГц дэмжлэгтэй)
- Vector Signal Analyzer (VSA)
- Signal Generator (NR waveform дамжуулах)
- Power Meter: EIRP хэмжилт
- Baseband Controller эсвэл Test Software: SCPI command эсвэл 3GPP scenario дамжуулах

X.4.6.2 Хэмжилтийн аргачлал

1. RRU-г цахилгаан эх үүсвэрт холбоно, зохих интерфэйс тохируулна
2. RF Analyzer болон Generator-г DUT-ийн RF портуудтай холбох

3. Тохирох waveform болон operating bandwidth-г тохируулна (жишээ: n78, 100 МГц)
4. Дараах хэмжилтүүдийг нэг бүрчлэн гүйцэтгэнэ:
 - Tx Output Power (EIRP)
 - ACLR
 - Spectrum Emission Mask (SEM)
 - Spurious Emission
 - Rx Sensitivity (loopback эсвэл fading channel simulation)
5. Beamforming болон directionality шалгах бол OTA (Over-the-Air) setup ашиглана

X.4.7 RRU Төхөөрөмжийн Дотоод Архитектур (Блок схем)

Доорх схем нь RRU төхөөрөмжийн үндсэн бүрэлдэхүүн хэсгүүд ба өгөгдөл дамжуулалтын урсгалыг харуулж байна. Тус схемд CPU, FPGA, DDR, DUC/DDC, CFR/DPD, DL/UL блокуудаар дамжин өгөгдөл боловсруулагдаж, хүлээн авах ба дамжуулах дохио үүсдэг. Энэхүү архитектур нь тестийн үйл явцад аль хэсэгт хяналт, хэмжилт хийхийг тодорхойлоход чухал үүрэгтэй.

X.4.8 RRU блок диаграммд суурилсан хэмжилтийн аргачлал

RRU төхөөрөмжийн дотоод архитектурыг ойлгож, хэмжилтийн аргачлалыг зөв төлөвлөхийн тулд CPU, FPGA болон RF интерфейсүүдийн үүргийг тодорхойлно. Доорх аргачлал нь энэхүү блок диаграммд үндэслэсэн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн хэмжилтийн логикийг тайлбарлана.

X.4.8.1 CPU ба Удирдлагын хэсэг

- CPU нь Flash болон Ethernet сүлжээгээр дамжуулан firmware, тохиргоо болон тестийн команд хүлээн авна.
 - CPU-аас Local BUS-аар дамжин FPGA-ийн регистрүүдийг удирдана.
- Хэмжилт хийхийн өмнө CPU-аар дамжуулан waveform, TDD конфигураци илгээх шаардлагатай.

X.4.8.2 FPGA – Өгөгдөл боловсруулах хэсэг

- Data_Transmit/Data_Receive блокууд нь uplink/downlink урсгалыг удирдана.
 - DUC: Bit stream-ийг analog RF waveform болгон хувиргах
 - CFR/DPD: PA (power amplifier)-ийн linearity болон efficiency сайжруулах алгоритмууд
 - DDC: Хүлээн авсан дохиог downconvert хийж digital хэлбэрт оруулна
- Эдгээр модулиудын гүйцэтгэлийг шалгахын тулд RF output/input түвшин, waveform бүрэн бүтэн байдал зэрэг үзүүлэлтийг хэмжинэ.

X.4.8.3 RF Интерфейс – DL/UL/OPT

- DL: Уруудах шугамын дамжуулах RF порт – Tx Power, ACLR, SEM зэрэг үзүүлэлтийг хэмжилт хийн гүйцэтгэнэ.
- UL: Өгсөх шугамын хүлээн авах RF порт – Rx мэдрэмж болон интер модуляцийн ойлт хэмжинэ.
- OPT: Fiber/Loopback интерфейс – DPD/CFR-ийн loopback тест хийхэд ашиглаж болно.

Х.4.8.4 Хэмжилт хийх дараалал

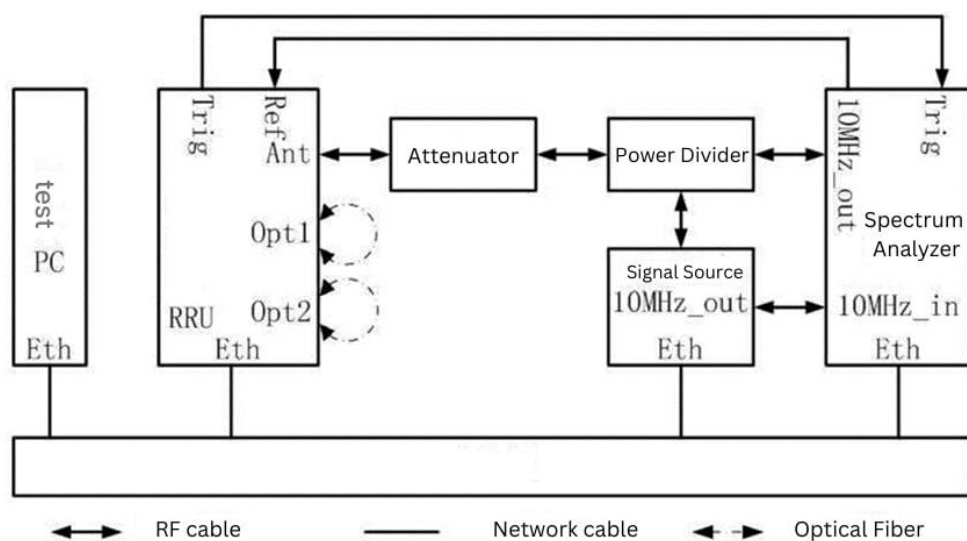
1. CPU интерфэйсээр дамжуулан RRU-г тохируулна
2. FPGA дээр waveform болон beamforming тохируулгыг инициализ хийнэ
3. DL болон UL портуудаар RF хэмжилтийн багажуудыг холбоно
4. Дараах үзүүлэлтүүдийг хэмжинэ:
 - Tx Power / EIRP → DL порт дээр
 - ACLR / SEM / Spurious → DL
 - Rx sensitivity → UL порт дээр
 - Beamforming directionality → OTA камер ашиглан
5. Үр дүнг бүртгэж, стандарттай харьцуулна

Х.4.9 RRU хэмжилтийн гаднах системийн холболтын схем

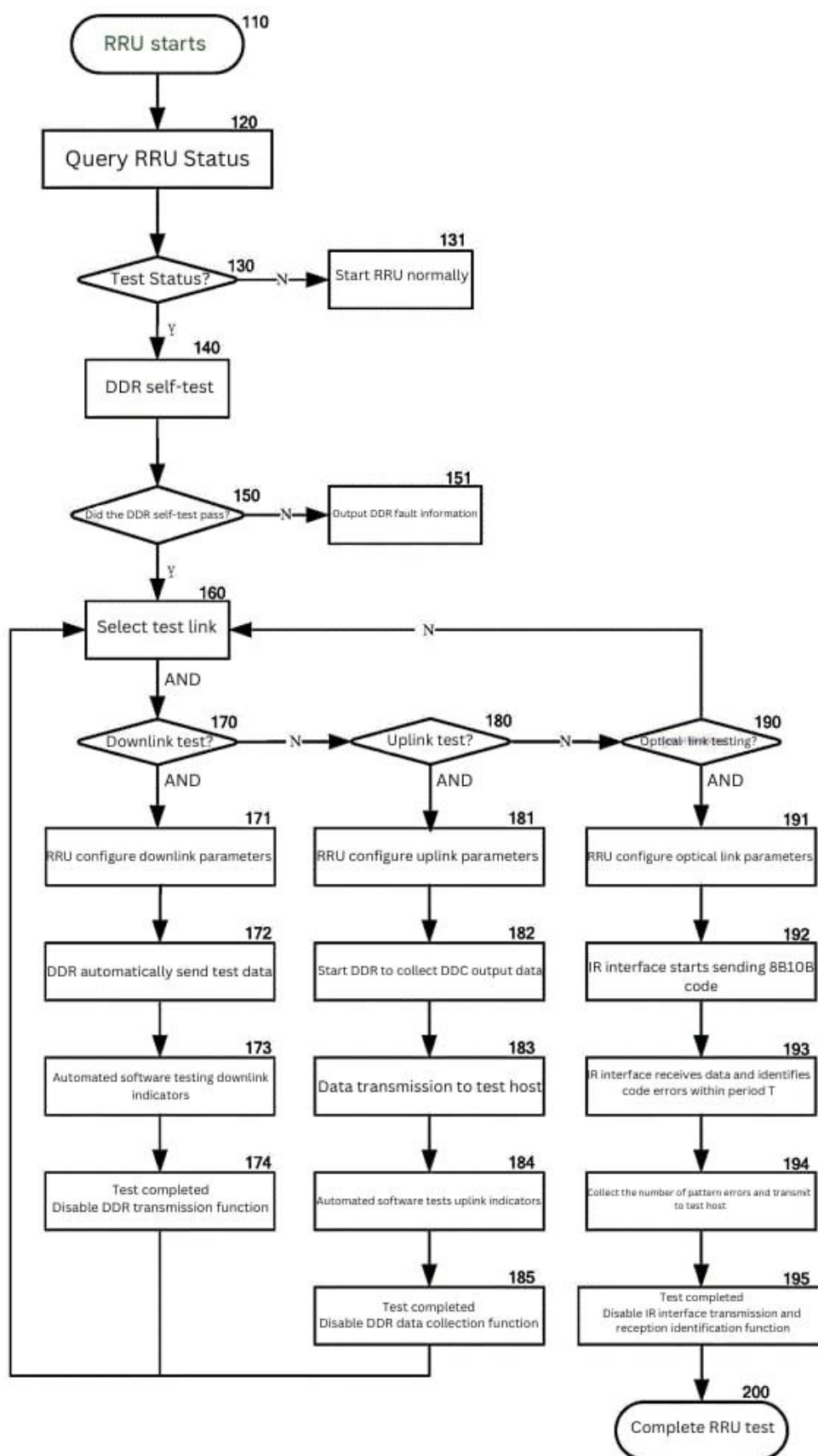
Доорх схемд RRU хэмжилтийг гүйцэтгэх үед хэрэглэгддэг RF багажууд, кабель, синхрончлолын дохионы үүсгүүр, PC хяналтын системийн холболтыг харуулсан болно. Энэ нь conducted testing эсвэл RF output power, spectral measurements зэрэг хэмжилтийг гүйцэтгэхэд ашиглагддаг нийтлэг тохиргоо юм.

Х.4.9.1 Системийн бүрэлдэхүүн хэсгүүд

- Test PC: Хэмжилтийн хяналт ба өгөгдөл бүртгэл (Ethernet холболт)
- RRU: Хэмжилт хийж буй үндсэн төхөөрөмж
- Spectrum Analyzer: Tx output signal болон unwanted emission хэмжилт
- Signal Source (10 МГц): Референс синхрон дохионд ашиглагдана
- Power Divider: Референс дохионы хуваарилалт
- Attenuator: Хэт их RF хүчдэл бууруулах хамгаалалт
- RF кабель: RRU ба Analyzer-ийн хооронд RF зам
- Optical Fiber: Зарим өгөгдөл дамжуулалт (сүлжээ, хяналт)
- Trigger болон Sync холболтууд: цагийн зохицуулалт



Х.4.2-р зураг - RRU Хэмжилтийн RRU-ийн дотоод блок диаграмм



X.4.3-р зураг - RRU хэмжилтийн дэс дарааллын логик урсгал

X.4.10 RRU хэмжилтийн алхам бүрийн тайлбартай шалгах хуудас

- [110] RRU төхөөрөмжийг асаах

- [120] RRU-ийн төлөвийг асуух, холболтын хариу ирж буй эсэхийг шалгах
- [130] RRU-ийн өөрийн тест (self-check) үргэлжлэх эсэхийг шалгах
- [131] Хэрвээ тест шаардагдахгүй бол төхөөрөмжийг шууд эхлүүлэх
- [140] DDR санах ойд self-test гүйцэтгэх
- [150] Тест амжилттай бол дараагийн алхам руу шилжих
- [151] Хэрвээ тест амжилтгүй бол DDR алдааны мэдээллийг бүртгэх
- [160] Тестлэх холбоосны төрлийг сонгох (DL, UL эсвэл Optical)
- [170] Downlink тест сонгогдсон эсэхийг шалгах
- [171] Downlink test параметруудийг тохируулах
- [172] DDR автоматаар test өгөгдөл илгээх горим руу шилжих
- [173] Программ хангамжаар downlink test шалгагч үзүүлэлтүүдийг унших
- [174] Тест дууссан. DDR-ийн дамжуулах функцийг унтраах
- [180] Uplink тест сонгогдсон эсэхийг шалгах
- [181] Uplink test параметруудийг тохируулах
- [182] DDR санах ойгоор дамжуулан DDC output өгөгдөл цуглуулах
- [183] Host руу өгөгдөл дамжуулах Хэмжилт эхлүүлэх
- [184] Программ хангамжаар uplink test шалгагч үзүүлэлтүүдийг унших
- [185] Тест дууссан. DDR өгөгдөл цуглуулах горимыг унтраах
- [190] Optical линк тестийг сонгох
- [191] Оптик интерфейсийн тестийн параметруудийг тохируулах
- [192] IR интерфейс 8810B код илгээж эхлэх
- [193] IR интерфейс код хүлээн авч алдаа шалгах
- [194] Паттерн тоо болон дамжуулсан хугацааг бүртгэх
- [195] Тест дууссан. IR интерфейсийн горимуудыг унтраах
- [200] Бүх тест амжилттай хийгдсэн эсэхийг тэмдэглэж дуусгах

Тайлбар

RRU Хэмжилтийн системийн аргачлалаар хангаснаар энэхүү хэрэглээний хувилбарууд нь RRU төхөөрөмжийн хэмжилтийн нарийн төвөгтэй байдал, хүндрэл, хэмжилтийн үр дүнг дээшлүүлэх боломж олгоно.

Техникийн асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд хэрэглээний ерөнхий санаа нь дараах байдалтай байна:

- RRU Хэмжилтийн систем нь турших RRU, хэмжилтийн компьютер, унтралт тохируулагч, чадал хуваагч, давтамжийн спектрограф, дохионы эх үүсгэвэр, унтраалга;
- өндөр түвшний хэмжилтийн программ суулгасан хэмжилтийн компьютерт;
- Шалгах RRU, хэмжилтийн компьютер, давтамжийн спектрограф, дохионы эх үүсгэврийг сүлжээний кабелиар дамжуулан шилжүүлэгчтэй тус тус холбосон байх;
- Хэмжилт хийх RRU, аттюнатор ба чадал хуваагчийг радио давтамжийн кабелиар дараалан байх;
- чадал хуваагч нь давтамжийн спектрограф болон дохионы эх үүсгэвэртэй радио давтамжийн кабелиар тус тус холбогдсон байх;
- Хэмжилт хийх RRU-ийн Trig порт нь давтамжийн спектрографын Trig порттой, харин турших RRU-ийн Ref порт нь давтамжийн спектрографын 10M лавлах гаралтын дохионы порттой холбогдсон

Турших RRU нь оптик шөрмөсөөр дамжуулан эхний оптик портын хүлээн авах төгсгөлийг ба илгээх төгсгөлтэй холбогдсон; хэмжилт хийх RRU нь оптик шөрмөсөөр дамжуулан хоёр дахь оптик портын хүлээн авах төгсгөл болон илгээх төгсгөлтэй холбогдсон байна.

RRU хэмжилтийн арга нь дараах алхмуудтай:

- Хэмжилтийн RRU-г эхлүүлэх, дээд түвшний хэмжилтийн программ хангамжаар дамжуулан хэмжилтийн төлөвийг оруулах командыг илгээх;
- Турших RRU нь хэмжилтийн төлөвийг оруулах командыг хүлээн авч, хэмжилтийн төлөвт орж, DDR өөрөө хэмжилтийг гүйцэтгэдэг;
- DDR-ийн өөрийгөө шалгах ажиллагаа амжилтгүй болсон тохиолдолд DDR-ийн алдааны мэдээллийг гаргаж, хэмжилтээс гарах; хэрэв DDR өөрийгөө шалгах тест тэнцсэн бол дээд түвшний тестийн программ хангамж нь тестийн командыг илгээдэг бөгөөд хэмжилтийн команд нь уруудах шугамын хэмжилтийн команд, өгсөх шугамын тестийн команд болон оптик шугамын хэмжилтийн командуудаас бүрдэнэ;
- Турших RRU нь хэмжилтийн командыг хүлээн авч, холбоосны тестийг гүйцэтгэх бөгөөд үүнд шугамын тест нь уруудах шугамын тест, өгсөх шугамын тест, оптик шугамын тестээс бүрдэнэ;
- **Уруудах шугамын тест нь:** RRU-ээр уруудах шугамын параметруудийг тохируулах, DDR-ээр уруудах шугамын тестийн өгөгдлийг илгээх функцийг эхлүүлэх, давтамжийн спектрографыг сүлжээний портоор дамжуулан уэмжилтийн компьютероор хянах, уруудах шугамын дохионы индексийн уэмжилтийг хийх;
- **Өгсөх шугамын тест нь:** RRU-ээр өгсөх шугамын параметруудийг тохируулах, сүлжээний портын хяналтын дохионы эх үүсгэврээр дамжуулан Хэмжилтийн компьютерт шалгах аргаар RRU-д өгсөх шугамын тестийн өгөгдлийг илгээх, DDR-ээр өгөгдөл цуглуулах функцийг эхлүүлэх, олж авсан өгөгдлийг хэмжилтийн компьютерт дамжуулах, хэмжилтийн компьютероор өгсөх шугамын дохионы индексийн тест хийх;
- **Оптик шугамын Хэмжилт** нь оптик шөрмөсний холболтыг шалгахын тулд оптик кабелийн гэдрэг холболтын горимыг ашигладаг.
- Хэрэглээний хувилбарт RRU системийн хэмжилтийг зөвхөн RRU болон хэмжилтийн программ хангамжаар туршиж үзэх боломжтой, нарийн төвөгтэй хэмжилтийн систем (eNodeB систем) байх шаардлагагүй, нэмэлт тоног төхөөрөмж (аналог BBU систем) байлгах шаардлагагүй, ингэснээр RUU төхөөрөмжийн

хэмжилтийн нарийн төвөгтэй байдал, хүндрэлийг багасгах, шаардлагатай тоног төхөөрөмжийн хэмжилтийг үр дүнтэй бууруулах, нэмэлт тоног төхөөрөмжийг шаардахгүй.

Техникийн шийдлийг илүү сайн ойлгохын тулд техникийн шийдлийг зураг, тухайн хувилбаруудын дагуу нарийвчлан тайлбарлах болно.

Систем А

Өмнө дурдсан хэмжилтэд хэмжилтийн компьютер, хэмжих RRU, унтраагч, чадал хуваагч, спектрометр, дохионы эх үүсгэвэр, унтраалга орно. Үүний зэрэгцээ хэмжилтийн компьютер нь дээд түвшний хэмжилтийн программ хангамжаар хангагдсан байх.

Хэмжилтийн компьютер, турших RRU, давтамжийн спектрограф, дохионы эх үүсгэвэр нь сүлжээний кабелиар дамжуулан шилжүүлэгчтэй холбогдсон; турших RRU, унтраагч ба чадал хуваагчийг радио давтамжийн кабелиар дараалан холбосон; чадал хуваагч нь давтамжийн спектрограф ба дохионы эх үүсгэвэртэй радио давтамжийн кабелиар холбогдсон байна.

Хэмжилт хийх RRU-ийн Trig порт нь давтамжийн спектрографын Trig порттой холбогдож, давтамжийн спектрограф болон RRU-г синхрончлоход ашиглагддаг. Хэмжилтэд хамрагдах RRU-ийн Ref порт нь давтамжийн спектрографын 10M лавлагаа гаралтын дохионы порттой, давтамжийн спектрографын 10M-ийн лавлагаа оролтын дохионы порт нь дохионы эх үүсвэрийн 10M-ийн лавлагаа гаралтын дохионы порттой холбогдож, дохионы эх үүсвэр, давтамжийн спектрограф болон хэмжилтийн RRU-ийн гомологийн холболтод ашиглагддаг.

Хэмжилтэд хамрагдах RRU нь оптик шөрмөсөөр дамжуулан эхний оптик портын хүлээн авагч ба илгээх төгсгөлтэй холбогдсон; хэмжилт хийх RRU нь оптик шөрмөсөөр дамжуулан хоёр дахь оптик портын хүлээн авагч болон илгээх төгсгөлтэй холбогдсон байна.

Хэмжилт хийх RRU-ийн дотоод блок диаграммыг Зураг 9.2-т үзүүлэв., Үүнд: CPU, Flash санах ой, DDR, орны засварлах боломжтой гаралтын массив орно.

Уг систем нь FPGA, уруудах шугамын модуль, өгсөх шугамын модуль болон оптик шугамын модулийг агуулдаг;

FPGA нь CPU-тэй суурин BUS Local BUS-ээр, FPGA нь DDR-тэй, FPGA нь уруудах шугамын модуль, өгсөх шугамын модуль, оптик шугамын модулиар тус тус холбогдсон;

CPU нь Flash-тэй холбогдсон бөгөөд уруудах шугамын Хэмжилтийн өгөгдөл нь Flash-д бэхлэгдсэн;

FPGA нь MIG модуль, DUC модуль, CFR модуль, DPD модуль, DDC модуль, IR интерфейсээс бүрдэнэ.

Хоёрдугаар арга

RRU Хэмжилтийн аргын нарийвчилсан диаграммыг Зураг Х.4.3 -т үзүүлэв. RRU төхөөрөмжийг өгөгдсөн давтамжийн зурваст, 40дБм-ийн бүрэн радио давтамжийн

гаралтын чадал, мэдрэмжийн индексийн шаардлага -103.5 дБм, оптик портын өгөгдлийн 10ГБит/сек-ийн утгад туршихад дараах алхмуудтайгаар гүйцэтгэнэ:

Нэгдүгээр алхам, RRU-г турших, шалгалтын төлөвийг оруулах командыг дээд түвшний тестийн программ хангамжаар илгээх.

Тухайн хэрэгжүүлэлтийн үед RRU-г эхлүүлдэг (алхам 110), RRU нь RRU-ийн төлөвийг (алхам 120) тухайлж, RRU нь хэмжилтийн төлөвт байгаа эсэхийг тухайлдаг (алхам 130), хэрэв RRU хэмжилтийн төлөвт байхгүй бол RRU ихэвчлэн эхэлдэг (алхам 131).

Хоёрдугаар алхам бол RRU нь хэмжилтийн төлөвт орж, DDR өөрөө хэмжилтийг гүйцэтгэдэг.

Тухайн хэрэгжилтийн хувьд DDR-ийн өөрийгөө шалгах (алхам 140) нь DDR-ийн унших-бичих нь хэвийн эсэхийг шалгах, логик тестийн өгөгдлийг бичих, уншихыг өөрөө шалгах, өгөгдөл оруулах, унших нь нийцэж байгаа эсэхийг харьцуулах, дүгнэх зэрэг орно. DDR өөрийгөө шалгах тест тэнцсэн эсэхээс үл хамааран DDR өөрөө шалгах тест нь нийцэж байгаа эсэхээс шалтгаална (алхам 150), хэрэв DDR өөрөө Хэмжилтийг даваагүй бол DDR алдааны мэдээлэл гарна (алхам 151).

Гуравдугаар алхам бол дээд түвшний тестийн программ хангамж нь уруудах шугам, өгсөх шугам, оптик шугам шалгах командуудыг дарааллаар нь илгээдэг.

Тухайн хэрэгжилтийн хувьд тестийн шугамын сонголтыг оруулах (алхам 160), RRU дээд түвшний тестийн программ хангамжаас гаргасан хэмжилтийн командыг хүлээн авах, тест нь уруудах шугамын тест мөн эсэхийг тухайлах (алхам 170), хэрэв тийм бол уруудах шугамын тест хийх, хэрэв үгүй бол уг тест нь дээд түвшний тест мөн эсэхийг тухайлах (алхам 180); хэрэв тийм бол өгсөх шугамын тест оруулах, хэрэв үгүй бол оптик шугамын тест хийгдсэн эсэхийг нягтална (алхам 190); эсвэл Хэмжилтийн шугамын сонгох оролтыг хүлээнэ үү.

Дөрөвдүгээр алхамд RRU нь уруудах шугамын тест хийж, DDR уруудах шугамын өгөгдөл дамжуулах функцийг эхлүүлж, хэмжилтийн хост удирдлага нь сүлжээний портоор дамжуулан уруудах шугамын дохионы индексийн тест хийх давтамжийн спектрографыг удирддаг.

Тухайн хэрэгжилтийн хувьд RRU нь уруудах шугамын параметруудээр тохируулагдсан байдаг (алхам 171), хувилбарын дагуу RRU зөөгч давтамжийг 2585М, 2605М ба 2625М-ээр тохируулсан, зөөгчийн зурвасын өргөн нь 60М, гаралтын чадал нь 40дбм байна. 172), хэмжилтийн өгөгдөл нь CPU-ийн захын хэсэгт флашд бэхлэгдэж, хэрэглэгчийн өгөгдөл нь системийн цахилгаан тасарсан нөхцөлд хадгалагддаг, DDR нь уруудах шугамын хэмжилтийн өгөгдлийг илгээдэг, нэгдүгээрт, CPU нь Flash-д хадгалагдсан хэмжилтийн өгөгдлийг илгээж, FPGA-ийн хооронд Local BUS-ээр дамжуулан FPGA-ийн доорх DDR-д суулгаж, FPGA-ууд болон MIG-ийн модулийн дотор өгөгдлийг шууд илгээсний дараа FPGA-д өгөгдлийг илгээдэг. модуль нь тоон дохио боловсруулах модулиар DUC (тоон өгсөх шугамын хувиргалт), CFR (crest факторын бууралт), DPD (тоон урьдчилан гажуудал) болон радио давтамжийн дохиог гаргаж, дээд төвшний хэмжилтийн программ хангамж нь уруудах шугамын индексийг шалгахын тулд спектр анализатор хянадаг (алхам 173). 2585М, 2605М болон 2625М, чадал, зэргэлдээ сувгийн чадлын харьцаа (ACPR),

алдааны вектор индекс (EVM), хэмжилтийн алдааны вектор хэмжигдэхүүн бүртгэгдсэн (EVM), хэмжилтийн өгөгдөл хаагдах ба мөн DDR хаагдана.

Тавдугаар алхам, уруудах шугамын тест дууссаны дараа систем нь өгсөх шугамын индексийн Хэмжилтийг хийж, дээд түвшний Хэмжилтийн программ хангамж нь сүлжээний портоор дамжуулан RRU руу өгөгдөл илгээхийн тулд дохионы эх үүсгэврийг удирдаж, RRU нь өгсөх шугамын өгөгдлийг олж авч, дээд давхаргын Хэмжилтийн программ хангамж руу демодуляцийн боловсруулалт хийдэг.

Тухайн хэрэгжүүлэлтийн хувьд RRU-г өгсөх шугамын параметруудээр тохируулсан (алхам 181), нэгдүгээр хувилбарын дагуу RRU зөөгчийн давтамжийг 2585M, 2605M ба 2625M гэж тохируулсан, зөөгчийн зурвасын өргөн нь 60M, тохиргоо дууссаны дараа өгөгдлийн эх үүсвэрийг илгээх LTE тэжээлийн эх үүсвэрийг шалгах 101.5 дБм сүлжээний портын хяналтын дохионы эх үүсгэврээр дамжуулан RRU-д дохио өгдөг, дээд түвшний хэмжилтийн программ хангамж нь RRU-г хянадаг бөгөөд дээд түвшний хэмжилтийн программ хангамж нь DDC-д өгсөх шугамын сувгаар орж, DDC-ээр боловсруулагдсан өгөгдлийг цуглуулж эхэлдэг (алхам 182), хэрэгжүүлэлтийн явцад дээд түвшний хэмжилтийн программ хангамж нь CPU-д шийдвэр илгээж, CPU нь FPGA-ийн дотоод өгөгдлийг LP-ийн гаралтын модулиар дамжуулан удирддаг. DDC (дигитал доош хувиргалт) нь FPGA дотор үүсгэгдсэн MIG модулиар дамжуулан DDR болон, удирдамж дууссаны дараа CPU нь DDR дахь өгөгдлийг хэмжилтийн хост руу байршуулдаг (алхам 183), байршуулалт дууссаны дараа дээд давхаргын тестийн программ хангамж нь өгсөх шугамын индексийг шалгана (алхам 184), өгөгдлийг бичлэг хийж, хувиргах боломжтой эсэхийг шалгана. демодуляцийн нөхцөл, мэдээлэл цуглуулах функц унтарна (алхам 185).

Зургаадугаар алхам бол өгсөх шугамын хэмжилт дууссаны дараа систем нь оптик шугамын хэмжилтийг хийж, оптик порт 1 ба оптик порт 2 нь оптик кабелийн холболтыг шалгана.

Тухайн хэрэгжүүлэлтийн хувьд RRU нь оптик шугамын параметруудийг (алхам 191) тохируулдаг бөгөөд үүнд оптик портын өгөгдлийн хурдыг 10ГБит/сек, хэмжилтийн өгөгдлийн загварыг 8B10B код болгон тохируулах; CPU нь 8B10B кодын төрлийн дамжуулалтын дугаарыг эхлүүлэхийн тулд IR интерфэйсийг (BBU ба RRU хоорондын интерфэйс) тохируулдаг (алхам 192); IR интерфэйс нь T таних хугацааны алдааны кодын загварын тоог хүлээн авдаг (алхам 193); CPU нь кодын загварын алдааны тоог цуглуулж, дээд түвшний хэмжилтийн программ хангамж руу дамжуулдаг (алхам 194); дээд давхаргын хэмжилтийн программ хангамжийн код загварын алдааны өгөгдлийг бүртгэнэ; хэмжилт дууссаны дараа IR интерфэйсийн дугаар илгээх болон хүлээн авах дугаарыг таних функцүүд унтарна (алхам 195).

Долоодугаар алхам, RRU тестийг дуусгах (алхам 200).

Дээд түвшний хэмжилтийн программ хангамж нь RRU-ийн хэмжилтийг дуусгахын тулд дөрөв, тав, зургаа дахь алхамд бүртгэгдсэн хэмжилтийн өгөгдлийн дагуу уруудах шугам, өгсөх шугам, оптик шугамын хэмжилтийн дүгнэлтийг гаргана.

RRU Хэмжилтийн систем ба RRU хэмжилтийн арга нь хамгийн багадаа дараах техникийн үр дүнтэй байна:

Хэрэглээний хувилбарт RRU системийн хэмжилтийг зөвхөн RRU болон хэмжилтийн аппликашн туршиж үзэх боломжтой, нарийн төвөгтэй хэмжилтийн систем (eNodeB

систем) шаардлагагүй, нэмэлт тоног төхөөрөмж (аналог BBU систем) боловсруулах шаардлагагүй, ингэснээр RUU төхөөрөмжийн хэмжилтийн нарийн төвөгтэй байдал, хүндрэлийг багасгах, шаардлагатай төхөөрөмжийн хэмжилтийг үр дүнг бууруулахгүй, нэмэлт тоног төхөөрөмжийг шинээр шаардахгүй.

Эцэст нь хэлэхэд, дээрх хувилбарууд нь зөвхөн энэхүү шинэ бүтээлийн техникийн шийдлүүдийг дүрслэн харуулах зорилготой бөгөөд хязгаарлах зорилготой биш бөгөөд хэдийгээр энэхүү шинэ бүтээлийг жишээн дээр үндэслэн дэлгэрэнгүй тайлбарласан.

Хураангуйлан дүгнэвэл:

1. RRU хэмжилтийн арга нь дараах алхмуудаас бүрдэнэ.

Хэмжилтийн RRU-г эхлүүлэх, дээд түвшний хэмжилтийн программ хангамжаар дамжуулан хэмжилтийн төлөвийг оруулах командыг илгээх;

турших RRU нь хэмжилтийн төлөвийг оруулах командыг хүлээн авч, хэмжилтийн төлөвт орж, DDR өөрөө хэмжилтийг гүйцэтгэдэг;

Хэрэв DDR-ийн өөрийгөө шалгах ажиллагаа амжилтгүй болбол DDR-ийн алдааны мэдээллийг гаргаж, хэмжилтээс гарах; хэрэв DDR өөрийгөө шалгах тест тэнцсэн бол дээд түвшний тестийн программ хангамж нь тестийн командыг илгээдэг бөгөөд хэмжилтийн команд нь уруудах холбоосны хэмжилтийн команд, өгсөх шугамд холбох тестийн команд болон оптик шугамын хэмжилтийн командуудаас бүрдэнэ;

- Шалгах RRU нь хэмжилтийн командыг хүлээн авч, шугамын хэмжилтийг явуулдаг бөгөөд үүнд шугамын тест нь уруудах шугамын тест, өгсөх шугамын тест, оптик шугамын тестээс бүрдэнэ;
- Уруудах шугамын тест нь: RRU-ээр уруудах шугамын параметруудийг тохируулах, DDR-ээр уруудах шугамын хэмжилтийн өгөгдлийг илгээх функцийг эхлүүлэх, давтамжийн спектрографыг сүлжээний портоор дамжуулан хэмжилтийн компьютероор хянах, уруудах шугамын дохионы индексийн тест хийх;
- Өгсөх шугамын тест нь: RRU-ээр өгсөх шугамын параметруудийг тохируулах, сүлжээний портын хяналтын дохионы эх үүсгэврээр дамжуулан хэмжилтийн компьютерт шалгах аргаар RRU-д өгсөх шугамын тестийн өгөгдлийг илгээх, DDR-ээр өгөгдөл цуглуулах функцийг эхлүүлэх, олж авсан өгөгдлийг хэмжилтийн компьютерт дамжуулах, хэмжилтийн компьютероор өгсөх шугамын дохионы индексийн тест хийх;
- Оптик шугамын хэмжилт нь оптик шугамын холболтыг шалгахын тулд шилэн кабелийн холболтын горимыг ашигладаг.

2. RRU хэмжилтийн арга бөгөөд DDR өөрөө шалгах арга нь: мөн DDR унших-бичих нь хэвийн эсэхийг шалгах, өөрөө шалгах логикоор өгөгдөл оруулах, уншихыг шалгах, өгөгдөл бичих болон унших нь нийцэж байгаа эсэхийг харьцуулах, дүгнэх зэрэг орно.

3. 1-д заасан нь RRU хэмжилтийн арга бөгөөд үүнд уруудах шугамын параметруудийг тохируулах RRU нь RRU зөөгч давтамж, зөөгчийн зурвасын өргөн, гаралтын чадлыг тохируулахаас бүрдэнэ.

4. 1-д заасан RRU хэмжилтийн арга, үүнд CPU (төв боловсруулах нэгж) нь уруудах шугамын хэмжилтийн үед Flash-д хийсэн уруудах шугамын хэмжилтийн өгөгдлийг

LocalbUS болон MIG (Металл идэвхгүй хий) модулиар дамжуулан DDR (давхар өгөгдлийн хурд) руу импортолдог;

FPGA нь DUC модуль, CFR модуль болон DPD модулиар дамжуулан уруудах шугамын хэмжилтийн өгөгдлийг боловсруулж, дараа нь боловсруулсан уруудах шугамын хэмжилтийн өгөгдлийг уруудах шугамын модуль руу илгээж, радио давтамжийн дохиог гаргадаг;

дээд давхаргын удирдлагын программ хангамж нь зөөгчийн чадал, зэргэлдээх сувгийн чадлын харьцаа, алдааны векторын хэмжээ зэрэг уруудах шугамын дохионы индексийн хэмжилтийг хийх давтамжийн спектрографыг хянадаг;

5. 1-д заасан RRU хэмжилтийн арга, өгсөх шугамын параметруудийг тохируулах RRU нь RRU зөөгч давтамж болон зөөгчийн зурвасын өргөнийг тохируулахаас бүрдэнэ.

6. 1-д заасан RRU хэмжилтийн арга, өгсөх шугамын хэмжилтийн үед CPU нь LocalbUS-ээр дамжуулан FPGA дотоод өгөгдөл хүлээн авах модулийг удирдаж, DDC модулийн өгөгдлийн гаралтыг MIG модулиар дамжуулан DDR руу чиглүүлдэг;

- CPU нь DDR-ийн өгөгдлийг хэмжилтийн компьютерт байршуулна;

дээд төвшний хэмжилтийн программ хангамж нь өгсөх шугамын дохионы индексийн хэмжилтийг гүйцэтгэдэг, үүнд өгсөх шугамын өгөгдлийг задлах боломжтой эсэхийг шалгах;

Хэмжилт, бичлэг хийсний дараа DDR мэдээлэл цуглуулах функцийг хаана.

7. 1-ийн RRU хэмжилтийн арга нь оптик шугамын хэмжилт нь:

RRU-ээр оптик шугамын параметруудийг тохируулах;

оптик шугамын хэмжилтэд CPU нь 8B10B код дамжуулах дугаарыг эхлүүлэхийн тулд IR интерфейсийг тохируулдаг;

IR интерфейсээр таних хугацаанд алдааны кодын загварын дугаарыг хүлээн авах;

CPU нь алдааны кодын тоог цуглуулж, хэмжилтийн компьютерт дамжуулдаг;

дээд давхаргын хэмжилтийн программ хангамжийн код загварын алдааны өгөгдлийг бүртгэдэг;

мөн IR интерфейсийн дугаар илгээх, хүлээн авах таних функцийг унтраах.

8. RRU Хэмжилтийн арга, оптик шугамын параметруудийг тохируулах RRU нь оптик интерфейсийн өгөгдлийн хурдыг 10 ГБит/сек тохируулна.

1. RRU Хэмжилтийн арга, түүний шинж чанар нь дараах алхмуудыг агуулна.

Хэмжилтийн RRU эхлэхийг хүлээж, дээд давхаргын тестийн программ хангамжаар дамжуулан хэмжилтийн төлөвийн командыг илгээнэ;

Хэмжилтийн хүлээгдэж буй RRU хүлээн авах командыг тайлбарлаж, хэмжилтийн төлөвийг тайлбарлаж, хэмжилтийн төлөвийг оруулж, DDR автоматаар эхлүүлэх;

Хэрэв DDR автоматаар дамжихгүй бол DDR-ийн эвдрэлийн мэдээллийг гаргаж, DDR автоматаар тэнцэхгүй бол тест хийх;

Дээд түвшний тестийн программ хангамж нь доод холбоосны тест команд, дээд холбоосны тест команд, оптикийг багтаасан тест командыг илгээдэг.

Холболтын хэмжилтийн захиалга;

RRU тушаалыг хүлээн авахдаа урагшлах холбоосны хэмжилтийг гүйцэтгэдэг бөгөөд урагшлах холбоосны хэмжилт нь доош чиглэсэн холбоосны хэмжилтийг агуулдаг.

Өгсөх шугамын тест, оптик шугамын тест;

Дээр дурдсан доод урсгалын холболтын хэмжилтэд дараах зүйлс орно: RRU тохиргооны доод параметрууд, DDR идэвхтэй дамжуулалтын доод хэмжилтийн өгөгдлийн функц, хэмжилтийн тооцоо

Сүлжээний хяналтын дохиог ашиглан доод урсгалын дохионы заагчийг шалгах;

Дээр дурдсан холбоосны тест нь RRU тохиргооны параметруудийг агуулдаг бөгөөд хэмжилтийн компьютер нь сүлжээний портын удирдлагаар дамжуулан дээд талын дохиог дамжуулдаг.

Хэмжилтийн өгөгдлийг RRU болон DDR цуглуулдаг. Дараа нь цуглуулсан өгөгдлийг хэмжилтийн компьютерт шилжүүлдэг.

Тайлбарын тестийг дамжуулж буй компьютер өгсөх шугамын дохионы заагч тест;

Дээрх оптик шугамын хэмжилтийн арга нь оптик шугамын холболтыг шалгахын тулд шилэн кабелийн гогцоог ашигладаг.

2. Нэгдүгээр шаардлагад тухайлсан RRU-ын хэмжилтийн арга нь 1-р шаардлагад тухайлсан DDR хэмжилтийн аргыг багтаадгаараа онцлогтой.

Хэрэв энэ нь хэвийн биш бол өөрөө тооцоолох тест нь өгөгдлийг оруулж, уншиж, өгөгдөл нь нийцэж байгаа эсэхийг харьцуулан дүгнэдэг.

3. Патентын нэхэмжлэлийн 1-д тухайлсан RRU Хэмжилтийн арга бөгөөд энэ нь RRU тохиргооны доор тухайлсан параметруудээр тодорхойлогддог.

4. Үндсэн шаардлага 1. Өгөгдсөн RRU-ын хэмжилтийн арга, түүний тухайн заасан байршилд RRU-г байршуулах ба иж бүрэн байршуулалт хийнэ. тохиргоог RRU нэвтрүүлэгчийн давтамж, нэвтрүүлэгчийн зурвасын өргөн, гаралтын чадлыг доод утгыг уруудах шугамын параметруудэд тохируулна.

Мэдээллийн товчилсон хураангуй.**Гадаад товчилсон үгийн тайлбар**

№	Товчилсон үг	Тайлбар Eng	Тайлбар Mon	Бүлэг No
1	RRU	Remote Radio Unit	Алсын радио нэгж	1
2	LTE	Long-Term Evolution	Урт хугацааны хувьсал	1
3	UE	User Equipment	Хэрэглэгчийн төхөөрөмж	1
4	BTS	Base Terminal Station	Бааз терминал станц	1
5	BBU	Base Band Unit	Үндсэн зурвасын нэгж	1
6	3GPP	Third Generation Partnership Project	Гурав дахь үеийн түншлэлийн төсөл	1
7	EIA/TIA	Electronic Industries Alliance /Telecommunicatio ns Industry Association	Электроник үйлдвэрлэлийн холбоо /Цахилгаан холбооны үйлдвэрлэлийн холбоо	2
8	ETSI	European Telecommunication s Standards Institute	Европын Цахилгаан холбооны стандартын институт	2
9	4G LTE eNB	4G Long Term Evolution Enhanced Node B	Дөрөвдүгээр үеийн урт хугацааны хувьсал Сайжруулсан зангилаа B	3
10	RAN	Radio Access Network	Радио хандалтын сүлжээ (PXC)	4
11	C-RAN	Centralized Radio Access Network	Төвлөрсөн радио хандалтын сүлжээ	4
12	V-RAN	Virtual Radio Access Network	Виртуал радио хандалтын сүлжээ	4
13	NTE	Not-To -Exceed	Хэтрүүлэхгүй	4, 10
14	UPS	UninteRRUptible Power Supply	Тасалдалгүй эрчим хүчний систем	4
15	IT	Information Technology	Мэдээллийн технологи (MT)	4
16	NFV	Network Functions Virtualization	Сүлжээний функцийн виртуалчлал	4

17	NSP	Network Service Platform	Сүлжээний үйлчилгээний платформ	4
18	URLLC	Ultra Reliable and Low Latency Communications	Хэт найдвартай, бага хоцролттой холбоо	4,5
19	CPRI	Common Public Radio Interface	Олон нийтийн радиогийн нийтлэг интерфейс	4
20	MIMO	Multi-Input Multi-Output	Олон оролт-олон гаралттай	4
21	eCPRI	Enhanced CPRI	Хөгжсөн CPRI	4
22	PtP	Point To Point	Цэгээс цэгт	5
23	PtMP	Point To Multi Point	Цэгээс олон цэгт	5
24	RRH	Remote Radio Head	Алсын зайн радио толгой	5
25	MNO	Mobile Network Operator	Мобайл сүлжээний оператор	5
26	mm Wave	Millimeter Wave	Мм-ийн долгион	5
27	5G eMBB	Fifth Generation Enhanced Mobile Broadband	Тавдугаар үеийн сайжруулсан хөдөлгөөнт холбооны өргөн зурвас	5
28	PA	Power Amplifier	Чадлын өсгөгч	5
29	RF	Radio Frequency	Радио давтамж	5
30	VCO	Voltage Controlled Oscillator	Хүчдэлийн удирдлагатай осциллятор	5
31	QoS	Quality Of Service	Үйлчилгээний чанар	
32	LVDC	Low Voltage Direct Current	Бага хүчдэлийн шууд гүйдэл	5
33	NTE	Network Telecommunication Ethernet	Сүлжээний цахилгаан холбооны төхөөрөмж	5
34	PoE	Power Over Ethernet	Ethernet-ээр дамжуулах чадал	5
35	AWG	American Wire Gauge		5
36	ITU-T	International Telecommunication Union Telecommunication	Олон улсын цахилгаан холбооны байгууллага - цахилгаан холбоо	5

37	RFT-V	Remote Feeding Telecommunication - Voltage	Цахилгаан холбооны алсын зайн тэжээлийн - хүчдэл	5
38	RFT-C	Remote Feeding Telecommunication - Current	Цахилгаан холбооны алсын зайн тэжээл-гүйдэл	5
39	BS	Base Station	Бааз станц	5
40	OBUE	Operation Band Undesired Emissions	Ажиллагааны зурвасын хүсээгүй цацаргалт	6
41	NR	New Radio	Шинэ Радио	
42	RBS	Radio Base Station	Радио бааз станц	9
43	$P_{e.i.r.p}$	Equivalent Isotropic Radiated Power	Эквивалент жигд цацаргалтын чадал	8
44	UWB	Ultra-Wideband	Хэт өргөн зурвасын	10
45	CL	Cable Loss	Кабелийн алдагдал	8
46	TE	Total Emmisions	Нийт цацаргалт	8
47	UE	Ultra Emissions	Хэт цацаргалт	8
48	OE	Other Emmisions	Бусад цацаргалт	8
49	UE	Undesired Emissions	Хүсээгүй цацаргалт	8
50	DUT	Device under test	Туршигдаж буй төхөөрөмж	8
51	RBW	Resolution Bandwidth	Зурвасын өргөний нарийвчлал	10
52	VBW	Visual Basic Workspace	Визуал Basic ажлын талбар	10
53	RMS	Root mean square	Дундаж квадрат утга	10
54	LNA	Low Noise Amplifier	Бага шуугианы өсгөгч	10
55	UE-TP	Total Power Spectral Density of undesired UWB emissions	Хэт өргөн зурвасын хүсээгүй цацаргалтын спектр нягтын нийт чадал	10
56	PRF	Pulse-repetition frequency	Импульсийн давталтын давтамж	10.3.3
57	LBT	Listen Before Talk	Ярилцахаас өмнө сонсох	10.4
58	ODC	Outdoor connectors	Гадна холбогч	10.5

59	UMTS	Universal Mobile Telecommunication s System	Нийтлэг хөдөлгөөнт холбооны системийн стандарт	10.5.1
60	BMA	Bio-Matched Antennas	Био-зохицуулсан антенууд	10.5.3
61	VSWR	Voltage standing wave ratio	Хүчдэлийн байнгын долгионы харьцаа	10.5.3.2
62	RCU	Remote Control Unit	Алсын зайн удирдлагын хэсэг	3
63	RET	Remote Electrical Tilt	Алсын зайн цахилгаан хазайлт	3
64	DPD	Digital Pre-Distortion	Тоон урьдчилсан гажуудал	3
65	CFR	Crest Factor Reduction	крест фактор бууруулалт	3
66	RET	Remote Electrical Tilt	Алсын зайн цахилгаан хазайлт	3
67	TDD	Time Division Duplex	Хугацааны хуваалттай дуплекс	
68	FDD	Frequency Division Duplex	Давтамжийн хуваалттай дуплекс	
69	CPU	Central Processing Unit	Төв боловсруулалтын хэсэг	
70	DDR	Dynamic random access memory	Динамик санамсаргүй хандалтын санах ой	
71	FPGA	Field-editable gate array		
72	MIG	Memory Interface module	Санах ойн интерфэйсийн модуль	
73	DUC	Digital Up Converter	Тоон өгсөх хувиргагч	
74	DPD	Digital Pre-Correction	Тоон урьдчилсан засвар	
75	DDC	Digital Down Conversion	Тоон уруудах хувиргагч	
76	DDR	Double-data-rate	Давхар өгөгдлийн хурд	
77	ACPR	Adjacent Channel Power Ratio	Зэрэгцээ сувгийн чадлын харьцаа	

78	EVM	Error Voltage means		
79	SAS	Spectrum Access System	Спектр хандалтын Систем	
80	MIG	Metal-inert gas	Метал идэвхгүй хий	
81	NDN	Network Distribution Node	Сүлжээний түгээх зангилаа	10
82	NTE	Network Telecommunication s Equipment	Сүлжээний цахилгаан холбооны төхөөрөмж	
83	RSRP	Reference Signal Received Power	Хүлээн авсан дохионы чадлын эталон	1
84	RSRQ	Reference Signal Received Quality	Хүлээн авсан дохионы чанарын эталон	1
85	DU	Distributed Unit	Тараах хэсэг	
86	RSE	Radiated Spurious emissions	Цацаргасан хуурамч цацаргалт	4
87	TRP	Total Radiated Power	Нийт цацаргалтын чадал	7

НОМ ЗҮЙ

- CISPR 22: "Information technology equipment - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement", including proposed modification of CISPR 22 on emission limits and methods of measurement from 1 ГГц to 6 ГГц from December 2003".
- ETSI TR 102 495-2: "Technical characteristics for SRD equipment using Ultra WideBand Sensor technology (UWB); System Reference Document; Part 2: Object Discrimination and Characterization (ODC) applications for power tool devices operating in the frequency band of 2,2 ГГц to 8,5 ГГц.
- IPG Report GB 174e/2006: "Market Enquiry: Typical Wall Constructions in Germany, England and France " TG3#14_11, Fraunhofer Institut Bauphysik.
- ECC Report 123, THE IMPACT OF OBJECT DISCRIMINATION AND CHARACTERIZATION (ODC). • APPLICATIONS USING ULTRA-WIDEBAND (UWB) TECHNOLOGY ON RADIO SERVICES, Vilnius, September 2008.
- CEN EN 206-1 (2000): "Concrete - Part 1: Specification, Performance, Production and Conformity".