

Үүрэн холбооны интерференц

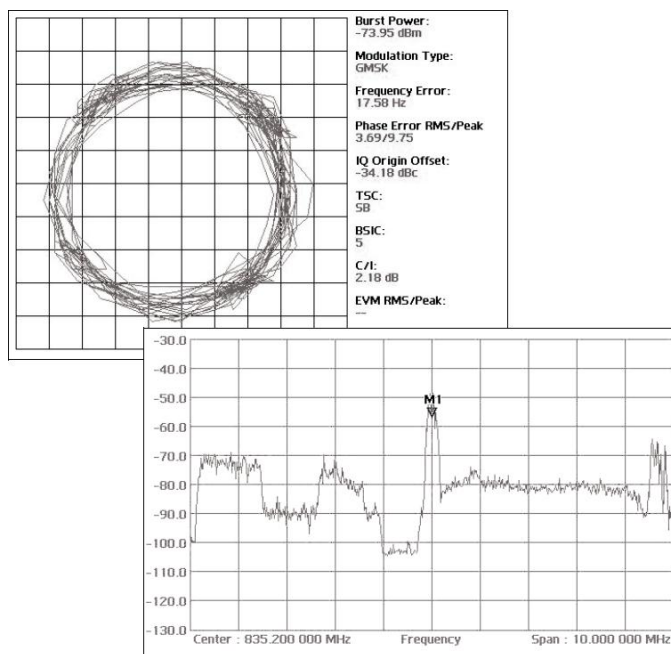
Интермодуляц ба зурвасыг дахин төлөвлөх

Бэлтгэсэн: Ц.Батхүү

Үүрэн холбооны интерференц¹ нь радио хандалттай сүлжээний (Radio Access Network-RAN) хувьд хамгийн нийтлэг асуудлуудын нэг юм. Хөдөлгөөнт холбоо, дохиолол, утасгүй дотоод сүлжээ (wifi), тоон өргөн нэвтрүүлэг, өөр бусад төрлийн системүүд болон үйлчилгээнүүд тус бүр дохионы давхцал эсвэл харилцан нөлөөллөөс сэргийлэн төлөвлөгдсөн радио давтамжийн зурвас ашигладаг.

Хэдий тийм боловч бусад утасгүй үйлчилгээнүүд гармоник², давтамжийн шилжилт, эсвэл битүүмжлэлээс алдагдал үүсгэхгүй байлаа ч гэсэн үүрэн холбооны сайтууд нь холболт, кабель, эсвэл антенн зэрэг идэвхгүй эд ангиудын үл зохицолдооноос хамаарсан дотоод интерференцэд өртдөг. Энэ дотоод интерференц нь хүлээн авах талын (uplink) радио давтамжийн зурваст интермодуляцийн³ дохионуудыг үүсгэдэг.

Радио хандалттай сүлжээнд үүсэх өөр нэг нийтлэг дотоод интерференц нь зурвасыг дахин төлөвлөлтөөс шалтгаалан үүсдэг. Үүрэн холбооны операторууд GSM ба WCDMA зэрэг өөрсдийн хуучин технологитой үед сүлжээгээ LTE-рүү хөгжүүлэхдээ хэрэглэгчдийг өндөр хурдаар хангахын тулд давтамжийг дахин төлөвлөж ашигладаг. Энэ арга нь LTE-ийг шат дараалсан аажим нэвтрүүлэлтийг дэмждэг. Хязгаарлагдмал давтамжийн зурваст олон системийг зэрэгцүүлэх нь хөдөлгөөнт холбооны операторуудыг зөөгчийн тоог нэмэгдүүлэх, давтамжийг дахин ашиглах нөхцөлд хүргэх бөгөөд энэ нь радио хандалттай сүлжээний дотоод интерференцэд хүргэнэ.



¹ Интерференц – Харилцан нөлөөлөл

² Гармоник – Нэвтрүүлэгчээс үүссэн үндсэн зөөгч дохионы давтамжийг хоёр, гурав, дөрөв гэх мэт дахин үржигдэж гарсан утга бүхий дохио.

³ Интермодуляц – Зөөгч дохионы давтамж болон үндсэн дохионы давтамж хоорондын модуляц буюу давтамжуудыг нэгтгэсэн хувиргалтын үр дүнгээс үүсэх боловсруулагдсан дохио.

Интермодуляц

Идэвхгүй элементүүд дээрх интермодуляц гэдэг нь хоёр зөөгч дохионуудыг сул холболттой, хэт гулзайсан кабельтай, өөр өөр төрлийн металл холболттой, эсвэл зэврэлттэй зэрэг үл зохицолдсон кабелийн системээр дамжуулах үед бий болно.

Энэ интермодуляц нь боловсруулагдсан дохио эсвэл нэвтрүүлэгдсэн хоёр зөөгч дохионы үржвэр дохионуудыг үүсгэдэг. Жишээлбэл: А дохио F_1 давтамжаар, В дохио F_2 давтамжаар нэвтрүүлэгдэж байгаа үед гурав дахь горимын интермодуляц нь дараах дөрвөн дохионуудыг үүсгэнэ:

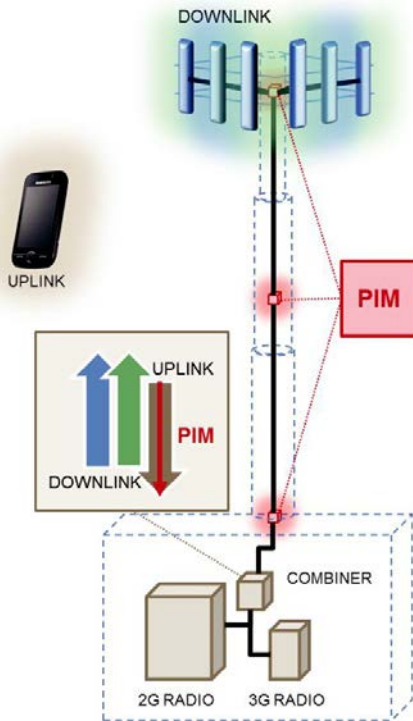
а. $[2 \times F_1 + F_2]$

б. $[2 \times F_1 - F_2]$

в. $[2 \times F_2 + F_1]$

г. $[2 \times F_2 - F_1]$

Үүнтэй адил тав дахь горимын интермодуляц нь $[3 \times F_1 + 2 \times F_2]$ болон $[2 \times F_1 + 3 \times F_2]$ дохионуудыг үүсгэнэ. Ийм хэлбэрээр дараа дараагийн 7, 9 дэхь горимын дохионууд тус бүр бага чадалтайгаар үүсгэгдэнэ.



Зураг 1. Үүрийн сайтын интермодуляц

Үүрэн холбооны интермодуляцийн нөхцөл нь өөр өөр зөөгчүүд ижил давтамжийн зурваст ашиглагдах, өөрөөр хэлбэл 800 МГц-ийн зурваст GSM ба WCDMA гэх мэт эсвэл GSM-ийн 128-р суваг (төвийн давтамж FGSM = 869.2 МГц) болон WCDMA-ийн 4458-р суваг (FWCDMA = 891.6 МГц) ашиглах юм. Энэ нөхцөлд гурав дахь горимын интермодуляц нь:

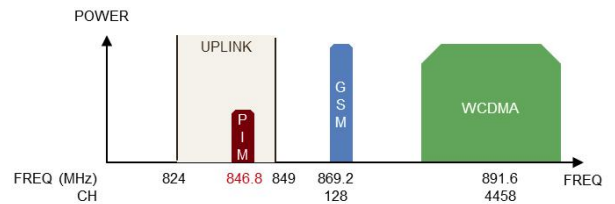
а. $2 \times F_{GSM} + F_{WCDMA} = 2,630 \text{ MHz}$

б. $2 \times F_{GSM} - F_{WCDMA} = 846.8 \text{ MHz}$

в. $2 \times F_{WCDMA} + F_{GSM} = 2,642.4 \text{ MHz}$

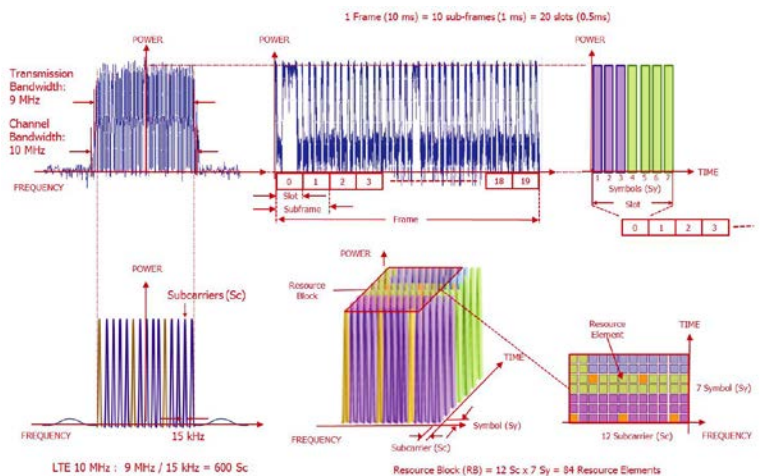
г. $2 \times F_{WCDMA} - F_{GSM} = 914 \text{ MHz}$

Дээрх жишээнд гурав дахь горимын интермодуляц (б) буюу 846.8 МГц-ийн дохио нь хөдөлгөөнт төхөөрөмжийн нэвтрүүлэх зурвас 824-849 МГц-д хамаарч байна.



$PIM_{IM3} = 2 \times F1_{GSM} - F2_{WCDMA} = 2 \times 869.2 - 891.6 = 846.8$
Зураг 2. Зурвас 850-ийн GSM ба WCDMA-ийн интермодуляц

Интермодуляц нь радио дохиог дэд зөөгчүүдийн (15 кГц) нийлбэрээр өргөн зурвасыг бий болгосон LTE сүлжээнд мөн илэрнэ. Жишээлбэл: 10 МГц-ийн өргөнтэй LTE суваг нь 600 дэд зөөгчүүдээс бүрдэнэ.



Зураг 3. LTE-FDD дохионы хэлбэр

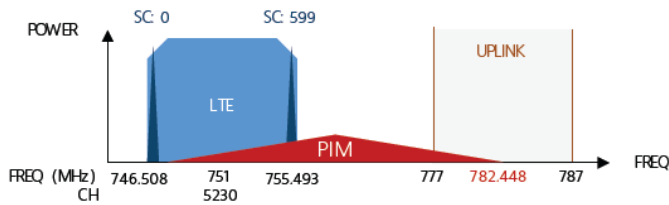
Үл зохицолдсон шинж чанартай дамжууллын шугамын LTE-ийн дэд зөөгчүүдийн харилцан үйлчлэл нь хөдөлгөөнт төхөөрөмжийн (гар утас) нэвтрүүлэлтэй хамт интермодуляц үүсгэнэ.

Дараахь жишээнд 5230-р сувгийн 751 МГц-ийн төвийн давтамжтай 13-р зурвас дахь 10 МГц-ийн өргөнтэй LTE-FDD дохионы интермодуляцийг үзүүлэв. Дэд зөөгч 0-ийн төвийн давтамж нь 746.508 МГц ба дэд зөөгч 599-ийн төвийн давтамж 755.403 МГц байх интермодуляцийн дохиог дараах хүснэгтээр үзүүлбэл:

Хүснэгт 1. LTE 5230-р сувгийн интермодуляц

3-р интермодуляц	МГц
$2 \times F_{SC0} + F_{SC599}$	2,248.508
$2 \times F_{SC0} - F_{SC599}$	737.523
$2 \times F_{SC599} + F_{SC0}$	2,257.493
$2 \times F_{SC599} - F_{SC0}$	764.478
5-р интермодуляц	МГц
$3 \times F_{SC0} + 2 \times F_{SC599}$	3,750.508
$3 \times F_{SC0} - 2 \times F_{SC599}$	728.538
$3 \times F_{SC599} + 2 \times F_{SC0}$	3,759.493
$3 \times F_{SC599} - 2 \times F_{SC0}$	773.463
7-р интермодуляц	МГц
$4 \times F_{SC0} + 3 \times F_{SC599}$	5,252.508
$4 \times F_{SC0} - 3 \times F_{SC599}$	719.553
$4 \times F_{SC599} + 3 \times F_{SC0}$	5,261.493
$4 \times F_{SC599} - 3 \times F_{SC0}$	782.448

Дээрх нөхцөлд 7-р интермодуляцийн дохио 782.448 МГц-д үүссэн байгаа нь хүлээн авах талын 777-787 МГц-ийн зурваст хөдөлгөөнт төхөөрөмжийн хамт нөлөөлөх шалтгаан болох магадлалтай.



$$PIM_{IM7} = 4 \times F_{SC599} - 3 \times F_{SC0} = 4 \times 755.493 - 3 \times 746.508 = 782.448$$

Зураг 4. LTE 700-ийн интермодуляц

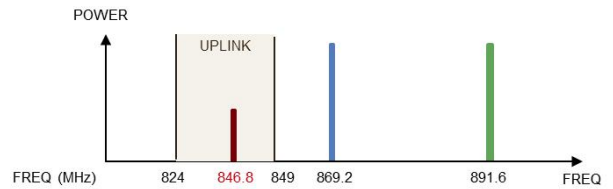
Хүлээн авах зурваст нөлөөлж байгаа интермодуляц 7 нь бага чадалтай, GSM систем шиг нэг зөөгчийн интермодуляцийн хувьд чухал ач холбогдолгүй байна. Хэдий тийм ч LTE-ийн олон дэд зөөгчүүдээс хамааран энэ

интермодуляцийн бүтээгдэхүүн нь өөр өөр давтамжуудад үржигдэнэ. Энэ нь 7-р интермодуляцийн бүтээгдэхүүний (PIM) чадлын түвшинг тууштай нэмэгдүүлнэ. Эндээс үүсгэгдсэн интерференц нь хүлээн авах талын зурваст спектрийн шугамыг гажуудуулсан өргөн налуу хэлбэртэй байна.

Интермодуляцийн туршилт

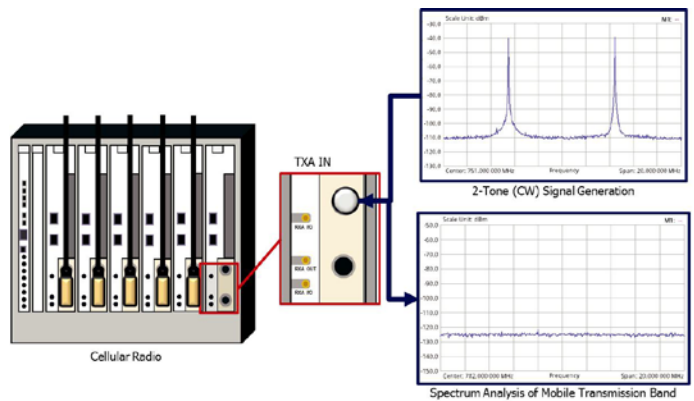
Үүрэнгийн сайтад интермодуляцийн туршилт хийх үндсэн хоёр арга байдаг. Интрузив болон интрузив бус.

- **Интрузив туршилт** — Энэ арга нь үүрийн сайтыг үйлчилгээнээс гарган, хэмжилтийн төхөөрөмжтэй холбон, радио зөөгчтэй ижил өндөр чадлын үргэлжилсэн дохио (20 Вт эсвэл 43 дБм) үүсгэхийг шаардана. Дараа нь хөдөлгөөнт төхөөрөмжийн нэвтрүүлэлтэй хамт нөлөөлөл үүсгэх хангалттай өндөр чадалтай интермодуляцийн бүтээгдэхүүн үүссэн эсэхийг харна. Дараахь диаграммд өмнөх 850 МГц-ийн зурвасын GSM ба WCDMA жишээг ашиглан хийсэн аргачлалыг үзүүлэв.



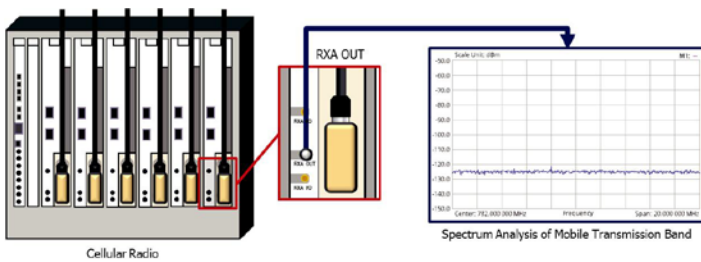
$$PIM_{IM3} = 2 \times F1 - F2 = 2 \times 869.2 - 891.6 = 846.8$$

Зураг 5. Хоёр үргэлжилсэн дохионууд 850-ийн зурваст интермодуляцийн бүтээгдэхүүн (PIM) үүсгэсэн байдал.



Зураг 6. Интрузив PIM туршилт

• **Инtruзив бус туршилт** — Энэ арга нь үүрийн сайтыг үйлчилгээнд байхыг дэмжих бөгөөд үүрийн сайтын хүлээн авах хяналтын порт руу спектр анализаторыг холбоно. Хэмжилтийн төхөөрөмж нь хүлээн авах зурваст хангалттай чадлаар нөөлөлөх боломжтой бага түвшинтэй дохионуудыг шалгана. WCDMA ба GSM гэх мэт олон зөөгчтэй үүрийн сайтын хувьд энэ аргачлал нь GSM-ийн нэг зөөгчийн нэвтрүүлэлтийг идэвхигүй ба идэвхитэй болгох агшинаар интермодуляцийн бүтээгдэхүүн байгаа үгүйд харьцуулалт хийх юм. LTE-ийн нөхцөлд нэг үндсэн зөөгч олон дэд зөөгчийг нэвтрүүлэх ба хүлээн авах зурвасын шуугианы түвшинд өөрчлөгдөх интермодуляцийн бүтээгдэхүүнийг байнга үүсгэнэ. Практикт хүлээн авах зурвасын шуугианы түвшний чадлын ялгаа нь хэмжигдэнэ. Дараахь зурагт инtruзив бус туршилтын бүтцийг харуулав.



Зураг 7. Инtruзив бус туршилт

Эдгээр хоёр аргачлалын инtruзив шинж чанараас гадна үндсэн ялгаа нь үүссэн өндөр чадлын дохио тодорхой өсгөлт ба нарийн зурвасын шүүлтийг шаарддаг. Энэ нь зурвас бүрт зориулсан хэрэгслийг шаардана.

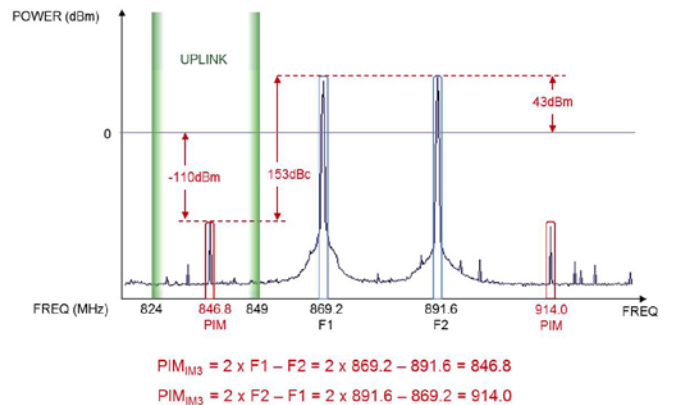
Үүнээс шалтгаалан туршилт нь ямарч зурваст хязгаарлагдахгүй, мөн интерференцийн эх үүсвэр нь гадаад эсвэл интермодуляцаас хамаарсан дотоод нөлөө эсэхийг ерөнхийд нь ялгадаг болсноос хойш инtruзив бус туршилтыг үүрийн техникт зориулагдсан сонголтын аргачлал болгосон.

Гэхдээ инtruзив туршилт интермодуляц үүсгэж байгаа идэвхгүй элемент зэрэг интермодуляцийн нэмэлт мэдээллийг авч үздэг. Жишээлбэл: Уламжлалт том үүрийн сайтад коаксаль дамжууллын шугам нь нэлээд урт байгаа нь интермодуляцаас шалтгаалсан идэвхгүй элементийг тодорхойлох, холбогдох засварыг хийх бодит байдал юм. Хэдий тийм ч коаксаль кабелийг сольсон, радио төхөөрөмжөөс антенн хүртлэх коаксаль дамжууллын шугам нь бага зэрэг урт том үүрийн сайтыг хувьд интермодуляцийг үүсгэж буй идэвхгүй элементийг авч үзэх шаардлагагүй.

Интермодуляцийг шинжлэх

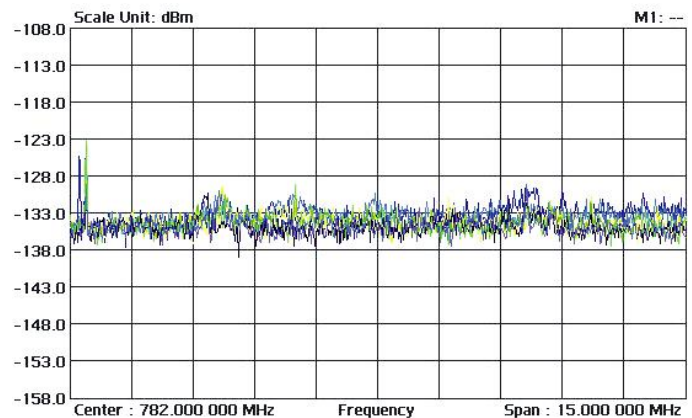
Интермодуляцийн шинжилгээний хоёр аргачлал нь мөн ижил юм. Үндсэн гол ялгаа нь чадлын түвшин ба үргэлжилсэн дохионоос интермодуляц үүссэн үед инtruзив туршилт ерөнхийдөө (dBc) нэгжээр илэрхийлэгдэнэ. Харин инtruзив бус туршилт нь тодорхой (dBm) нэгжээр илэрхийлэгдэнэ.

Дараах зурагт хоёр туршилтын аргачлал хоорондын хамаарлыг үзүүлэв. Жишээ нь: инtruзив туршилтын хамгийн их зөвшөөрөгдөж болох интермодуляцийн бүтээгдэхүүний чадлын -153 dBc түвшин нь инtruзив бус туршилтын хамгийн их зөвшөөрөгдөж болох интермодуляцийн чадлын -110 dBm түвшинтэй нийцэж байна.



Зураг 8. Интермодуляцийн шинжилгээ

Эцэст нь интермодуляцийн шинжилгээ нь интермодуляцийн улмаас хүлээн авах зурваст үүссэн интерференцийн хэмжээг тогтоохын тулд спектр анализаторт суурилсан байх ёстой. Энэ интерференцийн хүндрэл, бэрхшээл нь үүрийг сайтыг мэдрэмжийн түвшинтэй шууд холбоотой байдаг.



Зураг 9. Интермодуляцгүй хүлээн авах зурвас (LTE: 3 тасагтай, MIMO 2x)

Хүснэгт 2. 3GPP тодорхойлсон үүрийн сайтын мэдрэмжийн түвшин

Технологи	Үүрийн сайтын төрөл	Мэдрэмж (дБм)
GSM/EDGE (3GPP TS 45.005)	Normal BTS	-104.0
	Micro BTS M1	-97.0
	Micro BTS M2	-92.0
	Micro BTS M3	-87.0
	Pico BTS P1	-88.0
CDMA (3GPP2 C.S0010-D)	Macrocell — bands 450 and 800	-117.0
	Macrocell — band 1900	-119.0
	Picocell	-117.0
	Femtocell	-110.0
WCDMA (3GPP TS 25.104)	Wide area BS	-121.0
	Medium range BS	-111.0
	Local area/home BS	-107.0
LTE (3GPP TS 36.104)	Wide area BS — 1.4 MHz	-106.8
	Wide area BS — 3 MHz	-103.0
	Wide area BS — 5, 10, 15, 20 MHz	-101.5
	Local area BS — 1.4 MHz	-98.8
	Local area BS — 3 MHz	-95.0
	Local area BS — 5, 10, 15, 20 MHz	-93.5
	Home BS — 1.4 MHz	-98.8
	Home BS — 3 MHz	-95.0
	Home BS — 5, 10, 15, 20 MHz	-93.5

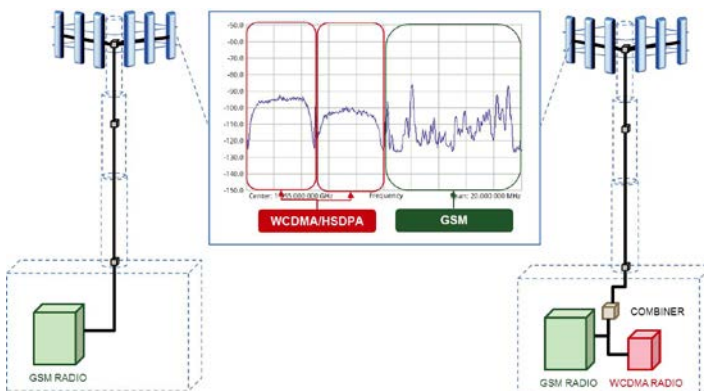
Зурвасыг дахин төлөвлөх

Үүрэн операторууд нь хамгийн үр ашигтай шилдэг үйлчилгээг тасралтгүй эрэлхийлж байдаг. Гэсэн хэдий ч хөдөлгөөнт сүлжээг бүрэн дүүрэн төлөвлөх нь чухал ач холбогдолтой цогц ажил байдаг.

- Хөдөлгөөнт үйлчилгээ үзүүлэгч бүх боломжит хэрэглэгчдийг хангалттай бүрхэх ёстой
- Хөдөлгөөнт үйлчилгээ ярианы холболтоос өндөр хурд хүртэл өндөр чанартай байх ёстой
- Сүлжээ нь GSM-ээс WCDMA-рүү болон хязгаарлагдмал зурвастай LTE шинэ утасгүй технологиудад хөгжих хэрэгтэй
- Хэрэглэгчид зөвхөн ярианы үйлчилгээнээс (GSM) өндөр хурдны өгөгдлийн хэрэглээ (WCDMA/HSDPA ба LTE) рүү шилждэг гэх мэт.

Сүлжээний технологийн хөгжил ба нэмэлт үйлчилгээнд орох хэрэглэгчдийн шилжилт нь хуучин, уламжлалт, шинэ болон бусад өөр системүүдийн зэрэгцсэн ашиглалтыг сорьж, туршиж байдаг. Сүлжээний хэтийн төлөвөөс харахад GSM зэрэг хуучин технологиуд шинэ WCDMA/HSPDA, мөн LTE технологиудтай ижил үүрийн сайтад хамт байх ёстой. Хөдөлгөөнт хэрэглэгчдийн хэтийн төлөвөөс харахад үүрийн ижил үйлчилгээний хамрах хүрээнд хэрэглэгчид зөвхөн яриа болон дата эсвэл өндөр хурд шаардсан дүрст хэрэглээг сонирхох болно.

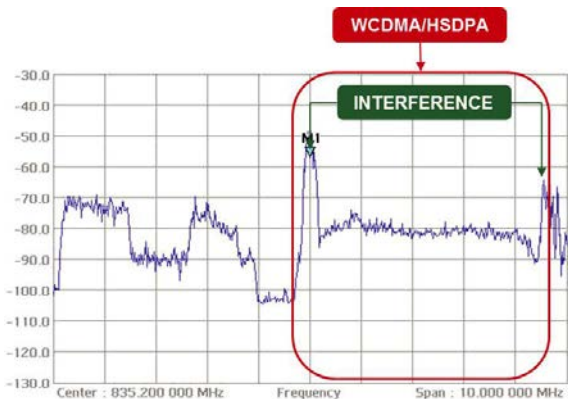
Хязгаарлагдмал зурвас дахь системүүдийн зэрэгцсэн ашиглалт нь үүрэн холбооны операторуудыг давтамжийг дахин ашиглахад хүргэсэн. Жишээ нь: Тэд давтамжийн дахин төлөвлөлт хийж, GSM-ийн зөөгчийг WCDMA/HSDPA эсвэл LTE-ийн зурваст ашигласан. Ингэснээр олон утасгүй технологиуд ижил давтамжийн зурваст нэвтрүүлэгдэж байна.



Зураг 10. 1900 МГц-ийн зурвасын WCDMA/HSDPA ба GSM-ийн зөөгчүүд

Энэ дахин төлөвлөлтийг интерференцэд өртөхгүйн тулд болгоомжтой төлөвлөн зохион байгуулах ёстой. Жишээлбэл: Хамгаалалтын зурвасгүй зөөгчийн ашиглалт нь зөөгчийн давхцал болон сувгууд хоорондын интерференц үүсгэх нөхцөл болох магадлалтай. Ийм маягаар аль нэг дохионы ямарч давтамжийн өөрчлөлт нь мөн сувгийн давхцал болон интерференцийн шалтгаан болно.

Дараах зурагт доод болон дээд зурвасын интерференцтэй хоёр WCDMA дохиог үзүүлэв.

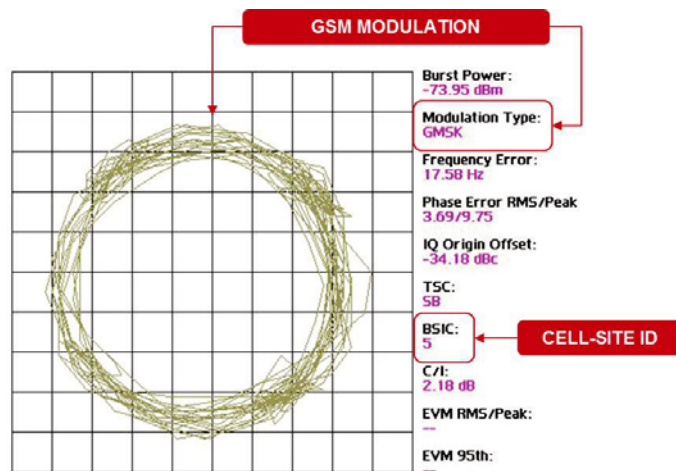


Зураг 11. WCDMA/HSDPA интерференц

Үндсэндээ интерференцийн дохио үүсэх үед гажуудлыг шуурхай илрүүлэх үйл явц нөлөөллийн эх үүсвэрийг тогтооно. Энэ нь интерференцийн дохио хүчтэй илэрч байгаа газрыг олохын тулд чиглэлтэй антеннаар өөр өөр газарзүйн байршилд олон тооны хэмжилт хийхийг шаардана. Гурвалжин бүс буюу гурвалсан цэгийн хэмжилт нөлөөллийн байршлын бүсийг тогтооно.

Энэ интерференц хайх үйл ажиллагаа нь хэдэн цаг эсвэл хэдэн өдөр шаардах бөгөөд хэрэв интерференц нь тасалданги бол хэдэн долоо хоногоор ч уртасна. Дохиог шинжлэн таних ажиллагааны чадвар нь интерференцийг тодорхойлохоос өмнө гажуудлын хугацааны гол шаардлагатай утгыг хадгалах боломжтой.

Дохио шинжилгээ гэдэг нь дохиог дамжуулж байгаа үүрийн дугаар болон түүний модуляцийн талаарх мэдээллийг илүү нарийн тодорхойлохын тулд дохионд демодуляц хийх боломж юм. Дээрх жишээнд WCDMA сувгуудтай интерференцийн дохио GMSK (GSM) модуляцаар шинжлэн танигдаж байна. Үүнээс гадна шинжилгээнд дохио дамжуулж байгаа сайтын үүрийн дугаарыг тодорхойлсон байна.



Зураг 12. GSM модуляцийн шинжилгээ

Энэ нь олон үүрэн операторуудад тулгардаг давтамжийн дахин төлөвлөлтийн нийтлэг интерференцийн шинж юм. Одоо тэд интерференцийн асуудлуудаа шуурхай тодорхойлох болон шийдвэрлэх дохио шинжилгээний давуу талыг ашиглах боломжтой.