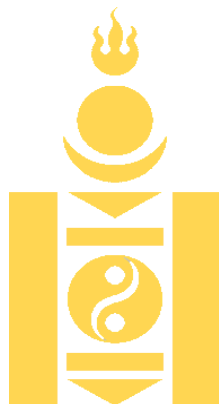


Төсөл

МОНГОЛ УЛСЫН СТАНДАРТ



**ЦУУРАЙГҮЙ ЧАМБЕРТ РАДИО ТӨХӨӨРӨМЖИЙН ТАРХАЛТЫН БОЛОН
ХЭЛХЭЭНИЙ ПАРАМЕТРУУДИЙГ ХЭМЖИХ АРГАЧЛАЛ**

MNS :

Албан хэвлэл

**СТАНДАРТЧЛАЛ, ХЭМЖИЛЗҮЙН ГАЗАР
УЛААНБААТАР ХОТ
2026 ОН**

Стандартчилал, хэмжилзүйн газар (СХЗГ):

Энх тайваны өргөн чөлөө 46А

Шуудангийн хаяг:

Улаанбаатар -211051,Ш/Х-48

Утас: 976-51-263860

Факс: 976-11-458032

E-mail:masm@mongol.net

© СХҮТ, 2026

Стандартчилал тохирлын үнэлгээний тухай Монгол Улсын хуулийн дагуу энэхүү стандартыг бүрэн эсвэл хэсэгчлэн хэвлэх, олшруулах эрх нь гагцхүү СХЗГ (Стандартчилал, баталгаажуулалтын төв байгууллага) -д байна.

АГУУЛГА

1. Зорилго	8
2. Хамрах хүрээ	8
3. Норматив ишлэл	8
4. Нэр томъёо, тодорхойлолт ба товчилсон үгсийн тайлбар	9
5. Антену хэмжилтийн орчин	12
5.1 Ерөнхий зүйл	12
5.2 Антену хэмжилтийн орчны шалгуур	13
5.2.1 Хэмжилтийн антен ба хэмжигдэж буй антен хоорондын салаалалтын нөлөө	13
5.2.2 Хэмжилтийн амсрын хөндлөн чиглэлийн агууригийн өөрчлөлтийн нөлөө	14
5.2.3 Хэмжилтийн амсрын тууш чиглэлийн агууригийн өөрчлөлтийн нөлөө	14
5.2.4 Хэмжилтийн антену амсар дээрх фазын өөрчлөлтийн нөлөө	15
5.3 Дотоод орчны хэмжилт	16
5.3.1 Ерөнхий зүйл	16
5.3.2 Хамгаалалттай ба хамгаалалтгүй хаалттай орчин	17
5.3.3 Радио давтамжийн шингээгч-RF absorber	17
5.3.4 Тэгш өнцөг цуурайгүй чамбер /Rectangular anechoic chambers	18
5.3.5 Цуурайгүй хошуу чамбер	19
5.3.6 Ойрын оронгийн хэмжилтийн орчин	20
5.3.7 Антену хэмжилтийн авсаархан орчин	20
5.3.8 Антену үр ашгийн хэмжилтэнд хэрэглэх реверберацийн чамбер	23
6. Антену хэмжилтийн орчны тоног төхөөрөмж Antenna range instrumentation	24
6.1 Ерөнхий зүйл	24
6.2 Хэмжилтийн антен	25
6.3 Нэвтрүүлэх дэд систем	25
6.4 Хүлээн авах дэд систем	27
6.5 Байршуулах дэд систем Positioning subsystem	31
6.6 Ажлын компьютер	36
6.7 Давхцуулах аргачлал	36
6.7.1 Ерөнхий зүйл	36
6.7.2 Хэмжигдэж буй антену байршуулагчийн дотоод давхцуулалт	39
6.7.3 Хэмжилтийн антену дотоод давхцуулалт	40
6.7.4 Хэмжигдэж буй антену байршуулагчийг хэмжилтэнд тааруулах	41
6.7.5 Хоёр байршуулагчийн системийг давхцуулах	41

6.7.6	Хэмжилтийн координатын системд антеныг тааруулах	42
6.7.7	Хэмжилтийн координатын системд хэмжилтийн хавтгай долгионы фронтыг тааруулах.....	43
6.7.8	Хэмжилтийн координатын системд хэмжигдэж буй антены тохируулга.	48
7.	Антену хэмжилтийн орчны үнэлгээ.....	50
7.1	Ерөнхий зүйл	50
7.2	Чимээгүй орчны хэмжээс / Quiet zone metrics	50
7.3	Чимээгүй бүсэд оронгийн мэдрүүртэй хэмжилт	51
7.4	Хэмжилтийн авсаархан орчны чимээгүй бүсийн үнэлгээ	54
7.5	Чимээгүй чамберийг үнэлэх нь	54
7.5.1.	Чөлөөт орчны зогсоо долгионы хүчдлийн харьцааны арга.....	54
7.5.2.	Чамберийн баталгаажуулалт оношлогоонд хэрэглэдэг чимээгүй бүсийн шинж чанарын Фурьегийн шинжилгээ	59
8.	Чиглэлийн диаграммын хэмжилт	63
8.1	Ерөнхий зүйл	63
8.1.1	Үндсэн ойлголт.....	63
8.1.2	Алсын оронгийн бүс.....	64
8.1.3	Бөмбөрцөг координатын систем.....	65
8.1.4	Хэмжилтийн төрлүүд	66
8.1.5	Чиглэлийн диаграммын зүсэлтүүд	67
8.1.6	Антену хэмжилтийн үндсэн тохиргоо	70
8.2	Антену агууриг болон фазын характеристекүүдыг хэмжих.....	71
8.3	Антену фазын төв.....	72
8.4	Фазын хэмжилтүүд	72
9.	Антену өсгөлт, чиглүүлэмжийн хэмжилт	76
9.1	Ерөнхий зүйл	76
9.2	Антену өсгөлтийг хэмжих стандарт антенууд.....	80
9.3	Өсгөлтийг хэмжих стандарт антеныг тохируулах.....	80
9.3.1	Ерөнхий зүйл	80
9.3.2	Хоёр антены арга	81
9.3.3	Гурван антены арга.....	81
9.3.4	кстраполяцийн хүрээнд өсгөлтийн стандарт антенуудад калибровк хийх...	82
9.4	Өсгөлтийг шилжүүлэх хэмжилт	82
9.4.1	Шугаман туйлшралтай антены хэмжилт.....	82
9.4.2	Тойрог болон эллипс туйлшралтай антены хэмжилт	83
9.5	Өсгөлтийн хэмжилтэнд үүсэх алдаанууд	83
9.6	Чиглүүлэмжийн хэмжилт	86

9.7	Том хэмжээтэй антенуудын өсгөлтийн хэмжилт	87
10.	Туйлшралын хэмжилт	87
10.1	Ерөнхий зүйл.....	87
10.2	Туйлшралын хэмжилт	89
11.	Цацаргалтын ашигт үйлийн коэффициентийн хэмжилт	91
12.	Бүрэн эсэргүүцлийн хэмжилт	93
12.1	Ерөнхий мэдээлэл	93
12.2	Бүрэн эсэргүүцлийн зохицооны засвар.....	93
12.3	Бүрэн эсэргүүцлийн хэмжилт	95
12.4	Бүрэн эсэргүүцлийн үл зохицлын эргэлзээ	96
13.	Хэмжилтийн эргэлзээ.....	97
13.1	Ерөнхий зүйл.....	97
13.2	Хэмжилтийн авсаархан орчин- Compact range	98
13.2.1	Ерөнхий зүйл.....	98
13.2.2	Алдааны нэр томъёо.....	100

ӨМНӨХ ҮГ

Стандартчилал, хэмжил зүйн үндэсний төв (цаашид СХҮТ) олон улсын стандартчилалын байгууллагын гишүүн бөгөөд үйл ажиллагааныхаа хүрээнд улсын стандартын бодлогыг хэрэгжүүлэхэд төрийн болон төрийн бус байгууллагуудтай хамтран ажилладаг. Техникийн дэд хороодоор зөвшилцсөн энэ төсөл нь СХҮТ-ийн Зөвлөлийн тогтоолоор батлагдсанаар Монгол улсын хэмжээнд хүчин төгөлдөр стандарт болно.

Энэ стандартын төслийг ШУТИС-ийн МХТС-ийн багш доктор П.Ууганбаяр, доктор Ж.Жавзансүрэн, доктор Н.Чулуунбанди Олон улсын стандартын байгууллага (International Standardization Organization-ISO), Олон улсын Цахилгаан холбооны байгууллага (International Telecommunication Union - ITU), Европын цахилгаан холбооны стандартын институт(ETSI)-ын холбогдох стандартуудыг үндэслэн боловсруулав.

Анхны үзлэгийг 2026 онд, дараа нь 5 жил тутамд стандартын дагуу хяналт хийнэ.

МОНГОЛ УЛСЫН СТАНДАРТ

Ангилалын код

Цуурайгүй чамберт радио төхөөрөмжийн тархалтын болон Хэлхээний параметруудийг хэмжих аргачлал	MNS :2026
Measurement methodology of radiowave propagation and RF equipment parameters in anechoic chamber	

Монгол улсын Стандартчилал Хэмжилзүйн Үндэсний Төвийн Зөвлөлийн 2012 оны . .
. р сарын . . . өдрийн тоот тогтоолоор батлав.

Энэ стандартыг баталж тогтоол гаргасан өдрөөс эхлэн хүчин төгөлдөр болгон
мөрдөнө.

1. Зорилго

Энэхүү стандарт нь радио төхөөрөмжийн үүсгэж буй долгионы цацаргалт,
тархалтын шинж чанарыг антены нэвтрүүлэх ба хүлээх авах шинж чанарыг цуурайгүй
чамберт хэмжиж тогтоох аргачлалыг тодорхойлно.

2. Хамрах хүрээ

Радио долгионы тархалт үүсгэх гол элемент чанарыг антеныг идэвхигүй шугаман
хоёр талын хэрэгсэл гэж үзэж антены нэвтрүүлэх болон хүлээн авах шинж чанарыг
тогтоох хэмжилтийн аргачлалыг авч үзнэ. Антены систем нь практикт идэвхитэй хоёр
талын бус шугаман бус шинж чанартай байдаг ч энэхүү аргачлалыг зохицуулан
хэрэглэж болно. Антены нэвтрүүлэх ба хүлээн авах гол шинж чанар нь огторгуйн бүх
чиглэл дэх агууриг, фаз, туйлшралаар тодорхойлогдох чиглэлийн диаграм юм.
Түүний үр дүнгээр антены өсгөлт, чиглүүлэх чадвар цацаргалтын үр ашгийг
тооцоолно. Дохионы үүсгүүрээс антены оролтонд өгөгдөх чадал нь антены оролтын
эсэргүүцлээс хамаарах учраас антены зурвасын өргөнийг хязгаарах гол үзүүлэлт
антены оролтын эсэргүүцлийн хэмжилтийн аргачлалыг танилцуулна. Аливаа
хэмжилтийн үр дүн төгс биш эргэлзээтэй үр дүнгүүдтэй байдаг тул эргэлзээт утгыг
тогтоох аргыг мөн өгүүлэх болно.

RF төхөөрөмжийн суурилуулалт ашиглалт хэмжилт тохируулга хийдэг компани
байгууллага RF инженер техникийн ажилтнуудтай хамтарсан дээр дурьдсан
хэмжилтийг цуурайгүй чамберт хийхэд энэхүү стандартын шаардлагыг мөрдлөг
болгоно.

3. Норматив ишлэл

Энэ стандартыг боловсруулахад дараах стандарт, баримт бичгүүдийг ашигласан
болно.

[1]. IEEE Std 211, IEEE Standard Definitions of Terms for Radio Wave Propagation.

[2]. IEEE Std 145-2013, IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas

[3]. ANSI C63.4-2014, American National Standard for Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9 kHz to 40 GHz.13

[4]. Emerson, W. H., and H. B. Sefton, Jr., “An improved design for indoor ranges,” Proceedings of the IEEE, vol. 53, no 8., pp. 1079–1081, Aug. 1965.

[5]. Gordon, J. A., D. R. Novotny, M. H. Francis, R. C. Wittmann, M. L. Butler, A. E. Curtin, and J. R. Guerrieri, “Millimeter-wave near-field measurements using coordinated robotics,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 63, no. 12, pp. 5351–5362, Dec. 2015.

[6]. IEEE Std 299™-2006, IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures.

[7]. IEEE Std 1720™-2012, IEEE Recommended Practice for Near-Field Antenna Measurements.

[8]. ISO/IEC Guide 98-3:2008(E), Uncertainty of Measurement—Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM: 1995), 2008.

[9]. Newell, A. C., D. Gentle, P. Vizcaino, and Z. Tian, “Improvements in the measurement of very low cross polarization using the three-antenna polarization technique,” 41st AMTA Proceedings, San Diego, CA, pp. 3–8, Oct. 2019.

[10]. Pivnenko, S., J. M. Nielsen, and O. Breinbjerg, “Using the phase center of a standard gain horn in antenna gain determination,” 30th AMTA Proceedings, Boston, MA, pp. 334–340, Nov. 2008.

[11]. Rodriguez, V., Anechoic Range Design for Electromagnetic Measurements, Boston: Artech House, 2019.

[12]. Rodriguez V., “Basic rules for indoor anechoic chamber design,” IEEE Antennas and Propagation Magazine, Dec. 2016.

[13]. Sierra Castañer, M., and L. J. Foged, Post-processing Techniques in Antenna Measurement, London, UK: SciTech Publishing, 2019.

4. Нэр томъёо, тодорхойлолт ба товчилсон үгсийн тайлбар

Нэр томъёо	Англи	Монгол
Antenna Антен	That part of a transmitting or receiving system designed to radiate or to receive electromagnetic waves	Цахилгаан соронзон оронг нэвтрүүлж эсвэл хүлээн авахаар хийцлэгдсэн нэвтрүүлэгч ба хүлээн авагчийн хэсэг
antenna measurements Антенны хэмжилт	The process of characterizing the electromagnetic performance metrics of an antenna by experiment	Туршилтаар антенны цахилгаан соронзон үзүүлэлтийн хэмжээг тодорхойлох процесс

antenna range антенны хэмжилтийн орчин	Experimental setup enabling antenna measurements. Syn: antenna test range.	Антенны хэмжилт хийхэд зориулагдсан хэмжилтийн иж бүрдэл бүхий хэмжилтийн талбар
antenna under test (AUT): Syn: test antenna Хэмжигдэж буй антен	The antenna and all associated equipment or structure to be considered as part of the object being characterized. This means that the antenna under test can be considered physically larger than the antenna alone. In this recommended practice, the term antenna under test and AUT are used interchangeably.	Антен болон түүнтэй холбоотой хэрэгсэл эсвэл бүрэн бүтцээрээ хэмжилтанд орох төхөөрөмж байж болно. Тэгэхээр хэмжигдтэнд орж буй антен бол дан антенаас өргөн хүрээтэй ойлголт юм. Энд туршилтын антен болон AUT гэдгийг сольж хэрэглэсэн.
compact range авсаархан хэмжилтийн орчин	Measurement device consisting of one or more parabolic reflectors and range antenna for creating a quiet zone for antenna measurements.	хэмжилтийн оронг үүсгэх нэг эсвэл түүнээс олон парабол ойлгогчууд ба хэмжилтийн орчинг үүсгэх хэмжилтийн антенаас тогтох хэмжилтийн хялбар орчин
compact antenna test range (CATR): хэмжилтийн авсаархан орчин	A measurement system incorporating a compact range.	Авсаархан орчинд хэмжилт явуулах орчин
quiet zone: чимээгүй бүс	A limited region in which the radiation from the range antenna approximates a plane wave condition.	Хавтгай долгионы нөхцөлтэй ойр хэмжилтийн антенны цацаргалтаар үүсэж буй хязгаарлагдмал муж
radiation pattern Syn: antenna pattern	The spatial distribution of a quantity that characterizes the electromagnetic field generated by an antenna.. NOTE 1—The electromagnetic field distribution can be expressed as a mathematical function or as a graphical representation. NOTE 2—The quantities that are most often used to characterize the radiation from an antenna are proportional to or equal to power flux density, radiation intensity, directivity, phase, polarization, and field strength. NOTE 3—The spatial distribution over any surface or path is also a radiation pattern. NOTE 4—When the amplitude or relative amplitude of a specified component of the electric-field vector is plotted graphically, it is called an amplitude pattern, field pattern, or voltage pattern. When the	Антенаар үүсгэгдэж буй цахилгаан соронзон оронгийн орон зайн тархалтын тоо хэмжээ ТАЙЛБАР1-цахилгаан соронзон оронгийн хуваарилалтыг математик томъёоноос гадна графикаар илэхийлдэг ТАЙЛБАР2- антенаас гарч буй цацаргалтыг тодорхойлоход чадлын урсгалын нягт, цацаргалтын нягт, чиглүүлэх чадвар, фаз, туйлшрал, оронгийн хүчлэгтэй шууд хамааралтай тоон хэмжээс өргөн ашигладаг ТАЙЛБАР3- дурын гадаргуу эсвэл замын дагуух орон зайн тархалт хуваарилалт нь мөн чиглэлийн диаграм юм. ТАЙЛБАР4-цахилгаан оронгийн векторын тухайлсан нэг байгуулагчийн агууриг эсвэл харьцангуй агууриг нь графикаар дүрслэгдэж байвал түүнийг агууригийн , оронгийн эсвэл хүчдлийн диаграм гэнэ. цахилгаан оронгийн векторын

	square of the amplitude or relative amplitude is plotted, it is called a power pattern. NOTE 5—Throughout this document an amplitude or power pattern is implied if not specifically defined otherwise.	тухайлсан нэг байгуулагчийн агууриг эсвэл харьцангуй агууригийн квадрат утга графикаар дүрслэгдэж байвал түүнийг чиглэлийн чадлын диаграм гэнэ ТАЙЛБАР5- хэрэв өөрөөр дурьдагдаагүй бол энэхүү баримт бичгийн хүрээнд агууриг эсвэл чадлын диаграмын тухай байх болно.
range antenna: хэмжилтийн антен	Part of the antenna range and used in the characterization of the antenna under test.	Хэмжигдэж буй антенныг хэмжихэд ашиглагдах хэмжилтийн оронг үүсгэх антен хэсэг
test zone: Syn: quiet zone (QZ).		Хэмжилтийн бүс Чимээгүй бүс
Товчилсон үгсийн тайлбар		
Товчилсон үг	Англи тайлбар	Монгол нэр
AESA	active electronically steered array	Электрон жолоодлоготой идэвхитэй торон антен
AUT	antenna under test	Хэмжигдэж буй антен
CW	continuous wave	Тасралтгүй долгион
CR	compact range	Авсаархан орчин
CATR	compact antenna test range	Авсаархан антенны туршилтын орчин
DUT	device under test	Хэмжигдэж буй хэрэгсэл төхөөрөмж
dBm	decibels with respect to a milliwatt	Милливатт чадалтай харьцангуй децибел утга
dBi	decibels with respect to isotropic radiation	Изотроп цацаргалттай харьцангуй чадлын дБ утга
EM	Electromagnetic	Цахилгаан соронзон
EMC	electromagnetic compatibility	Цахилгаан соронзон зохицол таарамж
EIRP	equivalent isotropically radiated power (far-field condition)	Изотроптой дүйц цацаргалтын чадал
EIS	equivalent isotropic sensitivity (far-field condition)	Изотроптой дүйц мэдрэмж
FCC	Federal Communications Commission	Нэгдсэн холбооны хороо
FFT	fast Fourier transform	Фурьегийн хурдан хувиргалт
G/T	gain over temperature	Өсгөлт ба шуугианы температурын харьцаа
GPIO	general purpose interface bus	Ерөнхий хэрэглээн ий интерфэйс бас
GNSS	global navigation satellite system	Дэлхийн байршил тогтоох хиймэл дагуулын систем
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection	Иончлолгүй цацаргалтаас хамгаалах олон улсын хороо
LAN	local area network	сүлжээ
LO	local oscillator	Генератор гетеродин

OTA	over the air	Агаараар-эфир
PWS	plane wave synthesizer	Хавтгай долгионы синтезатор
PWG	plane wave generator	Хавтгай долгионы генератор
RCS	radar cross section	Радарын хөндлөн огтлол
REF	reference receive antenna	Тулгуур хүлээн авах антен
RF	radio frequency	Радио давтамж
RFI	radio frequency interference	Радио давтамжийн интерференци-харилцан нөлөөлөл
RSS	root sum squared	Квадратуудын нийлбэрийг язгуур Дундаж
SNR	signal-to-noise ratio	Дохио шуугианы харьцаа
TIS	total isotropic sensitivity	Нийт изотроп мэдрэмж
TRP	total radiated power	Цацаргалтын нийт чадал
UHF	ultra high frequency	Нэн өндөр давтамж
USB	universal serial bus	Ерөнхий цуваа интерфейс
VNA	vector network analyzer	Хэлхээний вектор анализатор
VHF	very high frequency	Хэт өндөр давтамж
VSWR	voltage standing wave ratio	Зогсоо долгион хүчдлийн харьцаа
QZ	quiet zone	Чимээгүй бүс буюу хэмжилтийн бүс

5. Антену хэмжилтийн орчин

5.1 Ерөнхий зүйл

Хэмжигдэж буй антену алсын оронгийн цацаргалтын характеристикийн хэмжихийн тулд тусаж буй цахилгаан соронзон оронгийн долгионы фронт нь жигд хавтгай фронттой байна. Ийм оронг практикт ойролцоолчилж үүсгэх 3 үндсэн хэлбэр байна.:

- Чөлөөт тархалтын орчин: Хүрээлэн буй орчны зүйлсүүдийн бүх нөлөөлөл боломжит түвшингээс доогуур байх.
- Газрын ойлттой орчин: хавтгайтай ойролцоо долгион эсвэл түүнтэй адилтгах хавтгай долгионуудын хослолыг үүсгэхийн тулд ойлт ашиглах
- Ойрын оронгийн орчин: хэмжилтийн утгуудын математик хувиргалтаар жигд хавтгай долгионыг үүсгэх

Чөлөөт тархалтын орчинг өндөрсгөсөн орчин, авсаархан орчин, цуурайгүй чамбер гэж ангилна.

Өндөрсгөсөн орчин: хэмжигдэж буй антен ба хэмжилтийн орчин нь цамхаг ба барилгын дээвэрт байрлах тохиолдол. Тиймээс

- хэмжилтийн антену чиглүүлэх чадвар ба хажуугийн дэлбээний түвшнийг болгоомжтой сонгох,
- хэмжилтийн орчны хүрээнд шууд нээлттэй тархалттай,
- саад болон гадаргууд хүрэхдээ энергийн шингэлт, чиглэлээ өөрчлөхөөс зайлсхийж чадахгүй,
- хугацааны хэсгийн боловсруулалт гэх мэтийг ашигласан дохионы тусгай боловсруулалт хэрэглэх,

- богино импульсийг хэрэглэх зэргээр хүрээлэн буй орчны нөлөөллийг тооцохгүй орхиж болно.

Газрын ойлттой орчин нь хэмжилтийн орчиндох гадаргуугаас ойсон долгионы энерги нь хэмжигдэж буй антен руу чиглэсэн шууд тархалтын замын долгионтой нэмэгдэх харилцах нөлөөллийг үүсгэж байх тохиолдол юм. Орон нь агууригаараа тэгшхэмт жигд харьцангуй жигд байх төгс тохиолдол нь тогтмол өндөрт байрлах хэмжигдэж буй антенны хэмжилтийн гадаргуугаас дээш хэмжилтийн антен байрлаж байхаар тохируулах нөхцөл юм

Газрын ойлттой орчин ба өндөрсгөсөн орчин нь антенны чиглэлийн диаграммын хэмжилтэнд голчлон хэрэглэгддэг.

Ойрын оронгийн хэмжилтийн оронг хавтгай ойрын оронгийн, бөмбөрцөг хэлбэрийн ойрын орон, цилиндр хэлбэрийн ойрын орон гэж ангилна.

5.2 Антенны хэмжилтийн орчны шалгуур

Алсын оронгийн хэмжилтийн үндсэн орчинд тавигдах шалгуурыг тогтооход дараах үзүүлэлтийг авч үзнэ.:

- хэмжилтийн антен ба хэмжигдэж буй антенны хоорондох долгионы салаалалт буюу дамжилт
- хэмжилтийн долгионы фронтын уртраг ба өргөрөгийн агууригийн өөрчлөлт
- хэмжилтийн долгионы фронтын фазын өөрчлөлт
- ойлтын улмаас хэмжилтийн долгионы фронтын орон зайн хэлбэлзэл
- харилцан нөлөөлөл үүсгэх үүсгүүрийн харилцан нөлөөлөл

5.2.1 Хэмжилтийн антен ба хэмжигдэж буй антен хоорондын салаалалтын нөлөө

Дурын антенны нийт орон нь цацаргалтын ба реактив оронгоос тогтоно. Цацаргалтын орон нь антенаас алслагадх зайтай шууд хамааралтайгаар буурч байдаг бол реактив орон нь антенаас алслагадх зайн квадратад шууд хамааралтайгаар буурч байдаг. Хэрэв хэмжилтийн ба хэмжигдэж буй антенуудын хоорондох алслалт их байвал энэхүү реактив оронгийн түвшин үл мэдэг байдаг. Гэтэл энэ нь практик нөхцөлд биелэгдэхгүй бол хэмжигдэж буй антен реактив оронгоор салаалах ба энэ нь хэмжилтийн алдаа үүсгэнэ. Ийм алдаа долгионы уртаас 10 дахин их зайд үл мэдэг байна. Маш богино диполь антенны долгионы уртын 10 дахин их зайд хэмжигдэж буй антенд үүсгэх нөлөөцийн оронгийн түвшин цацаргалтын оронгийнхоос 36дБ-ээр доогуур байдгийг тооцоогоор тогтоосон байна. Хэмжилтийн антен ба хэмжигдэж буй антен хоорондын реактив оронгийн салаалалт, дахин цацаргалтын салаалалт буюу харилцан нөлөөллийн салаалалтыг авч үзэх хэрэгтэй. Энэ тохиолдолд хэмжигдэж буй антенд ирж буй долгионы нэг хэсэг нь хэмжилтийн антен руу эргэн цацагддаг. Энэ энергийн нэг хэсэг буцан хэмжигдэж буй антен руу цацагддаг. Энэхүү эргэн цацагдах долгионы түвшин нь зохицуулах хэлхээний болон бусад бүтцийн хэсгийн эсэргүүцэл, антен бүрийн сарнилтын хөндлөн огтлолоор тодорхойлогдоно. Хэрэв энэ түвшин тун бага байвал хэмжигдэж буй антенны үндсэн дэлбээний оргил утгын орчим дохионы түвшинд мэдэгдэхүйц алдаа үүсгэж болох юм. Харин хажуугийн дэлбээнүүдэд үзүүлэх нөлөө бага байна. Ижил 50 хувийн антенны амсрын үр ашигтай, 0.25 ойлтын коэффициенттой, sinc функцээр илэрхийлэгдэх ижил чиглэлийн диаграмтай хэмжилтийн ба хэмжигдэж буй антентайгаар хийсэн шинжилгээнээс хэмжилтийн антенны амсраас хэмжигдэж буй антенны диаметрээр хасагдсан хавтгай өнцөг нь хэмжилтийн антенны 3 дБ цацрагийн өргөний 0.3 дахинтай тэнцүү буюу түүнээс бага байх үед хэмжигдэж буй антенд хүрч буй эргэн цацагдах дохионы түвшин хүлээн авсан үндсэн дохионоос дор хаяж 45дБ-ээр доогуур байдгийг тогтоосон байна. Хасагдсан хавтгай өнцөг хэмжилтийн антенны 0,25 дБ-ийн түвшний цацрагийн өргөнтэй ойролцоогоор тэнцүү байх нөхцөлд энэ харьцаа хадгалагдана. Энэ нь салаалалтыг бууруулахын тулд шууд долгионы оронгийн агууриг 0.25дБ -ээр доогуур

байх шалгуурыг хангахад хангалттай. Тиймээс хэмжилтийн орчинд хоёр антены алслалт нь багадаа долгионы уртаас 10 дахин их зайд хамгийн их агууриг нь 0.25дБ-ээр өөрчлөгдөхийг хангаж байхаар хэмжилтийн орчныг бүрдүүлэх хэрэгтэй.

5.2.2 Хэмжилтийн амсрын хөндлөн чиглэлийн агууригийн өөрчлөлтийн нөлөө

Хэмжилтийн антены үүсгэж буй оронгийн агууригийн өөрчлөлт нь хэмжигдэж буй антены чиглэлийн диаграмын хэмжилтэнд алдаа үүсгэдэг. Хэмжигдэж буй антены өдөөлтийн функцээс хамаарна. Хэвийн өдөөлтийн функцийг хувьд тусаж буй долгионы оронгийн агууригийн өөрчлөлт нь хажуугийн дэлбээний ойролцоо бага зэргийн өөрчлөлттэй өсгөлтийг бууруулах нөлөөтэй. Хүлээн авах горимд байгаа хэмжигдэж буй антены амсар дээр тусаж буй оронгийн агууригийн өөрчлөлт нь нэвтрүүлэх горимд антены амсарт үүсэх оронгийн өөрчлөлттэй тэнцүү гэж үзэж энэхүү нөлөөг үнэлдэг. Нэвтрүүлэгчийн фидерээс ирж буй долгионоор амсар дээр $f(x, y)$ тархалтын хуулиар долгион үүсгэж байна гэж үзье. Хэрэв хүлээн авах горимд ашиглана гэж үзээд тусаж буй долгионы оронгийн агууригийн өөрчлөлтийн хууль $g(x, y)$ байна гэвэл хэмжигдэж буй антены амсар дээрх оронгийн хуваарилалт нь энэ хоёр хуулийн $f(x, y) * g(x, y)$ үржвэрээр тодорхойлогдоно. Жишээ нь 10дБ-ийн суурин дээрх косинус оронгийн хуваарилалттай дугуй амсартай хэмжигдэж буй антентай гэвэл хэмжилтийн антен амсар дээрээ дугуй тэгшхэмтэй агууригийн өөрчлөлт үүсгэх хэмжилтийн антентайгаар алсын оронгийн цацаргалтын диаграм хэмжигдэнэ. Агууригийн өөрчлөлт нь sinc функцээр илэрхийлэгдэнэ. Чиглэлийн диаграмын дүйц хуваарилалт нь суурин дээрх косинус ба синк функцийг үржвэрээр тооцоологдоно. Хэрэв агууригийн өөрчлөлт амсрын захаар -0.5 дБ бол чиглүүлэх чадвар нь агууригийн өөрчлөлтгүй үеийнхээс ойролцоогоор 0.15дБ -ээр буурч гардаг. Агууригийн өөрчлөлт -0.25 дБ бол чиглүүлэх чадвар нь 0.1дБ-ээр багасгадаг. Ерөнхийдөө хэмжигдэж буй антены амсарт 0.25 дБ-ийн агууригийн өөрчлөлт үүсгэхээр нэг өргөн цацрагтай биш агууригийн өөрчлөлт багатай хэмжилтийн антеныг сонгохыг зөвлөдөг. Өргөн цацрагийн өргөнтэй антен нь хэмжилтийн орчинд үүсэх ойлтуудын улмаас алдааг ихэсгэдэг. Эсрэгээрээ ойлтоос үүсэх алдааг багасгахын тулд нарийн дэлбээтэй хэмжилтийн антен ашиглах тохиолдол байж болно. Ингэж илүү их чиглүүлэх чадвартай антен ашиглавал хэмжилтийн антеныг тохируулахад хэцүү болно. Хэмжилтийн антены үндсэн чиглэл буюу дэлбээний оргил цэгийг хэмжигдэж буй антены төв рүү чиглүүлж чадвал тэгшбүс хэмт тусгалаас үүдэх хэмжилтийн нэмэлт алдааг бууруулна.

5.2.3 Хэмжилтийн амсрын тууш чиглэлийн агууригийн өөрчлөлтийн нөлөө

Хэмжигдэж буй антены чиглэлийн диаграмын хэмжилтийг сайн нарийвчлалтай хийхийн тулд тэнхлэгийн дагуу чиглэлд болон түүнд нормаль чиглэл орчимд тусгалын оронгийн агууриг хангалттай тогтвортой байх хэрэгтэй. Хэмжигдэж буй антеныг алсын оронгийн цацаргагч (алсын оронд антены үндсэн цацаргалтын чиглэл нь чиглэлийн тэнхлэгтэйгээ паралел байх чиглэлтэй цацаргалттай антен) гэвэл түүний идэвхитэй муж (ихэнх RF гүйдэл гүйдэг цацаргалтанд идэвхитэй оролцдог хэсэг) нь хэмжилтийн антены цацаргалтын тэнхлэгийн дагуу хамгийн их L хэмжээтэй байна. Хэрэв хэмжилтийн антен ба идэвхитэй мужийн хоорондох зай R_0 гэвэл идэвхитэй мужийн хамгийн урд төгсгөл дээрх чадлын урсгалын нягтыг арын хэсэг дэх чадлын урсгалын нягтад харьцуулсан харьцааг ρ_p (1) томъёогоор олно.

$$10\log_{10} \rho_p = 20\log_{10} \frac{R_0 + \frac{L}{2}}{R_0 - \frac{L}{2}} \quad (1)$$

Тусгалын оронгийн тэнхлэгийн дагуух их өөрчлөлт нь чиглэлийн диаграмын ихэвчлэн үндсэн бус дэлбээнд (арын болон хажуугийн) хэмжилтийн алдааг үүсгэдэг. Ихэнх антены төрлийн хувьд идэвхитэй хэсэгтээ мэдэгдэхүйц гүн (хэмжилтийн антены

тэнхлэгийн дагуу антены цацаргалт хийж буй хэсгийн урт)-тэй байвал чадлын урсгалын нягт нь 1дБ-ийн өөрчлөлттэй алдаа үл мэдэг байна. Зарим нэмэлт нөөц хязгаарыг тооцсон R_0 -д тавигдах шаардлагыг (2) томъёогоор олно.

$$R_0 \geq 10L \quad (2)$$

Алсын оронгийн өндөр өсгөлттэй антен гэх мэт антены бүтцийн шалгуур нь реактив оронгийн салаалалтыг дарж хэмжилтийн антены уртын шалгуураас илүү хязгаарлагдмал байна.

5.2.4 Хэмжилтийн антены амсар дээрх фазын өөрчлөлтийн нөлөө

Практикт фазын өөрчлөлт нь хэмжилтийн антен ба хэмжигдэж буй антены хоорондох зайнаас хамаарсан функц байна. Тиймээс хэмжигдэж буй антенд тусаж буй оронгийн фазын өөрчлөлтөнд шалгуур тавих ёстой.

Хэрэв ойлт байхгүй гэвэл 0.25дБ-ийн агууригийн өөрчлөлтийн шалгууртай дүйцэх фазын өөрчлөлтөнд хэмжилтийн антены фазын төвөөс гарч буй долгионы фронт бөмбөрцөг долгионтой тун төстэй байх болно. Хэмжилтийн антены диаметр d бол хэмжилтийн ба хэмжигдэж буй антен хоорондох зай $\frac{2d^2}{\lambda}$ -аас бага байх нь зүйтэй.

Жишээ нь хэмжилтийн тэнхлэгт нормал хавтгай дээр орших хэмжигдэж буй антены хамгийн их диаметр нь D бол түүнээс $\frac{D^2}{\lambda}$ зайд алслагдсан цэг дээрх агууригийн характеристикийн 1дБ-ийн цэгүүдийн хооронд амсрын гүйдлийн 30дБ-ийн Тэйлорын хуваарилалттай хэмжилтийн антены фазын характеристик нь 2° -аар ялгаатай болох тооцоо гарсан. Тэгэхээр хэмжигдэж буй антены бөмбөрцөг хэлбэрийн фазын фронттой гэж үзэж гарч болох фазын өөрчлөлтийг тогтоодог.

Бөмбөрцөг хэлбэрийн долгионы фронттой үед D гэсэн диаметртай хэмжигдэж буй антены хувьд хэмжилтийн антенаас алслах зай R ($\frac{D}{R} \ll 1$) байхад $\Delta\varphi$ фазын өөрчлөлтийг (3) томъёогоор тодорхойлно.

$$\Delta\varphi = \frac{\pi D^2}{4\lambda R} \quad (3)$$

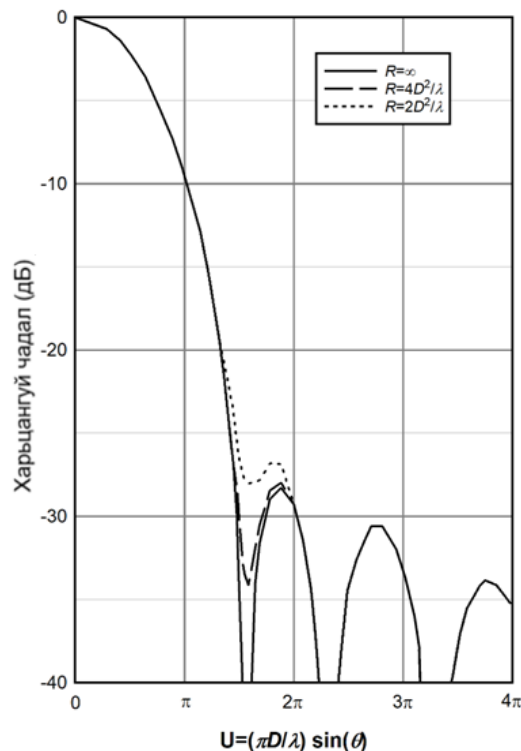
Үүнд: R -хэмжилтийн антен ба хэмжигдэж буй антен хоорондын зай, D -хэмжигдэж буй антены амсрын диаметр

Фазын $\Delta\varphi$ өөрчлөлтийг $\frac{\pi}{8}$ -радиан буюу 22.5° -аас хэтрэхгүй байлгах боломжит хамгийн бага зайг (4) томъёогоор олно.

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4)$$

Фазын өөрчлөлтийн нөлөө нь чиглэлийн диаграмд тэгүүд нэмэгдэж, хажуугийн дэлбээний агууриг өөрчлөгдөхөөр илэрнэ.

Зураг 1-т дугуй амсартай 30дБ-ийн Тэйлорын гүйдлийн хуваариалттай антены $\frac{2D^2}{\lambda}$, $\frac{4D^2}{\lambda}$ ба хязгааргүй тохиолдолд тооцоолсон чиглэлийн диаграмыг үзүүлэв.



Зураг 1 Заагдсан хамрах хүрээнд хэмжигдсэн фазын квадрат алдаа үүссэн тооцоологдсон чиглэлийн диаграм 30дБ-ийн амсрын Тэйлорын гүйдлийн тархалттай гэж үзэж тооцоолсон

5.3 Дотоод орчны хэмжилт

5.3.1 Ерөнхий зүйл

Дотоод орчны антенны хэмжилтийн орчин нь хаалттай орчинд ойролцоогоор чөлөөт орчны нөхцлийг дуурайлгасан орчин байна. Радио давтамжийн хамгаалалттай эсвэл хамгаалалтгүй орчин байж болно. 4.4.3-т заасны дагуу хэмжилтийн бүсэд ойлтыг багасгах зорилгоор өрөөний эсвэл чамберийн дотор гадаргууг радио давтамжийн шингээгчээр бүрнэ. Дотоод хэмжилтийн орчин үндсэн 5 төрөл байна.:

- Тэгш өнцөгт алсын оронгийн хэмжилтийн орчин
- алсын оронгийн хэмжилтийн аажим өөрчлөлттэй/ хошуу орчин
- Авсаархан хэмжилтийн орчин
- Ойрын оронгийн хэмжилтийн орчин
- Реверберацийн чамбер

Тэгш өнцөгт ба аажим өөрчлөлттэй алсын оронгийн хэмжилтийн орчин нь хэмжигдэж буй антен ба хэмжилтийн антен өөр хоорондоо алсын оронг үүсгэж байхаар байрласан байна. Авсаархан орчин нь хэмжилтэн орж буй антенны байршил дээр хавтгай долгионыг үүсгэж байхаар алсын оронг хиймлээр үүсгэх коллиматрийн механизмыг (ойлгох парабол эсвэл гипербол гадаргуу, механик чиглүүлэх систем зэрэг) ашиглана. Ойрын оронгийн хэмжилтийн орчин нь хэмжигдэж буй антенны орчимд ойрын оронг үүсгэж хийх хэмжилт байна. (IEEE Std 1720-2012 [7]-аас харж болно.) Реверберацийн чамбер нь 10.2 -т заасанчлан цацаргалтын үр ашгийн хэмжилтэнд хэрэглэгдэнэ.

Хэмжигдэж буй антенны давтамжийн цараа, түүний цахилгаан хэмжээнээс хамаарч дотоод орчны хэмжилтийн ялгаатай орчин хэрэглэгдэх ба түүнийг хүснэгт 1-д үзүүлэв.

Хүснэгт 1 Давтамжийн цар ба дотор орчны ялгаатай хамрах хүрээнд тохирох антены хэмжээ

Давтамж	Антену хэмжээ, долгионы уртаар		
	Алсын оронгийн	Ойрын оронгийн	Авсаархан
200 МГц	$< 2\lambda$	$> 2\lambda$	Төгс биш
500 МГц	$< 2\lambda$	$> 2\lambda$	Төгс биш
1 ГГц	$< 5\lambda$	$> 5\lambda$	$> 5\lambda$
2 ГГц	$< 5\lambda$	$> 10\lambda$	$> 10\lambda$
≥ 4 ГГц	$< 10\lambda$	$> 10\lambda$	$> 10\lambda$

Ихэнх тохиолдолд алсын оронгийн мужийг үүсгэхэд их урт шаарддаг учраас 5 ба түүнээс их долгионы урттай антен нь ойрын оронгийн ба авсаархан хэмжилтийн орчинд илүү тохирдог. Жишээ нь алсын оронгийн нөхцлийг ашиглаж байгаа үед 200МГц-ийн давтамж дээр ажиллаж байгаа 5λ урттай антены хэмжилтэнд дор хаяж 50λ хэмжээтэй хэмжилтийн орчин шаардах бөгөөд энэ нь 75 м гэсэн үг юм. Харин ойрын оронгийн хэмжилтэнд ижил антен орно гэвэл хэмжилтийн зай нь 3λ буюу 4.5м байх хэрэгтэй болно.

5.3.2 Хамгаалалттай ба хамгаалалтгүй хаалттай орчин

Фарадейн тор хэлбэрийн өрөө нь хамгаалалттай хаалттай орчинд тооцогдоно. Өрөөний хамгаалалтын хаалтын үр ашгийг IEEE Std 299™ [6]-р хэмжинэ. Хамгаалалт нь хэмжилтийн байгууламжийн өртгийг нэмэгдүүлдэг бөгөөд хамгаалалт хэрэгтэй гэдгийг тодорхойлох нь чухал юм. Антену цацаргалтын үзүүлэлтийг хэмжих олон тохиолдолд фазаар түгжигдсэн тасралтгүй долгион горимыг хэрэглэдэг. Энэ нь хэмжилтэнд харилцан нөлөө орохоос зайлсхийхэд чиглэдэг бөгөөд хамгаалалттай хаалт хэрэглэх нэг үндсэн шалтгаан болдог. Хамгаалалттай хаалттай өрөө хэрэглэх шаардлага:

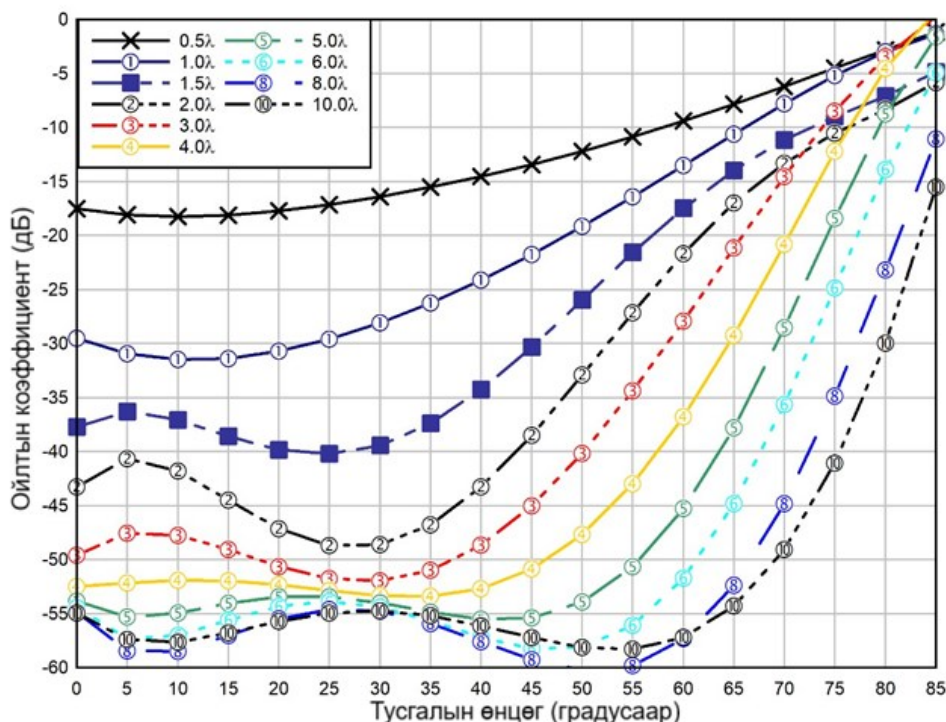
- Их чадлын хэмжилт өөрөөр хэлбэл хэрэв иончлолгүй цацаргалтын хамгаалалтын олон улсын хороо (ICNIRP) зэрэг олон улсын зөвлөмж, улс орны зохицуулалтын журамд заасан түвшнээс их чадлын урсгалын нягттай байх их чадлын хэмжигдэж буй антен байвал
- Хэмжигдэж буй антены цацаргалтын характеристикийн хэмжилтэнд бусад системийн харилцан нөлөөллөөс зайлсхийх аргагүй модуляцтай дохио шаардаж байвал
- Хэрэв туршилт хэмжилтийг давтамж ба модуляцийн хувьд нууцалсан ангилсан төрлөөр хийж байвал
- Цацаргалтын чадлын түвшнийг хязгаарласан эсвэл тусгай давтамжууд дээр цацаргалтыг хязгаарласан үндэсний болоод орон нутгийн радио давтамжийн зохицуулалттай бол
- Хамгаалалтын хаалт нь хэмжилтийн системийн салшгүй хэсэг бөгөөд хөнөөлт цацаргалтыг эзлэхүүнт резонаторын чансаа дахин бууруулж реверберацийн үзүүлэлтэнд нөлөөлж байгаа реверберацийн чамберт хийгдэж байгаа хэмжилтийн үед

Эдгээр жагсаалтанд дурьдсан шалтгаанаар биш байсан ч хэрэглэгч энэ хамгаалалттай хаалттай орчинд хэмжилт хийж болно.

5.3.3 Радио давтамжийн шингээгч-RF absorber

Хамгаалалттай өрөөний ханыг доторлосон радио давтамжийн шингээгч нь ойлтыг бууруулж хангалттай шингээх чанартай байх бөгөөд энэ нь зөвшөөрөгдөхүйц

алдааны хуваарилалттайгаар хэмжилт хийхэд тустай байх болно. Ихэнхдээ чөлөөт орчноос алдагдалтай материалын хооронд зохицуулалтыг хангахын тулд радио давтамжийн шингээгч пирамид хэлбэртэй хийгддэг. Пирамидэн бүтэцтэй учраас тусгалын өнцөг ихсэх тутам шингээгчийн үзүүлэлт нь буурдаг. Ихэнх үйлдвэрлэгч нар гадаргууд нормалиар тусаж байгаа нөхцөлд радио давтамжийн шингээгчийн үзүүлэлтийг тогтоосон байдаг. Зарим үйлдвэрлэгч нар нормал биш бистатик үзүүлэлтийг нормал тусгалтай үеийн үзүүлэлтээс тааварлан тогтоох аргаар хангадаг. Ташуу тусгалтай үеийн пирамидэн шингээгчийн үзүүлэлтийн тооцооллын үр дүнг зураг 2-д үзүүлжээ.



Зураг 2- нормал биш тусгалтай үед пирамидэн шингээгчийн үзүүлэлт

Энэ зургаас янз бүрийн цахилгаан өндөртэй үед тусгалын өнцгөөс пирамидэн шингээгчийн бистатик ойлгох чадварыг харж болно. Пирамидэн ойлгогч материал нь одоогоор 0.051 м (2инч)- ээс 2.44 м (96инч) хүртэл хэмжээтэй хийгдэж байна. Зураг 2- оос чөлөөт орчин дох долгионы уртаас том хэмжээтэй шингээгчийн үзүүлэх унтралт мэдэгдэхүйц байгааг харж болно. Ингэснээр нь дотоод орчин дох хэмжилт харьцангуй нам давтамжаар хязгаалагддаг байна. Тухайлбал 123МГц-ийн бүрэн долгионы урт нь 2.44м нь байдаг.

5.3.4 Тэгш өнцөг цуурайгүй чамбер

Ерөнхийдөө тэгш өнцөгт цуурайгүй чамбер нь ажлын царын нам давтамжинд тохируулагдан хийгдэх нь дараах шалтгаантай:

- Давтамж өсөхөд RF шингээгчийн үзүүлэлт сайжирна.
- Хэмжигдэж буй антены физик хэмжээ давтамж өсөхөд буурдаг
- Хэмжигдэж буй антены цахилгаан хэмжээ нь давтамж ихэсхэд ихэсдэггүй

Тэгш өнцөгт хэлбэрийн чамберт хэмжилтийн орчны гадаргууг (тааз газар хажуу хана) бүрэх RF шингээгч хамгийн чухалд тооцогдоно. Эдгээр гадаргууны хувьд RF шингээгч нь тусаж буй долгионы хувьд ташуу (non-normal) тусгалтай байна.

Алсын оронгийн шаардлагыг хангахын тулд хэмжилтийн хамгийн бага зайг

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (5).$$

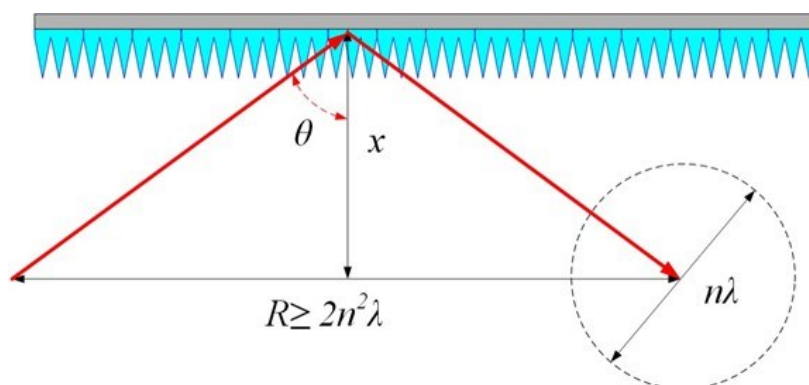
гэж олно. Хэмжигдэж буй антены цахилгаан хэмжээ нь $n\lambda$ гэж үзвэл хэмжилтийн

хамгийн бага зайг

$$R \geq 2n^2\lambda \quad (6).$$

гэж олно.

(5). ба (6) томъёогоор олдсон хэмжилтийн хамгийн бага зай нь цуурайгүй байх орчны нийт уртыг илэрхийлэх ба өрөө нь алсын оронгийн хэмжилт хийхэд шаардагдах зайнаас хангалттай том байх хэрэгтэй. Шаардагдах ойлтын түвшнийг хангаж байхын тулд нэг хананы төгсгөлийн шингээгч нь хангалттай том байна. Зураг 2 -д нормал (гадаргууд перпендикуляр) тусгалтай үед дор хаяж 40дБ-ийн ойлтыг хангахын тулд чөлөөт орчны долгионы уртаас 2 (2λ) дахин их өндөртэй пирамидэн шингээгчтэй байхыг үзүүлжээ. Хэмжилтийн орчны хажуугийн гадаргуун шингээгч нь мөн шаардагдах ойлтыг хангах ёстой. Хажуу гадаргууд тусах өнцөгийг (тааз, шал, хажуу хана) зураг 3-т үзүүлжээ.



Зураг 3- Цуурайгүй өрөөний хэмжилтийн орчинд хажуу гадаргууд тусаж буй өнцгийн геометр дүрслэл

Тусгалын θ өнцөг нормал биш тусгалтай үед ойлтын үзүүлэлт буурахыг Зураг 2-д үзүүлсэн. Одоогоор зах зээлд бэлэн байгаа RF шингээгчүүдийн үзүүлэлт дээр тулгуурлан тусгалын өнцгийг (7) томъёогоор $\theta \leq 60^\circ$ гэж сонгохыг зөвлөж байна.

$$\tan\theta = \frac{R}{2x} \leq \sqrt{3} \quad (7).$$

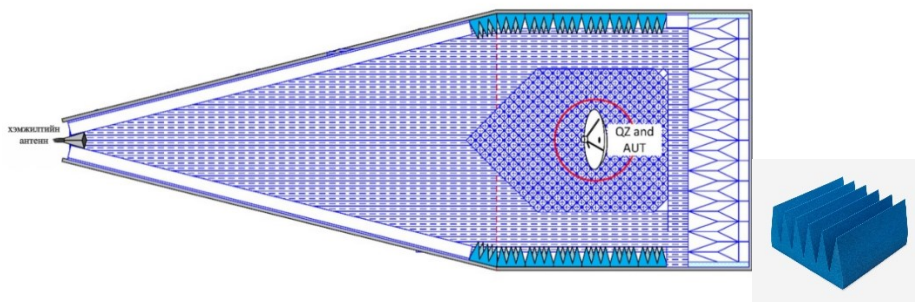
x- хажуу гадаргуу хүртлэх хэмжилтийн орчны чөлөөт тархалттай цацрагийн зай

θ -хажуу гадаргуун шингээгчид тусах тусгалын өнцөг

(7) томъёон дээр үндэслэн дотоод орчны хэмжилтэнд шууд тархалт ба хажуу ойлгогч гадаргуу хоёрын хоорондох зайг $x > \frac{R}{3.46}$ нөхцлөөр сонгохыг зөвлөж байна.

5.3.5 Цуурайгүй хошуу чамбер

UHF зурвасын доод хязгаарт хүрэхэд тэгш өнцөгт чамберт дотоод орчны хэмжилтийн зайнд хажуу гадаргуугаас ойх ойлтын энерги дээд түвшнээсээ хэтэрдэг. Энэ тохиолдолд гадаад орчинд хэмжилт хийхэд 2 зөвлөмж санал болгодог эсвэл зураг 4-д үзүүлсэн хошуу хэлбэрийн цуурайгүй чамбер хэрэглэдэг. Ийм хошуу хэлбэрийн чамберийг [4] санал болгосон байдаг. Ийм хошуу хэлбэрийг үүсгэх онол одоогоор байхгүйг зохиогчид бүтээлдээ өгүүлсэн байдаг. Уламжлалт ойлголтоор цацраган замын тархалтаар энэхүү хошуурсан хэсгээс ойх ойлсон энерги нь хэмжигдэж буй антенныг гэрэлтүүлэхэд ашиглагдах энэ нь чимээгүй (quiet zone-QZ) бүсэд хавтгай долгионыг үүсгэнэ гэж үзсэнтэй холбоотой. Энэ нь худал байсан юм. Хошуу чамбер нь алсын оронгийн тусгалтай хүрээнд фаз нь алсын оронгийн хуваарилалттай адил болгодог байна.



Зураг 4 Хошуу хэлбэрийн чамбер.

Ихэнхдээ хажуу гадаргууд пирамидэн хэлбэрээс илүү шаантаг хэлбэрийн RF шингээгчийг ашигладаг.

Нэгэнт хошуу чамберийн ажиллагааг онолын хувьд тайлбарлаж чадахгүй туршилтын үр дүнг гаргасан байдаг учраас дараах зөвлөмж дүрмийг дагана.

- Нэгэнт хажуу гадаргуугаас ойх ойлтоор чимээгүй мужид оронг тусгах учраас тэгш өнцөгт хэсгийн төгсгөлийн ханан дах шингээгч нь чимээгүй муж дах ойлтыг тодорхойлдог.
- Хошууны өнцөг нь 30° -аас ихгүй байна.
- Хэмжилтийн орчны тэгш өнцөгт хэсгийн хажуу гадаргуун шингээгчийн зузаан нь хананы төгсгөлийн шингээгчийн зузааны хагастай тэнцүү байна. Пирамидэн шингээгч нь чимээгүй мужид оронг сарниулдаг шиг энэ шингээгч нь шаантаг хэлбэрийн байна. Шингээгчийн энэ дэлгэлт/зохион байгуулалтын зорилго нь хананы төгсгөл дэх том шингээгчрүү тусаж буй долгионыг бүгдийг тусгахад оршино.
- Шингээгчийн оройноос нөгөө шингээгчийн орой хүртэл хэмжилтийн орчны өргөн ба өндөр нь эрхий хурууны хуулиар сонгогдох ба чимээгүй мужийн хэмжээнээс 3 дахин их байна.
- Хэмжилтийн антен ба хэмжилтийн орчны хошуу хэсгийн хоорондох харилцан үйлчлэл нь чимээгүй мужид шаардлагатай тусгалыг бий болгоход чиглэнэ. Давтамжийн өргөн царгаанд үзүүлэлтээ хангаж байхын тулд хошуу хэсгийн уртын дагуу хэд хэдэн байрлалд хэмжилтийн хэд хэдэн ялгаатай антен шаардаж магадгүй. Хошуу хэсгийг бүхэлд нь хэмжилтийн антен болгон ашигладаг илүү нийлмэл хошуу хэлбэрийн тэжээлийн загвар нь чимээгүй мужид давтамжийн өргөн зурваст гэрэлтүүлэг өгдөг болохыг харуулсан.

5.3.6 Ойрын оронгийн хэмжилтийн орчин

Алсын оронгийнх руу математик хувиргалт хийх боломжтой ойрын оронгийн антены хэмжилтийг IEEE Std 1720-2012 [7]-д тусгасан байна. Алсын оронгийн мужид ашигладагтай төстэй дүрмийг дагаж мөрдөх ёстой ч хэмжилтийн зай нь алсын оронгийн зайн нөхцлийг хангах шаардлагагүй тул хамаагүй богино байж болно.

5.3.7 Антены хэмжилтийн авсаархан орчин

Авсаархан антены хэмжилтийн орчин (CATR) геометрийн хувьд олон янзын комбинациуд бий. Тэдгээрийг дэд ойлгогчийн тоо ба төрөлөөр, хэмжилтийн антены байршил зэргээр нь ангилдаг. Хэмжилтийн хэвийн орчны хувьд хамгийн энгийн бөгөөд хамгийн нийтлэг хэрэглэгддэг бүтэц болох төвөөс шилжсэн тэжээлтэй/цацаргагчтай нэг парабол ойлгогчтой антеныг энэ хэсэгт авч үзнэ.

Авсаархан хэмжилтийн орчны хувьд цуурайгүй чамберийн өндөр өргөн нь ойлгогчийн хэмжээгээр ба чамберийн урт нь ойлгогчийн фокусын зайнаас хамаарсан функцээр олдоно. Авсаархан орчны ойлгогч нь ихэнхдээ хэмжилтийн орчны тэнхлэгийн дагуух урт QZl, өргөн QZw, өндөр QZh хэмжээ бүхий эллипсэн цилиндрэн чимээгүй (QZ)

бүсийг үүсгэдэг ба QZw ба QZh нь цилиндрийн хөндлөн огтлолын эллипсийн тэнхлэгүүдийн хэмжээ байна. Ойлгогч гадаргуун орой ба чимээгүй бүсийн хоорондох зай QZ (8) томъёогоор олно.

$$r = \frac{5}{3} f_l \quad (8).$$

f_l -ойлгогчийн фокусын зай.

Зарим тохиолдолд ойлгогчоос чимээгүй бүсийн төв хүртлэх зай фокусын зайнаас 2 дахин их буюу $r = 2f_l$ байдаг. Хууль ёсоор авсаархан хэмжилтийн орчны урт L -ийг (9) томъёогоор олно [11].

$$L \geq R_{clr} + \frac{5}{3} f_l + \frac{1}{2} QZl + (2 + t_e) \lambda \quad (9)$$

R_{clr} – ойлгогчийн нээлттэй хэсэг

QZl -хэмжилтийн орчны тэнхлэгийн дагуух чимээгүй мужийн хэмжээ

t_e - шингээгчийн ханан дээрх хэмжээ

f_l - ойлгогчийн фокусын урт

λ - ажлын хамгийн бага давтамжийн долгионы урт

Ойлгогчийн нээлттэй хэсэг нь ойлгогчийн нийт хэмжээнээс хамаарах ойлгогчийн механик бүтцийг агуулдаг. Энэ томъёог чимээгүй бүс ба арын ханын шингээгч хоорондын зай 2λ үед ашиглана. Гэхдээ механик байрлуулагчийг тооцох шаардлагатай эсвэл хэмжигдэж буй антены байрлуулагчаас хэмжигдэж буй антены ачаалсан ба ачаалаагүй байх боломж олгохын тулд илүү том орон зай шаардана.

Ойлгогчийн шүдтэй ирмэгийн арын ханыг $\lambda/2$ зузаантай богино шингээгчээр засаж болно. Мөн ойлгогчийн их биеэр халхлагдаагүй хананы хэсгийг бүрнэ. Ойлгогчийн дугуйрсан ирмэгийн хувьд ханыг бүхэлд нь шингээгчээр засаж болно.

t_e параметр нь ханын төгсгөлийн шингээгчийн зузааныг долгионы уртаар илэрхийлсэн утга бөгөөд авсаархан хэмжилтийн орчны хувьд энэ нь хамгийн бага ойлттой байхыг шаардах нилээн өндөр шаардлага тавигдах хана юм. Тиймээс t_e нь гурван долгионы уртаас (3λ) багагүй утгатай байхыг зөвлөдөг. Чамберийн өргөнийг (10) томъёогоор олно.

$$W \geq CR_W + (4 + 2t_s) \lambda \quad (10)$$

CR_W - ирмэгийн засалыг нь оруулсан ойлгогчийн нийт өргөн

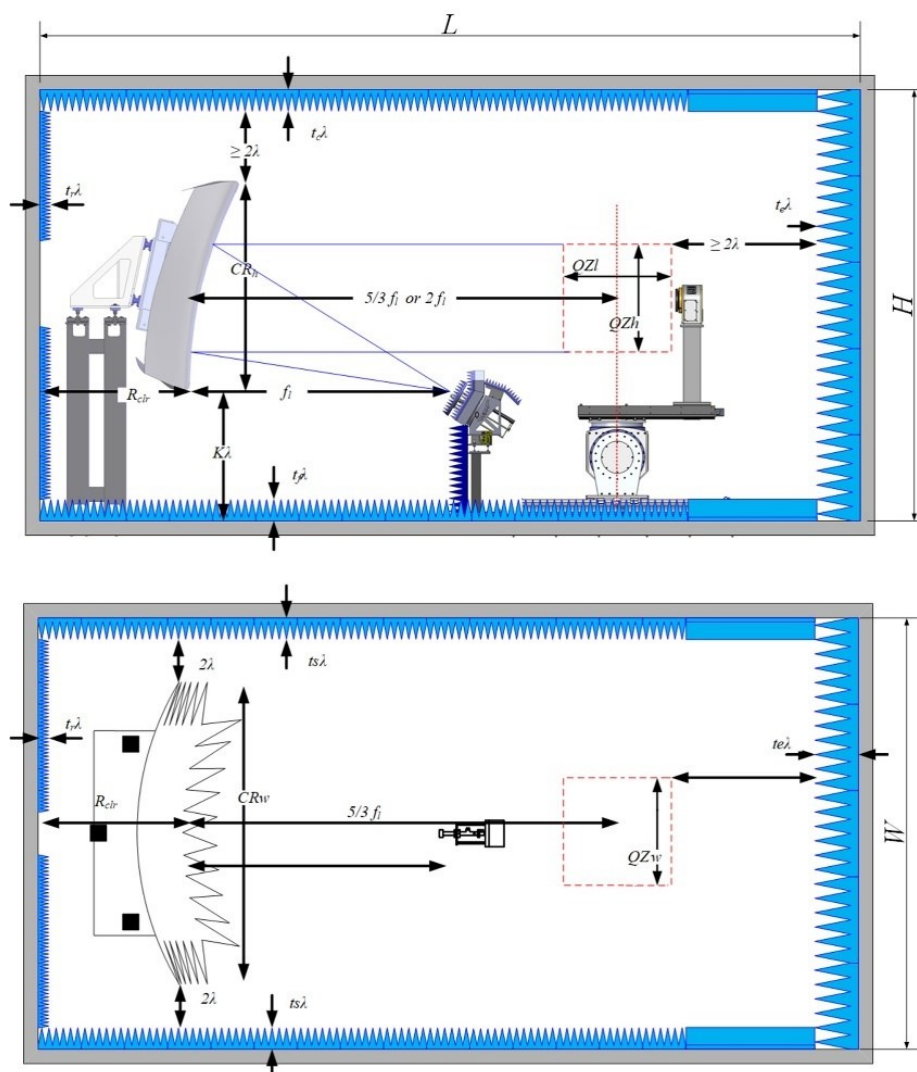
t_s - хажуугийн хананы шингээгчийн долгионы уртаар илэрхийлэгдсэн зузаан

λ - ажлын хамгийн бага давтамж дээрх долгионы урт

(10) томъёонд ойлгогчийн тал бүр дээрх шингээгчийн оройноос ойлгогчийн ирмэгийн засал оруулсан хэсэг хүртлэх зай 2λ байх хэрэгтэй. Зай нь хажуу тал бүрд нэг долгионы уртаас (λ) бага байх хэрэгтэй.

Тэгш өнцөгт алсын оронгийн хэмжилтийн орчинд тааз, шал, хажуу ханан дээрх шингээгч нь ташуу өнцгийн хувьд бистатик ойлгох чадварыг сайн байлгахын тулд хангалттай зузаан байхыг шаарддаг бол авсаархан хэмжилтийн орчинд зузаан байхыг шаарддаггүй [11],[12].

Зураг 5 энгийн авсаархан хэмжилтийн орчны чамберийг үзүүлжээ. Чимээгүй бүсийн ард, чимээгүй бүс ба төгсгөлийн ханын хооронд шаантаг хэлбэрийн шингээгч ерөнхийдөө ашиглах ба шаланд засал хийхгүй байж болохыг харж болно. Шаантаг шингээгч хэрэглэж буй гадаргуу ойсон энергийг чимээгүй бүсээс холдуулж төгсгөлийн хана руу чиглүүлэх үүрэгтэй.



Зураг 5 Энгийн хоёр ойлгогч ирмэгийн засалтай хэмжилтийн авсаархан орчин

Цацаргагчаас цацагдаж байгаа энергийн жигд бус тархалтаас (коллимациас) болж хэмжилтийн орчны хажуу гадаргуу дээрх долгионы тусгал нь чимээгүй бүсийн төвийнхтэй харьцуулбал 20дБ-ээр доогуур байна. Нэг долгионы уртын зузаантай ($t_s = 1$) шингээгч нь 45° -аас бага өнцгөөр тусаж буй тохиолдлын шингэлтээс 20дБ-ээр илүү байна. (Зураг 2). Хажуу гадаргуугийн тусгалтай үеийг ойлгох чадвартай нэгтгэвэл ойсон долгионы түвшин -40дБ-ээс бага болох боломжтой. Хэмжилтийн орчны өндөр нь (11) томъёонд үзүүлсэн утгыг ядаж хангах хэрэгтэй.

$$H \geq CR_h + (2 + K + t_c)\lambda \quad (11)$$

CR_h - ойлгогчийн нийт өндөр

t_c - таазны шингээгч засалын долгионы уртаар илэрхийлэгдсэн зузаан

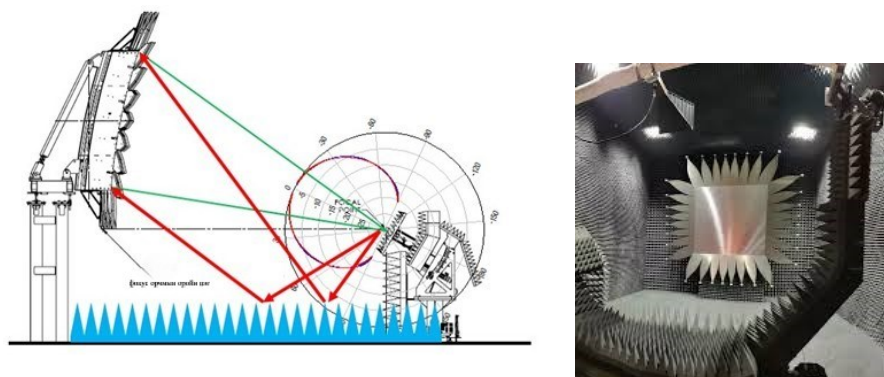
K -ойлгогчийн хамгийн доод хэсэг ба шалны хоорондох зайг долгионы уртын тоогоор илэрхийлсэн үзүүлэлт

λ - ажлын хамгийн бага давтамжийн долгионы урт

Ойлгогчийн хамгийн өндөрлөг хэсэг ба таазны шингээгчийн орой хоорондын хамгийн бага зай 2 долгионы уртын хэмжээтэй байхыг зөвлөж байна. Ойлгогчийн хамгийн өндөрлөг хэсэг ба таазны шингээгч хоорондох зайг ихэсгэж болно.

Шалны шингээгчийн хувьд ойлгогчийн ирмэг ба шалны шингээгчийн орой хоорондын зай t_f аль болох их байхыг зөвлөж байна. Энэ нь шалны ойлтыг ойлгогчид нөлөөлүүлэхгүй байлгахын тулд ойлгогч ба цацаргагчийн цэгүүдийн хоорондох толин

тусгалын цэг дээрх тусгалын өнцгийг бууруулахад тустай. (11) томъёонд байгаа K шал ба ойлгогчийн доод хэсэг хүртлэх зайг долгионы уртаар илэрхийлсэн утга байна. Ойлгогчид тусгах долгионыг үүсгэгч рупор антены байршуулагчийн багтаахын тулд илүү орон зай хэрэгтэй учраас K хангалттай их байх ёстой.



Зураг 6 Ойлгогчийг гэрэлтүүлэх энергийн ойлтыг бууруулахын тулд рупорын байршуулагч ба ойлгогчийн хоорондох шалны шингээгч

Чимээгүй бүсэд сарнилтыг бууруулахын тулд тэжээл орчмын шингээгчид анхаарлаа хандуулах хэрэгтэй (Зураг 6). Энэ шингээгч нь рупороос цацарч буй долгион чимээгүй бүсэд шууд туссан долгионыг унтраах зорилготой. Чимээгүй бүсэд нөлөөлж болох ойсон хавтгай долгионоос үүсэх диффракцийг багасгахын тулд болгоомжтой хандах хэрэгтэй. Тэгэхээр рупор орчмын шингээгч нь засалын ирмэгээс үүсэх засалыг чимээгүй бүсээс холдуулах байдлаар диффракцийг алга болгоно.

Хажуу хананы (t_s), шал (t_f), таазны (t_c) шингээгч нь ядаж (1λ) нэг долгионы урттай зузаан байх нь зохистой. Рупор ба ойлгогч хоорондох шалны шингээгчид онцгой анхааралтай хандах хэрэгтэй. Шалны шингээгчид тусах өнцөг 65° -аас их байх рупор ба ойлгогчийн хооронд фокусын цэг нь оршиж байгаа үед багадаа 1.5λ зузаантай шингээгчийг ашиглана.

Ерөнхийдөө хажуу хананд ба авсаархан хэмжилтийн орчны шүдтэй ирмэгтэй таазны засалын шингээгчийн хамгийн бага цахилгаан зузаан (хамгийн бага давтамж дээр) 1λ байна [11]. Хуйлсан ирмэгтэй ойлгогч ийн хувьд хажуу хана ба таазны гадаргуу дээр том шингээгчийг хэрэглэхийг зөвлөж байна. $1.5\lambda - 2\lambda$ гэсэн хамгийн бага хэмжээтэй пирамидан шингээгч засал ашиглана [11]. Нэвтрүүлэх талын хэмжигдэж буй антены хувьд авсаархан хэмжилтийн орчин үүсгэх гэж буй бол шингээгчийн чадал даах чадвар нь гол түлхүүр үзүүлэлт болно. Авсаархан хэмжилтийн ойлгогч нь рупор антены ойролцоох багахан хэсэгт чадлыг фокуслах рупор дээрх чадлын урсгалын нягт нь радио давтамжийн шингээгчийн чадал даах чадвараас их байж болно. Энэ галын аюултай байдалд хүргэж болзошгүй. Рупорын их чадлыг хэмжилтийн системийг хийцлэх үед тооцох хэрэгтэй. Рупор дээр маш их чадалтай бол энэ нь антеныг гэмтээх, бага шуугианы өсгүүрийг ханасан горимд оруулах эсвэл хүлээн авах талын блокуудыг гэмтээх болзошгүй. Авсаархан хэмжилтийн орчинд рупор дээрх чадлын урсгалын нягтыг (12) томъёонд үзүүлснээр томъёолсон байна.

$$S_{feed} \geq \frac{\lambda^2 G_{AUT}^2}{(4\pi R_0)^2} S_{AUT} \quad (12)$$

G_{AUT} – хэмжигдэж буй антены өсгөлтийн шугаман утга

S_{feed} – хэмжигдэж буй антены амсар дээрх чадлын урсгалын нягт

R_0 – авсаархан хэмжилтийн орчны ойлгогчийн төв ба рупорын хоорондох зай

5.3.8 Антены үр ашгийн хэмжилтэнд хэрэглэх реверберацийн чамбер

Reverberation chambers for antenna efficiency measurements

Антенны үр ашгийн хэмжилтэнд реверберацийн чамберыг хэрэглэж болно. Ажлын хамгийн доод давтамж дээр хангалттай тооны резонансын горимыг багтаах хэмжээтэй хийгдэх ба тодорхой хүлцэх хэмжээн дотор нэгэн төрлийн ба изотроп хэмжилтийн мужийг үүсгэх техникийн холимог шийдлээр реверберацийн чамбер нь тоноглогдоно. Хамгийн багадаа хамгийн бага давтамж дээр резонансын 60 горимтой байхыг зөвлөдөг.

Ашиглах хамгийн бага давтамжийг (13) томъёогоор олно.

$$\lambda_{f_{low}} = \frac{\sqrt[3]{V}}{1.925} \quad (13)$$

$\lambda_{f_{low}}$ - ажлын хамгийн бага давтамж дээрх долгионы урт

V -чамберийн дотоод эзлэхүүн

(13) томъёо хамгийн бага ажлын давтамж дээр хамгийн багадаа 60 резонансын горимтой байх шалгуурыг хангадаг. Ижил огтлолын давтамжтай горим үүсэхээс сэргийлэхийн тулд чамберын урт өндөр өргөн нь нэг нь нөгөөгийнхөө бүхэл тоон үржигдэхүүн байх ёсгүй.

6. Антенны хэмжилтийн орчны тоног төхөөрөмж Antenna range instrumentation

6.1 Ерөнхий зүйл

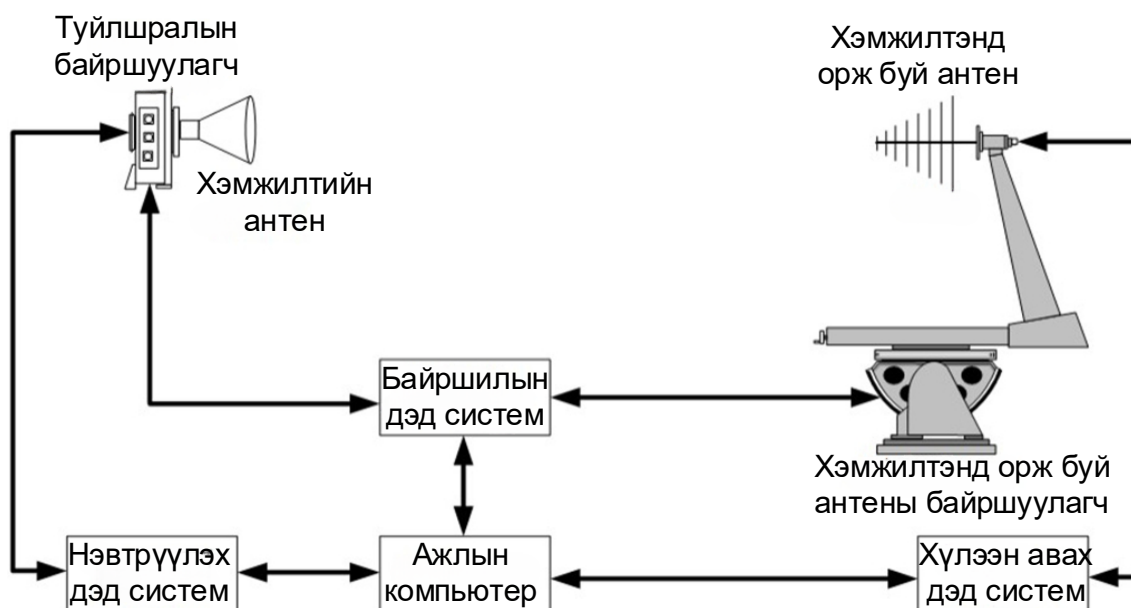
Хэмжигдэж буй антенны нийлмэл байдал, хийгдэх хэмжилтийн төрлөөс антенны хэмжилтийн орчинд ашиглах төхөөрөмжийн төрөл хамаарна. Нэг порттой идэвхигүй антенны хавтгай дээрх чиглэлийн энгийн диаграмаас эхлэн олон портын антенны бүрэн 360⁰-ийн орон зайн чиглэлийн диаграмыг туйлшралын шинж чанартай нь тодорхойлох нарийн хэмжилт хүртлэх хэмжилтэнд тавигдах шаардлага нь өөрчлөгдөж байдаг. Энд энгийн хэмжилт явуулах аргуудыг танилцуулна. Илүү нарийн хэмжилтийн системийг энд дурьдсан суурь зарчмуудыг нэгтгэх замаар бий болгоно.

Антенны хэмжилтийн орчинд шаардагдах төхөөрөмж хэрэгслийг 5 ангилна.:

- a) Хэмжилтийн антен
- b) Нэвтрүүлэх дэд систем
- c) Хүлээн авах дэд систем
- d) Байршуулах дэд систем
- e) Компьютер

Антенны хэмжилтийн орчны үндсэн төхөөрөмжийн бүтцийг зураг 7-д үзүүлэв.

Энэ диаграм 2 антентай: Хэмжигдэж буй антен, хэмжилтийн антен. Эдгээр антеннуудын хөдөлгөөнийг байршуулах дэд системээр удирдагдана. Нэвтрүүлэх дэд систем нь туршилтын давтамж дээр өрнүүлэлт/дамжуулал хийдэг бол хүлээн авах дэд систем нь янз бүрийн өнцгөөр хэмжигдэж буй антенны характеристикийг мэдрэх үүрэгтэй бол ажлын компьютер нь өгөгдөл цуглуулах бүх үйл явцыг удирдаж, үр дүнг нь операторт өгдөг. Зарим системд хэмжилтийн орчны нэвтрүүлэх ба хүлээн авах төгсгөл нь зурагт үзүүлсэн шиг тогтмол байдаг бол заримд нь өөрчилж болохоор байдаг. Жижиг системүүдэд нэг байрлал дээр нэвтрүүлэх ба хүлээн авах дэд систем нь нэгдмэл хийгдсэн байдаг.



Зураг 7. Антенны хэмжилтийн энгийн системийн бүтцийн схем

6.2 Хэмжилтийн антен

Мэргэжлийн нарийн суурилуултаас бусад тохиолдолд антенны хэмжилтийн цараа нь нэг антенны зурвасын өргөнөөс илүү өргөн зурвастай өргөн цараанд ажиллахаар хийгддэг. Өгөгдсөн давтамжийн зурвасыг бүхэлд нь хамрахын тулд хэмжилтийн бүл антенныг ашигладаг. Энэхүү хэмжилтийн давтамжийн цараанд энэ бүл антенны өсгөлт, цацрагийн өргөн, туйлшралын шинж чанар нь зохицсон байна. Хэмжилтийн орчны төрлөөс хэмжилтийн антенны төрөл сонгогдоно. Стандарт шууд харалтын орчинд, ойлтын орчинд эсвэл авсаархан хэмжилтийн орчинд өөр өөр хэлбэрийн антен ашигладаг. Антенны нийт хэмжилтийн царааны нэг хэсэгт тохируулж хэмжилтийн антенны сонголтыг хийнэ. Энд туйлшралыг хянах шаардлагатай болж болно. Энэ шаардлагыг хос туйлшралтай ортогональ саваа антен эсвэл туйлшралын байршуулагч дээр шугаман туйлшралтай хэмжилтийн антен ашиглах замаар биелүүлж болно. Туйлшралын байршуулагч нь туйлшралын гудайлтын өнцгийг шаардлагатай чиглэлд чиглүүлж тохируулах боломжтой. Энэ туйлшралын байршуулагчийг 9-р бүлэгт авч үзнэ. Антенны өсгөлтийг өсгөлт дамжуулалтын аргаар хэмжиж байвал өсгөлтийн хэд хэдэн стандарт утгатай байх шаардлагатай болно. Стандарт өсгөлтийн рупор нь шугаман туйлшралтай стандарт өсгөлтөнд нийтлэг ашиглагддаг бол мушгиа антен нь тойрог туйлшралын стандарт антен болно. 8-р бүлэгт өсгөлтийн тохируулгыг авч үзнэ.

6.3 Нэвтрүүлэх дэд систем

Нэвтрүүлэх дэд системийн үндсэн үүрэг нь тохирох давтамж дээр шаардлагатай чадлын түвшнийг туршилтын орчинд үүсгэх өрнүүлэх үүрэгтэй. Тэрээр дараах элементүүдээс тогтоно:

- Нэвтрүүлэх дохионы үүсгүүр
- тулгуур үндсэн салаалагч
- Давтамж үржүүлэгч
- Өсгүүр
- Олон зориулалтын сэлгэн залгагч, кабель, адаптер, хяналтын кабель

Нэвтрүүлэх дэд системийн элементүүдийн сонголт нь давтамжийн зурвас, гаралтын чадлын түвшин, удирдах ба давтамж сэлгэх хурд, тусгаарлалт, алдагдал -leakage, фазын шуугиан зэрэг олон хүчин зүйлээс хамаарна. Дохионы үүсгүүр нь ихэнхдээ хүчдлийн удирдлагатай генераторууд (VCO), итри төмөр бал чулуун yttrium-iron-garnet (YIG) генераторууд, ажлын давтамжийн зурвасыг хамрах шаардлагатай бол тоон (DDS) синтезаторууд байна. Ихэнх лабораторийн чанартай үүсгүүр нь 10МГц , 100 МГц-ийн тулгуур дохионоос үүсэлтэй давтамжийг өрнүүлэх ба давтамжийн хангалттай тогтворжилттой, хэмжилтийн системд нийцэлтэй байх хэрэгтэй болдог. Нэвтрүүлэх дэд системийн үзүүлэлтэнд тавигдах шаардлага нь хэмжилтийн шаардлага болон RF бусад дэд системтэй харилцан үйлчлэх байдлаас хамаарна. Энгийн бүтцийг 5.3 -р хэсэгт тайлбарлах болно. Ихэнх хэмжилтийн байгууламж нь давтамжийн өргөн цараанд хэмжилт хийхээр тоноглогдсон байдаг ч хэмжилтэнд ашиглаж болох давтамжийн царааны дээд доод давтамж хязгаарлагдсан байна. Нэвтрүүлэх дэд систем нь заримдаа байгууламжинд хийгдэж болох туршилт хэмжилтийн нийт царааны дохиог нэвтрүүлэх шаардлагатай байдаг. Зарим тохиолдолд нэвтрүүлэх дэд систем нь байгууламжинд зарцуулах төсөв, хэмжилтэнд тавигдах шаардлагаас хамаарч нийт давтамжийн царааны тодорхой хэсэг давтамжийн бүлийг хамарч байхаар ч хийгдэж болно.

Давтамж үржүүлэгчийг давтамжийн царааг өргөтгөх зорилгоор хэрэглэдэг. Хамгийн их чадлыг дамжуулахад дөхөм байхын тулд үржүүлэгчийг нэвтрүүлэх антены орчимд суурилуулдаг. Нам давтамжийг өрнүүлж буй дохионы үүсгүүр нь тохирох давтамж дээр чадлын боломжит дохиог үржүүлэгчийн оролтонд өгдөг. Зарим тохиолдолд хангалттай чадалтай болгохын тулд өсгүүртэй байна. Үржүүлэгч нь гаралтын чадлын түвшинг бага хэмжээгээр эсвэл бүр тохируулах боломжгүй байна. Энэ нь үүсгүүрийг ажлын давтамж дээр тохируулах хэрэгтэй гэсэн үг юм. Дохионы үүсгүүрийн анхдагч алсын удирдлагын портоор, паралел тоон интерфэйсээр эсвэл нүүрний хэсгийн тохируулгаар хийж болно. Олон үүсгүүр автомат хэмжилт хийхийн тулд тохирч ажиллах тодорхой давтамжийн жагсаалттай ба гадны тохируулагчаар энэ жагсаалтанд буй давтамжууд дээр тохируулж ажилладаг. Хоёр давтамжийн хооронд сэлгэн залгахад шаардах хугацаа нь нийт хэмжилтийн хугацаанд нөлөөлөх чухал хүчин зүйл болно. Дохионы үүсгүүрийн үнэ өртөг давтамж сэлгэх хурдаас хамаарч мэдэгдэхүйц ялгаатай байдаг. Байгууламж бүр хэмжилтийн хугацааны загвартай байх ба хэрэглээнд тохирсон тэнцвэрт харьцаатай байна. Дохионы үүсгүүрийн гаралтын чадлын түвшин нь мэдээж хэмжилтийн антен ба хэмжигдэж буй антены өсгөлт, хоёр антены хоорондох замын алдагдал, хүлээн авагчийн мэдрэмж, хэмжилтийг хийхэд шаардах динамик цараас хамаарна. Тэгэхээр гаралтын чадлыг тохируулах хэрэгцээ гарч болно. Энэ тохиргоо нь дохионы үүсгүүрийн нүүрний хэсэг дэх тохируулгаар, эсвэл алсын удирдлагаар, эсвэл аттенюатороор хийгдэж болно. Үүсгүүр нь чадлын түвшний идэвхтэй эсвэл идэвхгүй тохируулгатай байна. Чадлын тооцоолол нь магадгүй нэмэлт чадал шаардвал өсгөлт, нэвтрүүлэх ба хүлээн авах дэд системийн хоорондох замын алдагдлын тооцооноос тогтоно. Боломжийн хэмжилт хийх үед гаралтын чадал хангалтгүй байвал нэвтрүүлэх талд чадлын өсгүүр тавих эсвэл хүлээн авах талд бага шуугианы өсгүүр ашиглана. Хүлээн авах дэд систем хэр чадал шаардах нь тухайн хэмжилтэнд хүлээн авагчийн мэдрэмж динамик цартай байхаас хамаарна. Чадлын хэмжээ нь давтамжаас хамаарч байдаг. Зарим давтамж дээр өсгөлт шаардаж болно. Өсгүүр ашиглахаар бол өсгүүрийн гаралтанд холбогдож буй RF сэлгэн залгагч гэх мэт модульд хамгийн их чадал дамжигдаж байхад анхаарах хэрэгтэй болно. Сэлгэн залгалтын давтамж дээр тодорхой хязгаарт гаралтын чадлын түвшин тогтворжиход нэмэлт хугацаа шаардана. Дохионы үүсгүүрийн гаралтын чадал температур, дэд цар хоорондын шилжилтээс хамаарч өөрчлөлт багатай байна. Нарийн хэмжилтийн зарим төрлүүдэд энэ өөрчлөлт нь мэдэгдэхүйц байдаг. Энэхүү өөрчлөлтийг тооцохын тулд нэвтрүүлэх талын замд гадна салаалагчийг ашиглаж хүлээн авагч хүртэл тулгуур сувгийг үүсгэж хэмжилт хийнэ (Зураг 15). RF Сэлгэн залгагч нь өөр өөр давтамжийн зурваст хоёр портын RF саваа (хаймсуур) эсвэл

хэмжилтэн орж буй антенны порт руу өөр өөр нэвтрүүлэх замыг сонгоход ашиглагдана. Сэлгэн залгах хурд тусгаарлалт, нэвтрэх алдагдлыг мөн авч үзэх хэрэгтэй. Сэлгэн залгалтын өндөр хурдыг хагас дамжуулагч дээрх түлхүүрийн схемээр гаргадаг. Сэлгэн залгах портууд хооронд солбисон салаалалтыг бага байлгахын тулд өндөр тусгаарлалттай байхыг шаарддаг ч нэвтрэх алдагдал өндөр байхад үнэ өртгийг ихэсгэдэг. Удаан цахилгаан механик сэлгэн залгагчуудыг сэлгэн залгалтын хугацаанд өндөр шаардлага тавигдаагүй үед ашиглана. Цахилгаан механик сэлгэн залгуурууд нь тусгаарлалт ба нэвтрэх алдагдлын характеристик харьцангуй сайтай ч ажлын давталтын үе хязгаарлагдмал байдаг. RF сэлгэн залгуурыг сонгоход авч үзэх ёстой зүйл нь антенны шинж чанар, сонгогдоогүй портод холбогдсон RF хэрэгсэлийн шинж чанар юм. Сонгогдох ба сонгогдоогүй төлөвийн хооронд эсэргүүцлийн ялгааг бууруулахад шингээгч сэлгэн залгуурыг хэрэглэдэг.

Чадал өгөгдсөн төлөвийг солих гэж буй бол сэлгэн залгалтаас өмнө таслах үйлдлийг хийнэ. Хос туйлшралтай хэмжилтийн антен ба туйлшралын сэлгэн залгагчийг ашиглан хоёр ортогональ туйлшралтай байгуулагчийн хувьд хэмжигдэж буй антенны характеристикиг хэмжинэ. Энэ арга нь аль нэг туйлшралтай хэмжилтийн антенныг механикаар эргүүлэн ортогональ туйлшралыг гаргах аргаар хоёр туйлшралын долгионыг гаргадаг учраас туйлшралын байгуулагч хооронд фазын когерент нөхцлийг хангаж хэмжилтийн зайг сайн хамардаг давуу талтай. Хүлээн авагчийн хэмжилт бүрийн дараа туйлшралын сэлгэн залгалтыг хийх хэрэгтэй.

Хоёр туйлшралын хувьд харьцангуй хэмжилт хийх гэж байвал системийн шилжилт, хайлт хийх хөдөлгөөнөөр нэмэлт алдаа үүсч болох юм. Энэхүү асуудал хэмжигдэж буй антен ба сонгогдсон давтамжийн хувьд туйлшралын байгуулагч бүрийн хувьд дараалан хийгдэх замаар шийдэгддэг. Фазын мэдээлэл шаардах хэмжилтийн системийн хувьд тулгуур дохио шаардана. Зарим алсын оронгийн хэмжилтийн орчинд агаараас ирж буй дохиог хүлээн авах ба энэ хэмжилтийн хэрэгслүүдийн тулгуур суваг үүсгэхэд тулгуур хүлээн авагч хэрэг болдог. Олон жижиг хэмжилтийн орчинд ба авсаархан хэмжилтийн орчинд тулгуур салаалагч нь нэвтрүүлэх дэд системийн замд суурилагдах ба түүгээр хүлээн авах дэд системийн тулгуур суваг руу нэвтрүүлэх дохиог салаалдаг. Температурын ба давтамжийн шилжилтийн нөлөөллийг хүлээн авагчийн дэд систем дээр багасгах бөгөөд нэвтрүүлэх дохионы замд байх ямар нэг өсгүүр эсвэл давтамж үржүүлэгчийн дараа тулгуур салаалагчийг тавьна. Тулгуур суваг бүхий системийн жишээг зураг 40-д үзүүлжээ. Хэмжилтийн орчныг төлөвлөх ба хэмжилтийн бүтцийн үе шатуудад фазын когерентийн асуудал чухал үзүүлэлт болно. Ортогональ туйлшралуудын хоорондох фазын когерент шинж чанарыг боловсруулалтын явцад хэмжигдсэн туйлшралын байгуулагчууд нь комплекс утгатай байх үед авч үзвэл зохилтой.

6.4 Хүлээн авах дэд систем

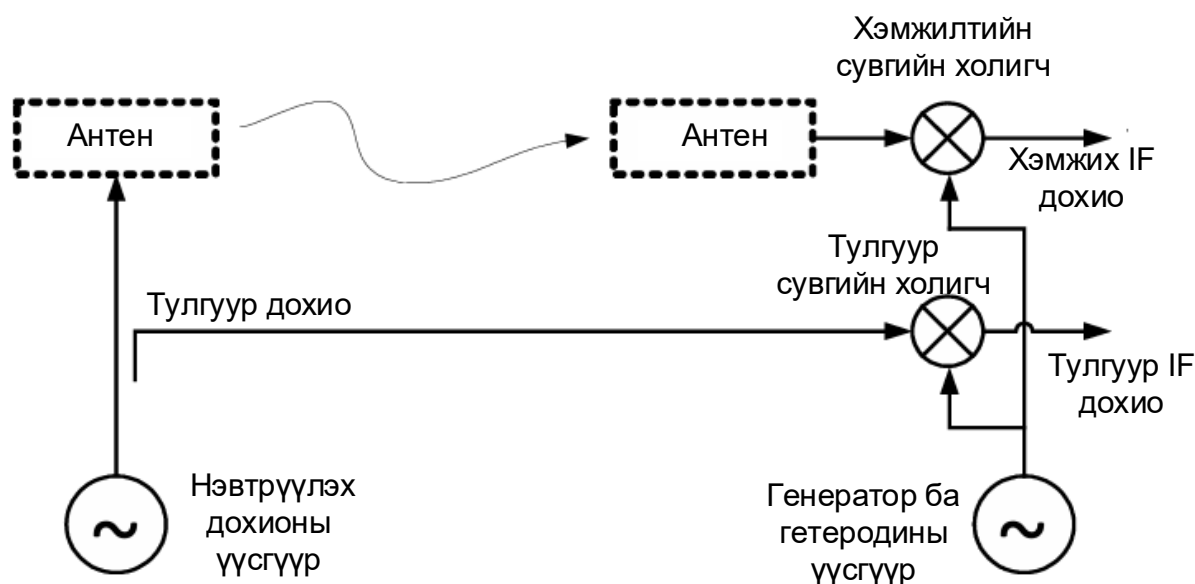
Хүлээн авах дэд системийн үндсэн зорилго нь хэмжигдэж буй антенны характеристикиг өнцгөөс хамааруулан хэмжихэд оршино. Дараах бүрэлдэхүүн элементүүдээс тогтоно.:

- Хэмжилтийн хүлээн авагч
- генератор LO-дохионы үүсгүүр
- холигч
- өсгүүр
- RF сэлгэн залгагч
- RF кабель адаптер кабелиуд

Хүлээн авах дэд системийн багаж төхөөрөмжийн сонголт нь тохирох хэмжилтийн нарийвчлал, ажлын давтамжийн цараа, мэдрэмж, динамик цар, тусгаарлалт, хэмжилтийн хурд зэргээс хамаарна. Антенны хэмжилтэнд хэрэглэгдэх багаж төхөөрөмжийг скаляр ба вектор гэж ангилдаг. Агууригийн хэмжилтийг хийх боломжтой спектр анилизатор, чадал хэмжүүр нь скаляр багажид хамаардаг бол фазыг хэмжих

боломжтой хэмжилтийн хүлээн авагч ба хэлхээний вектор анализатор нь вектор ангилалд орно.

Тэгэхээр чадал хэмжүүр ба спектр анализаторыг антены чиглэлийн диаграммын зөвхөн агууригийг хэмжихэд хэрэглэнэ. Өөр мэдэгдэхүйц дохио байхгүй үед хязгаарлагдмал динамик цард чадал хэмжүүр хэрэглэгддэг бөгөөд хэмжилтийн явцдаа оролтонд өгсөн бүх давтамжинд хэмжилт хийнэ. Гармоник болон хорт нөлөөллийн дохиог шүүлгүйгээр дохионы хамт хэмждэг. Чадал хэмжүүрийг бодвол ихэнх спектр анализатор гармоникийн болон хорт нөлөөллийн шуугианыг шүүж дарсны дараа хэмжилтийг өргөн цараанд явуулах чадвартай. Дэвшилтэт спектр анализатор нь антены хэмжилтэнд төдийлэн хэрэглэгдэхгүй ч дохиог шинжлэх, бодит хугацааны чадваруудтай байдаг. Гэхдээ эдгээр шинж чанар нь тасралтгүй дохионы хувьд ба өргөн зурвасын дохионы хэмжилтэнд хэрэглэгддэг. Орчин үеийн антены хэмжилтийн байгууламж нь хэмжилтийн хүлээн авагч ба хэлхээний вектор анализатороор (VNA) агууриг ба фазын хэмжилтийг хийх чадвартай. Энгийн вектор анализаторын үндсэн элементүүдийг зураг 8-д үзүүлэв.



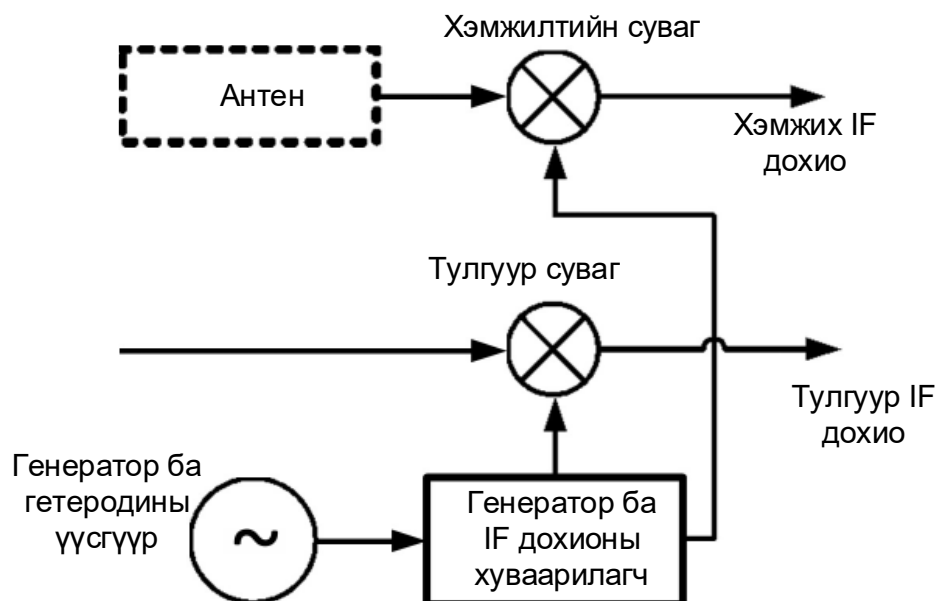
Зураг 8. Вектор хэмжилтийн энгийн элементүүдийн бүтцийн схем

Хэмжигдэж буй антены фазын характеристикийг хэмжихийн тулд хэмжилтийн хүлээн авагч нэг нь тулгуур фаз гаргах зориулалт бүхий 2 сувагтай. Хэмжилтийн хүлээн авагчийн тулгуур суваг нь нэвтрүүлэх талын дэд системээс илгээх тулгуур дохиог хүлээн авна. Хэмжилтийн хүлээн авагчийн хоёр дах суваг нь хүлээн авах антенд холбогдож хэмжилтийн сувгийг үүсгэнэ. Хэмжигдэж буй антены фазын характеристикийг хэмжилтийн суваг ба тулгуур суваг хоёрын фазын зөрөөгөөр тодорхойлдог. Тэгэхээр энэ хоёр дохио нь яг ижил давтамж, нэг ижил гетеродиныг ашиглаж 2 сувгийг үүсгэж байдаг. Гетеродины үүсгүүр нь завсрын гэж нэрлэгдэх тогтмол давтамж дээр хоёр сувгийг хувиргадаг. Ихэвчлэн хоёр сувгийн агууригийн харьцааг хэмжигдэж буй антены агууригийн характеристикийг хэмжихэд хэрэглэдэг. Нэвтрүүлэх дэд системийн агууригийн өөрчлөлтөөс үүсэлтэй нөлөөллийг арилгахад энэ харьцааг ашиглана.

VNA нь дор хаяж 2 хэмжилтийн хүлээн авагч ба нэг эсвэл 2 дохионы үүсгүүрийг агуулна. Ингэснээр нэвтрүүлэх ба хүлээн авах дэд системүүдийг нэг хэмжилтийн хэрэгсэл болгон нэгтгэдэг. VNA-г тулгуур ба хэмжилтийн суваг бүхий хэмжилтийн хүлээн авагчтай адил аргаар хэрэглэнэ. Хэмжигдэж буй антены агууриг ба фазын характеристикийг хэмжилт нь энэ хоёр сувгийн ялгааг хэмжих зарчимд тулгуурлана. Элементүүдийг багцлах асуудал нь хэд хэдэн ялгаатай аргаар хэрэгжинэ. Тулгуур сувгийн холигч, хэмжилтийн сувгийн холигч, нэвтрүүлэгч дохионы үүсгүүр ба

гетеродины үүсгүүр нэг хэрэгсэл болж багцлагдаж болно. Эсвэл бие даасан блокуудаараа хэрэглэж болно. Нэг багцлалтай хэрэгсэл нь антен бүрийг хэмжилтийн хэрэгсэлтэй холбох RF кабель шаардана. Эдгээр кабелиуд нь хэмжилтийн бүх давтамжийн зурваст нийцтэй байна. RF кабель дах алдагдал нь системийн боломжит чадал, мэдрэмж, динамик цар зэрэг RF үзүүлэлтэд нөлөөлнө. Маш жижиг чамбер эсвэл нилээд нам давтамжинд RF кабелийн алдагдал нэг блоктой байрлах нэвтрүүлэх ба хүлээн авах дэд системийн үзүүлэлтийг хангахуйц байна.

RF кабелийн алдагдал нь үзүүлэлтийг хангалттай түвшинд хүргэхгүй бууруулж байвал нэвтрүүлэх ба хүлээн авах дэд систем дэх RF өсгүүр нь хэмжилтийн цар хүрээг өргөтгөх зориулалттай алдагдлыг бууруулах үүрэгтэй. Системийн бүрдэл хэсгүүд нь бие даасан нэгж хэсэг бөгөөд үзүүлэлтийг оновчлохын тулд системийн зохих цэгт тухайн нэгж хэсгийг байрлуулна. Гадна орчны алсын оронгийн хэмжилтийн орчинд нэвтрүүлэх дохионы үүсгүүр нь салангид бүрдэл мэтээр хэмжилтийн орчны нэг төгсгөлд шилжиж байхаар байрладаг. Дотор хэмжилтийн олон орчны хувьд нэвтрүүлэх өсгүүр ба урт RF кабелиас зайлсхийхийн тулд нэвтрүүлэх дохионы үүсгүүрийг бие даасан нэгж байдлаар хийдэг. Бусад хэрэгсэл төхөөрөмж рүү үр ашигтай тархалтын замыг үүсгэхийн тулд тохиргоо ба олон давтамжийн ажиллагааг идэвхжүүлэх нь хэмжилтийн хугацааг сайжруулахад чухал юм. Том гадна хэмжилтийн орчинд ихэвчлэн цацаргалтын тулгуур замыг ашигладаг ба энэ нь урт коаксиаль кабелиар салаалж үүсгэхтэй адил алдагдал багатай нэвтрүүлэх тулгуур замын нэг болно. Хүлээн авах дэд системийн мэдрэмжийг оновчлохын тулд холигчийг хэмжилтийн хүлээн авагч буюу VNA -аас хол тусад нь байрлуулдаг. Харин хэмжилтийн сувгийн холигч нь хүлээн авах антентай аль болох ойр байрлана. Энэ аргыг хэрэглэж байгаа үед LO/IF -г хуваарилах нэмэлт элементээр нэгдсэн LO дохиог тулгуур ба хэмжилтийн холигч аль алинд нь өгдөг (Зураг 9)



Зураг 9 Алсын холигч ашиглах үеийн LO/IF-ийн хуваарилах нэмэлт элемент

Гетеродин буюу LO дохио LO кабелийн давтамжаас хамаарч буурах кабелийн алдагдлыг саармагжуулахын тулд LO-ийн ажлын өргөн цард холигч бүрд тохирох чадлын түвшинтэйгээр өгөгдөж байх ёстой. Үүнийг гүйцэтгэх олон арга техник бий. Холигч бүрийн замд тохируулсан засуурыг ашиглах бөгөөд хоёр холигчийн хэлхээнд өгөгдөж буй дохионы түвшнийг хянах тохируулах зорилгоор нэг холигч дээр детектор тавьж өгөх нэг жишээг дурьдаж болно. Арга техник бүр өөри өөрийн давуу ба дутагдалтай талтай. Аль ч арга нь хэрэглэгдсэн ч LO/IF хуваарилах функц холигч бүрийн ажлын давтамж дээр тохирох түвшинтэй чадлыг өгч байх ёстой. Хэрэв LO

түвшин хангалттай биш бол холигч нь IF гаралтын дохиог хэлбэржүүлж чадахгүйд хүрнэ.

Хэмжилтийн холигч нь хэмжигдэж буй антентай зохицолтой байх ёстой ба мэдэгдэхүйц үл зохицол нь хэмжилтийн утгыг эргэлзээтэй болгоно. (13-р бүлэгт) Хэмжилтийн холигчоор алдагдах LO-ийн алдагдал нь хэмжигдэж буй антенаас эргэн ойж дахин холигчид өгөгдөж ялангуяа LO давтамж дээр хэмжилтэн орж буй антен муу зохицолтой байдаг өндөр эрэмбийн (3 ба 5-р гармоник) холигч дээр LO-ийн алдагдал их байна. Энэ хоёр шалтгаанаар RF тусгаарлагч (үндсэн гармоникийн холигч) холигч эсвэл хэмжилтийн холигч ба хэмжигдэж буй антен хооронд дуплексер ашиглахыг санал болгодог. Тусгаарлагч/ дуплексер байхгүй буюу практикт олдоцгүй гэх мэт ашиглах боломжгүй нөхцөлд RF аттенюатороор эсэргүүцлийн зохицуулалтыг сайжруулж, системийн дохио шуугианы харьцааг муутгадаг дахин холилдолтыг бууруулна.

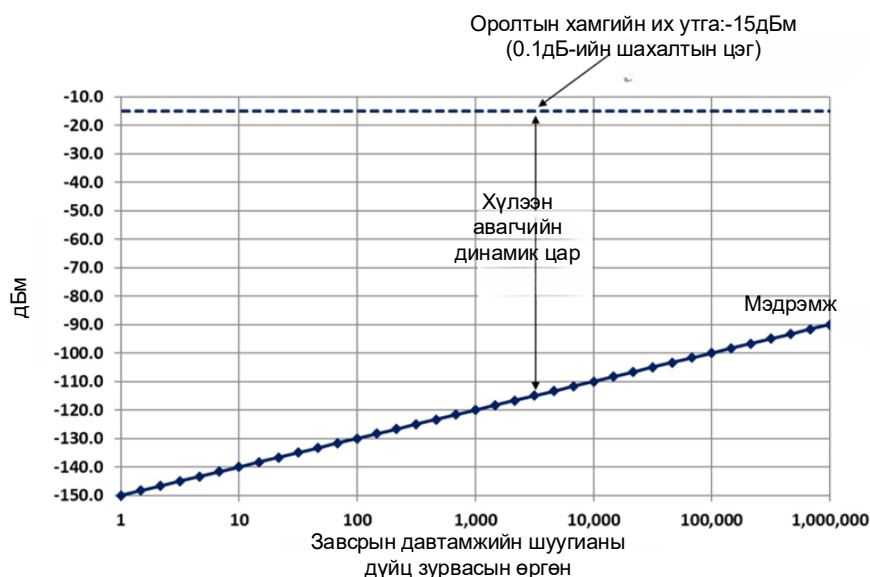
Хүлээн авагчийн динамик царыг хүлээн авах төхөөрөмжийн авч чадах хамгийн их оролтын чадал ба хүлээн авагчийн шуугианы босгын ялгаагаар тодорхойлдог. Оролтын хамгийн их чадал нь 1дБ-ийн шахалтын цэгээр тодорхойлдог бол зарим хэрэгслүүдэд энэ утгаар хамгийн их чадлыг тодорхойлдоггүй ч байж болно. Мэдрэмжийг 1Гц-ийн зурвасын өргөн дэх дулааны шуугиан $kT(1\text{Гц})$, хүлээн авагчийн шуугианы үзүүлэлт NF хүлээн авагчийн завсрын давтамжийн зурвасын B өргөнөөр (14) томъёогоор тодорхойлно.

$$\text{Sensitivity}_{dBm} = 10\log_{10}\left(\frac{kT(1\text{Гц})}{1000}\right) + NF + 10\log_{10}(B) \quad (14)$$

$k = 1.38 * 10^{-23} \left[\frac{J}{K}\right]$ Больцманы тогтмол

T - хүлээн авагчийн оролтын абсолют температур [K]

Энэ томъёондох завсрын давтамжийн зурвасын өргөн B нь шуугианы дүйц зурвасын өргөн ба хүлээн авах дэд системийн энэхүү үзүүлэлтийг хүлээн авагч дах тоон шүүрийн уртаас эсвэл үзүүлэлтийн дунджаар тохируулна. Энэ үзүүлэлтийг завсрын давтамжийн зурвасын өргөний утгыг сонгож тохируулна. Нарийн зурвасын өргөн нь шуугианы босгыг бууруулж хэмжилтийн эргэлзээг бууруулдаг ч хэмжилтийн хугацааг удаашруулдаг. Хэмжилтийн хугацааг хамгийн бага болгох нь завсрын давтамжийн шуугианы дүйц зурвасын өргөнтэй урвуу хамааралтай байна. Зарим хэрэгслүүд боловсруулалтын болон өгөгдөл дамжууллын нэмэлт хугацаа шаардаж болох юм. Зураг 10-д 24дБ-ийн шуугианы үзүүлэлттэй хэмжилтийн хүлээн авагчтай байх үеийн зарчмыг үзүүлэв.



Зураг 10 Шуугианы зурвасын өргөнөөс хүлээн авагчийн динамик цар хамаарах

Зарим антенны хэмжилтэнд хэмжилтийн хугацаа нь хэмжигдэж буй антен эсвэл хэмжилтийн антен хоёрын хөдөлгөөний хурдаар хязгаарлагддаг. Гэхдээ олонх тохиолдолд шаардлагатай хэмжилтийг хийхийн тулд антенны хөдөлгөөнийг удаашруулдаг. Энэ тохиолдолд хүлээн авагчийн хурд чухал хүчин зүйл болно. Хүлээн авагчийн хэмжилтийн хурдыг завсрын давтамжийн өргөн зурвас хэрэглэснээр ихэсгэж болох ч динамик цар ба мэдрэмж нь буурч хэмжилтийн эргэлзээ ихэсдэг. Тэгэхээр хурд зурвасын өргөн мэдрэмжийн хооронд зохистой харьцааг тогтоох чухал. Автоматчилагдсан хэмжилтийн системд системийн нийт хурдад нөлөөлөх өгөгдөл дамжуулах чадвар, давтамж сэлгэх хурд, RF сэлгэн залгалтын удирдлага, техник хангамжийн идэвхит байдал зэрэг хэд хэдэн үзүүлэлтүүд байдаг. Өгөгдөл дамжуулах чадвар (data throughput) хүлээн авах дэд систем ба ажлын компьютер хооронд дамжигдаж буй өгөгдлийн хурдыг илэрхийлнэ. Зарим хэрэгслүүд өгөгдөл дамжуулахтай холбоотой нэмэлт өгөгдөл их дамжуулдаг. Хүлээн авах дэд систем нь олон хэмжилт хийж түүний үр дүнгээр том блокууд үүсгэдэг өгөгдлийн буфертэй бол мэдээлэл цуглуулах хурдыг сайжруулж болно. Эс бөгөөс хэмжилт бүр өгөгдлийг ажлын компьютер руу дараагийн хэмжилт эхлэхээс өмнө дамжуулах шаардлагатай тулгарна. LO -ийн дохионы үүсгүүрийн давтамж сэлгэх хурд нь нэвтрүүлэх дэд системийнхтэй ойролцоо байх хэрэгтэй. Хэрэв нэг нь нөгөөгөөсөө хэт ялгаатай хурдтай бол бага хурдаар сэлгэлт хийгдэж буй дохионы үүсгүүр нь давтамж сэлгэх хурдыг илүү түлхүү хязгаарлана. Хэмжилтэнд олон давтамжийн хэмжилт хийх хэрэгтэй бол сэлгэх хурд нь нийт хэмжилтийн хугацааг тодорхойлогч гол үзүүлэлт болно. Олонх хүлээн авах дэд системд хэрэглэгдэх RF сэлгэн залгагч нь нэвтрүүлэх дэд системдээ хэрэглэгдэнэ. RF сэлгэн залгагч нь ялгаатай олон хүлээн авах замаас сонгох, ялгаатай давтамжийн зурвас сонгох, хос портын саваа руу эсвэл хэмжигдэж буй антен руу юу гэсэн сонголтыг хийдэг. Энэ асуудал нэвтрүүлэх дэд системд ч хийгдэх бөгөөд чадал, тусгаарлалт, алдагдал/урсалт, нэвтрэх алдагдлаараа ялгаатай байна. RF сэлгэн залгагчуудыг удирдах нь сонгогдсон багаж төхөөрөмжийн чадвараас хамаарч хүлээн авах дэд системд эсвэл ажлын компьютерт хамаарна. Хурдтай RF сэлгэн залгагч нь системийн бодит хугацааны удирдлагад илүү тохирдог. Хүлээн авах дэд систем ихэнхдээ хэмжигдэж буй антендаа шууд холбогддог кабель ба бусад RF хэрэгслүүдтэй бөгөөд коаксиаль кабелийн уян хатнаас хэмжилтийн мэдэгдэхүйц алдаа үүсэхээс сэргийлж байршуулах дэд системийн хөдөлгөөнийг хязгаарлахгүйгээр RF ба сэлгэлт удирдах кабелийн замчлалын хувьд хийцийг авч үзэх хэрэгтэй. Кабелийн замчлалыг (кабель тавилтыг) хялбарчлах болон хэмжилтийн тогтвортой, нэгэн жигд байдлыг хадгалах зорилгоор хүлээн авах дэд системд коаксиал эргэдэг холболтууд болон цахилгаан цагираган гулсах контактуудтай нэгтгэн ашиглаж болно. Маш өндөр нарийвчлал шаардаж буй үед илүү нарийн төвөгтэй кабелийн калибровкын (тохируулгын) аргууд амжилттай хэрэглэгдэж ирсэн. Хэмжигдэж буй антентай ойр байрладаг бөгөөд хэмжилтийн орчны бөмбөрцгийн нэгээхэн хэсэгт хэмжилтийн антен руу шууд харах шугам үүсэх нь элбэг байдаг тул хүлээн авах дэд системийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдээс үүсэх RF нэвчилт болон сарнил нь хэмжилтийн бүсэд мөн чухал анхаарах асуудал болдог. Автоматчилагдсан хурдан хэмжилтийн системүүдэд хүлээн авах дэд систем техник хангамжийг эхлүүлэх чадвартай байна. Ихэнхдээ анхдагч эхлүүлэгч нь байршуулах дэд системээр эхлэх ба өгөгдлийг урьдчилан тодорхойлогдсон торон замын дагуу цуглуулна. Хэмжилтийн дэд систем нь хугацаанд тулгуурласан өгөгдөл цуглуулалтыг ашиглаж болно.

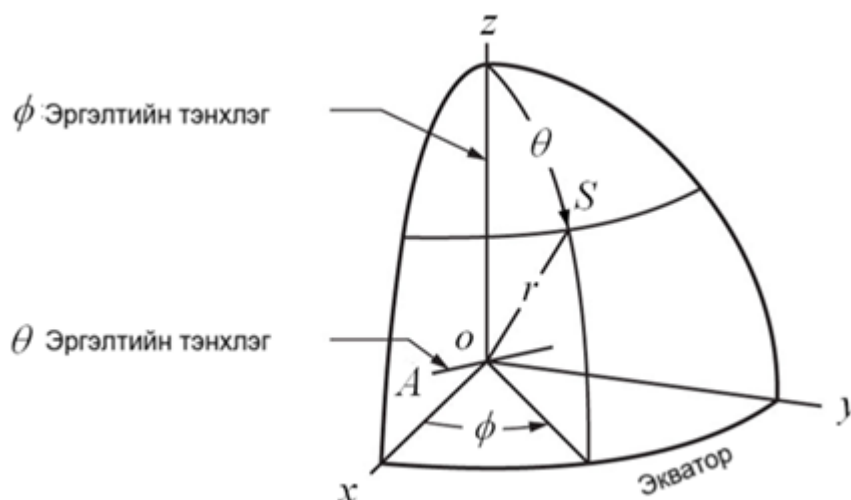
6.5 Байршуулах дэд систем Positioning subsystem

Байршуулах дэд системийн үндсэн үүрэг нь хэмжигдэж буй антен ба хэмжилтийн антен хоёрын орон зай дах харьцангуй байрлалыг удирдахад оршино. Дараах элементүүдээс тогтоно.

- Хэмжилтийн антенны байршуулагч

- Хэмжигдэж буй антены байршуулагч
- Байршуулагчийн удирдлага
- Чадлын өсгүүрийн блок
- Байрлал хэмжих хэрэгсэл
- Байршил дээрх удирдлагын блок
- Удирдлагын кабель

Байршуулах дэд систем хэмжигдэж буй антенаар үүсэх механик ачааг зохицуулах чадвартай байна. Хэмжилтийн шаардагдах эргэлзээг хангахаар хангалттай нарийвчлалтай байна. Хэмжилт явагдаж буй орчинд координатын системийг дэмжих шаардлагатай. Ихэнхдээ бөмбөрцөг координатын системийг алсын оронгийн хэмжилтийн системд ашигладаг. Шууд харах зайн тогтсон болон хөдөлгөөнт аргуудын алинд ч θ ба ϕ өнцгийн зүсэлтээр үүсэх ортогональ 2 тэнхлэг шаардана. Эдгээр тэнхлэгүүд эргэлтийн θ ба ϕ өнцгийн тэнхлэгүүдийг Зураг 11-д үзүүлжээ.



Зураг 11 Бөмбөрцөг координатын систем ашигласан антены байршуулагчийн эргэлтийн хоёр ортогональ тэнхлэг

θ -г тогтмол байлгаж ϕ -ээр өөрчилсөн ϕ тэнхлэг нь координатын системийн OZ тэнхлэг юм. ϕ -г тогтмол байлгаж θ -ээр өөрчилсөн θ тэнхлэг нь координатын системийн OS нь хэмжилтийн антен руу чиглэсэн чиглэлийг тодорхойлдог бөгөөд OS-тэй нормалаар огтлон гарах OA шулууны тэнхлэг юм. Эдгээр тэнхлэгүүд бүхий л бөмбөрцөг координатын системд байршуулагчийг авч үзэх үед хэрэглэгдэнэ.

Тогтсон шууд харах зайн системд θ ба ϕ эргэлтийн өнцгүүд нь хэмжигдэж буй антены байршуулагчийг бүрэн илэрхийлдэг. Энэ шаардлагыг 2 төрлийн байршуулагч хангадаг.:

Эхлээд хэвтээ чиглэлээр дараа нь босоо чиглэл (Зураг 12)

Эхлээд босоо чиглэлээр дараа нь хэвтээ чиглэл (Зураг 13)

Заримдаа илүү уян хатан байдлыг хангахын тулд нэмэлт тэнхлэг шаардах тохиолдол бий.

Эхлээд хэвтээ чиглэлээр дараа нь босоо чиглэл ба эхлээд босоо чиглэлээр дараа нь хэвтээ чиглэлээр тохирох байршуулагчийг хэмжигдэж буй антен экваторын дагуу оршиж, энэ антены үндсэн чиглэлээс 90° аар хазайсан чиглэлд координатын системийн туйл оршиж байгаа тохиолдолд хэрэглэнэ. Байршуулагчийн энэ 2 байршил нь θ -г өөрчилхөд хэмжигдэж буй антен нумын дагуу шилжиж босоо тэнхлэгийн дагуу шилжихгүй хүндрэлтэй болдог дутагдалтай.

Эхлээд босоо чиглэлээр дараа нь хэвтээ тэнхлэгийн байршуулагчийн өөр нэг хувилбарын жишээ бол хэвтээ тэнхлэгт өнхрөх байршуулагч юм. (Зураг 14) Энэ байршуулагчийн бүтэц нь хэмжигдэж буй антен туйл руу чиглэсэн байрлалтай бөгөөд хэмжилтийн координатын системийн туйлууд хэмжигдэж буй антены үндсэн чиглэл

дээр эсвэл түүний ойролцоо байх нөхцөл юм. Ихэнх байршуулагч антены характеристикиг хэмжихэд интерференц үүсгэдэг хүсэшгүй ойлтыг бууруулахын тулд шингээгч шаарддаг. Энэ байршуулагчийн бүтцийн хувьд зарим үед антен нь байршуулагчийн их биеэс хол байрлаж хүсэшгүй ойлтыг бууруулдаг. Хэмжилтийн бүсийн нэг байршил болох хэмжилтийн координатын системийн эх дээр хэмжигдэж буй антен хөдөлгөөнгүй байрлаж бөмбөрцөгийн дагуу бүрэн тойрох замаар хэмжилтийг авдаг.

Ойлт ба хаалтыг бууруулахын тулд Зураг 12 ба Зураг 13 дээр үзүүлсэн байршуулагчийн хэлбэртэй харьцангуй жин багатай, гулзайлтын моментийн багтаамж багатайгаар хэвтээ чиглэлээр тойрох байршуулагчийг хийдэг.

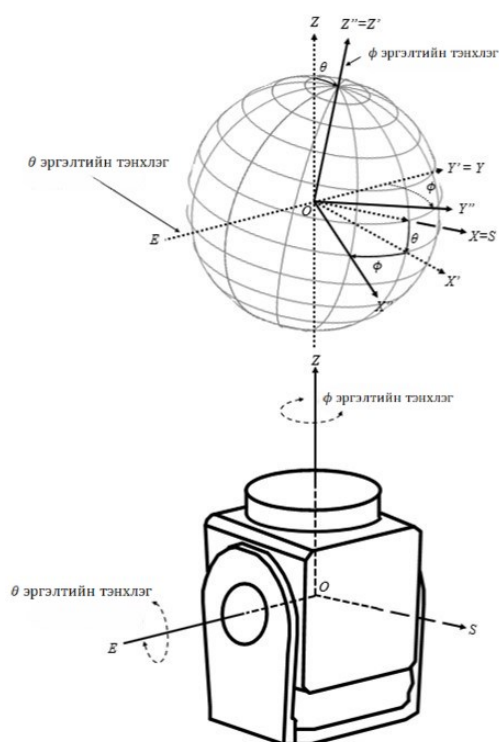
Байршуулагчууд нь хэмжигдэж буй антены цацаргалтын диаграм нь изотроп цацаргалттай байхыг шаарддаг. Энэ тохиолдолд хэмжигдэж буй антены цацаргалтын диаграмыг мэдэгдэхүйц хэмжээгээр өөрчлөхгүй байхаар бүтээгдэх ёстой. Үүний нэг арга нь метал биш тулгуурын төгсгөлд антеныг дүүжилж байршуулах, нөгөөх нь диэлектрик тулгуур эсвэл полистер багананд антеныг бэхлэх явдал юм. Эдгээр аргын аль ч тохиолдолд нь бүрэн хэмжээний цацаргалтын диаграмыг хэмжих хөдөлгөөн хийхэд төвөгтэй болно.

Чиглэлийн диаграмын хэмжилт хийж байгаа үед хэмжигдэж буй антены коаксиаль кабелиар алдагдах сарнилт бага сарнилт үүсгэх бүтцийн давуу талыг үгүй болгодог. Кабелийн энэхүү сарнилтыг багасгахын тулд RF хэмжилтийн илүү боловсронгуй техникийн шийдлүүдийг ашигласнаар шийдвэрлэж болно. Бараг изотроп антены хэмжилт илүү төвөгтэй байна. Хэрэв хэмжилт нь ортонональ туйлшрал ашиглахыг шаардаж байвал хэмжилтийн антен туйлшралаа өөрчлөх хэрэгслээр хангагдсан байх ёстой. Шугаман ортогональ туйлшралын хувьд шугаман туйлшралын антеныг дор хаяж 90° эргэлдүүлэх чадвартай антены байршлыг тогтоох нийтлэг арга байдаг боловч туйлшралын хэмжилтийн зарим аргын хувьд хэмжилтийн явцад туйлшралын чиглэлийг тасралтгүй 360° -аар эргүүлэх ёстой. Нэг чиглэлийн диаграмын хэмжилтийн явцад хоёр ортогональ туйлшрал ээлжлэн солиглож болзошгүй тул туйлшралын сэлгэн залгагч бүхий хос туйлшралтай хэмжилтийн антеныг ашиглах нь илүү давуу арга болно.

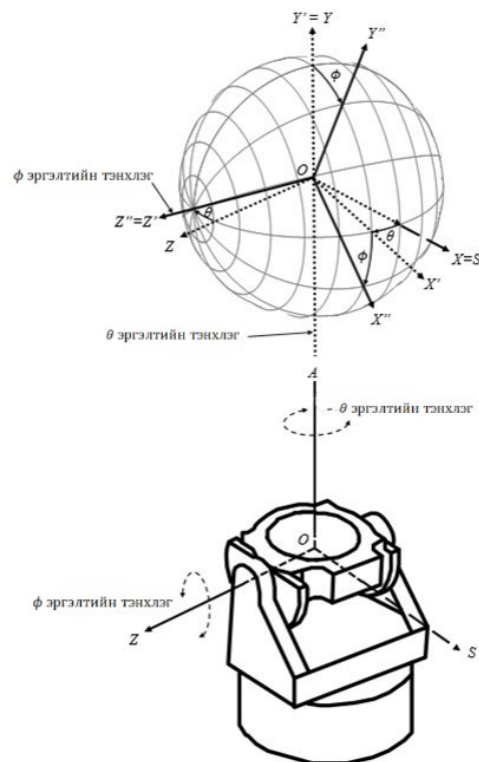
Зураг 12, 13, 14 дээр 3 байршуулагчийн бүтцийг үзүүлжээ.

Хэмжигдэж буй антены координатын системийн эерэг чиглэлээр ажиглалтын S чиглэл дайран өнгөрөхөөр хоёр тэнхлэгийн хөдөлгөөний эерэг чиглэлийг сонгоно.

Тайлагнах байрлалуудыг AUT (θ , ϕ) бөмбөрцөг координатын системд шууд харуулахын тулд энэ конвенцийг ашиглахыг зөвлөж байна. Экватор руу чиглэсэн байршуулагчийн хувьд тэнхлэгүүдийг дахин оноох нь нийтлэг байдаг. Өөрөөр хэлбэл босоо байршуулагчийн дээгүүр хэвтээ байршлын хувьд $\theta = 90^\circ$ байрлал нь $E = 0^\circ$ байна. Ийм тохиолдолд У-ийн эерэг утга хэвтээ төвийн шугамаас дээгүүр хэмжигдэж буй антены ажиглалтын чиглэлийг илэрхийлж байхаар босоо чиглэлийн байршуулагчийн эерэг хөдөлгөөний чиглэлийг урвуу болгох нь түгээмэл байдаг. (өөрөөр хэлбэл босоо чиглэлийн утгын $0^\circ \geq E \geq 90^\circ$ мужид хэмжигдэж буй антены координатын системийн $0^\circ < \theta < 90^\circ$ мужид харгалзаж байна.) Байршлын мэдээллийг ихэвчлэн синхро, шийдэгч, кодлуур ашиглан гаргадаг. Стандарт нарийвчлалтай арилжааны байршуулагч нь эргэх тэнхлэгт араагаар холбогдсон хос хурдын синхро систем, кодлуур ашигладаг.



Зураг 12 —Хөдөлгөөний хоёр алхамын дараа утсан тор хэлбэрээр дүрслэгдсэн хэмжигдэж буй антены бөмбөрцөг координатын системтэй хэвтээ-босоо чиглэлийн байршуулагч. Эхэндээ, тэмдэглэгээгүй координатын системд байршуулагч нь зурагт үзүүлсэн доод байрлалд байх ба ажиглалтын чиглэл S нь $\theta = 90^\circ$, $\phi = 0^\circ$ байрлалд байна. Дараа нь өндрийн буюу (θ) чиглэлд -15° -ийн эргэлт хийхэд хэмжигдэж буй антены координатын систем эргэж, нэг штрихтэй координатын системд S чиглэл нь $\theta = 75^\circ$, $\phi = 0^\circ$ байрлалд шилжинэ. Эцэст нь хэвээ буюу ϕ чиглэлд $+30^\circ$ -ийн эргэлт хийхэд хэмжигдэж буй антены координатын систем дахин эргэж, хоёр штрихтэй координатын системд шилжиж S чиглэл нь $\theta = 75^\circ$, $\phi = 30^\circ$ байрлалд байрлана.



Зураг 13 Хоёр хөдөлгөөний алхамын дараах утсан торон хэлбэрээр дүрсэлсэн хэмжигдэж буй антены бөмбөрцөг координатын систем бүхий хэвтээн дээгүүр босоо байршуулагч. Эхэндээ, штрихгүй координатын системд байршуулагч нь зурагт үзүүлсэн доод байрлалд байх бөгөөд ажиглалтын чиглэл S нь $\theta = 90^\circ$, $\phi = 0^\circ$ байрлалд байна. Хэвтээ θ чиглэлд $+15^\circ$ -ийн эргэлт хийхэд хэмжигдэж буй антены координатын систем эргэж, нэг штрихтэй координатын системд S чиглэл $\theta = 105^\circ$, $\phi = 0^\circ$ байрлалд шилжинэ. Эцэст нь өндрийн ϕ чиглэлд $+30^\circ$ -ийн эргэлт хийхэд хэмжигдэж буй антены координатын систем дахин эргэж, хоёр штрихтэй координатын системд S чиглэл $\theta = 105^\circ$, $\phi = 30^\circ$ байрлалд байрлана.

тэнцвэржүүлэх жингээр засаж нугалах моментийг бууруулж болно.

6.6 Ажлын компьютер

Ихэнх антенны хэмжилтийн системүүд 3 үндсэн үйлдэл хийх програм хангамж бүхий компьютертэй байдаг.:

Хэмжих хэрэгслийн анхны тохиргоо болон хяналт: Дамжуулах системийн нэг хэсэг дохионы үүсгүүрийн, хүлээн авагчийн гетеродин, байршуулагчийн нэг ба хэд хэдэн байрлалын тохиргоо удирдлага багтана. Эдгээр дэд системийн элементийн зарим нь нэгдсэн байдаг. Нийтлэг холбооны протоколууд нь IEEE-488 GPIB, этернэт LAN, USB, эсвэл бусад үйлдвэрийн стандарт интерфэйс байдаг.

Өгөгдөл цуглуулах: Ихэнх систем нэг тэнхлэгийн дагуу тогтмол хурдаар шилжүүлж өгөгдлийг шууд цуглуулдаг. Нэг байрлал бүрд, эсвэл сонирхож буй өнцөгт хүрвэл хэмжилт хийгдэж өгөгдөл цуглуулна. Зарим тохиолдолд RF хэмжилтийн туршид байршлын мэдээллийг хамтдаа цуглуулж байдаг. Энэ процесс энгийн холбооны протоколоор програм хангамжийн тусламжтай бүрэн удирдагддаг. Гэхдээ энэ үйлдэл хэрэгсэл хоорондын бодит хугацааны холбооны урьдчилсан холболт тогтоолт хийж автомат дамжуулал хийдэг техник хангамжаар илүү хурдан, илүү нарийвчлалтай хийгддэг. Зарим тохиолдолд Өгөгдөл цуглуулах үйл явц нь RF сэлгэн залгагчийн байрлалыг өөрчлөх, идэвхтэй антентай холбогдох, давтамж хайх, холболтыг түгжих өгөгдлийг буферлэх зэрэг бүхий л процессыг зохицуулахын тулд нэмэлт хэрэгсэл ашигладаг.

Үр дүнгийн шинжилгээ: мЭгөгдлийг цуглуулсны дараа өгөгдлийг шинжлэх хэрэгтэй. Хамгийн багадаа чиглэлийн диаграмын хэдэн янзын зураглалыг шаардана. Магадгүй энэ нь 2 хэмжээст тэгш өнцөгт эсвэл туйлын координатын систем дээр нэг ба олон давтамжийн утгуудад дүрсэлж үзүүлэх хэмжээний байна. Эдгээр зураглалын хувьд агууриг эсвэл фазын өөрчлөлт нь бусад тэнхлэгийн хувьсагчийг тогтмол байлгаж θ эсвэл ϕ өнцгөөс хамаарсан функц байна. Изометрийн (2 хэмжээст гадаргуу дээрх объектын 1200 -ийн өнцөг үүсгэсэн 3 тэнхлэг бүхий координатын систем дэх 3 хэмжээст) , контур (3 хэмжээст гадаргууг z -ийн тогтсон утгууд дээрх хоёр хэмжээст координатын систем дэх дүрслэл) ба бусад 3 хэмжээст дүрслэлүүд нь антенны характеристикийн харагдацийг сайжруулахын тулд ашигладаг.

6.7 Давхцуулах аргачлал

6.7.1 Ерөнхий зүйл

Алсын оронгийн ба авсаархан хэмжилтийн хувьд үнэлэх үзүүлэлтээс нь хамаарч цуглуулсан өгөгдлийг доорхи байдлаар ангилна.:

- а) хэмжигдэж буй антенныг нэг тэнхлэгийн дагуу өөрчлөн хэмжих ба харин нөгөө тэнхлэг нь түүнтэй перпендикуляр буюу ортогональ бөгөөд түүний тогтмол утга эсвэл тодорхой байршлын утгууд дээр хэмжинэ.

Хэмжилт хийх ангилал:

- 1) Конус хайлт: ϕ тэнхлэгээр хэмжилт хийнэ. Ихэвчлэн хэмжигдэж буй антенны үндсэн цацаргалтын гол чиглэлийг ϕ тэнхлэгийн чиглэлд давхцуулж хэмжилтийн орчныг үүсгэдэг ба үүнийг туйлшралын хайлт гэдэг.
- 2) Том тойргийн хайлт: θ тэнхлэгээр хэмжилт хийнэ. Great-circle scans.:
- 3) Үндсэн хавтгайн хайлт: Хэмжилтийн координатын системийн тэнхлэгийн дагуу ортогональ том тойргийн хайлт хийнэ. Үүний тулд хэмжигдэж буй антенны цацрагийн тэнхлэг нь экватор дээр эсвэл аль нэг туйл дээр байна.
- 4) Тусгай хайлтын чиглэл: туйлшралуудын хоорондох холбоо нь тогтмол байхаар хэмжилтийн антенны туйлшралын тэнхлэг ба хэмжигдэж буй антенны туйлшралын тэнхлэгүүд нь хөдлөх гэх мэт тусгай хайлт.

- b) Хэмжигдэж буй антенны цацрагийн оргил чиглэл нь хэмжилтийн антенны цацрагийн оргил чиглэлтэй таарч хэмжилт нь статик нөхцөлд явагдана. Өсгөлт ба чиглэлгүй/изотроп цацаргалттай дүйц чадал (EIRP) -ийн хэмжилт нь энэ ангилалд хамаарна.

Чиглэлийн диаграммын хэмжилтийг нарийвчлалтай хийхийн тулд хэмжилтийн антен ба хэмжигдэж буй антен хоёр өөр өөрийн координатын системд хэмжилтийн эргэлзээний тодорхой шаардлагад нийцэж байхаар хангалттай нарийвчлалтайгаар бие бие рүүгээ чиглэж байрлах ёстой. Антенны хэмжилтийн орчинтой (antenna range) холбоотойгоор ихэвчлэн дараах дөрвөн тусдаа координатын систем ашиглагддаг:

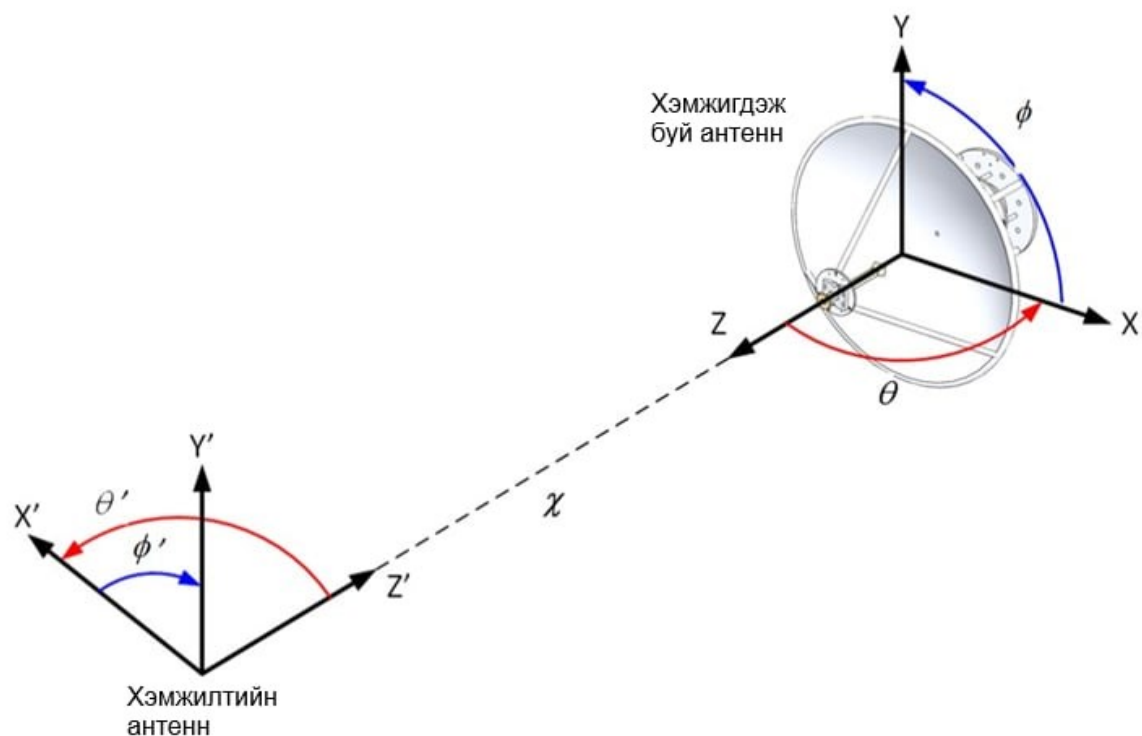
Range координатын систем — хэмжилтийн орчны координатын систем бэхлэгдсэн бөгөөд хөдөлгөөнгүй байдаг.

Хэмжилтийн координатын систем (эсвэл байршуулагчийн координатын систем) — байршуулагч дээр бэхлэгдсэн ба туршилтын явцад хэмжилтийн орчны координатын системтэй харьцангуй хөдөлдөг.

Хэмжилтийн антенны координатын систем — хэмжилтийн (эх үүсвэр) антенд координатын эх бэхлэгдсэн.

AUT-ийн координатын систем — хэмжигдэж буй антенд координатын эх бэхлэгдсэн.

Зураг 15-т Зураг 11-д үзүүлсэн хэлбэртэй 2 антенны хувьд бөмбөрцөг координатын системийг үзүүлжээ.



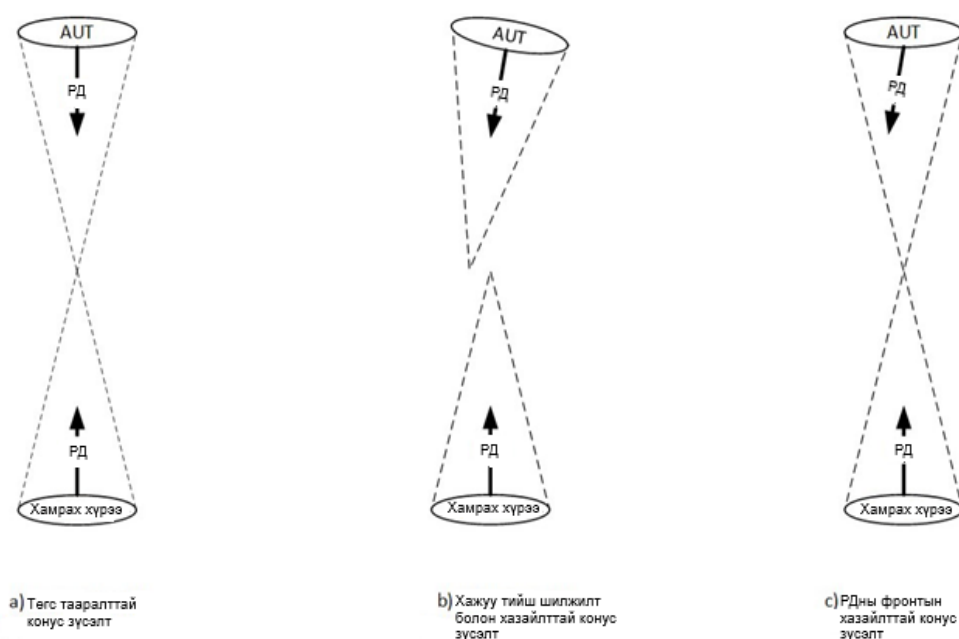
Зураг 15 Хэмжилтийн антенны ба хэмжигдэж буй антенны координатын системүүд $\theta = 0$, $\phi = 0$ байх хэмжилтийн координатын системтэй давхацсан тохиолдол

Хэмжилтийн антенны координатын систем хэмжигдэж буй антенны координатын систем эсвэл хоёулаа хэмжилтийн явцад байршуулагчийн бүтцээс хамаарч хэмжилтийн орчны координатын системтэй харьцангуй хөдөлж болно. Дурын цацаргалтын диаграммын хэмжилтийн нарийвчлал нь янз бүрийн координатын системүүдийн давхцал/чиглэсэн байдлаас хамаарна.

5.7-д антенны хэмжилтийн орчин хөдөлгөөнгүй шууд харалтын алсын оронгийн эсвэл хэмжилтийн авсаархан орчин газар руу буюу чамберийн шал руу хэмжилтийн тэнхлэг нь параллел ба хэмжигдэж буй антенны байршуулагчийн бүтэц хэвтээ чиглэлээр эргэх бүтцийг 5.5 дэд хэсэгт Зураг 14-д үзүүлсэн. Эдгээр координатын системүүд дараах үзүүлэлтүүдийг багтаана.

- хэмжигдэж буй антен ба хэмжилтийн антену тус бүрийн байршлын системийн нарийвчлал, давхцал, дотоод ортогональ байдал
- хоёр антену байршуулах системийн механик давхцал. Хэмжилтийн тэг ($\theta = 0^\circ$, $\varphi = 0^\circ$) байрлалын хувьд хэмжилтийн орчны нөгөө төгсгөлд байрлал бүр дээрх XYZ тэнхлэгүүд бие бие рүүгээ чиглэсэн байна. Түүнээс гадна энэхүү тэг нөхцөлд Z ба Z' тэнхлэгүүд нэг шулууны дагуу байрласан байна. Энэ шулуун нь хэмжилтийн орчны тэнхлэг бөгөөд χ тэнхлэг байна.
- Хэмжигдэж буй антен ба хэмжилтийн антен хоёул хэмжилтийн ба хэмжилтийн орчны координатын системд механикаар ба цахилгаанаар давхцаж таарах ёстой.
- Аль нэг антенаас нөгөө антен руу нэвтрүүлсэн долгион нь χ тэнхлэгт ортогональ бөгөөд долгионы туйлшралын 2 вектор нь хэмжилтийн координатын системтэй давхцах ёстой. Эсрэгээрээ тусаж байгаа долгионы туйлшрал нь хэмжилтийн орчны координатын системтэй харьцангуй тодорхойлогдох ба ингэснээр дараа боловсруулалтын шатанд туйлшралын засварыг хийж болохоор болно. (9.2-ийг харах).

Хэмжигдэж буй антену давхцаагүйн алдааны хэмжилтэнд үзүүлэх нөлөөллыг зураг 16-аар харуулж болно. Конусууд нь антен бүрийн үндсэн чиглэлийн цацаргалтыг зааж байгаа ба конусын суурь нь антену амсрыг илэрхийлж байна. (антену нэр томъёоны стандартаас үндсэн чиглэлийн тодорхойлолтыг харах).



Зураг 16 Хэмжигдэж буй антену давхцаагүйн улмаас үүсэх алдаа

Зураг 16а-д хэмжилтийн орчин механикаар болон цахилгаанаар давхцах тохируулагдсан байна.

Зураг 16b-д хэмжилтийн орчны тэнхлэгтэй харьцангуй хэмжигдэж буй антену координатын тэнхлэг эргэсэн байгаа учраас хэмжигдэж буй антену цацаргалтын үндсэн чиглэл χ тэнхлэгээс хувиргагдаж байгааг харуулсан. Зураг 16с-д хэмжилтийн орчны ба хэмжигдэж буй антену координатын системийн хооронд сайн механик давхцалтай байгаа ч үндсэн цацаргалтын чиглэлийн тэнхлэг цахилгааны хувьд таараагүй байгааг харуулжээ. Энэ зураг нь байршуулалтын систем нь урьдчилан хэмжилтийн орчны координатын системтэй давхцаж тохирсон гэж үзэж зурагдсан байна. Хэмжилтийн координатын системд тавигдах шаардлага тодорхой байх ёстой. Шугаман алдааны хувьд дараах ерөнхий практик дүрэм баримтална.

ϕ ба θ тэнхлэгүүдийн огтлолцлын алдаа, мөн χ тэнхлэгтэй харьцангуй ϕ тэнхлэгийн байрлалын босоо ба хажуугийн шилжилт нь чиглэлтэй антен (өсгөлт > 10 дБи)-ийн хувьд хамгийн өндөр давтамж дээр долгионы уртын $\lambda/10$ – аас бага байх шаардлагатай. Хэрэв байршуулагч нь чиглүүлэмж багатай бол энэ алдаа $< \lambda/5$ байж болно. Эргэлтийн алдааны хувьд, тухайлбал XYZ тэнхлэгүүд хоорондоо харилцан перпендикуляр (ортогональ) байх алдагдах, эсвэл туйлшралын тэнхлэг эргэх үед прецесс хийх зэрэг тохиолдолд зөвшөөрөгдөх хамгийн их өнцгийн алдааг өндөр чиглэлтэй антенны хувьд $\lambda/(10D)$ радианаар, сул чиглэлтэй антенны хувьд $\lambda/(5D)$ радианаар тодорхойлно. Давтамж өсөхөд координатуудын давхцлыг механикаар хангахад тавигдах шаардлага улам өндөрсдөг.

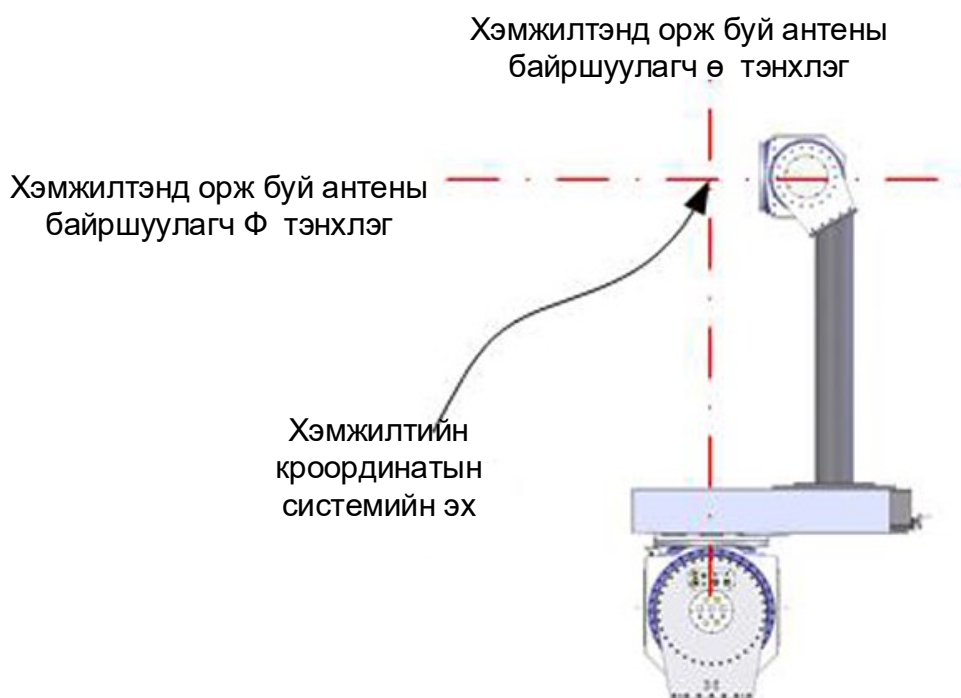
Антен ба байршуулагчийн механик давхцалыг хангах олон техник байдаг. Ерөнхийдөө тэдгээр техникүүд нь механик юм уу оптик эсвэл лазерын техникүүдэд хамаарна.

Механик багажид усан тэгшлүүр, заагчтай хэмжүүр, зай хэмжигч мэдрэгчтэй хэмжүүрүүд орно.

Оптик багажид харааны тэгшлүүр, тэнхлэгийн дагуу шилждэг суурь, өнцгийн хазайлт хэмжигч, оптик өнцөг хэмжигч зэрэг багтах бөгөөд эдгээрийг оптик бай болон толины хамт хэрэглэнэ.

6.7.2 Хэмжигдэж буй антенны байршуулагчийн дотоод давхцуулалт

Хэмжигдэж буй антенны байршуулагч дор хаяж θ тэнхлэг ба ϕ тэнхлэгтэй байна. Тав тухыг эрхэмлэж гар болон мотортой өөр тэнхлэгүүдийг нэмж болно. Хэмжилтийн антен нь нэг эсвэл түүнээс олон хөдөлгөөний тэнхлэгтэй байж болно. Зураг 17 -т хэмжигдэж буй антенны энгийн байршуулагчийг үзүүлэв.



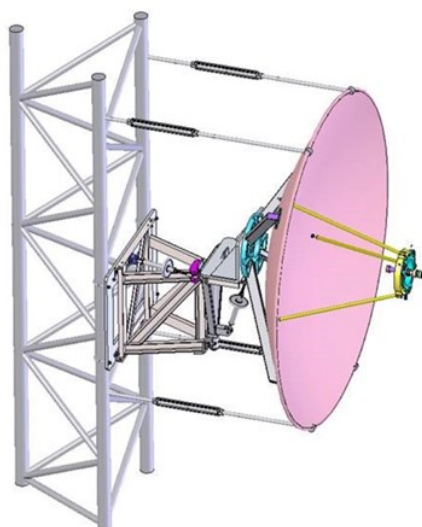
Зураг 17 Хэмжигдэж буй антенны байршуулагчийн боломжит бүтэц

Байршуулагчийн доод хэсэгт нь хэвтээ ба босоо байршуулагч оршиж байна. Хэвтээ байршуулагч нь хэмжилтийн θ тэнхлэгийг харин өндөрийн ϕ байршуулагч нь үндсэн байршуулагчийн орой хэсгийг хэмжигдэж буй антенаар ачаалах ба өргөхөд эсвэл буулгахад ашиглана. Энэ байршуулагчийн дээр шилжүүлэх гулсагч байна. Хэмжигдэж буй антенныг суурилуулсны дараа хэмжилтийн координатын системийн эх дээр хэмжигдэж буй антенны амсрыг тааруулахад энэ гулсагчийг хэрэглэнэ. Тулгуур багана

нь доод тэнхлэгүүдийг хэмжигдэж буй антенаас зайтай байрлуулах үүрэгтэй. Түүний дээд хэсэгт хэвтээ ба босоо өөр нэг байршуулагч байрладаг. Босоо дээд байршуулагч нь хэмжигдэж буй антеныг суурилуулах эсвэл өндрийг багаар өөрчлөх замаар хэмжигдэж буй антеныг давхцуулах үүрэгтэй. Дээд талын хэвтээ байршуулагч нь хэмжилтийн ϕ тэнхлэг юм. Эдгээр бүх хэсгүүд нь хэмжилтийн координатын системийн чанарыг хангахад чиглэнэ. Бие даасан байршуулагчууд давхцуулалтын нарийвчлалын шаардлагыг хангах чанарын түвшинд бүтээгдсэн байдаг. Жишээ нь эргэлтийн аливаа тэнхлэг нь бусад механик бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг холбох зориулалттай нарийн боловсруулсан эргэх тавцангийн гадаргуутай байх ёстой бөгөөд энэхүү гадаргуу нь эргэх хөдөлгөөний хавтгайд параллель байх шаардлагатай. Мөн байршуулагчийн хөл дээр тохируулгууд мөн байрлана. Жишээ нь тулгуур багана болон дээд хэвтээ-босоо байршуулагчийн хооронд холбох тохируулгатай 3 цэгийн бэхэлгээг зураг 17-т үзүүлжээ. Эдгээр тохируулга нь антены хэмжилтийн орчинд байрлал дээрээ давхцыг улам сайжруулах боломжтой болгодог. ϕ тэнхлэг болж ажилладаг аливаа эргэлтийн тэнхлэгийн доор шилжүүлгийн тохируулгатай гурван цэгийн бэхэлгээг ашиглахыг зөвлөж байна. Байршуулагчийн тулгуур баганын өөр нэг анхаарах зүйл бол түүний механик бат бөх чанар юм. Антеныг ачаалах, антеныг суурилуулахад хэрэглэгдэх бэхэлгээнүүдээс тулгуур багана болон бэхлэгдсэн эд зүйл гулзайхаас зайлсхийх ёстой. Байршуулагчийн бат бөх чанарыг хэмжигдэж буй антен, түүний бэхэлгээний байж болох хамгийн их жин, эргэлтийн момент, зөвшөөрөгдөх гулзайлтаас хамаарч сонгодог.

6.7.3 Хэмжилтийн антены дотоод давхцуулалт

Хэмжилтийн антены байршуулагчийн систем нь ажиллагааны явцад эсвэл хэмжигдэж буй антены байршуулагчтай давхцахын тулд хөдөлгөөн хязгаарлагдмал байдаг тул ерөнхийдөө хялбар байдаг. Хэмжилтийн антены байршуулагч нь хэмжилтийн камерийн ханан дээр байрлах бэхлэх хавтангаас тогтсон хялбар бүтэцтэй байж болохоос гадна хэмжигдэж буй антены байршуулагчийн зураг 17-т үзүүлсэн шиг нийлмэл хийцтэй байж болно. Гадна орших том хэмжилтийн орчны хувьд хэмжилтийн антен зураг 18-д үзүүлсэн шиг антены гол цацрагийн чиглэлийг тодорхой өнцгөөр хазайлгах зориулалттай суурин дээр байрлана.



Зураг 18 Гадна хэмжилтийн антены бүтэц (жишээ)

Хазайлгах суурь нь хэвтээ ба босоо тохируулгыг гараар хийхээс гадна мотороор хийдэг байж болно. Зарим хазайлгах суурь нь гар болон мотор бүхий туйлшралын байршуулагчтай байна.

Зураг дээр үзүүлсэн эргүүлэх түгжээ нь тохируулсны дараа салхитай болон хэт их

салхитай нөхцөлд хөдөлгөөнгүй байлгах зорилготой.

Хэмжигдэж буй антены цэг дээр алсын оронгийн нөхцлийг хангахын тулд түүнээс хэмжилтийн антен 0.25дБ-ээр бага нарийссан байдаг тул хэмжилтийн антены байршуулах системд тавигдах давхцлын/тохируулгын нарийвчлалын шаардлага бага байна. Хэмжилтийн антены давцал нь нарийн цацрагтай өндөр өсгөлттэй хэмжилтийн антен хэрэглэж байвал гадна антены хэмжилтийн орчин урт байгаа нөхцөлд хэмжилтийн алдааг багасгахад хэмжилтийн антены тохиргоо хүндрэлтэй болдог. Авсаархан хэмжилтийн орчны хувьд тусгайлан авч үздэг. Авсаархан хэмжилтийн орчны хувьд ойлгогч нэгэнт суурилуулсан бол давхцуулах явцад ойлгогчийг тохируулах шаардлага багасна. Авсаархан хэмжилтийн орчны тохиолдолд давхцуулахад шаардагдах байршуулагч нь рупор/фидерийн байршуулагч байна. Зарим авсаархан хэмжилтийн орчин нь ϕ тэнхлэгийг тойрсон рупор/фидерийн гар эсвэл моторт байршуулагч байдаг. Ойлгогч руу рупор/ фидерийг чиглүүлэхийн тулд рупорын фазын төвийг ойлгогчийн фокусын төв дээр байрлах ёстой. Рупорын байршуулагч нь бүх 3 тэнхлэг (хажуу тийш, босоо, тэнхлэгийн дагуу) ийн дагуу шилжүүлэх тохиргоотой байна. Ядаж нэг эргэлтийн (ерөнхийдөө ойлгогчийн гудайлт буюу илүү өргөн өнцөгөөр тохируулахын тулд булангийн рупортой ойлгогчийг ашиглах) тэнхлэгтэй байна.

6.7.4 Хэмжигдэж буй антены байршуулагчийг хэмжилтэнд тааруулах

Хэмжилтийн антен ба хэмжигдэж буй антены байршуулагчууд өөр хоорондоо давхцаж тохирсон бол хэмжилтийн орчны координатын системтэй таарч хэмжилтийн орчинд суурилагдсан гэсэн үг. Хэмжилтийн орчны төрөл нь ерөнхийдөө байршуулагчийн анхдагч байрлалыг тодорхойлно. Гадна урт хэмжилтийн орчинд хэмжилтийн антен ба хэмжигдэж буй антены сайтууд тухайн байрлал дээрээ газарзүйн хувьд бүрэн хамарсан байна. Аливаа цамхаг болон тулгуур байгууламж нь барилгын техникийн стандартыг хангасан байна. Цуурайгүй чамберт байршуулагчуудын байрлалыг эхлээд шохойн шугам эсвэл хэмжээс бүхий тууз ашиглан тоймоор тохируулдаг.

Илүү нарийн антены байршуулагч нь эхлээд хэмжилтийн орчиндоо суурилагдаж тохируулагддаг. Энэ нь ихэвчлэн хэмжигдэж буй антены байршуулагч дээрх тохиргоо тааруулах үйл явц байна.Тусгай тохиолдол нь эхлээд ойлгогчийг тааруулдаг авсаархан хэмжилтийн орчин юм. Хэмжилтийн орчинд хэмжигдэж буй антены байршуулагчийг байрлуулснаар дараагийн нарийн тохируулга хийх боломж олгоно.

6.7.5 Хоёр байршуулагчийн системийг давхцуулах

Хоёр байршуулагч хоёулаа суурилагдаж ойролцоогоор таарсан бол χ тэнхлэг нь хоёр байршуулагчийн системийн тохиргооны тэнхлэг болно. Оптик болон лазер хэрэгслүүдийг хэмжилтийн антены ϕ' ба хэмжигдэж буй антены ϕ тэнхлэгийг тааруулахад ашиглаж болно.

Тааруулах техник нь χ тэнхлэгийн эргэн тойрон дахь ээрүүл шиг хөдөлгөөнийг багасгахын тулд хажуу ба босоо шилжилт, мөн тэнхлэгийн чиглүүлгийг харгалзан үзэх ёстой.

Зарим онцгой асуудлууд

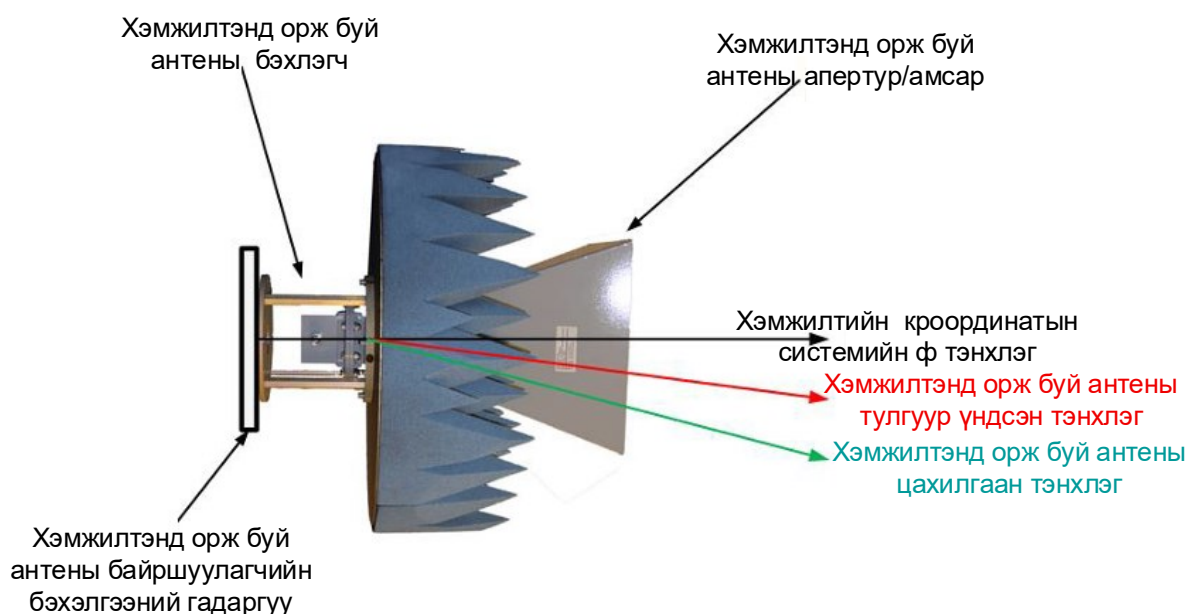
- Авсаархан хэмжилтийн орчин дох хэмжигдэж буй антены байршуулагч нь энэ шатанд ойролцоо тохирно.(хэмжилтийн авсаархан орчны хувьд 6.7.7.3)
- Ташуу чамберт тохируулгын лазер системийг ашиглахын зөвшөөрөөгүй бол оптик систем шаардаж болно.
- Гадна урт хэмжилтийн орчинд ээрүүл шиг хөдөлгөөнт лазерийн техникийн хэрэглээг хязгаарлаж болно. Барилга ба уурхайн лазерийн цэгэн тусгалыг үүсгэгчийг 3.2км хүртлэх зхйп ашиглана. Ийм зайд цэгүүд нь ойролцоогоор 2м диаметртэй тойргийг үүсгэдэг.
- Мөрдөх лазерийн систем нь 30-40м-ийн хүрээнд нарийн хэмжилт хийдэг.
- Зөвхөн хэвтээ тэнхлэг дор босоо тэнхлэг эсвэл босоо тэнхлэг дор хэвтээ

тэнхлэг байрлах байршуулагч ашиглаж байвал оптик болон лазер байг хэмжигдэж буй антенны амсрын төвийн өндөрт байрлуулахад зориулсан бэхэлгээний төхөөрөмж ашиглах шаардлагатай.

Хоёр байрлуулагчийг хоёуланг нь суурилуулсан бол тэдгээрийн бэхэлгээний гадаргуу дээр ихэвчлэн таталцлын чиглэлд (хэвтээ байдалд) тэгшлэн тохируулдаг. Энэ нь байршуулагчийн бүхий л системийн хувьд нийтлэг тогтмол тулгуур болдог. Аливаа хэвтээ ба босоо гудайлт нь ϕ эсвэл ϕ' тэнхлэгийн орчимд ээрүүл маягийн хөдөлгөөн үүсгэдэг. Тааруулах давхцуулах арга нь төлөвлөгдсөн хэмжилтийн шаардаж буй хэмжилтийн нарийвчлалаас хамаарч сонгогдоно. Олон дотор орчны хэмжигдэж буй антенны байршуулагчийн доор дагуу эсвэл хөндлөн чиглэлтийн гулсах механизмын аль нэгийг сууриалуулах хэрэгтэй. Эдгээр гулсагчууд нь χ тэнхлэгтэй давхцах ба таталцлахын түвшинд тэгшлэх хэрэгтэй. Шалны гулсуургүй хэмжилтийн орчинд θ тэнхлэг ихэвчлэн таталцлын түвшинд тэгшилсэн хамгийн доод тэнхлэг болно.

6.7.6 Хэмжилтийн координатын системд антенныг тааруулах

Хэмжилтийн антен ба хэмжигдэж буй антен хоёрын бэхлэгдсэн гадаргуугаар антенны хэмжилтийн хамрах хүрээг тогтооно. Хэвийндээ бэхлэх гадаргуу нь тэрхүү гадаргууд гаргасан боох боолт орох зориулалттай нэг эсвэл олон нүхтэй байна. Антенныг хэмжилтийн координатын системд хамгийн сайнаар механикаар тааруулах боломжтойгоор боловсруулсан гадаргуу байна. Олон антен хэвийн хэрэглээг хангахын тулд ялгаатай бэхлэх схемтэй байна. Тиймээс бэхэлгээний хэрэгслүүд нь хэмжилтийн орчинд антенныг бэхлэхэд шаарддаг. Энгийн хавтан дээр нэг нь гадаргууг тогтоох нөгөө нь антенныг тогтоох хоёр боолт орох энгийн хийцтэй байж болно. Ийм бэхэлгээний хэрэгсэл дээр хэмжигдэж буй антенны координатын системд нэмэлт хажуугийн болон өнцгийн хазайлт үүсгэх нэмэлт хэрэгсэл бэхлэх боломжгүй бөгөөд антенны апертурыг хэмжилтийн координатын системд таарсан байна. Мөн бэхэлгээний гадаргууг кабелийн холболтыг (тохирох хэрэгслүүдэд хялбар хандах, тохируулга хийх хялбар түлхүүр зэргийг оролцуулсан) тооцсон байх шаардлагатайгаас гадна хүлээн авагчийн дэд системийн RF сэлгэн залгагч эсвэл холигч зэрэг зарим бүрдэл хэсгийг бэхлэх боломжтой байхаар хийцийг шийдсэн байна.



Зураг 19 Бэхлэгч бүхий хэмжигдэж буй антен

Зураг 19 нь стандарт антенны хэмжилтийн байршуулагчийн боолтны нүхэнд боогдсон бэхэлгээний хаалтанд бэхлэгдсэн шингээгч хүзүүвтэй стандарт өсгөлтийн рупорыг харуулав. Энэ жишээн дээр бэхэлгээний хэрэгсэл нь шаардлагатай бат бэх чанарыг

хангахын тулд нүхлэн боловсруулсан гадаргуутай 2 хавтангаас тогтож байна. Зураг 19-д үзүүлснээр бэхэлгээний гадаргууд амсрыг параллел байрлуулаагүйн улмаас эсвэл хавтангууд зөрж /мушгирч байрласнаас хэмжилтэнд орж буй антены үндсэн цацаргалтын гол чиглэл хазайсан буюу зөрсөн байна. Бэхэлгээний хэрэгсэл ба хэмжигдэж буй антеныг нэгтгэсний дараа антены амсар нв боловсруулагчдсан гадаргууд сууж өгөх ба энэ нь байршуулагчийн бэхэлгээний гадаргууд механикаар эсвэл тохиргооны гадаргуутай бэхлэгдэнэ. Янз бүрийн замаар тогтоож болох хийцтэй антены хувьд антены бэхэлгээний хэрэгслийн инженерчлэлийг сайн анхаарч үзэх хэрэгтэй. Тулгуур тэнхлэгийн үндсэн чиглэл ба цахилгаан үндсэн чиглэл хоёр эсвэл антены хэмжилтийн хүрээг тохируулахад бэхэлгээний хэрэгсэл оптик байг өөртөө агуулж болно..

6.7.7 Хэмжилтийн координатын системд хэмжилтийн хавтгай долгионы фронтыг тааруулах

6.7.7.1 Ерөнхий зүйл

Антену хэмжилтийн орчинд тавигдах шаардлага нь хэмжилтийн координатын системд тохирсон хавтгай долгионы фронтыг үүсгэх явдал юм. Хэмжилтийн координатын системд мөн долгионы фронтын туйлшралын вектор таарсан байх ёстой. . Хэрэв хэмжилтийн антен нэвтрүүлэх үедээ энэ долгионы фронтыг үүсгэж чадаж байвал, харилцан хамаарлын зарчмаар (reciprocity), хэмжигдэж буй антен мөн нэвтрүүлэх үедээ хэмжилтийн координатын системд таарсан байна. Ихэнх хэмжилтийн орчин нэгээс олон хэмжилтийн антентай тул антеныг солих үед хэмжигдэж буй антены хүлээн зөвшөөрөгдөх долгионы фронтыг эдгээр антenuуд гаргаж чаддаг байна. 6.7.5-р хэсэгт өгүүлснээр координатын системийн механик тохируулга болон 6.7.6 -р хэсэгт дурьдсан бэхлэх гадаргууд хэмжилтийн антеныг тохируулсан байх нь хэвтээ, босоо болон шүргэх гадаргуун нөлөөллийг багасгахад тусална. Хэмжилтийн антен ихэвчлэн харьцангуй өргөн цацрагтай байдаг тул хөрвүүлэх нөлөөлөл нэлээд бага байх ёстой. Хэмжилтийн долгионы фронтын тохируулгыг анхны тохируулга ба үечилсэн тохируулга гэж хуваана.

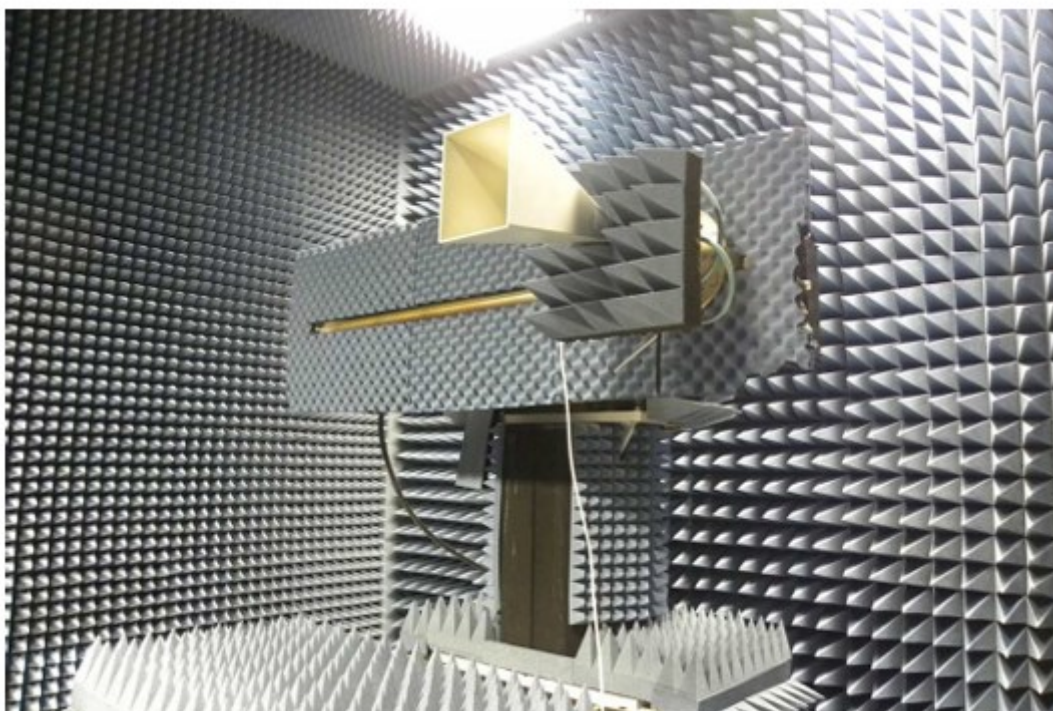
6.7.7.2 Алсын оронг оронгийн мэдрүүрийн скайнертай анхлан болон давтан тааруулах

Оронгийн мэдрүүр сканер нь оронгийн тохируулгад ашиглаж болно, ялангуяа 7.3-т хэлэлцсэнчлэн тохируулгын дараа чимээгүй бүс (QZ)-ийн үнэлгээ хийгдэнэ. Оронгийн мэдрүүрийн сканер нь мэдрүүрийн антеныг өндөр нарийвчлалтай замд хажуугийн чиглэлд шилжүүлдэг шугаман мотортой байршуулагч юм. Сканерын шугаман явалт нь хэмжигдэж буй антены хамгийн том AUT-ийн диаметрийг хамрах ёстой. Авсаархан орчны хувьд энэ нь QZ-ийн хамгийн том хэмжээ байна. Төхөөрөмж нь мэдрүүрийн антены туйлшралын тэнхлэгийн эргэлтийн байрлуулагчийг агуулдаг. Жишээг 20-р зурагт үзүүлэв.

Хэрэв хэмжилтийн орчны хэмжигдэж буй антены байршуулагч нь оройн хэсэгтэй эргэдэг байршуулагчтай бол хэмжигдэж буй антены байрлалын дурын өнцгөнд оронгийн сканерын шулуун тэнхлэгийн уртын туршид скайн хийнэ. Хэмжигдэж буй антены байршуулагчийг оронгийн мэдрүүрийн скайнераар ашиглавал хэмжилтийн хэвийн ажлын орчинд хэмжигдэж буй антеныг байрлуулна.

Харин хэмжигдэж буй антены байршуулагч нь оройн хэсэгтэй эргэдэг байршуулагчгүй бол оронгийн мэдрүүрийн скайнер эргэлдэх байршуулагчтай байх хэрэгтэй болно. .

Сканерын жин нь хэмжигдэж буй антены байршуулагчийн нийт хамгийн их эзлэхүүнтэй тэнцүү эсвэл түүнээс бага байна. Мэдрүүр антеныг хөндлөн туйлшралын хувьд өндөр тусгаарлалттай ба чамберт сонирхож буй дурын сарнилттайгаар хэмжилтийн долгионы фронтыг бүрэн гаргаж байхын тулд цацрагийн хангалттай өргөнтэй байхаар сонгоно. Стандарт хорн / рупорыг оронгийн мэдрүүр антен болгож заримдаа ашигладаг.



Зураг 20. Хэмжигдэж буй антены байршуулагч дээр бэхлэгдсэн оронгийн мэдрүүр

Сканерын жин нь хэмжигдэж буй антены байршуулагчийн нийт хамгийн их эзлэхүүнтэй тэнцүү эсвэл түүнээс бага байна. Мэдрүүр антеныг хөндлөн туйлшралын хувьд өндөр тусгаарлалттай ба чамберт сонирхож буй дурын сарнилттайгаар хэмжилтийн долгионы фронтыг бүрэн гаргаж байхын тулд цацрагийн хангалттай өргөнтэй байхаар сонгоно. Стандарт хорн / рупорыг оронгийн мэдрүүр антен болгож заримдаа ашигладаг.

Хэмжигдэж буй антены байршуулагч руу хэмжилтийн долгионы фронтыг нарийн тааруулахындаа оронгийн мэдрүүрийн сканерыг ашиглаж хэмжилтийн антеныг шугаман туйлшралтай үед доорх а)-ээс d) дарааллаар хийнэ.

а) Бэлтгэл шат

- 1) Оронгийн мэдрүүрийн байршуулагчийг хэмжилтийн координатын системд суурилуулж тааруулна. Энэ нь ϕ тэнхлэгт шулуун скайн хийх тэнхлэг перпедикүляр байна гэсэн үг.
- 2) Хэмжигдэж буй антены θ -ийн 0° хэмийн байрлалыг хэмжилтийн орчны χ тэнхлэгийн дагуу ϕ тэнхлэгийн цэг гэж үзнэ. Хэмжигдэж буй антены байршуулагч энэ байрлал руу эргэж чиглэсэн байх ба оронгийн мэдрүүрийн скайны хавтгай нь шаардагдах хэмжилтийн тэнхлэгт ортогональ байна.
- 3) Сканерын мэдрүүр антены туйлшралын тэнхлэгийн 0° хэмийн байрлал нь хэрэглэгчийн үзэмжээр хэвтээ эсвэл босоод чиглэсэн байх ба ихэвчлэн татах хүчний чиглэлийн тулгуур чиглэл болгон сонгодог.
- 4) Хэмжилтийн антены байршуулагч нь ϕ' тэнхлэгийн чиглэлд ба антены чиглэлийн өнцгөөр эргэх хязгаарлагдсан шилжилт хийх боломжтой байна. Хэрэв энэ нөхцлийн гүйцэлдүүлэх боломжгүй байвал хэмжилтийн антен татах хүчний чигт тааруулсан байна. Энэ тохиолдолд хэмжигдэж буй антены байршуулагчийг хэмжилтийн антены долгионы фронт руу чиглэсэн байхаар тааруулна.
- 5) Тааруулах үйл явцыг хэмжилтийн антены хамгийн өндөр давтамж дээр эсвэл төлөвлөсөн ажилд тохирох давтамж дээр хийнэ.

б) Хэмжилтийн антены туйлшралыг тааруулах

1. Хэмжилтийн антен дугуй туйлшралтай бол энэ хэсгийг хийх шаардлагагүй.

2. Ерөнхий тохируулга хийхдээ шаардлагатай туйлшралын утганд хэмжилтийн антеныг тохируулна.
 3. хэмжигдэж буй антены $\theta = 0^\circ$ ба оронгийн мэдрүүр антен шулуунаар шилжих замын төв хэсэгт байршсан үед туйлшралын хөндлөн огтлолын зургийг гаргахдаа оронгийн мэдрүүрийн антен нь ϕ өнцгөөр скайн хийгдэнэ. Туйлшралын диаграмын тэг утга нь ашиглаж буй туйлшралаас хамааран мэдрүүр антены ϕ өнцгийн $0^\circ/90^\circ$ ба $180^\circ/270^\circ$ харгалзан тохиолдоно. “Хүлээгдэж буй цэгүүдийн аливаа зөрүү нь хэмжилтийн антены ϕ' өнцгийн шилжилтийн урвуу утга юм. Хэмжилтийн антены ϕ' өнцгийг тохируулж, оронгийн мэдрүүр антены тэг (null) утга хүссэн байрлалд гарч ирэх хүртэл үйл явцыг давтан гүйцэтгэнэ.”
 4. Хэрэв боломжтой бол хэмжилтийн антены туйлшралыг ортогоналиар өөрчилж мэдрүүр антены туйлшралын диаграмыг хэмжиж оронгийн мэдрүүр антены ϕ -ийн тохирох байрлалд чиглэлийн диаграмын тэгүүд тохиолдож байгаа эсэхийг шалгана. Хоёр туйлшралтай хэмжилтийн антены хувьд хоёр салангид фидерийн портуудаас яг ортогоналт тэнхлэгийн туйлшрад гаргана гэдэг баталгаа байхгүйг тэмдэглэх нь зүйтэй.
- с) Хэмжилтийн антены гудайлтын тохиргоо
1. Оронгийн мэдрүүр сканерыг шугаман тэнхлэгийг нь босоо байхаар чиглүүлэх ба оронгийн мэдрүүр антены туйлшрал хэмжилтийн антены туйлшралтай ижил байх ёстой.
 2. Оронгийн мэдрүүр сканераар босоод скайн хийж агууригийн утгаар хамаарлыг байгуулна.
 3. Хэрэв агууригийн өөрчлөлт тэгшхэмгүй байвал хэмжилтийн антены босоо гудайлтыг тохируулж агууригийн өөрчлөлт тэгшхэмтэй болох хүртэл тохируулгыг давтана.
- д) Хэмжилтийн антены хэвтээ хэвийлтийн тохиргоо
1. Оронгийн мэдрүүр сканерыг шугаман тэнхлэгийг нь хэвтээ байхаар чиглүүлэх ба оронгийн мэдрүүр антены туйлшрал хэмжилтийн антены туйлшралтай ижил байх ёстой.
 2. Оронгийн мэдрүүр сканераар хэвтээл скайн хийж агууригийн утгаар хамаарлыг байгуулна.
 3. Хэрэв агууригийн өөрчлөлт тэгшхэмгүй байвал хэмжилтийн антены хэвтээ хазайлтыг тохируулж агууригийн өөрчлөлт тэгшхэмтэй болох хүртэл тохируулгыг давтана. Ингэснээр хэмжилтийн өнтөн нь хэмжилтийн координатын системд тохирсон гэсэн үг.

Энэ цэгт оронгийн мэдрүүрийн хэд хэдэн чиглэлийн диаграмыг хэмжиж 6.2-оос 6.4 хүртлэх хэсэгт заасан чимээгүй бүсийн үнэлгээг хийхэд ашиглана.

6.7.7.3 Хэмжилтийн авсаархан орчны фокусслалт / Focusing a compact range
 6.7.3 ба 6.7.4-т заасанчлан авсаархан орчинд хэмжигдэж буй антены байршуулагчийг шууд механикаар тохируулж болохгүй. Хэмжигдэж буй антены байршуулагчид авсаархан орчны долгионы фронтыг тааруулах үйлдэл нь авсаархан хэмжилтийн орчны тохируулга ба фокусслалт гэж нэрлэдэг. Энэ үйлдэл нь хэмжилтийн антены тэжээл авсаархан орчны ойлгогчийн фокус дээр таарч байгааг шалгах хэмжилтэнд зориулагдсан оронгийн мэдрүүрийн сканерыг ашиглана. Сонирхож буй хамгийн өндөр давтамж дээр авсаархан орчны фазын өөрчлөлтийн шаардлагын хязгаараас босоо ба хэвтээ чиглэлд чимээгүй орчны фазын өөрчлөлт хэтрэхгүй байвал фокусыг таарлаа гэж үзнэ.

Бүх тохируулгын үйлдэл нь авсаархан орчны тэжээлийн хамгийн өндөр давтамжийн давтамжийн зурвасын дундаж дээр хийгдэнэ. Дараах дарааллын дагуу тохиргоог хийнэ.

- а) Бэлтгэл шат

1. Авсаархан орчны тэжээлийн байршуулагчийг авсаархан хэмжилтийн ойлгогч руу хажуу тийш шилжүүлэх ба хэмжигдэж буй антены байршуулагчийн θ тэнхлэг суурилуулах үед хамгийн бага байх ёстой. Энэ нь оронгийн мэдрүүрийн тусламжтай алга болгож чадахгүй алдаа байдаг.
 2. Оронгийн мэдрүүрийн сканер хэмжилтийн координатын системд суурилагдаж тааруулсан байна.
 3. Хэмжигдэж буй антены θ тэнхлэгийн 0^0 нь хэмжилтийн орчны χ тэнхлэгийн дагуу байна.
 4. Сканерын мэдрүүр антены ϕ тэнхлэгийн 0^0 нь хэмжилтийн антены туйлшрал хэрэглэгчийн үзэмжээр босоо эсвэл хэвтээ чиглэлтэй үед таарна.
 5. Авсаархан хэмжилтийн орчны цацаргагч ба сканерын мэдрүүр антены туйлшралыг давхцуулахдаа 6.7.7.2b-д заасан аргачлалыг ашиглана
- b) Хэвтээд фазын өөрчлөлтийг тохируулах
1. Оронгийн мэдрүүрийн сканерыг шугаман тэнхлэг нь хэвтээ байхаар, оронгийн мэдрүүр антены туйлшрал нь хэмжилтийн антены туйлшралтай тохируулна.
 2. Оронгийн мэдрүүрийг хэвтээ чиглэлд скайн хийж фазын өөрчлөлтийг зурна.
 3. Энэхүү давтамжийн зурваст фазын өөрчлөлтөнд тавигдах шаардлага нь энэхүү тохиргооны зорилго байна. Скайны дагуу фазын өөрчлөлт нь фазын ерөнхий өөрчлөлтийг илэрхийлэхгүй.
 4. Фазын өөрчлөлт нь ихэвчлэн эерэг байвал ойлгогчоос цацаргагчийг холдуулна. Хэрэв фазын өөрчлөлт ихэвчлэн сөрөг байвал ойлгогч руу цацаргагчийг ойртуулна. Энэ шатан дах цацаргагчийн шилжилт нь ойлгогчийн тэгшхэмийн тэнхлэгийн дагуу хийгдэнэ.
 5. Техник үзүүлэлтэд заасан хэмжээнд нийт фазын өөрчлөлт багтах хүртэл ба фазын өөрчлөлт (tare) байхгүй болтол дээрх процессыг давтана.
- c) Босоод фазын өөрчлөлтийг тохируулах
1. Хэмжилтийн антеныг хэвтээ туйлшралтайгаар байрлуулна. Оронгийн мэдрүүрийн шугаман тэнхлэг нь босоо байхаар, оронгийн мэдрүүр антены туйлшрал нь хэвтээ туйлшралтай байхаар тохируулна.
 2. Оронгийн мэдрүүрийг босоо чиглэлд скайн хийж фазын өөрчлөлтийг зурна.
 3. Фазын өөрчлөлт нь ихэвчлэн эерэг байвал, авсаархан хэмжилтийн антены цацаргагчийг босоо чиглэлд доошлуулна. Хэрэв фазын өөрчлөлт ихэвчлэн сөрөг байвал авсаархан хэмжилтийн антены цацаргагчийн амсрыг босоо чиглэлд дээшлүүлнэ.
 4. Техник үзүүлэлтэд заасан хэмжээнд нийт фазын өөрчлөлт багтах хүртэл ба фазын өөрчлөлт (tare) байхгүй болтол дээрх процессыг давтана.
- d) Босоод агууригийн тэгш хэмийг тохируулах
1. Босоод фазын өөрчлөлтийн тохируулахтай шаттай адил дахин босоо скайн хийж агууригийн өөрчлөлтийг зурна
 2. Агууригийн өөрчлөлтийн оргил утга нь скайны доогуур хэсэгт байвал авсаархан цацаргагчийн гудайлтыг ихэсгэнэ. Агууригийн өөрчлөлтийн оргил утга нь скайны дээгүүр хэсэгт байвал авсаархан цацаргагчийн гудайлтыг багасгана.
 3. Скайны төвд агууригийн оргил утга очтол энэхүү процесыг давтана.
- e) Хэвтээд агууригийн тэгш хэмийг тохируулах
1. Хэмжилтийн антеныг хэвтээ туйлшралтай байрлуулна. Мэдрүүрийн шугаман тэнхлэг нь хэвтээ ба мэдрүүр антены туйлшрал нь хэвтээ байна.
 2. Оронгийн мэдрүүрийг хэвтээ чиглэлд скайн хийж агууригийн өөрчлөлтийг зурна.
 3. Агууригийн өөрчлөлтийн оргил утга нь төвд биш байвал оргил утгыг төвд очтол авсаархан хэмжилтийн цацаргагчийг нэг хажуу талаас нөгөө тал руу нь хэлбийлгэнэ. Хэрэв цацаргагчийг шууд хэлбийлгэх боломжгүй бол хэмжигдэж буй антены байршуулагчийн θ -г хэлбийлгэнэ. Ингэж хэвтээ агууригийн өөрчлөлтийн төвд тохируулахад хэмжигдэж буй антены

- байршуулагчийг ашиглавал энэ цацаргагчийн хазайлтыг цаашид хадгална.
4. Техник үзүүлэлтэд заасан хэмжээнд нийт фазын өөрчлөлт багтах хүртэл ба фазын өөрчлөлт (tape) байхгүй болтол дээрх процессыг давтана.
- f) Өмнөх 4 шатанд хийснээр оронгийн мэдрүүрийн скайн хийж фаз болон агууригийн өөрчлөлтүүд саад болохгүй байгааг нягтална.. Хэрэв эсрэгээрээ фаз, агууригийн өөрчлөлт байвал өмнөх алхамуудыг мэдэгдэхүйц фазын өөрчлөлтгүй агууригийн өөрчлөлт тэгшхэмтэй болтол давтана фазын өөрчлөлт

Ингэснээр хэмжилтийн антен фокуслагдаж тохируулагдсан гэсэн үг. Чимээгүй бүсийн үнэлгээг 7.3-т заасан аргачлалаар хийх боломжтой болж байгаа хэрэг.

6.7.7.4 Оронгийн мэдрүүрийн сканергүйгээр анх удаа болон давтан тааруулах

Тохируулгатай холбоотой оронгийн мэдрүүр байхгүй үед хэмжилтийн антены тохируулга нь хэмжилтийн антены хөдөлгөөнөөс ба хэмжигдэж буй антены байршуулагчийн боломжит хөдөлгөөний тэнхлэгээс хамаарна Дараах хязгаарлалтыг авч үзнэ.:

- f) хэмжигдэж буй антены байршуулагч хэвтээ - босоо, босоо-хэвтээ, хэвтээ-босоо-хэвтээ зэрэг шиг тэнхлэгийн эргэлтгүй бол тэнхлэгийн эргэлттэй байршуулагч зайлшгүй ба түүнийг хэмжигдэж буй антены байршуулагчид түр хугацаагаар байршуулж хэмжилтийн координатын системтэй тохируулна. Энэ нь хэмжилтийн антены ϕ' тэнхлэгийн тохиргоо хийх боломжтой болж байгаа хэрэг.
- g) Хэмжилтийн антены байршуулагч нь ϕ' -ийн чиглэлд ба антены чиглүүлэх өнцөгт хязгаарлагдмал шилжилттэй. Хэмжилтийн антений гол цацрагийн 1дБ-ийн цэгийг мэдэрч байхаар хөдөлгөөний шилжилт нь хангалттай хэмжээтэй байх ёстой. Хэрэв энэ боломжгүй бол тохируулгын үед эгшин зуурын өөрчлөлтийг хийж чадахгүй ба ядаж хэмжилтийн антеныг хүндийн төв рүү чиглэж байхаар тохируулна. Энэ тохиолдолд хэмжигдэж буй антены байршуулагч нь хэмжилтийн антены долгионы фронт руу 6.7.8-д зааснаар тохируулна. Энэ хэсгийн тохиргоог алгасна.
- a) Бэлтгэл шат
1. хэмжигдэж буй антенаар тухайлбал стандарт өсгөлтийн рупор зэрэг хөндлөн туйлшралын хангалттай өндөр тусгаарлалттай антен ашиглана. Энэ хэсэгт туршилтын антен гэгдэх болно.
 2. Уламжлал ёсоор хэмжигдэж буй антены θ -ийн 0^0 байрлал нь χ тэнхлэгийн дагуу ϕ тэнхлэгт чиглэнэ. Хэмжигдэж буй антены θ -ийн байршуулагч нь энэ чиглэл рүү эргэсэн байх ба хэмжилтийн антены үндсэн дэлбээ хэмжилтийн орчны тэнхлэгтэй давхцана.
 3. Хэмжилтийн антены туйлшралын тэнхлэгийн 0^0 байрлал нь хэрэглэгчийн сонголтоор хэвтээ эсвэл босоод байх ба ихэвчлэн таталцлын төвд чиглэсэн байна.
 4. Тохируулгын дараагийн алхмуудыг хэмжилтийн антены хамгийн өндөр давтамж дээр эсвэл төлөвлөсөн ажлын хамгийн өндөр давтамж дээр гүйцэтгэнэ. Ингэснээр доод давтамжууд дээр ажиллах үед тохиргоо нь ижил эсвэл түүнээс сайн түвшинд байх болно.
- b) Хэмжилтийн антены туйлшралын тохиргоо
- Оронгийн мэдрүүрийн сканерын оронд хэмжилтийн антентайгаар 6.7.7.2-т заасан дараалаар хийнэ. Хэрэв хэмжилтийн антен ϕ' тэнхлэгт шилжих шилжилт хязгаартай байвал хөндлөн туйлшралын тэг болохыг биш цацрагуудын оргил утгыг харьцуулж тохируулна.
- c) Хэмжилтийн антены босоо гудайлтын тохиргоо
- 1) хэмжилтийн антеныг байрлал дээр нь дээш доош эргүүлж дохионы оргил утга түүний байрлалыг тогтооно. Хэрэв хэмжилтийн антен мотортойгоор өндөрсөх тэнхлэгтэй бол энэ тэнхлэгийн дагуух скайн хийнэ.
 - 2) Өгөгдөл дээр 1дБ-ийн цэгүүдийн утгыг тооцоолж дохионы оргил утга

- тохиолдох өнцөгийг тодорхойлно.
- 3) Энэ өнцгүүдийн дундаж цэгийг тооцоолж тэрхүү цэг дээр хэмжилтийн антены өндрийг тогтооно.
- d) Хэмжилтийн антены хэвтээ хэвийлтийн тохиргоо
- 1) хэмжилтийн антеныг байрлал дээр нь баруун эсвэл зүүн эргүүлж дохионы оргил утга түүний байрлалыг тогтооно. Хэрэв хэмжилтийн антен мотортойгоор хэвтээ тэнхлэгтэй бол энэ тэнхлэгийн дагуух скайн хийнэ.
 - 2) Өгөгдөл дээр 1дБ-ийн цэгүүдийн утгыг тооцоолж дохионы оргил утга тохиолдох өнцөгийг тодорхойлно.
 - 3) Энэ өнцгүүдийн дундаж цэгийг тооцоолж тэрхүү цэг дээр хэмжилтийн антены өндрийг тогтооно.

6.7.8 Хэмжилтийн координатын системд хэмжигдэж буй антены тохируулга.

Alignment of an AUT to the measurement coordinate system

Нэгэнт хэмжилтийн антен ба хэмжилтийн координатын системүүд дотооддоо тохирвол байршуулагчууд χ тэнхлэг рүү таарах ба хэмжилтийн антен χ тэнхлэгийн чиглэлд долгионы фронтыг үүсгэх ба хэмжигдэж буй антены ϕ тэнхлэгт перпендикуляр байх ба орчны координатын системд туйлшралын векторууд тохирсон байна. Хэмжилтийн координатын системд хэмжигдэж буй антен тохирсон эсэх хэмжээ ба хэмжилтийн антены долгионы фронт боломжит хөдөлгөөний тэнхлэг ба хэмжилтийн зорилгоос хамаарна.

Бүх тохируулгууд дараах а)-ээс с) алхмуудаар хийхдээ тухайн тэнхлэгийн шилжилтийг оруулсан бол хэмжилт дууссаны дараа хэмжилтийн анхны байрлалд буцаахдаа анхны шилжилтүүдийг хадгалж үлдээнэ. Тохируулгын ажлыг эхлэхийн өмнө дараах зүйлсийг анхаарч үзэх хэрэгтэй.

- Хэрэв өсгөлт ба EIRP-ийн хэмжилтэнд зөвхөн үндсэн дэлбээ ашигласан бол хэмжигдэж буй антены хамгийн их чиглүүлэх чадвар нь χ тэнхлэгийн дагуу оршиж байхаар мөн түүний туйлшралын вектор хэмжилтийн антенытай тохирсон байхаар хэмжигдэж буй антены байршуулагчийн байрлалын тохиргоог олох нь чухал. Тэнхлэг бүр дээр байрлалын 0.0° тохиргоог хийхийн тулд хэмжигдэж буй антены байршуулагчид хазайлтыг оруулна
- Үндсэн хавтгайн хэмжилтийн хувьд хэмжигдэж буй антены оргил чиглүүлэх чадварын чиглэлд хоёр ортогональ хөндлөн огтлолын тойргууд дайрч гарч байхаар чиглүүлнэ. Үндсэн хавтгай бүрийн төв нь тэрхүү тэнхлэгийг 0.0° цэгээр огтлон гарч байхын тулд шаардлагатай бол хэмжигдэж буй антены байршуулагчид хазайлтыг оруулна
- Хэрэв хэмжигдэж буй антены байршуулагч хэмжигдэж буй антены ϕ -ийн хувьд эргэлтийн тэнхлэггүй бол хэмжигдэж буй антеныг гараар эогүүлж хэмжигдэж буй антены туйлшралын вектор хэмжилтийн туйлшралын вектортой (чиглэл давхацсан) таарсан байна. Хэмжилтийн антены туйлшралыг хэмжигдэж буй антантай ижил байлгах өөр нэг хувилбар ашиглаж болно.
- Хэрэв хэмжигдэж буй антен дугуй туйлшралтай бол туйлшралыг хэмжилтийнхтэй ижил болгох шаардлагагүй.
- Энэ аргачлалын а) -ээс с)- ийн дараагийн олон шатанд хэмжигдэж буй антены цацрагийн оргил руу харж байх ёстой. Хэрэв хэмжигдэж буй антен ялгаврын сувагтай монопульс антен бол нийлбэр сувгийн оргилын оронд ялгаврын сувгийн тэгүүдийг ашиглаж болно. Тэгэхээр тэгийн байрлалыг нийлбэр сувгийн оргил утгыг олохоос илүү нарийвчлал шаарддаг.
- Хэрэв хэмжигдэж буй антены хэмжилтийн цахилгаан тэнхлэг нь тулгуур тэгшхэмийн тэнхлэгээс зөрсөн зөрөөг хэмжих нь эсвэл энэ алдааг бууруулахад энэхүү аргачлалыг ашиглах бол дараах а) -ээс с) алхмуудад

тэгшхэмийн тэнхлэгүүдийн хэмжилтийн нарийвчлалыг алдагдуулахгүй байхын тулд тухайн θ тэнхлэгийн тохиргоо ба босоо гудайлтын тохиргоог хийхгүй.

- а) Хэмжигдэж буй антены туйлшралын тохиргоо
 - 1) Хэмжилтийн антеныг хэрэглэгчийн сонголтоор босоо эсвэл хэвтээ туйлшралд тохируулна.
 - 2) хэмжигдэж буй антеныг ϕ чиглэлээр скан хийж, хэмжигдэж буй антены $\theta = 0^0$ нөхцөлд туйлшралын хөндлөн огтлолын зүсэлтийг үүсгэнэ. Туйлшралын диаграмын тэг (null) цэг нь ашиглаж буй туйлшралаас хамааран $AUT \phi = 0^0/90^0$ болон $\phi = 180^0/270^0$ байрлалд гарч ирэх ёстой. Энэхүү чиглэлээс өөр чиглэлд хөндлөн огтлолын зүсэлт үүсвэл энэ нь хэмжигдэж буй антены ϕ -ийн чиглэлд гарсан алдаа буюу шилжилт болно. Хэмжигдэж буй антены байршуулагчийг ϕ -ийн чиглэлд энэхүү алдааг байхгүй болгохоор шилжилтийг тохируулж AUT-ийн оронгийн тэгийг шаардлагатай байрлалд гарах хүртэл дээрх үйлдлийг давтана.
 - 3) Боломжтой бол хэмжилтийн антеныг ортогональ туйлшралтай болтол эргүүлж хэмжигдэж буй антены туйлшралын хөндлөн огтлолыг дахин хийж диаграмын тэг утгатай чиглэл ϕ -ийн зөв байрлалд гарч ирж байгаа эсэхийг шалгана. Хэмжилтийн антен хос туйлшралтай бол хоёр салангид портоос гарах тэнхлэгийн дагуух туйлшрал нь төгс ортогональ байх баталгаа байхгүйг анхаарна уу.
- б) Хэмжигдэж буй антены θ тэнхлэгийг тохируулах
 - 1) Хэмжилтийн антен ба хэмжигдэж буй антен хоёул ижил туйлшралтай байхад хэмжигдэж буй антеныг θ -ийн хувьд скайн хийж оргил утгатай байх өнцгийг тэмдэглэж авна. Хэмжигдэж буй антеныг ϕ -ийн хувьд 180^0 -аар эргүүлж хэмжилтийг давтаж мөн л оргил утганд харгалзах өнцгийг тэмдэглэж авна. Энэхүү хоёр оргил утгын голд долгионы фронт нь хэмжилтийн координатын системд перпендикуляр байх ёстой.
 - 2) Хоёр оргил утгын байрлалын хоорондох ялгааг тооцож, энэхүү зөрөөний талаар хэмжигдэж буй антены θ тэнхлэгийг эсрэг чиглэлд шилжүүлнэ.
 - 3) Хоёр удаа дахин скайн хийж хоёр оргил утга $\theta = 0^0$ -ийн 2 талд тэгшхэмтэй байгаа эсэхийг шалга. Эсвэл θ -ийн хувьд шилжилтийг / зөрөөг тооцоол
 - 4) Нэгэнт хоёр оргил утга χ -ийн хоёр талд оршиж байвал θ -ийн хувьд хэмжигдэж буй антеныг тохируулсан гэж үзнэ.
- в) Хэмжигдэж буй антены босоо гудайлтын тохиргоо
 - 1) Хэрэв туйлшралын диаграмын хөндлөн огтлолын хэмжилтийн үр дүнгээс ижил туйлшралтай хоёр цэгт агууриг ижил биш байвал хэмжигдэж буй антены босоо гудайлт χ тэнхлэгт перпендикуляр биш байна гэж үзнэ.
 - 2) Хэмжигдэж буй антены байршуулагчид θ тэнхлэгээс дээш өргөгдсөн босоо тэнхлэг байвал доорх хэмжилт харьцангуй хялбар байна. Харин хэмжигдэж буй антены байршуулагчид θ тэнхлэгээс дээш өргөгдсөн босоо тэнхлэг байхгүй бол өргөгдсөн босоо тэнхлэгийн тохируулгыг өөр аргаар тохируулна. Хэрэв хэмжигдэж буй антены байршуулагчид нам босоо тэнхлэг байвал хэмжилтийн бүсээс хэмжигдэж буй антеныг гадагш чиглэлээр шилжүүлэхгүйгээр түүнийг тохиргоонд ашиглаж болно.
 - 3) Хэмжилтийн ба хэмжигдэж буй антenuудыг хэвтээ туйлшралтай болгож хэмжигдэж буй антеныг $\theta = 0^0$ -д тохируул.
 - 4) Хэмжигдэж буй антены өргөгдсөн янз бүрийн байрлалуудад ϕ тэнхлэгийн хувьд туйлшралын хөндлөн огтлолыг гарга.
 - 5) Ижил туйлшралтай үеийн хамгийн их утгуудын өөрчлөлтийг ажиглаж тэдгээрийг аль болох тэгшхэмжтэй байхаар өргөлтийн өнцгийг сонго Энэ үйлдлийг туйлшралын диаграмын хөндлөн огтлол дээр хамгийн их утгууд ижил болтол давтан хийнэ.
 - 6) Өөр туйлшралын хөндлөн огтлолыг үүсгэж тохиргоо хийгдсэн эсэхийг

7. Антенны хэмжилтийн орчны үнэлгээ

7.1 Ерөнхий зүйл

Антенны хэмжилтийн хамрах хүрээг тогтоож, байгуулж хэмжүүрийн багажуудыг байрлуулсны дараа хэмжигдэж буй антен байрлуулсан чимээгүй бүсэд цахилгаан соронзон оронд хэр хамрагдсаныг туршилтаар тогтоох шаардлагатай. Хэмжилтийн орон зай дах энэхүү цахилгаан соронзон оронгийн тусгал хэмжилтийн орчны ойролцоо суурилагдсан янз бүрийн хэсгүүдээс тухайлбал кабелиас, янз бүрийн саадаас ойх ойлт, хэмжилтийн орчны гадаргуугийн жигд бүс байдал, хэмжилтийн антенны төгс биш байдал, нэвтрүүлэх ба хүлээн авах системээс RF дохионы ялгарал зэрэг шалтгаанаар төгс байдлаас ялгаатай байж болно. Тухайн хэмжилтэнд тавигдах шаардлагаас хэмжилтийн алдаа бага байгаа эсэхийг тогтооход хэмжилтийн үнэлгээ зайлшгүй бөгөөд хэрэв хэмжилтийн алдаа тавигдах шаардлагаас бага байвал антенны хэмжилтийн орчин бэлэн боллоо гэж үзнэ. Хамрах хүрээний туршилтын хэр хэмжээ нь тухайн хамрах хүрээнд хийгдэх хэмжилтийн шаардлагад нарийвчлал, тэдгээр нарийвчлалыг албан ёсоор баримтжуулах шаардлагатай эсэхээс хамаарна. Хэмжилтийн антенны ерөнхий чиглэлээс тусаж байгаа орон, хэмжилтийн бүсийн төвөөс хэмжилтийн антенны фазын төв рүү чиглэсэн орон гэж салангид авч үзэх нь тохиромжтой байдаг. Энд эхнийх нь тэнхлэгийн ойролцоох тусаж буй долгионы орон, нөгөөх нь өргөн өнцгөөр тусах тусгалын орон байна. 6.7.7 ба 7.3 дугаар зүйлд тайлбарласанаар нарийн цацрагтай оронгийн хэмжилтээс тэнхлэг орчмын тусгалын оронг тодорхойлно. Чимээгүй чамберын нөлөөллөөс үүсэх өргөн цацрагийн оронгийн гажуудал гарч болох ба түүнийг 7.5 дугаар зүйлд заасан аргуудын нэгээр дэвшилтэт антенны чиглэлийн диаграммын харьцуулалтын (AAPS) аргаар үнэлэх хэрэгтэй.

7.2 Чимээгүй орчны хэмжээс / Quiet zone metrics

Чимээгүй орчны чанарыг үнэлхэд хэд хэдэн хэмжээсийг авч үздэг.: антенны амсар дээрх гэрэлтүүлэгч оронгийн хүчлэгийн өөрчлөлт, хэмжилтийн бүс дэх оронгийн агууригийн дундаж утгаасаа хазайх жижиг бөгөөд хурдан өөрчлөлт, мөн үүнтэй адил фазын өөрчлөлт ба фазын дундаж утгаасаа хазайх хазайлт. Зураг 21-аас харна уу

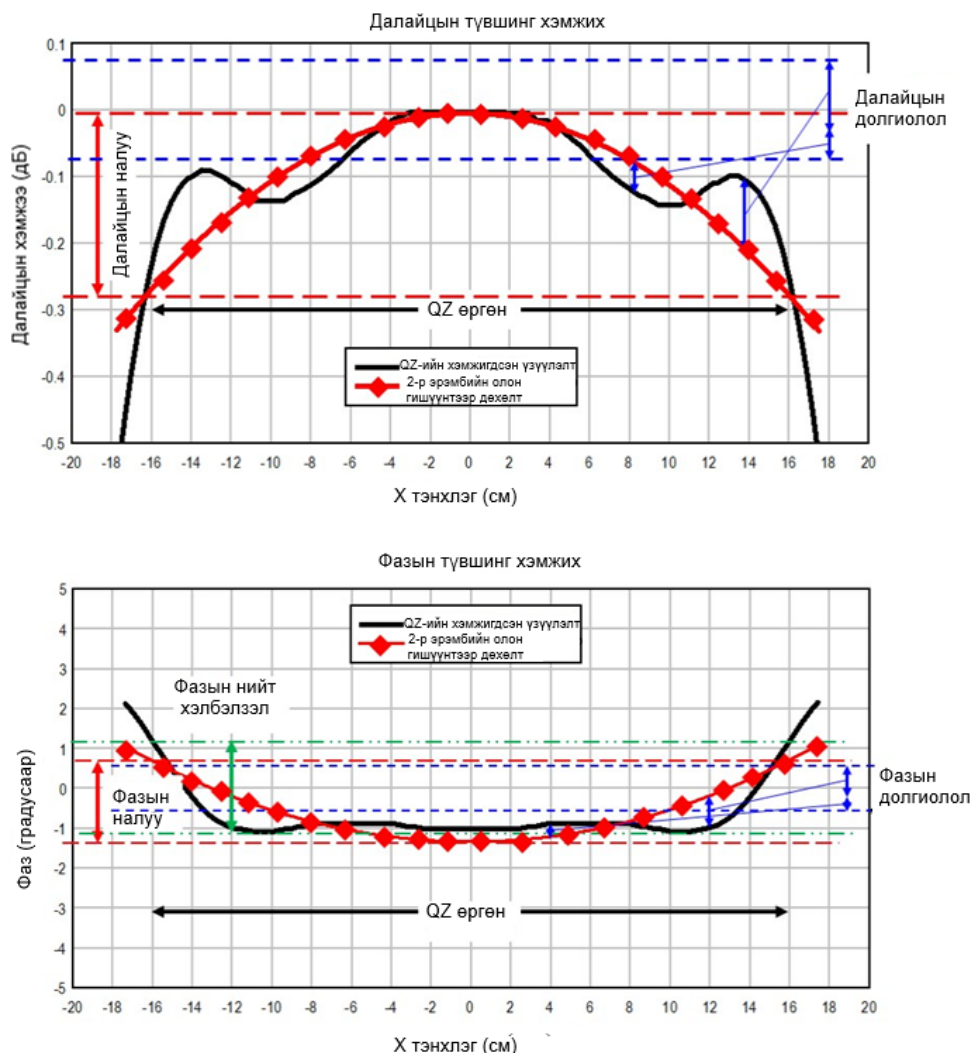
- Агууригийн өөрчлөлтийг чимээгүй бүсэд хэмжигдсэн агууригийн өгөгдөл нь хоёрдугаар эрэмбийн олон гишүүнтээр илэрхийлэгдэх өөрчлөлт гэж үзэн хэмжигдэж дБ нэгжээр илэрхийлнэ.
- Агууригийн хазайлт нь хоёрдугаар эрэмбийн олон гишүүнтийн орчим өөрчлөгдөх утгаар тодорхойлж дБ нэгжээр илэрхийлнэ. Нийт фазын өөрчлөлтийг чимээгүй орчны апертурын дагуу оронгийн хэмжилтийн мэдрүүрийг хөдөлгөж тэрхүү хөдөлгөөний замын дагуу үүсэх нийт фазын өөрчлөлтөөр градус нэгжээр хэмждэг.

Үүнээс гадна фазын хазайлт ба фазын өөрчлөлтийг чимээгүй бүсийн хавтгай долгионы цэвэр байдлыг харуулахын тулд хэмжиж болно. Энгийн үйлдвэрийн практикт фазын хазайлт ба фазын агууригийн өөрчлөлтийг нийт фазын өөрчлөлт гэдгээр хэмжилтийн тайланд илэрхийлсэн байдаг.

- Чимээгүй бүсийн ойлгох чадварыг хэмжилтийн антен ба чимээгүй бүсийн хоорондох шууд зам ба чимээгүй бүсэд орж буй ойсон энергийн хамгийн их түвшингийн ялгаагаар дБ-ээр үнэлдэг.

Агууригийн өөрчлөлт ба агууригийн хазайлт фазын нийт өөрчлөлт нь хавтгай долгионы чанарыг илэрхийлэх ба эдгээр параметрууд гадна орчин ба авсаархан

хэмжилтийн орчинд үнэлгээ хийхэд бас ашиглахыг зөвлөдөг. Дотор орчны шууд тусгалын зай нь 7.5 -д өгүүлсэн чимээгүй бүсэд илүү тод тайлбарлана.



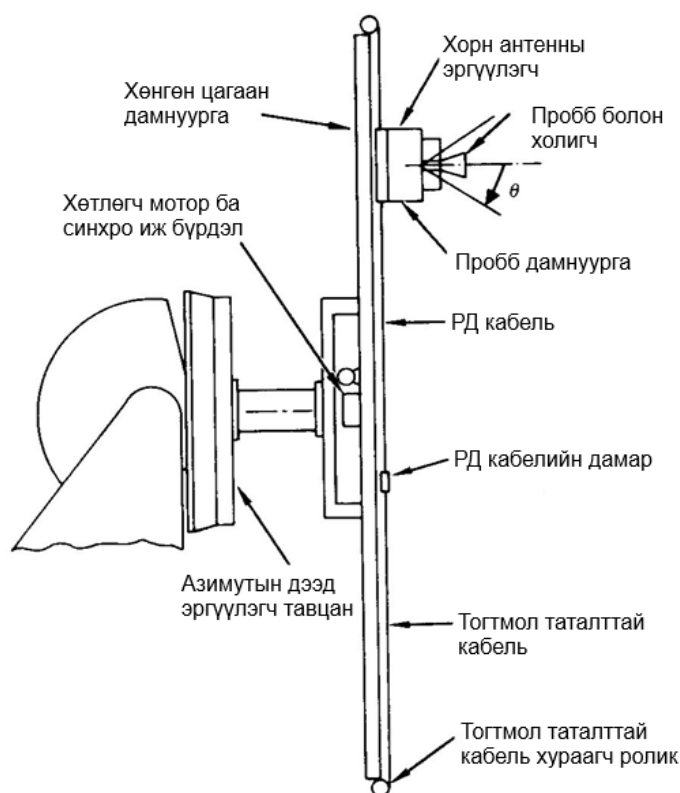
Зураг 21 —Чимээгүй бүсийн үзүүлэлтүүд

7.3 Чимээгүй бүсэд оронгийн мэдрүүртэй хэмжилт

Агууригийн өөрчлөлт ба агууригийн хазайлт, фазын өөрчлөлтийг тодорхойлох аргачлалыг авч үзье. Энэ аргачлалыг гадна орчин ба авсаархан орчныг үнэлхэд ашиглаж болно. Мөн бусад хавтгай долгионы үүсгүүрийг ашиглах аргуудад ашиглаж болно. Оронгийн мэдрүүрээр хэмжилт хийхийн өмнө байрлуулагчийн тэнхлэгийг хэмжилтийн орчны координатын системийн тэнхлэгтэй давхцуулсан байна. Үүний дараа оронгийн мэдрүүрийг байрлуулна. Оронгийн мэдрүүр нь радио долгионы мэдрүүр бөгөөд шугаман тэнхлэгийн дагуу хөдөлгөж болохуйц тэрэг эсвэл зам дээр суурилуулсан байна.

Бүхэлд нь тохирох байршуулагч дээр хэмжилтийн апертурын туршид байрлалаас тусгалын орон хамаарч өөрчлөгдөж байхаар суурилуулна. Зураг 22-д энгийн оронгийн мэдрүүрийг харуулжээ. мэдрүүрийн хөдлөх шугамд ортогонол байхаар тэнхлэгийн чиглэх өнцгийн алдаа нь апертур дээрх фазын хазайлт эсвэл фазын шугаман байгуулагчийг илэрхийлнэ. Системийн чиглэлийн алдааны эргэлзээт байдлаас болон оронгийн мэдрүүрийн байршуулагчийн бэхэлсэн тэнхлэгтэй таараагүйн улмаас хазайлт өснө. Хэрэв системийн чиглэлийн эргэлзээ нь хоёрдугаар зэргийн асуудал

бол фазын шугаман хазайлтыг математикийн хувьд орхиж, системийн чиглэлийн өнцгөөс чимээгүй бүсийн туршид хавтгай долгионы цэвэр байдлыг харуулах зорилгоор фазын өөрчлөлт ба фазын хазайлтыг нэгтгэсэн утга фазын өөрчлөлтийг тайлагнана.



Зураг 22 —Энгийн оронгийн мэдрүүрийн механизм

Өргөн өнцгийн ойлтыг оролцуулахгүй байхын тулд мэдрүүр антен дундаж чиглэлтэй байна. Ойрын тусгалын оронг үнэлэхэд пирамидэн рупор эсвэл давхар шүдтэй рупорыг ашиглана. Нэмэлтээр анхаарах зүйл нь аль болох оронгийн мэдрэх хэмжээг ихэсгэхийн тулд мэдрүүр антенны ард шингээгч хаалт байрлуулах нь зүйтэй. Нэвтрүүлэх ба хүлээн авах дэд системүүдийн динамик цар нь ашигтай тусаж буй оронтой харьцангуй -50дБ хүртэл ойсон долгионы түвшингийн бага утгыг мэдрэхийн тулд динамик цар нь багадаа 60дБ-ээс багагүй байна. Чөлөөт орчны өргөгдсөн антенныг үнэлэхдээ мэдрүүр антенны Е- ба Н-оронгийн цацрагийн өргөн нь хагас чадлын цацрагийн өргөнд багтаж хамрах хүрээний гадаргуугийн бараг бүхэлд нь хамарч байхаар сонгоно. Томъёо (15)-өөр энэ нөхцлийг томъёолсон байна.

$$\theta_3 \geq 2 \tan^{-1} \left(\frac{4h_r}{R} \right) \quad (15)$$

θ_3 - мэдрүүр антенны хагас чадлын/3дБ-ийн цацрагийн өргөн

R -хэмжилтийн орчны урт

h_r - хэмжилтэнд буй антенны өндөр

Мэдрүүр антенныг тэнхлэгээр нь эргүүлэхэд ортогональ 2 туйлшралыг гаргаж авна. Хоёр туйлшралтай долгионы хувьд туссан долгионы агууриг ба фазыг хэмжинэ. Хэмжүүрийн антен солбисон туйлшралтай байгуулагчуудыг үүсгэж болохоос гадна долгион жигд биш муруй гадаргуутай биетээс ойхдоо туйлшралаа алдаж болох учраас хэмжүүрийн антенны туйлшралын 2 байрлалд туйлшралын байгуулагчуудыг хэмжинэ.

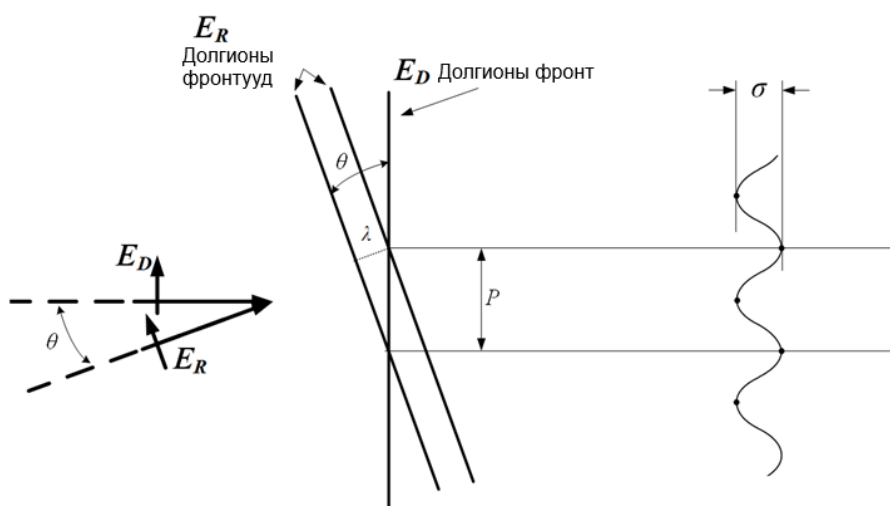
Оронгийн мэдрэх хэмжилтийн гол зарчмын зорилго нь ойлт үүсгээд буй эх үүсгэврийг тодорхойлоход чиглэнэ. Ойлтын ганц үүсгүүртэй байвал хэмжилтийн үр дүнгээс тодорхойлоход хялбар байна. Шууд долгионыг апертурын хавтгайд перпендикуляр чиглэлээс амсарт туссан бөгөөд ойсон долгион нь тухайн чиглэлтэй харьцангуй θ өнцгөөр ирнэ гэж үзэж Зураг 30-т хэмжилтийн апертурын дагуу үүсэж буй интерференцийн нөхцөл байдлыг харуулсан байна. Нийт үүсэн долгионы хэлбэрийн орон зайн үе P-г

$$P = \frac{\lambda}{\sin\theta} \quad (16)$$

Гэж олно. Хэрэв мэдрүүр антен хэмжилтийн бүсэд шууд ба ойсон долгионы тархалтын чиглэл хоёулаа орших хавтгайтай хэмжилтийн апертурын орших хавтгай 2-ийн огтолцох шулууны дагуу шилжинэ гэвэл хэмжигдэх орон нь Зураг 30-д үзүүлсэн хэлбэртэй байна. Гэхдээ мэдрүүр антен хэмжилтийн апертурт дурын чиглэлд эргэнэ гэвэл орон зайн үе нь өсөж (17)-р томъёогоор илэрхийлэгдэх утгатай болно.

$$P = \frac{\lambda}{\sin\theta \cos\alpha} \quad (17)$$

α - Зураг 23-д үзүүлсэн мэдрүүрийн зам ба шинэ чиглэл хоёрын хоорондох өнцөг



Зураг 23 ойсон долгионоор үүсэх орон зайн интерференцийн нөхцөл

Энэ үр дүнгээс харахад хэмжилтийн бүсийн төвөөс гарч буй радиал цацрагийн дагуух оронг хэмжиж байна гэвэл ойсон долгионы ирж буй чиглэлийг тодорхойлох боломжтой. Интерференцийн оргилоос оргил утга нь ойсон E_R ба туссан E_D долгионы агууригийн харьцангуй утгын хэмжээгээр тодорхойлогдох бөгөөд (18) томъёогоор дБ утгаар илэрхийлнэ.

$$\frac{E_R}{E_D} = 20 \log \left[\frac{-1 + 10^{\left(\frac{\sigma}{20}\right)}}{1 + 10^{\left(\frac{\sigma}{20}\right)}} \right] \text{ [дБ]} \quad (18)$$

σ -хэмжилтийн хамгийн их ба бага утгын ялгаа дБ-ээр

Ерөнхийдөө хэд хэдэн ойсон долгион байх бөгөөд гадна орчинд бол газраас ойх ойлт нь үндсэн ойсон долгион гэж тооцогдоно. Энэ тохиолдолд хэмжилтийн орон нь орон зайн нийлбэр тархалт байна. Ойлтын үүсгүүрийг өгөгдлөөс тогтоож болно. Олон ойлттой илүү нарийвчилсан шинжилгээний хувьд 7.5.2-т үзүүлсэн шиг Фурьегийн шинжилгээг ашиглаж болно.

7.4 Хэмжилтийн авсаархан орчны чимээгүй бүсийн үнэлгээ

Хэмжилтийн авсаархан орчны чимээгүй бүсийн үнэлгээг тохирох мэдрүүр антеныг ашиглан чимээгүй бүсийн оронгийн агууригийн ба фазын характеристикийг шууд дискретлэсэн утгыг ашиглаж хийдэг. Чимээгүй бүс дотроо мэдрүүр антеныг дурын байрлалд байрлуулж тэрхүү байрлал ба давтамжаас оронгийн агууриг ба фазын өөрчлөлтийн хамаарах хамаарлыг хэмжилтийн өгөгдлөөр гаргана. Оронгийн мэдрүүр ашигласан хамгийн түгээмэл арга нь чимээгүй бүсийн хамгийн арын, дундын, хамгийн нүүрний цэгүүд дээр шулуун төмөр замын дагуу төвийн шугамын өндөрт байрлуулсан антеныг агуулсан байна. Чимээгүй бүсийн хоёр үндсэн тэнхлэгийн дагуу хэвтээ ба босоо чиглэлд скайн хийж оронгийн өгөгдлийг цуглуулна. Зарим тохиолдолд хэмжилтийн авсаархан орчны булангийн хэсгүүдэд диагональ чиглэлээр $\pm 45^\circ$ чиглэлээр шилжүүлж өгөгдлийг цуглуулна.

Чимээгүй бүсийн доторх үзүүлэлтийн шалгуур нь агууригийн өөрчлөлт агууригын хазайлт фазын өөрчлөлтийг агуулна.

Чимээгүй орчинд

агууригийн өөрчлөлт < 1 дБ

Агууригийн хазайлт ± 0.5 дБ

Фазын өөрчлөлт $\pm 10^\circ$

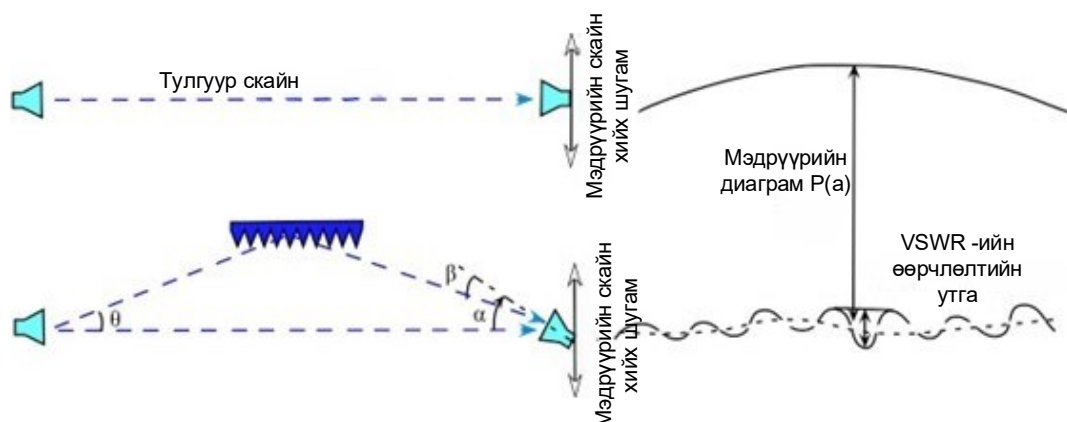
Цуглуулсан өгөгдлийг боловсруулж эцсийн хэрэглэгчид тайлагнадаг. Зураг 27-д оронгийн мэдрүүр антены зургийг үзүүлжээ. Мэдрүүрээр стандарт өсгөлттэй рупор байх бөгөөд түүнийг шулууны дагуу шилжүүлж өгөгдлийг цуглуулна. Хэрэв хэт их хазайлттэй байвал чимээгүй бүсэд нэмж хэмжилт хийх ба Фурьегийн шинжилгээ зэрэг бусад өгөгдөл боловсруулах аргуудыг ашиглаж тэнэмэл дохионы ирэх өнцгийг тодорхойлоход ашиглана. Энэ мэдээлэл нь хэмжилтийн орчны хамрах хүрээний алдааг засварлахад болон алдаа үүсгэгч дохионы байршлыг тогтооход ашиглагддаг бөгөөд алдааг багасгах боломж олгодог. 7.5.2 дугаар хэсэгт Фурьегийн шинжилгээг тайлбарласан.

7.5 Чимээгүй чамберийг үнэлэх нь

7.5.1. Чөлөөт орчны зогсоо долгионы хүчдлийн харьцааны арга

7.5.1.1 Ерөнхий зүйл

Чөлөөт орчны зогсоо долгионы хүчдлийн харьцааны хэмжилтийн зорилго нь чимээгүй бүсд тэнхлэгийн дагуу шууд тусаж буй долгионтой харьцангуй чамберийн хананы гадаргуугийн ойлтын түвшинг хэмжих зорилготой. Чөлөөт орчны VSWR-ийн аргад ойлт нь зураг 24-д үзүүлсэнчлэн чимээгүй бүсэд шулууны дагуу агууригийн хазайлтыг хэмжих замаар ойлгох шинж чанарыг тодорхойлдог.



Зураг 24 Нэг ойлгогч долгионтойгоор хийх VSWR хэмжилт

(19) томъёоны E_d -чимээгүй бүсэд хэмжилтийн антенаас шууд ирж буй долгионы E орон, $P(\alpha)$ - мэдрүүр антены хүлээн авах чиглэлийн диаграмыг илэрхийлж буй бөгөөд

α өнцгөөр мэдрүүр антеныг эргүүлэхэд хүлээн авч буй шууд долгионы E_d утга чиглэлийн диаграмд заасан утгаар унтарна. R нь мэдрүүр антенаар хүлээн авагдаж буй нийт ойлтоор үүсэх оронгийн $\sum E_r'(\alpha)$ нийлбэрийг туссан долгионы E_d оронд харьцуулсан харьцаагаар олдоно. (') тэмдэглэгээ нь мэдрүүр антены чиглэлийн диаграмаар хүлээн авсан оронг илэрхийлнэ. Тэгэхээр мэдрүүр антенаар хүлээн авсан шууд долгионыг олъё

$$E_d'(\alpha) = E_d P(-\alpha) \quad (19)$$

Ойлгох чадвар R нь мэдрүүр антенаар хэмжигдсэн ойсон долгион ба мэдрүүр антенаар хүлээн авагдсан шууд долгионы харьцаа байна.

$$R(\alpha) = \frac{\sum E_r'(\alpha)}{E_d} \quad (20)$$

Ойсон долгион ба шууд долгионыг зогсоо долгионы харьцаанд оруулж бичвэл

$$SWR(\alpha) = \frac{|E_d'(\alpha)| + |\sum E_r'(\alpha)|}{|E_d'(\alpha)| - |\sum E_r'(\alpha)|} \quad (21)$$

Болох ба (19),(20),(21) томъёог нэгтгэн бичвэл

$$SWR(\alpha) = \frac{1 + \frac{|R(\alpha)|}{P(-\alpha)}}{1 - \frac{|R(\alpha)|}{P(-\alpha)}} \quad (22)$$

Улмаар (22)-ээс $R(\alpha)$ -г олбол

$$|R(\alpha)| = P(-\alpha) \frac{SWR(\alpha) - 1}{SWR(\alpha) + 1} \quad (23)$$

болно.

SWR-ийг олж буй (21) томъёонд мэдрүүрээр хэмжигдэж буй шууд долгион E_d' нь мэдрүүрээр хэмжигдэж буй ойсон долгион E_r' -аас их гэж үзэж буй нь чимээгүй чамберт хийх хэмжилтийн хувьд хүчинтэй байна. Үүнээс өөр тохиолдолд SWR-ийн тэмдэгийг эсрэгээр солиж дээрх томъёогоор тооцоолно.

Чөлөөт орчны VSWR хэмжилтэнд мэдрүүр антен нь өндөр чиглүүлэх чадвартай байх хэрэгтэй. Мэдрүүр антеныг ойлт хийгдэж байгаа гадаргуу руу чиглүүлэхэд чамберийн гадаргууд долгион унтрах ч гэсэн мэдрүүр антены тэнхлэгийн биш чиглэлийн диаграмын хэсгээс хамаарч шууд долгионтой харьцуулагдахуйц хэмжээтэй байсаар байх болно. Зогсоо долгионы харилцан нөлөөллийн чиглэлийн диаграм илүү хялбар илүү хүчтэй хэмжигдэнэ. Тэгэхээр динамик царын хэмжилт сайжирдаг. (23) томъёо нь практикт ойлтыг тодорхойлох хэмжилтийн загвар томъёо юм. Үүнд SWR (агууригийн хазайлтын хэмжээнээс хэмжигдэнэ) ба мэдрүүр антены α өнцөг (мэдрүүрийн эргэлтийн өнцөг) дээрх чиглэлийн диаграмын утга хоёр хэрэгтэй болно. α өнцөг дээрх чиглэлийн диаграмын утга нь антены үндсэн чиглэл ба тэрхүү өнцөгөөр хазайсан үеийн оронгийн дундаж ялгаагаар олдоно. Зураг 24 нь энгийн хүлээн авагдаж буй оронгийн утгыг графикаар харуулж байгаа бөгөөд дээрх хоёр параметрийг түүнээс унших аргыг үзүүлсэн байна. Мэдрүүр антены чиглэсэн хэсгээс ихэвчлэн үүсэх ойлтыг хэмжинэ гэж үзвэл α өнцөг нь тухайн чиглэлээс ирэх ойлт давамгайлсан өнцөг байна. Гэхдээ чимээгүй бүс дэр ойсон долгионы чиглэлийг мэдрүүр антены эргэлтийн өнцгөөр биш чамберийн геометр хэмжээс болон антены байрлалаар тодорхойлдог. Өөрөөр хэлбэл ойсон долгионуудын ирэх өнцөг нь мэдрүүр антены эргэлтийн өнцөгтэй хамааралгүй. Мэдрүүр антены өнцөгийн хувьд чамбер дах ойлт ба шууд долгионууд бүгд мэдрүүр антены хажуугийн дэлбээгээр хүлээн авагдсан бөгөөд аль нэг нь давамгай ойсон долгион гэж хэлэхэд хэцүү нөхцөлд SWR -т ойсон долгионууд бүгд оролцсон байх нөхцөл юм.

7.5.1.2 Хэмжилтийн өгөгдөл

Чөлөөт орчны VSWR -ийг хэмжих хэмжилт нь дагуу ба хөндлөн скайн тусдаа хийгдэх хэмжилтээс тогтоно. Аль алиных нь хувьд харилцан ортогональ 2 туйлшралын хувьд хийдэг. Хэмжилт хийх дараалал:

- а) Чимээгүй бүсийн хөндлөн, хэвтээ байршуулагчийг шулуун шилжүүлж байхаар хэмжилтийн орчныг бүрдүүлэх
- б) Хэмжилтийн антен ба мэдрүүр антеныг бие биенийгээ харж байхаар ижил туйлшралтай байхаар байрлуулна. Энэ байрлал нь мэдрүүр антены 0° -ийн байрлал болно.
- в) Скайн хийж өгөгдлийг олборлох. Энэ нь хөндлөн тулгуур скайн болно.
- д) Зураг 24 дээрх шиг мэдрүүр антеныг α (зөвхөн мэдрүүр антенаа эргүүлэх ба орчны тэнхлэгтэй перпендикуляр скайн хийх шулууныг эргүүлэхгүй) өнцгөөр -90° эсвэл 270° -аар эргүүлж скайн хийж өгөгдлөө авна.
- е) α өнцөгийг цагийн зүүний эсрэг 15° -ийн шатлалтайгаар эргүүлж хэмжилтийг 90° хүртэл давтах ба 0° дээр хийх шаардлагагүй.
- б) -ээс е) хүртлэх үйлдлийг ортогональ туйлшралын хувьд давтана.
- г) Чимээгүй бүсийн тууш чиглэлд байршуулагчийг шулуун шилжүүлж байхаар хэмжилтийн орчныг бүрдүүлэх
- х) Хэмжилтийн антен ба мэдрүүр антеныг бие биенийгээ харж байхаар ижил туйлшралтай байхаар байрлуулна. Энэ байрлал нь мэдрүүр антены 0° -ийн байрлал болно.
- и) Скайн хийж өгөгдлийг олборлох. Энэ нь тэнхлэгийн дагуу тулгуур скайн болно.
- ж) мэдрүүр антеныг α (зөвхөн мэдрүүр антенаа эргүүлэх ба орчны тэнхлэгтэй параллел байх скайн хийх шулууныг эргүүлэхгүй) өнцгөөр -90° эсвэл 270° -аар эргүүлж скайн хийж өгөгдлөө авна.
- к) α өнцөгийг цагийн зүүний эсрэг 15° -ийн шатлалтайгаар эргүүлж хэмжилтийг 90° хүртэл давтах ба 0° дээр хийх шаардлагагүй.
- г) -ээс к) хүртлэх үйлдлийг ортогональ туйлшралын хувьд давтана.

Энэхүү бүл хэмжилт нь энгийн чөлөөт орчны VSWR-ийн хэмжилтийн хувьд хангалттай өгөгдлийг гаргадаг. Ерөнхийдөө босоо чиглэлд антеныг байршуулах нь төвөгтэй тул хөндлөн чиглэлийн хэмжилтийг хийж чаддаггүй. Уламжлал ёсоор чамберийн барилгын хийц нь тэгшхэмтэй бөгөөд тааз шалны шингээгчийн хийцийг хананыхтай адил гэж үздэг.

7.5.1.3 Өгөгдлийн шинжилгээ

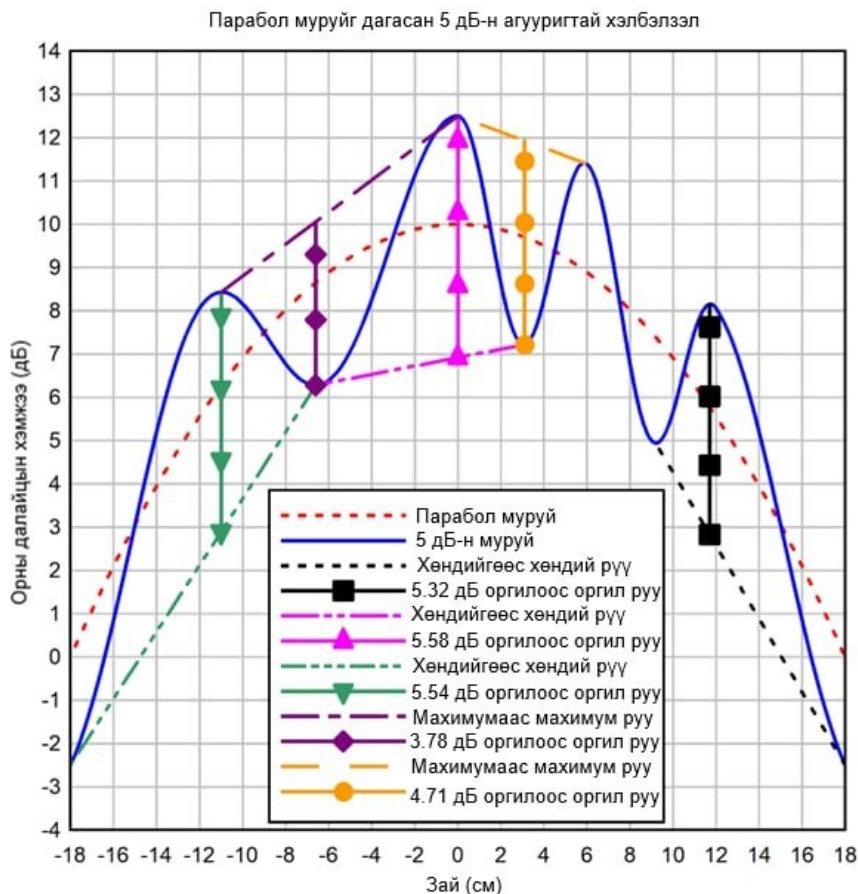
Скайн бүрд туйлшрал бүрийн хувьд мэдрүүр антены чиглэл бүрд ойлгох чадварыг тодорхойлохын тулд хэмжилтийн өгөгдлийг шинжилнэ. Скайн,% туйлшрал чиглэл бүрийн хувьд ойлгох чадварыг (26) томъёогоор олно.

$$R_{d-p-s} = 20 \log \left(\frac{10^{\left(\frac{r_{p-p}}{20}\right) - 1}}{10^{\left(\frac{r_{p-p}}{20}\right) + 1}} \right) - \Delta L \quad (26)$$

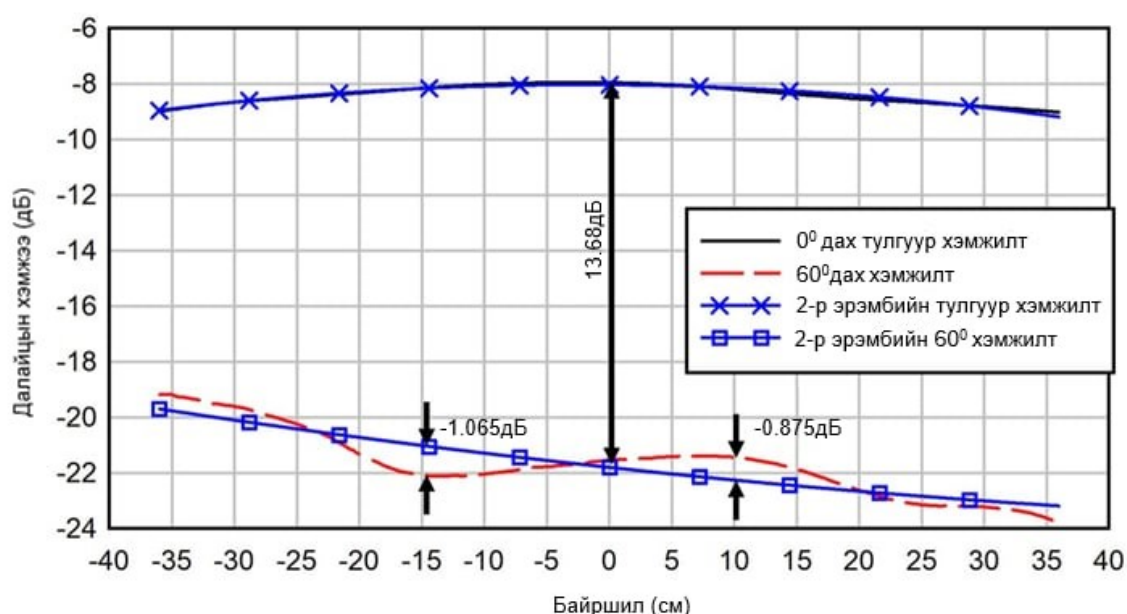
R_{d-p-s} -скайн туйлшрал чиглэл бүрийн хувьд хэмжигдсэн ойлгох чадвар r_{p-p} -интерференцлэгч дохионы оргилоос оргил утгын хоорондох агууригийн хазайлт дБ ΔL - зураг 26 ба зураг 27-т үзүүлсэнчлэн тулгуур утгаас интерференцийн дохионы түвшний зөрөө дБ

Хэмжигдсэн өгөгдлөөс оргилоос оргил хүртлэх агууригийн хазайлтыг хэмжихийн тулд үнэлгээнд зөв оргил утгыг сонгоход анхааралтай хандах хэрэгтэй. Энгийнээ

хэмжилтийн антены чиглэлийн диаграмд харгалзах муруйн оройн хэсэг дэх өөрчлөлт эсвэл оронгийн удаан өөрчлөлтийг сонгоно. Зураг 26-т параболын оройн хэсэгт ялгаатай орон зайн үед 5дБ-ийн оргил утгын өөрчлөлтийг үзүүлжээ. Хоёр хонхор хочр оргил утгатай байх нь практикт элбэг тохиолдох тохиолдол бөгөөд тэдгээрийн хооронд шулуун хэсгийг зурдаг. Оргилоос оргил утгын хоорондох хазайлт нь оргил утгуудын хоорондох хонхор эсвэл оргил утгуудын хоорондох сегментээс зайг олно. Зураг 26-т үзүүлсэн нилээд их алдаа гарч болно. Тиймээс оргилоос оргил утгын хазайлтыг шинжилж байх үед үелэн давтагдах хазайлтын хэд хэдэн үеийг авч үзэх хэрэгтэй. оргил утгад хамааралтай хонхорыг эсвэл хонхорт харгалзах оргил утгыг сонгоно. Скайн хийгдсэг өгөгдлөөс оргилоос оргил утгын хазайлт нь скайн хийгдсэн өгөгдлөөс гаргасан оргилоос оргил утгатай цэгүүдийн дундаж байна. Зураг 27-д хазайлтын оргилоос оргил утга 60^0 -ийн мөрөөс 1.94дБ гэж харагдаж байна. Тулгуур мөр ба 60^0 -ийн хоорондох ялгаа нь 13.68 дБ байна. (26) томъёоноос 60^0 -ийн чиглэл дэх ойлгох чадвар нь -32.75дБ гэж олджээ. Хазайлтыг тодорхойлох өөр нэг арга нь дундаж утгын муруйнаас тохирох өгөгдлийг ялгах явдал юм. Оргил хүртлэх муруй ба хонхорын хоорондох зай нь авсаархан хэмжилтийн орчны хавтгай долгионы шинж чанарыг гаргахад хэрэглэгдэнэ.



Зураг 26 Парабол муруй дээрх оргилоос оргил утгын 5дБ-ийн хазайлт



Зураг 27 Чөлөөт орчны зогсоо долгионы хүчдлийн коэффициентийн хэмжигдсэн өгөгдлийн шинжилгээ. Хөндлөн скайн хийгдсэн хэвтээ туйлшралтай өгөгдөл

7.5.2. Чамберийн баталгаажуулалт оношлогоонд хэрэглэдэг чимээгүй бүсийн шинж чанарын Фурьегийн шинжилгээ

Чимээгүй орчны хэмжсэн цахилгаан оронгийн Фурьегийн шинжилгээгээр чамберийн ойлгох чадварыг ашиггүй дохионы ирэх өнцгөөс хамааруулан тодорхойлдог. Цахилгаан оронгийн агууриг ба фазыг хоёр хэмжээсээр Зураг 28-д үзүүлсэнээр үзүүлэх шаардлагатай. Жишээ нь өгөгдлийг олж авахдаа хавтгай скайнер хийх өргөн цацрагтай мэдрүүр антен ашиглаж болно. (27) томъёонд үзүүлснээр хоёр хэмжээст Фурьегийн хувиргалт эсвэл түүнтэй дүйцэх Фурьегийн хурдан хувиргалт хийсний дараа чимээгүй бүсийн орон туссан долгионы хоёр хэмжээст орон зайн давтамжийн спектрт задарна.

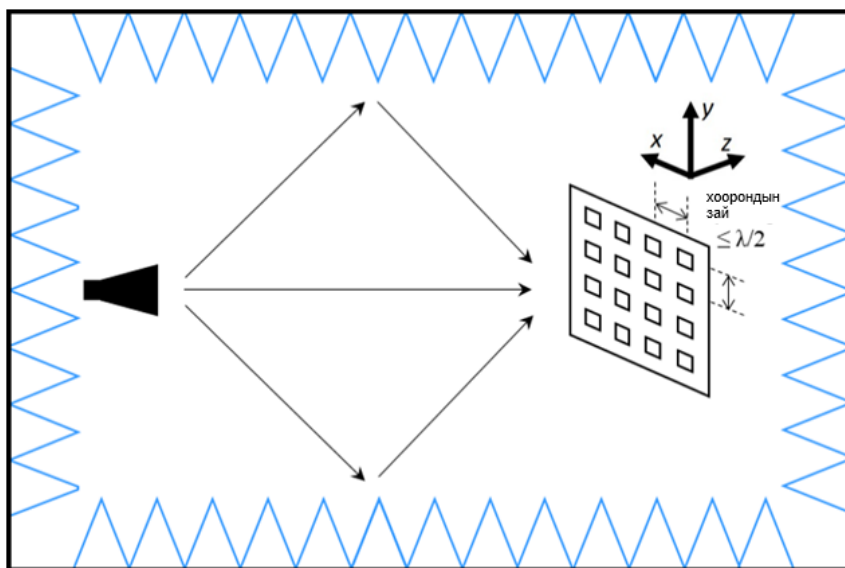
$$S[i_{kx}, i_{ky}] = \sum_{m=0}^{M-1} \left(\sum_{n=0}^{N-1} v[m, n] e^{-2\pi \left(\frac{mi_{kx}}{M} + \frac{ni_{ky}}{N} \right)} \right) \quad (27)$$

M – чимээгүй бүсийн x тэнхлэгийн дагуух хэмжилтийн цэгийн тоо мөн энэ нь FFT-ийн гаралтын kx чиглэлийн дагуух цэгийн тоо

N – чимээгүй бүсийн y тэнхлэгийн дагуух хэмжилтийн цэгийн тоо мөн энэ нь FFT-ийн гаралтын ky чиглэлийн дагуух цэгийн тоо

$v[m, n]$ – чимээгүй бүсийн байрлал бүрд хэмжигдсэн комплекс хүчдэл m – x тэнхлэгийн дагуух (0-ээс $M-1$ хүртлэх) бүхэл m тоо, n – y тэнхлэгийн дагуух (0-ээс $N-1$ хүртлэх) бүхэл тоо, Энэ бол FFT-ийн оролт

S – 2D FFT-ийн гаралт бөгөөд чимээгүй бүсийн орон ба мэдрүүрийн хооронд салаалж буй хавтгай долгионы 0 ээс $M-1$ ийн хоорондох бүхэл тоон i_{kx} , 0 ээс $N-1$ ийн хоорондох бүхэл тоон i_{ky} индекс бүхий спектр



Зураг 28 Фурьегийн шинжилгээгээр чимээгүй бүсийн оронгийн хоёр хэмжээст хөндлөн зайн хэмжилт

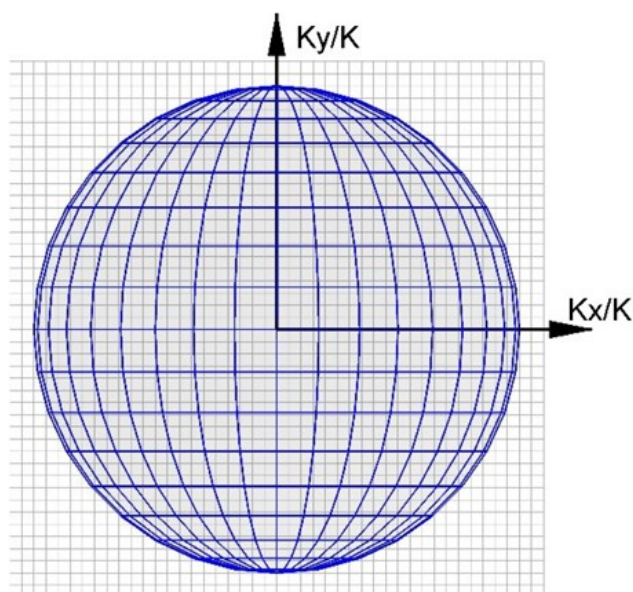
Хавтгай сканер дээрх мэдрүүр антен өргөн цацрагтай учраас чамбер дах ойлтоор чиглэлийн диаграмд огцом унтралтгүй байна. Ашиггүй дохионы хэмжээг тооцоход өндөр нарийвчлал шаардсан үед мэдрүүр антены чиглэлийн диаграмын засвар ба бусад стандарт хавтгай ойрын оронгийн боловсруулалт шаарагдаж болно. Хэрэв ашиггүй дохио мэдрүүр антены арын хагас бөмбөрцөгөөс ирж байвал эдгээр дохиог хаахын тулд мэдрүүр антенд шингээгч хийдэг. Энэхүү мэдрүүртэй харьцангуй шингээгчээс сарнилт үүсч болзошгүй тул мэдрүүр антены чиглэлийн диаграмын нэг хэсэгт орох тул спектрт нэмэлт байгуулагчийг үүсгэдэггүй.

Хавтгай сканерын үйлчлэлийн орон зай нь хэмжилтийн бүсийн хэмжээгээр хязгаарлагдана. Их өргөсгөвөл олон цацаргалтын үүсгүүрийн асуудлыг шийдвэрлэгдэх боловч хэмжилтийн антены долгионы фронтын хавтгай бусаас эсвэл чимээгүй бүсийг гэрэлтүүлээгүй шууд дохионы улмаас нэмэлт алдаа үүсдэг. Дүрсийн чанарыг сайжруулах зорилгоор хэмжигдсэн өгөгдлийн тэг гүйцээлт хийхийг зөвлөдөг. Тэг гүйцээлт нь FFT-ийн гаралтын спектр нягтыг өсгөх боловч ирж буй олон хавтгай долгионуудыг шийдэх чадварыг сайжруулахгүй. Спектр нарийвчлал эсвэл олон дохионуудыг шийдэх чадвар нь апертурын орон зайн өргөтгөл эсвэл үр ашигт талбайгаар хязгаарлагдана.

Чамберийн RF дүрсийг үүсгэхдээ FFT-ийг ашиглах үед FFT-ийн гаралттай холбоотой координатуудыг ойлгох нь чухал байдаг.

Хавтгай ойрын оронгийн онолоор Δx завсартайгаар жигд түүвэрлэсэн дискретүүд нь $\pm\pi/\Delta x$ -ийн Kx координатын хамгийн их долгионы тоотой эсвэл $\pm\lambda/(2\Delta x)$ -ийн хамгийн их синус орон зайн Kx/K_0 координатын утгыг өгдөг. Мөн Δy ба Ky/K_0 -ийн хооронд адилхан харилцан хамааралтай байна. Хоёр хэмжээст FFT-ийн гаралт нь эхлээд Δx болон Δy зайтайгаар, дараа нь M ба N тоотой цэгээр синус орон зайн жигд торыг үүсгэнэ. Синус орон зайн торыг хэд хэдэн зөв биш өнцгийн торуудын нэг рүү хувиргаж зурна. Зураг 29 нь стандарт хэвтээ-босоо координатын системийг синус-орон зайн тор руу оруулсан зургийг үзүүлжээ. Дурын өөрт нийцтэй өнцгийн координатын систем нь синус орон зайн тор дээр нэгж тойрогийн хүрээн дэх цэгүүдэд хувирч зурагдахыг анхаарна уу.

Ямар ч өөртөө нийцтэй өнцгийн координатын систем нь синус-орон зайн торон дахь нэгжийн тойргийн дотор байрлах цэгүүд рүү зураглагдана гэдгийг анхаарна уу. Дискрет хооронлын хэвийн зайнуудын хувьд FFT нь нэгж тойргийн гаднах цэгүүдийг буцаах боловч тэдгээр спектрийн байгуулагчууд нь бодит өнцгүүдэд тохирохгүй. Хэрэв спектрт нэгж тойргийн гадна чадал илэрвэл, энэ нь шуугиан, таслалт, эсвэл хэмжилтийн алдаанаас үүдэлтэй байх магадлалтай.



Зураг 29 Синус орон зайн координат дээрх хэвтээ ба босоо өнцгийн проекц

Хэрэв $\Delta x = \lambda/2$ бол FFT-ийн гаралт дахь Kx/K_0 нь ± 1 , өөрөөр хэлбэл $\pm 90^\circ$ –ын харах өнцгийг хамрах бөгөөд ингэснээр мэдрүүрийн урд хагас бөмбөрцгийг бүрхэнэ. Δx эсвэл $\Delta y > \lambda/2$ зай нь зөвхөн $\pm \sin^{-1}(0.5\lambda/\Delta x)$ -аас цааш ирж буй бүх дохионы чадал үл мэдэг байхад хэрэглэгдэх ба эдгээр дохио дохионууд зургийн буруу хэсэгт нялзсан/давхацсан (aliased) дүрс үүсгэнэ. Энд тайлбарласан FFT-ийн гаралт нь мэдрүүрээс сарних үүсвэр хүртэлх зайг шууд харуулдаггүй, зөвхөн түүний чиглэлийг л харуулдаг. Зайг холбогдох харах өнцгүүдтэй нийцэх физик шинж чанаруудын мэдлэгээс дүгнэж болно. Мэдрүүрийн ард байрлах $+z$ цэгүүд дээр фазын конвекцийн комплекс өгөгддэл хоёр хэмжээст FFT руу оруулахад гарсан үр дүнгийн матриц нь мэдрүүр талаас харахад $+x$ -ийн чиглэлд $+Kx$, $+y$ -ийн чиглэлд $+Ky$ байна. Гарсан зураг ([1,1] индекс зүүн доод буланд байрлах) нь мэдрүүрийн урд хагас бөмбөрцөг рүү харахад хүрээний зураглалтай сайн нийцдэг. Хавтгай скайн хийх энэхүү хэрэглээн хэмжигдсэн өгөгдөл нь ерөнхийдөө жигд агууригтай байх бөгөөд ирмэгүүд дээр агууриг хальт буурсан эсвэл ийм өөрчлөлтгүй байна. Скайнердсан хэсэг дэх таслалт нь хүчтэй дохионоос тэг чадалтай руу шилжих үед нарийн цацрагт антены чиглэлийн диаграмын хажуугийн дэлбээнээс үүсдэг шиг FFT-ийн гаралтанд спектрийн алдагдал үүсгэдэг. Жигд тэгш өнцөгт цонхлолтын функц нь бодит спектрийг Sinc функцээр үржүүлж буйтай дүйцэх бөгөөд эхний хажуугийн дэлбээ нь -13дБ-ээр буурах үр дүнг үзүүлдэг. Тиймээс зурганд том динамик цар шаардагдвал энэ цонхлолтын функц зайлшгүй юм. Энэ зорилгоор Долф-Чебышевийн (Dolph-Chebyshev) цонх хэрэглэхийг зөвлөдөг. Хажуугийн дэлбээний түвшин нь спектрийн туршид жигд бөгөөд түүнийг хувьсган өөрчилж болно. Хажуугийн дэлбээний түвшин сонирхож буй санамсаргүй дохионыхоос 20дБ-ээр доогуур байхаар цонхны функцийг үүсгэхийг зөвлөдөг. Жишээ нь -60дБ-ийн хажуугийн дэлбээний хамгийн их түвшинтэй цонхлолтын функц нь санамсаргүй дохиог -40дБ -ээр ялгах шаардлагатай болно. Шууд замтай ойр сарнисан дохионы хувьд шууд замын ба шаардлагатай дохиог хасах нь зөв байдаг. Ингэж хасах нь FFT-ийн гаралтанд ашигтай дохионоос бусад дохиог гаргахад чиглэнэ. Энэ хасалт нь цонхлолт эсвэл таслалтын өмнө явагдах шүүх процессоос ялгаатай. Тиймээс хасагдсан дохионоос спектрийг холдуулахгүй. Хасалттай адил үйлдэлтэй шууд дохиог устгах аргуудын нэгийг доор тайлбарлъя. Шууд дохио нь алсын оронгийн хэрэглээнд бол (чимээгүй бүсэд нэвтрүүлэх антены чиглэлийн диаграм мэдэгдэж байгаа бөгөөд тооцоологдож болно гэвэл) хавтгай долгион гэж тооцогддог. Энэ хавтгай долгионыг дараах байдлаар илэрхийлж болно.

$$v_d[m, n] = e^{j(k_{xd}m\Delta x + k_{yd}n\Delta y + \phi)}$$

Үүнд $[k_{xd}, k_{yd}]$ -шууд замын дохионы ирж буй чиглэлд хамаарах долгионы тоо ϕ -фазын шилжилт

Хасагдах шаардлагатай ашигтай дохио нь цонхлох, таслах, тэгийн гүйцээлтийн адил үйлдлүүдэд анхдагч дохио шиг орох ба ингэснээр 2 ижил импульсийн характеристиктай хувиргалт байна. Харгалзах спектр S_d -г (27) томъёоноос $v[m, n]$ -ийн оронд $v_d[m, n]$ -ийг ашиглан олно. Агууриг ба фазын хувьд ижилсгэхийн тулд хасалтаас өмнө комплекс спектр бүр комплекс оргил утгаар (28) томъёонд үзүүлснээр нормчлогдсон байх шаардлагатай.

$$R = \frac{S}{\text{Peak}\{S\}} - \frac{S_d}{\text{Peak}\{S_d\}} \quad (28)$$

Үүнд:

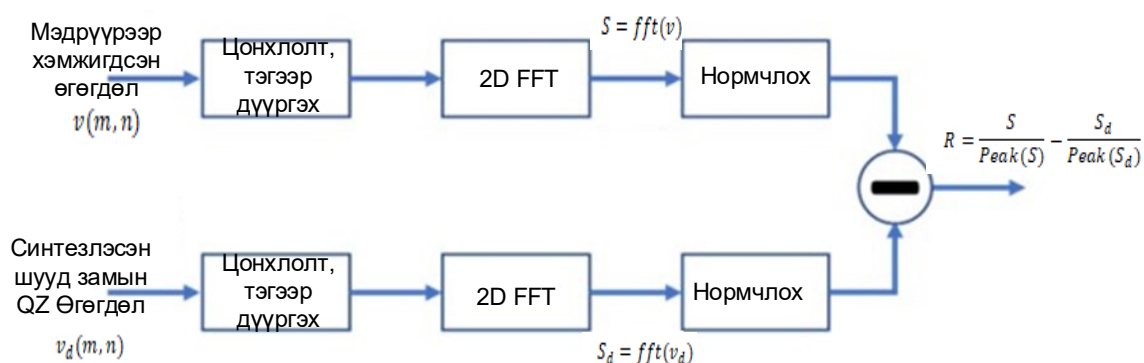
R -шууд замын эсвэл ашигтай дохиог хассан үлдэгдэл комплекс спектр ба энэ нь ашигтай дохио биш дохионы зүйлсийг таамаглах утга

S - цонхлолт ба эсвэл тэг гүйцээлт хийгдсэн хэмжигдсэн өгөгдөл $v[m, n]$ -ийн спектр

S_d - $v_d[m, n]$ -тэй адил цонхлолт, тэг гүйцээлт хийгдсэн шууд замын ба ашигтай өгөгдөл $v_d[m, n]$ -ийн спектр

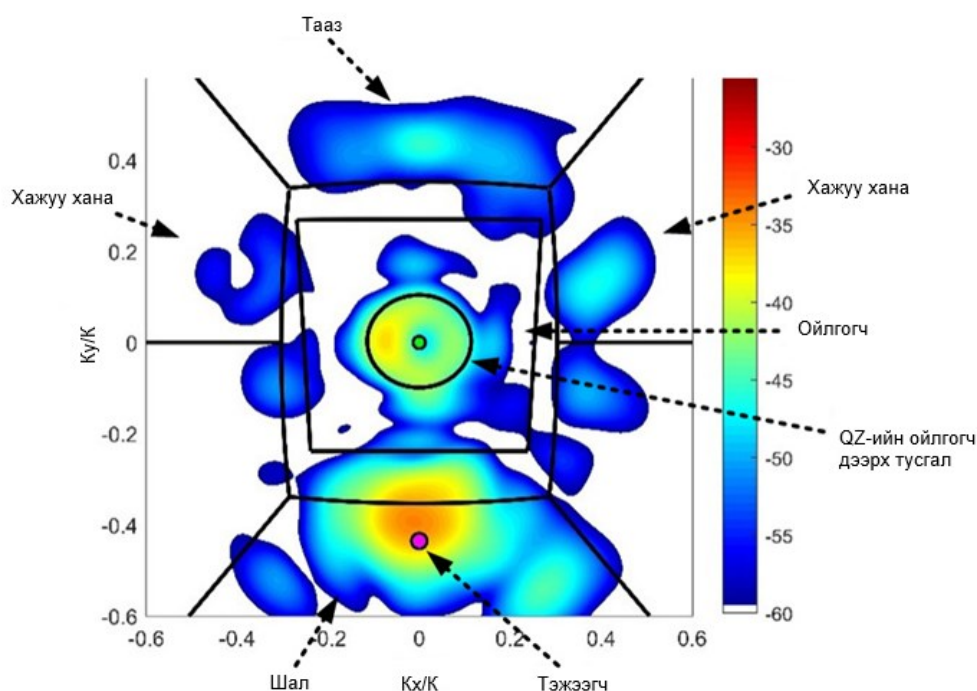
$\text{Peak}\{\}$ - оролтын комплекс утгын агууригаас хамгийн их утгатай оролтыг олох функц

Зураг 30 нь энэ процессын дарааллыг харуулсан байна. Нормчлолын дараах хасалтын спектр нь шууд замын ба ашигтай дохиотой харьцангуй санамсаргүй дохионы түвшнийг харуулж байна.



Зураг 30 Шууд замын дохиог хасах дараалал

Ашигтай дохионд санамсаргүй дохионы агууриг ба фаз хэдийчинээ ойролцоо байх тутам ашигтай дохиог нарийн тодорхойлж хасах нь хүндрэлтэй болдог. Энэ тохиолдол гарвал жигд цонхны функцийг ашиглахыг зөвлөдөг. Өөрөөр хэлбэл хэрэв шууд долгионы агууриг, фаз, чиглэл, чимээгүй бүс дэх хуваарилалт нарийн мэдэгдэж байвал энэ хоёр спектрийг нормчлоход ашиглаж болох ба эсвэл нормлол ба хасалтыг тухайн орон зайн домэйнд хийж болно. Дүрсийн координатын хувиргалт хийхийн тулд зургийн хүрээний онцлог шинж чанаруудаар нэмэгдүүлэх замаар зурагт илэрч буй санамсаргүй дохионуудыг тодорхойлоход ач холбогдолтой. Шал тааз ханыг агуулсан шинж чанар Зураг 31-д авсаархан хэмжилтийн орчиндох санамсаргүй дохионы дүрслэлийг харуулав. Хэмжилтийн орчин нь шал, хана, тааз, хананы төвийн шугам, ойлгогчийн ирмэгүүд, чимээгүй бүсийн проекц, хэмжилтийн орчны тэнхлэг ба фидерийн байрлалыг харуулсан байна. Дүрслэл нь хавтгай долгионы хасалт болон жигд цонхлолтын үр дүнгээр үүссэн байна.



Зураг 31 Авсаархан хэмжилтийн орчны төвийн тэжээлтэй үеийн санамсаргүй дохионы дүрслэл (жишээ)

8. Чиглэлийн диаграммын хэмжилт

8.1 Ерөнхий зүйл

8.1.1 Үндсэн ойлголт

Антеннаас цацаргаж байгаа цахилгаан соронзон оронгийн орон зайн тархалтын тоо хэмжээг илэрхийлж буй график дүрслэлийг антенны чиглэлийн диаграм гэж нэрлэнэ. Антенны чиглэлийн диаграммын тодорхойлохын тулд чиглэлийн диаграммын хэмжилтийг хийдэг.

Хэмжигдэж буй антен болон нэмэлт бүтцийг аль алиныг нь агуулсан хэмжилтийн зарим тохиолдлуудыг авч үзье.

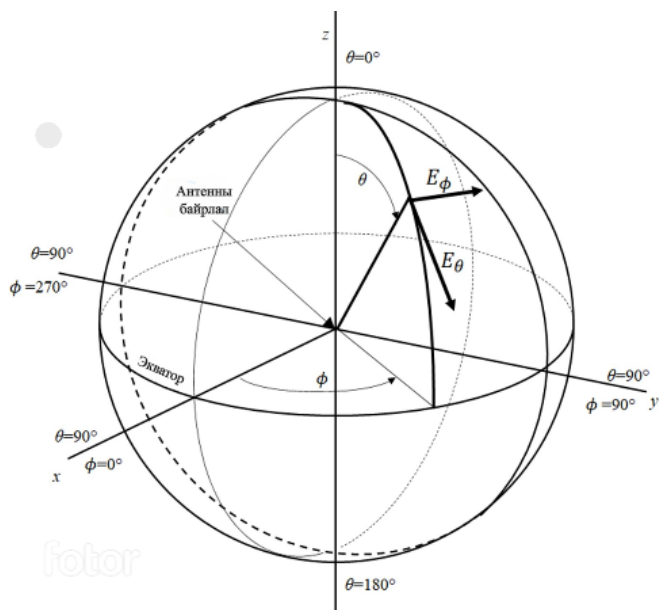
Чиглэлийн диаграммыг нарийн тодорхойлоход координатын систем чухал байдаг. Өөрөөр хэлбэл, антенны чиглэлийн диаграм нь зөвхөн антен байхаас гадна тухайн чиглэлийн диаграммыг аль координатын систем дээр тодорхойлох, хэмжихийг урьдчилан сонгосон байх шаардлагатай. Антенны ашиглалт болон чиглэлийн диаграммын симуляц, хэмжилтийг харьцуулах, өөр өөр чиглэлийн диаграммыг хооронд нь харьцуулалх зэрэгт координатын системийн сонголт чухал байдаг. Хоёр өөр туйлшралын тулгуур чиглэлийн хоорондох ердөө 1° -ийн өнцгийн зөрүү нь -35 дБ харьцангуй хөндлөн туйлшралыг үүсгэж болдогоос харахад чиглэлийн диаграммын хэмжилтийн үед координатын системийн нарийн тохируулга ямар чухал болохыг дүгнэж болно.

Хэмжигдэж буй антенны координатын систем гэдэг нь антенны ашиглалтын координатын систем бөгөөд антенны чиглэлийн диаграммыг энэ координатын систем дээр хэмждэг.

Хэмжигдэж буй антенны координатын системийн үндсэн чиглэл, байршил нь антен дээрх механик лавлах хийцээр баримжаалагдан тодорхойлогддог. Жишээлбэл, антен дээр суурилуулсан оптик тэгшлэх шоо, металл бөмбөлөг гэх мэт хэрэгслээр эсвэл интерфэйсийн суурь хавтан зэрэг антенны геометрийн шинж чанараар

тодорхойлогдож болно. Өөр нэг хувилбар нь бие даасан оптик хэрэгслийг ашиглан чиглэлийг нарийвчлан тогтоох арга байж болно.

Антенны хэмжилтэнд ашигладаг стандарт бөмбөрцөг координатын системийг Зураг 32-д үзүүлэв.



Зураг 32 Антенны хэмжилтэнд ашигладаг стандарт бөмбөрцөг координатын систем

Хэмжилтийн координатын систем гэдэг нь хэмжилт хийгдсэн координатын систем бөгөөд хэмжилтийн өгөгдөл нь хүчинтэй байдаг. Хэмжилтийн координатын систем нь байрлал тогтоох системийн механикаар тодорхойлогддог. Жишээ нь AUT-ийн эргэлт, хөрвүүлэлтийн үе шатаар тодорхойлогдох гэх мэт.

Хэмжилтийн координатын систем нь хэмжигдэж буй антенны координатын системтэй давхцсан байх боломжтой. Гэвч ихэвчлэн хэмжилтийн координатын системээс чиглэлийн диаграммыг хэмжигдэж буй антенны координатын систем рүү хөрвүүлэх зорилгоор хэмжилтийн өгөгдлийг ихэвчлэн боловсруулдаг.

8.1.2 Алсын оронгийн бүс

Антенны алсын оронгийн бүс гэдэг нь ихэвчлэн антенны алсын оронгийн чиглэлийн диаграммын хэмжилтээр тодорхойлогдох бөгөөд энэ нь аль ч төрлийн антенны хувьд энгийн хэлбэр дүрстэй байдаг. j -нь хуурмаг хэсэг, ω -нь өнцөгт давтамж t -нь хугацаа юм.

Алсын оронгийн бүс дэхь дурын цэг дээрх цахилгаан оронгийн хүчлэг E -г дараах тэгшитгэлээр олж болно (29).

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{e^{-jkr}}{r} \vec{F}(\hat{a}_r) \quad (29)$$

Энд

$\vec{r}$ - Антенны ойролцоо сонгосон координатын эхтэй харьцангуйгаар ажиглалтын цэгийн байршлын вектор, Байрлалын r вектор нь a_r нэгж чиглэлтэй, r урттай.

k - Долгионы тоо

F - Алсын оронгийн бүсийн чиглэлийн диаграммын функц нь ажиглалтын цэг рүү чиглэсэн чиглэлээс хамаардаг бөгөөд байрлалын вектортой перпендукуляр бүрэлдэхүүнүүдийг агуулдаг.

Антенны алсын оронгийн бүс гэдэг нь (29)-р тэгшитгэлд тодорхойлсон орон нь хүлээн зөвшөөрөгдөхүйц нарийвчлалтай байх орон зайн бүс юм.

Энэ илэрхийллийг ерөнхий цацаргалтын интегралаас гаргахад хоёр өөр нөхцөл хангагдсан байх ёстой.

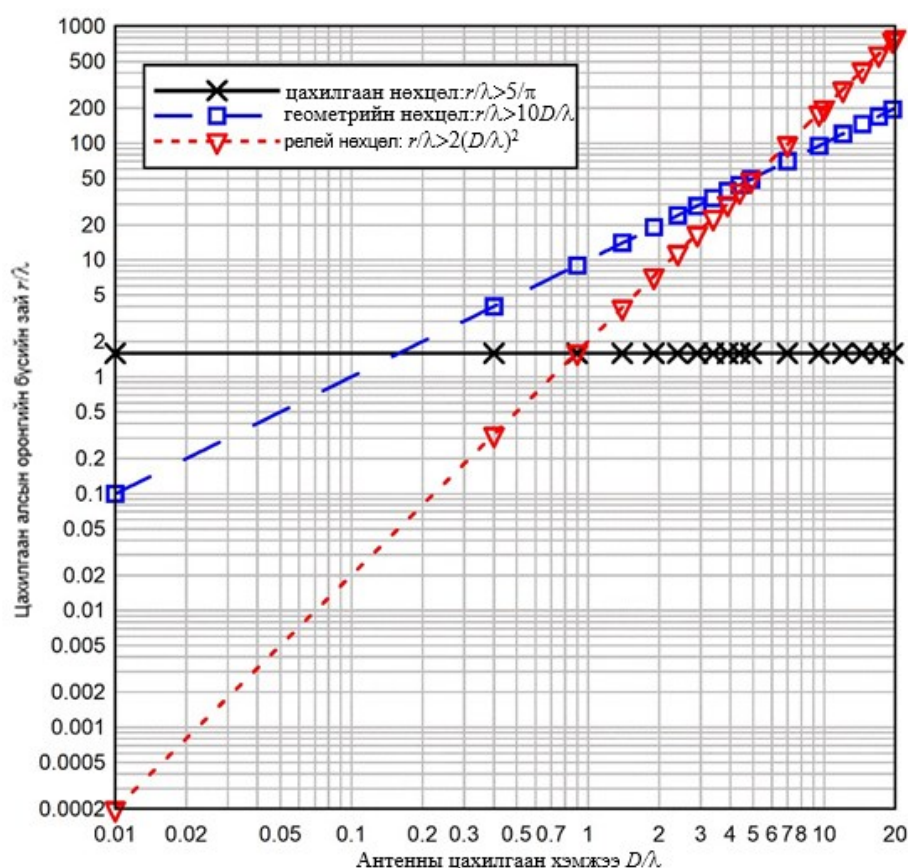
Нэгдүгээрт, цахилгаан нөхцөл нь долгионы урт λ -ийн хувьд kr үржвэр 1-с олон дахин их байх ёстой гэж үздэг. Иймээс $r \gg \lambda/2\pi$ байна.

Хоёрдугаарт, геометрийн нөхцөл нь r зай нь антены шугаман хэмжээсийн хамгийн их утга D -ээс олон дахин их байх ёстой гэж үздэг. Иймээс $r \gg D$ нөхцөл биелнэ. Цаашилбал, фазын алдааг тоон үзүүлэлтээр илэрхийлэхийн тулд Рэйлигийн нөхцөлийг ихэвчлэн хэрэгжүүлдэг.

Иймд $r > 2D^2/\lambda$ нөхцөл бүрдэнэ.

Хэрэв “ $\gg$ ” тэнцүү биш нөхцөлийг дур мэдэн “10 дахин их” гэж тайлбарлавал эдгээр гурван нөхцөлийг (r/λ) -ийн нөхцөл болгон (D/λ) хэлбэрээр хялбархан илэрхийлж болно. Зураг 33-г үзнэ үү.

Антены цахилгаан хэмжээнээс (D/λ) хамааран гурван нөхцлийн аль нэг нь алсын оронгийн бүсийг тодорхойлох илүү хатуу нөхцөл байж болно. Эдгээр шалгуур нь хангалтгүй байж болохуйц хэмжилтийн нөхцлүүд ч байдаг.

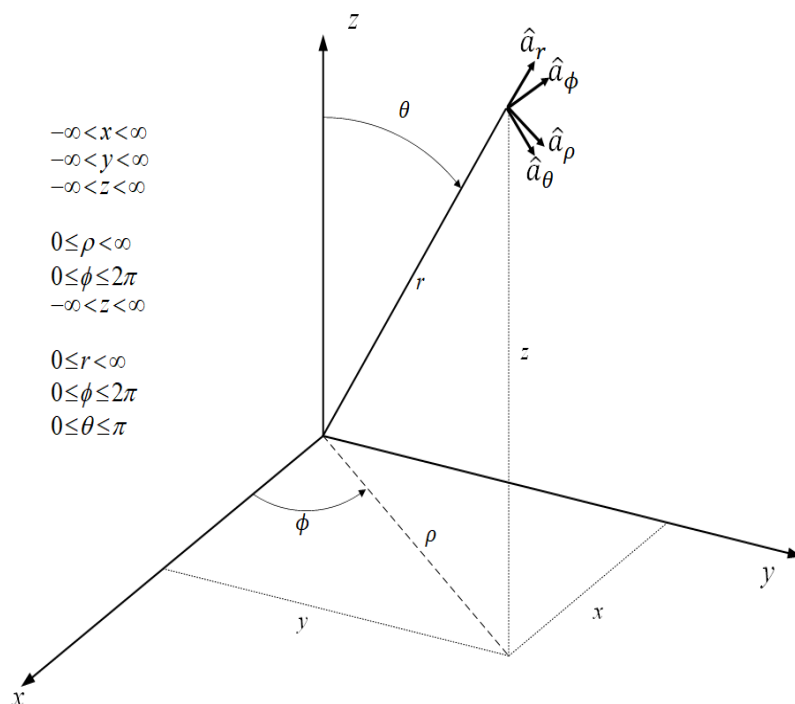


Зураг 33 Алсын оронгийн бүсийн нөхцөлүүд: Алсын оронгийн бүсийн нөхцөлийг тодорхойлоход зориулсан антены цахилгаан хэмжээс D/λ -ын функцаар илэрхийлэгдсэн ажиглалтын цэг хүртэлх цахилгаан зай r/λ , Релей Алсын оронгийн бүсийн нөхцөл

8.1.3 Бөмбөрцөг координатын систем

Алсын оронгийн бүсийн чиглэлийн диаграммын хувьд тэгш өнцөгт xuz координатын системтэй хамаарал бүхий бөмбөрцөг $r\theta\phi$ -координатын системийг ашигладаг (зураг 34). Энд хэмжигдэж буй антены координатын систем эсвэл хэмжилтийн координатын системд зориулсан антен болон хэмжилтийн системтэй харьцангуйгаар тодорхойлогддог тэгш өнцөгт xuz -координатын системийн тухай дурьдаж байгаа юм.

Алсын оронгийн бүсийн чиглэлийн диаграммын агууриг утгыг тодорхойлоход зөвхөн координатын системийн чиглэлийг тодорхойлох шаардлагатай байдаг бол алсын оронгийн бүсийн чиглэлийн диаграммын фазыг тодорхойлоход координатын системийн координатын эхийн байрлалыг тодорхойлох шаардлагатай байдаг.



Зураг 34 Бөмбөрцөг болон тэгш өнцөгт координатын системийн хамаарал

8.1.4 Хэмжилтийн төрлүүд

Алсын оронгийн бүсийн чиглэлийн диаграммын функц F нь цацаргагдсан цахилгаан соронзон долгионы бүхий л шаардалагатай мэдээллүүдийг багтаасан байдаг. Тухайлбал долгионы магнитуд, фаз, туйлшрал гэх мэт бөгөөд эндээс антены чиглүүлэмжийг тооцож болно. Тиймээс алсын оронгийн бүсийн чиглэлийн диаграммын хэмжилтийн хувьд антеныг тойрсон бүтэн бөмбөрцөг дээрх F -ийн хоёр ортогональ бүрэлдэхүүн хэсэг болох магнитуд ба фазыг хэмжихэд чиглэсэн байдаг. Харин практикт эдгээрийг хэмжих нь үргэлж шаардлагатай, эсвэл боломжтой байдаггүй.

Хэрэв антен нь тэгш хэмтэй (харилцан хамааралтай) бол хэмжилтийг нь хүлээн авах эсвэл дамжуулах үед хийж болох ба зөвхөн тодорхой хэмжилтийн системийн практик асуудлыг харгалзан үзвэл аль нь илүү тохиромжтой болохыг тодорхойлно. Чиглэлийн диаграммын хэмжилт нь ихэвчлэн харьцангуй хэмжилт байх ба хүлээн авах систем дээр хүлээн авсан утга нь тодорхой бус нормчлолын тогтмолтой нормчлогдсон оронгийн хүчлэг байна. Онолын хувьд хэмжилтийг төсөөлөхийн тулд хөдөлгөөнгүй антен болон хөдөлгөөнт хүрээний антен ашиглан антены эргэн тойронд хэмжилтийн бөмбөрцөг буюу түүний хэсгийг сканердаж байна гэж ойлгоход хялбар байдаг. Практикт энэ нь ихэвчлэн хэмжилтийн антеныг хол зайд зөөхийг шаардах бөгөөд энэ нь хүндрэлтэй байдаг учир үүний оронд хэмжилтийг хөдөлгөөнгүй хэмжилтийн антен болон хоёр ортогональ тэнхлэгийн дагуу эргэлддэг хэмжигдэж буй антен ашиглан хийж болно. Мөн хэмжигдэж буй антен болон хэмжилтийн антеныг хоёуланг нь хөдөлгөх боломжтой юм.

Жишээлбэл, хэмжигдэж буй антеныг нэг тэнхлэгийн дагуу эргүүлж, хүрээний антеныг ортогональ тэнхлэгийн дагуу хөдөлгөж болно. Антенаас цацагдаж буй оронг

тодорхойлохдоо хэмжилтийн бөмбөрцөг дээрх дискрет цэгүүдээс түүвэрлэдэг. Өөрөөр хэлбэл хэмжилтийн дээжийг хэмжилтийн координатын системийн θ ба φ өнцгүүдийн дискрет утгуудын хувьд авдаг.

Илүү нарийвчлалтай чиглэлийн диаграммын хэмжилт хийхийн тулд дээж авах алхам $\Delta\theta$ ба $\Delta\varphi$ өнцгүүдийг аль болох бага хэмжээтэйгээр сонгох хэрэгтэй. хэмжигдэж буй антены үндсэн дэлбээний тэгээс тэг хүртэлх цацрагийн өргөний аравны нэгээр тооцоолсон түүвэрлэлтийн алхамын утга нь антены чиглэлийн диаграммын ихэнх хэмжигдэхүүнийг тодорхойлоход хангалттай байдаг.

Ерөнхийдөө антены цахилгаан хэмжээс нэмэгдэхийн хэрээр түүвэрлэлтийн алхам буурдаг боловч тухайн тодорхой утгын хувьд хэмжилтийн дээжийг шууд ашиглаж байгаа эсэх, эсвэл ямар нэгэн боловсруулалтын дараах аргыг хэрэглэж байгаа эсэхээс хамаарна. Энэ тохиолдолд нарийн түүвэрлэлтийн шалгуурыг боловсруулах шаардлагатай.

Бөмбөрцөг хэлбэрийн ойрын оронгийн бүсийн хэмжилтэд зориулан томъёолж, (60)-р тэгшитгэлд үзүүлсэн "N-тест" түүвэрлэлтийн шалгуур нь бүх алсын оронгийн бүсийн хэмжилтэд хамаарна.

Хэмжилтийг хэмжилтийн бөмбөрцөг дээрх дурын шугамын дагуу хийж, дараа нь бөмбөрцгийг бүхэлд нь хамрахын тулд бусад шугамын дагуу давтаж болно. Практикт хэмжилтийг ихэвчлэн хэмжилтийн бөмбөрцгийн өргөрөг эсвэл уртрагийн шугамын дагуу гүйцэтгэдэг.

Өргөрөгийн зүсэлт нь туйлын өнцгийн θ тогтмол утга болон хэвтээ өнцгийн φ хувьсах утгуудтай тохирч байвал үүнийг φ -зүсэлт гэж нэрлэдэг. Уртрагийн зүсэлт нь хэвтээ өнцгийн тогтмол утга φ болон туйлын өнцгийн хувьсах утга θ -тэй тохирч байвал үүнийг мөн θ -зүсэлт гэж нэрлэдэг.

Антену техникт z тэнхлэг нь ихэнхдээ антены үндсэн цацрагийн чиглэлийн дагуу байдаг. Иймээс θ -зүсэлтийг шугаман туйлширсан антены Е-хавтгай эсвэл Н-хавтгайтай давхцуулж болох бөгөөд эдгээрийг мөн үндсэн хавтгайн зүсэлт гэж нэрлэдэг.

Хэрэв хэмжилтийн систем нь чиглэлийн диаграммын функц F -ийн хоёр ортогональ бүрэлдэхүүн хэсгийн магнитуд ба фазыг хэмждэг гэж үзвэл цахилгаан оронгийг хэмжихдээ дурын хоёр бүрэлдэхүүнийг хэмжиж болох бөгөөд дараа нь бусад бүрэлдэхүүнүүдийг туйлшралын шинж чанаруудын нэгэн адил тооцоолж болно. Хэрэв хэмжилтийн систем нь зөвхөн магнитудын хэмжилтийг дэмждэг бол хэмжилтийн антен нь хүссэн бүрэлдэхүүнүүдийг шууд хэмжих боломжтой. Тухайлбал 10 ба 9.1-р зүйлд цаашид авч үзсэнчлэн E_θ , E_φ , E_{co} , E_{cross} , $ELHCP$, $ERHCP$. Шугаман туйлширсан хэмжилтийн антеныг 360° эргүүлснээр тэнхлэгийн харьцаа болон хазайлтын өнцгийг хэмжилтээс тодорхойлох боломжтой боловч эргэлтийн мэдрэмжийг тодорхойлоход фазын мэдээлэл шаардлагатай болдог.

Хэрэв хоёр ортогональ бүрэлдэхүүн хэсгийн магнитудыг хэмжилтийн бүтэн бөмбөрцгийн дагуу хэмжвэл (48) тэгшитгэлээр нормчлогдсон цацаргалтын чадлыг тооцоолж, улмаар 9.6-д дурдсанчлан хэмжсэн хоёр бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн хэсэгчилсэн чиглүүлэмжүүдийг тооцоолох боломжтой.

8.1.5 Чиглэлийн диаграммын зүсэлтүүд

Хэмжигдэж буй антены чиглэлийн диаграммыг хэмжих шууд арга бол тохиромжтой хэмжилтийн антен ашиглах явдал юм. Хэмжилтийн антеныг тогтмол θ ба тогтмол φ

шугамын дагуу хэмжигдэж буй антентай харьцангуй хөдөлж байхаар байрлуулж болно. (Зураг 11 ба 32-ийг үзнэ үү).

Тогтмол θ чиглэлийн локусууд нь конусыг тодорхойлдог. Тиймээс φ -г хувьсагч, θ -г параметр болгон ашиглан хийсэн хэмжилтийг конус хэлбэртэй зүсэлт эсвэл φ –зүсэлт гэж нэрлэдэг.

Хувьсагч болгон θ , параметр болгон θ ашиглан хийсэн зүсэлтийг том тойрог зүсэлт эсвэл θ -зүсэлт гэж нэрлэдэг. Гэсэн хэдий ч $\theta = 90^\circ$ байх конус хэлбэртэй зүсэлт нь мөн том тойрог зүсэлт гэдгийг анхаарна уу.

Хэдийгээр үүнийг ховор хийдэг ч антеныг чиглэлийн локусууд нь спираль хэлбэртэй байхаар байрлуулж болно.

Энэ тохиолдолд θ ба φ хоёулаа хувьсагч бөгөөд үүссэн зүсэлтийг спираль зүсэлт гэж нэрлэдэг.

Спираль зүсэлт хийх үед θ дахь хөдөлгөөн нь φ дахь хөдөлгөөнтэй харьцуулахад аажмаар өөрчлөгдөх нь хэвийн үзэгдэл юм. Тиймээс φ дахь 360° эргэлт бүрт үүссэн диаграмм нь ойролцоогоор конус хэлбэртэй зүсэлт юм.

Үндсэн хавтгайн зүсэлтүүд гэдэг нь хэмжигдэж буй антены үндсэн дэлбээний тэнхлэгээр дамжин өнгөрөх ортогональ том тойргийн зүсэлтийг хэлнэ. Энэ тодорхойлолтыг хэрэгжүүлэхийн тулд цацрагийн тэнхлэг нь бөмбөрцөг координатын системийн экваторт ($\theta = 90^\circ$) эсвэл туйлуудын аль нэгэнд ($\theta = 0^\circ$ эсвэл $\theta = 180^\circ$) байрлах ёстой.

Хэрэв байршуулагч систем нь θ ба φ зүсэлт хийх зориулалттай бол харандаа цацрагтай антены тэнхлэгийг туйлуудын дагуу тэгшлэхээс ихэвчлэн зайлсхийх нь бий.

Учир нь $\theta = 0^\circ$ чиглэлийн φ зүсэлт нь зөвхөн туйлшралын диаграммыг өгдөг.

Туйлуудын ойролцоо $\hat{a}_\theta$ тасалдалтай үед туссан орон нь дугуй туйлшралтай байх тохиолдолд хэмжигдэж буй антен туйлшралтай харьцуулахад туссан оронгийн туйлшралын чиглэлд θ зүсэлт нь эрс өөрчлөлтийг авчирдаг.

Эдгээр шалтгааны улмаас, хэрэв хэмжигдэж буй антен нь харандаа цацраг хэлбэртэй бол ихэвчлэн цацрагийн тэнхлэгээ экваторын хүссэн чиглэлд (өөрөөр хэлбэл $\theta = 90^\circ$, ихэнхдээ $\varphi = 0^\circ$ эсвэл $\varphi = 180^\circ$ чиглэлд) чиглүүлдэг.

Чиглэлийн диаграммын графикуудын янз бүрийн төрлүүд байх боломжтой. Үүнд нэг буюу олон давтамжийн зүсэлт бүхий тэгш өнцөгт болон туйлын координатын систем дээр зурагдсан хоёр хэмжээст графикууд байж болно.

Эдгээр графикуудын хувьд агууриг, фазын өөрчлөлтийг нөгөө тэнхлэг нь тогтмол байх үед θ эсвэл φ -ийн функц хэлбэрээр харуулж болно. Жишээг Зураг 35 ба Зураг 36-т үзүүлэв.

Антены орон зай дахь чиглүүлэмжийг дүрслэхэд илүү нарийн гурван хэмжээст өнгөт дүрслэлийг түгээмэл ашигладаг. 35-р зурагт үзүүлсэн туйлын график нь ердийн диполь антены чиглэлийн диаграммын E хавтгайн зүсэлтийг харуулж байна.

Өнцгийн тэнхлэг нь диаграммын тойргийн дагуу 30 градусын интервалтай байх нь тохиромжтой байдаг.

Магнитудын тэнхлэгийг графикийн төвөөс эхлүүлэн түүний масштабыг x тэнхлэгийн дагуу харуулах нь элбэг байдаг. Графикт хар өнгөөр үндсэн долгионы чиглэлийн диаграммыг харуулж байна. Харин улаан өнгөөр харуулсан дотор талын график нь хөндлөн туйлширсан чиглэлийн диаграмм юм.

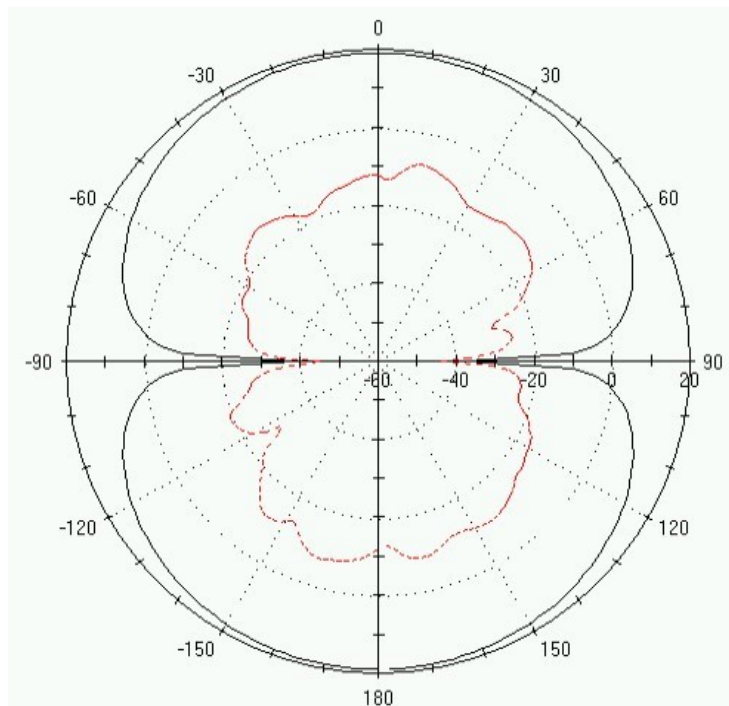
Зураг 36-т байгаа тэгш өнцөгт графикт монопульсийн антены нийлбэр ба зөрүүний сувгуудын графикийг харуулж байна.

Эдгээр графикуудын хувьд x тэнхлэг нь градусаар илэрхийлсэн өнцөг, y тэнхлэг нь харьцангуй далайц юм. Аливаа чиглэлийн диаграммын графикийн анхан шатны нарийвчилсан шинжилгээнд 3 дБ-ийн цацрагийн өргөн, хажуугийн дэлбээний түвшин, тэг гүнийг тооцоолох зэрэг орно. Антены үндсэн чиглэлд үүсэх оргил цэгийн хоёр талд чадал 3 дБ-ээр буурсан 2 цэгийн хооронд өнцгийн зайг тодорхойлох замаар хагас чадлын цацрагийн өргөнийг хэмждэг. Цацрагийн өргөний дагуу бусад чадлын түвшинг нарийвчлан тодорхойлж болно.

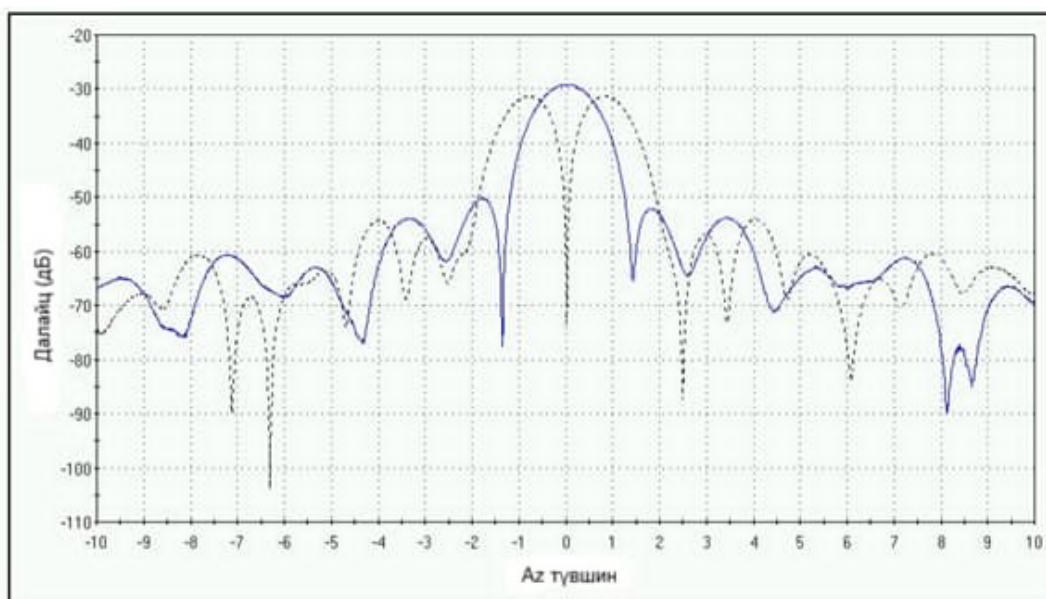
Хажуугийн дэлбээний харьцангуй түвшинг үндсэн цацрагийн оргил цэг болон диаграммын бусад оргилуудын хоорондох зөрүүгээр хэмждэг. Тухайн хэсэгт чиглэлийн диаграммын налуу их байдаг тул тэг гүнийг хэмжихэд илүү хэцүү байдаг. Ийм учраас комплекс хавтгай дээрх хэмжсэн өгөгдлийг шугаман интерполяцаар боловсруулалтын дараа тэг гүнийг тодорхойлох нь илүү тохиромжтой байдаг.

Заримдаа шуугиан нь дохио-шуугианы харьцаа (SNR) нь тэг утгуудад бага байх хүчин зүйл болдог. Антены үзүүлэлтүүд нь янз бүрийн чиглүүлэх өнцгүүдэд өөр өөр утгыг агуулж болно. Жишээлбэл, хажуугийн дэлбээний түвшингүүд нь дэлбээны оройтой харьцуулахад тодорхой утгаар бага байх ёстой. Програм хангамжийн шинжилгээний багцууд нь үндсэн чиглэлийн диаграммын характеристикуудыг тооцоолохоос гадна дүрслэлийн харьцуулалт хийхийн тулд графикт загвар нэмэх боломжтой байдаг.

Чиглэл, туйлшралын шинж чанар, цацрагийн байршлын параметруудийг стандарт програм хангамжийн шинжилгээний багцад оруулсан байдаг. Антены үндсэн хэмжилтийн ажлаас гадна тусгай төрлийн шинжилгээ, нэмэлт тооцоолол хийх бол програм хангамжийн үндсэн багц дээр нэмээд жижиг програмчлалын скрипт бичих шаардлага үүсдэг.



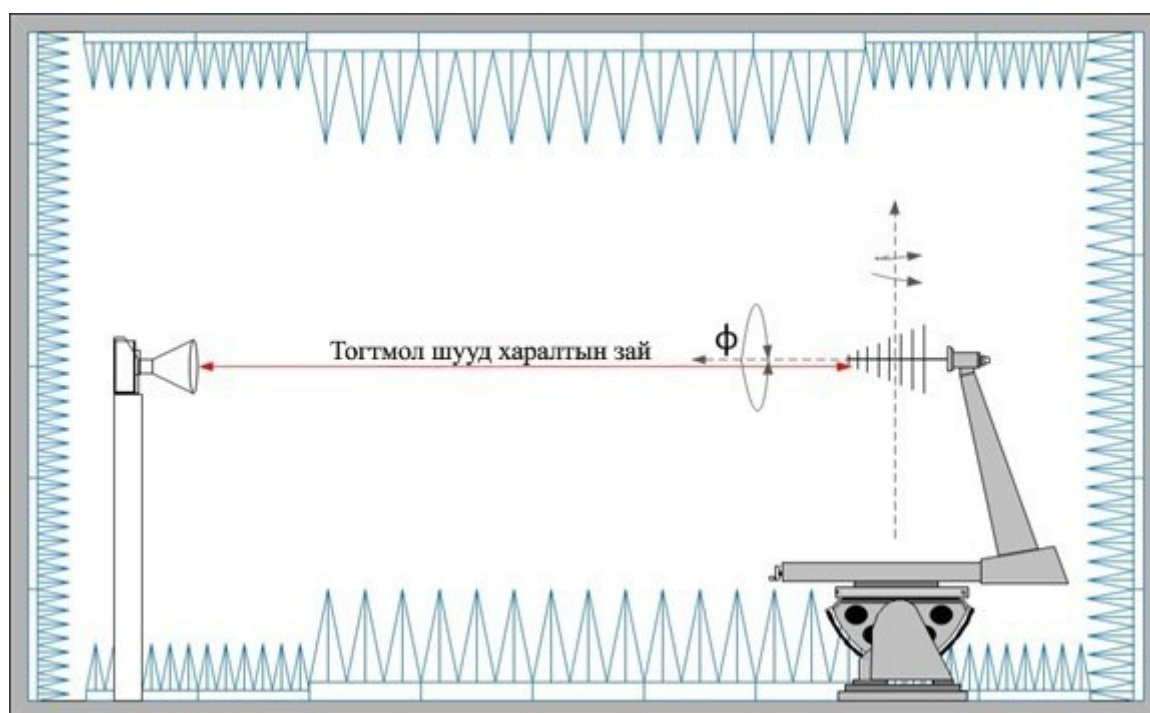
Зураг 35 Туйлын координат дээрх чиглэлийн диаграммын жишээ



Зураг 36 Монопультсийн нийлбэр суваг (тасралтгүй шугам) болон ялгаврын суваг (тасалдсан шугам)-ийн тэгш өнцөгт координат дээрх график

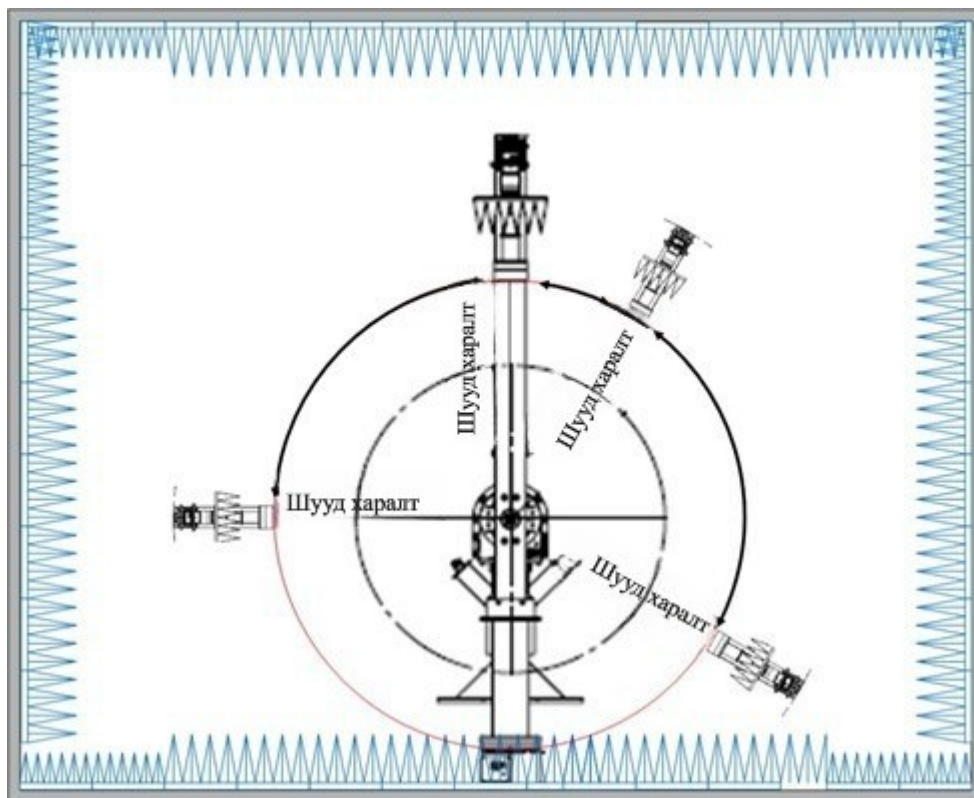
8.1.6 Антену хэмжилтийн үндсэн тохиргоо

θ ба φ зүсэлтийн байрлалын шаардлагыг хангадаг антену хэмжилтийн хоёр үндсэн тохиргоо байдаг. Эхнийх нь зураг 37-т үзүүлсэн тогтмол (хөдөлгөөнгүй) шууд харалтын зайн тохиргоо юм. Энэ тохиргооны дагуу хэмжихэд хэмжигдэж буй антен болон түүнтэй холбоотой координатын системийг тохирох тэнхлэгийн дагуу эргэлдүүлдэг.



Зураг 37 Тогтмол харааны шугам бүхий хэмжилтийн зайны жишээ
Харин зураг 38-д үзүүлсэн шиг антену хэмжилтийн тохиргоог хувьсах шууд харалтын зайн тохиргоо гэж нэрлэдэг. Энэ тохиолдолд хэмжилтийн антену хэмжилтийн

системийн координатын эх дээр төвлөрсөн тойргийн дагуу аажмаар эсвэл тасралтгүй хөдөлгөнө.



Зураг 38 Хувьсах харааны шугам бүхий антены туршилтын полигоны жишээ

8.2 Антены агууриг болон фазын характеристекуудыг хэмжих

Антену цацаргалтыг бүрэн тодорхойлохын тулд түүний харьцангуй агууриг (далайц), харьцангуй фаз, долгионы туйлшрал болон хэмжигдэж буй антен дээр төвлөрсөн бөмбөрцөг гадаргуу дээрх антены өсгөлтийг хэмжих шаардлагатай. Эдгээр цацаргалтын шинж чанаруудын аль нэгийг орон зайн координатын функц болгон илэрхийлэхийг хэмжигдэж буй антены чиглэлийн диаграмм гэж тодорхойлдог.

Хэмжигдэж буй антенаас хэмжих цэг хүртэлх зай тогтмол тул өгөгдсөн чиглэлийн диаграммын хувьд зөвхөн хоёр өнцгийн координат нь хувьсагч болно.

Мөн ажлын радио давтамжийг параметр гэж үздэг бөгөөд чиглэлийн диаграммыг тодорхой давтамж дээр хэмждэг. Практикт антены ажиллах давтамжийн зурвасаас хамаарч зурвасын дагуу хэдэн өөр давтамж дээр хэмжилт хийхийг тодорхойлж болно. Өөрөөр хэлбэл антены ажиллах давтамжийн зурвасын өргөн нэмэгдэх тусам хэмжих давтамжийн тоог зурвасын дагуу нэмэгдүүлж байж тухайн антены чиглэлийн диаграммыг давтамжийн зурвасын дагуу бүрэн тодорхойлох боломжтой юм. Эндээс дүгнэхэд практикт антены чиглэлийн диаграммыг хэмжихдээ тухайн антены ажлын давтамжийн зурвасын дагуу тасралтгүй хэмжилт хийх биш харин тодорхой дискрет цэгүүдийг түүвэрлэн хэмжилт хийх нь оновчтой байдаг.

Жишээлбэл, тухайн нэг хэмжилтийн хувьд ажлын давтамж болон туйлшралыг тогтмол байлгаснаар θ координатыг аажмаар өөрчилж болох бөгөөд алхам бүрийн хувьд зорьж буй антены параметрийг φ -ийн хүрээнд үргэлжлүүлэн хэмжиж болно. Хэмжиж буй θ өнцгийн алхмыг багаар сонгох тусам хэмжиж буй чиглэлийн диаграммын нарийвчлал нэмэгддэг бөгөөд ийм хэмжилтийн үр дүнд антены 2 болон 3 хэмжээст чиглэлийн диаграммыг зураглах боломжтой юм.

8.3 Антенны фазын төв

Антенны фазын төв гэдэг нь цахилгаан соронзон цацраг бөмбөрцөг хэлбэрээр гадагш тархах анхны лавлах цэг бөгөөд дохионы фаз нь бөмбөрцөг дээрх аль ч цэг дээр тэнцүү байна.

Антенны фазын төвийн ашигтай байршлыг олох нь системийн интеграцийн хувьд чухал байаг.

Жишээлбэл: Дэлхийн навигацийн хиймэл дагуулын систем (GNSS) ашиглан нарийн байрлал тогтооход антенны фазын төвийн байрлал болон фазын төвийн өөрчлөгдөх хүчин зүйлсийн талаарх мэдээлэл маш чухал байдаг.

Үүнээс гадна, сансрын тээврийн хэрэгсэл болон уулзварын радарын системүүдийн мөрдөх болон чиглүүлэх системийг зохион бүтээхэд эдгээр системийн элементүүдийн фазын шинж чанар болон фазын лавлах цэгийг нарийн тодорхойлох шаардлагатай байдаг.

Антенныг ойлгогч системд анхдагч тэжээл болгон ашиглах үед оновчтой гүйцэтгэлийг хангахын тулд тэжээлийн антенны фазын төвийг системийн фокус дээр байрлуулах хэрэгтэй.

Тиймээс тэжээлийн шаардлагатай шинж чанарыг бүрэн гүйцэд тодорхойлохын тулд эхлээд антенны фазын төвийн байрлалыг тодорхойлох шаардлагатай. Мөн антеннуудыг фазын массивын системд бүрэлдэхүүн хэсэг болгон ашиглах үед мөн адил хамаарна. Антенны фазын төвийн талаарх нарийн мэдлэг нь тогтмол зайн олшруулалтын тохируулгын техникүүдийн нарийвчлалыг сайжруулахад тустай байдаг [10].

Ихэнх антеннуудын хувьд бүх чиглэл эсвэл бүх давтамжид хүчинтэй жинхэнэ фазын төв гэж байдаггүй. Гэсэн хэдий ч, жишээлбэл, антенны гол цацрагийн нэг хэсэгт фазын диаграмм нь сонирхлын чиглэлийн хүрээнд тогтмол болох лавлах цэгийг олж болно. Илэрхий фазын төвийг чиглэлийн диаграммын хязгаарлагдмал хэсэг буюу зүсэлт дэх фазын төвийг тодорхойлоход ашигладаг. Бусад тохиолдолд өгөгдсөн өнцгийн гадаргуу дээрх үлдэгдэл фазын хэлбэлзлийг багасгахын тулд “хамгийн сайн тохирох” илэрхий фазын төвийг сонгодог.

(Зураг 39-г үзнэ үү). Фазын төвийн тооцооллыг 7.4-т авч үзсэн болно.



Зураг 39 Хэд хэдэн фазын төвийн тодорхойлолтын дүрслэл

8.4 Фазын хэмжилтүүд

Антенны чиглэлийн диаграммыг долгионы хоёр ортогональ туйлшрал дахь цацаргалтын оронгийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн хэмжээ болон фазаар бүрэн тодорхойлдог. Энэ дэд зүйлд фазын шинж чанарыг хэмжих тал дээр онцлон авч үзэж байна. Бодит хэмжилтэд фаз болон агууриг нэгэн зэрэг бүртгэгддэг гэдгийг ойлгох хэрэгтэй. Фаз нь харьцангуй хэмжигдэхүүн тул харьцуулалтын лавлах дохио заавал

шаардлагатай байдаг. Өнцгийн үечилсэн шинж чанараас шалтгаалан фаз нь зөвхөн 2π -ийн үржвэрүүдийн нарийвчлалтайгаар тодорхойлогддог.

Антену хэмжилтийн орчинд ихэвчлэн хэмжигдэж буй антен болон хэмжилтийн антен гэсэн хоёр гол антен ашиглагддаг.

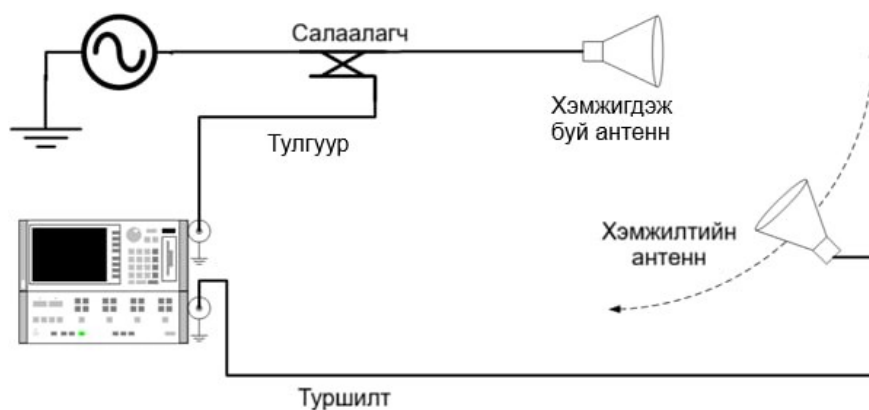
Ердийн тохиргоонд хэмжилтийн антенуыг нэвтрүүлэгчээр, хэмжигдэж буй антенуыг хүлээн авагчаар ажиллуулдаг. Гэхдээ зарим тохиолдолд эсрэгээр нь хийж болно.

Үүнд: Хэмжилт хийх радио замын алдагдал хүлээн зөвшөөрөгдөх түвшинд байх ёстой. Зураг 40(а)-д үзүүлсэн тохиолдол:

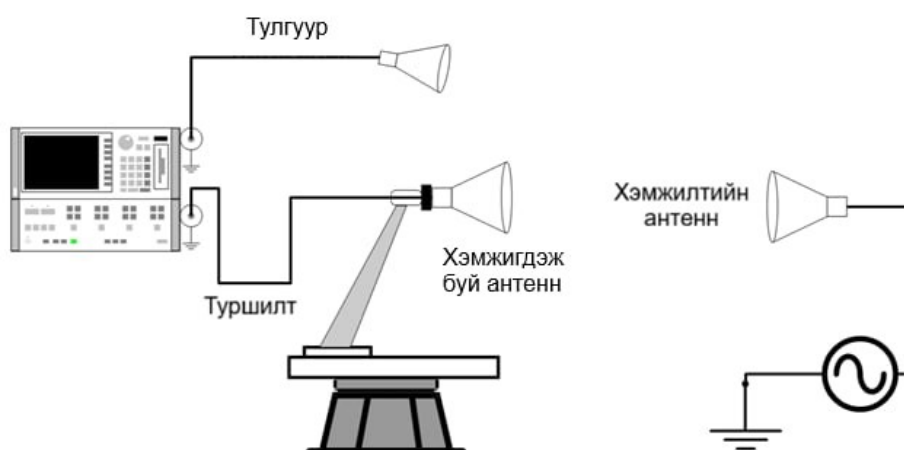
Хөдөлгөөнтэй хэмжилтийн антенаар (сканер эсвэл позиционер дээр) хэмжигдэж буй антенуыг тойрон хөдөлж, түүний цацаргалтыг түүвэрлэн хэвмжиж байна гэж үзнэ.

Лавлах дохиог RF үүсгүүр болон дамжуулагч антену хоорондох дамжууллын шугамаас холбон авч, хүлээн авсан дохиотой харьцуулж болно. RF кабелийн алдагдал хэт их байдаг системүүдийн хувьд 40(b)-р зурагт үзүүлсэн зохицуулалтыг ашиглахыг зөвлөдөг.

Фазын диаграммыг хэмжихийн тулд хэмжигдэж буй антенуыг чиглэлийн диаграммыг хэмжихтэй адил аргаар эргүүлдэг.



а)



б)

Зураг 40 Фазын диаграмм хэмжих тохиргоонууд: (а) тулгуур фазын салаалагч, (б) тулгуур фазын антен.

Зураг 40-ийн тохиргоонуудыг олон портын антены хоёр портын хоорондох харьцангуй фазын өөрчлөлтийг антены эргэн тойрны өнцгийн функц болгон хэмжихэд ашиглаж болно.

Антенны фазын шинж чанарын талаар хамгийн бүрэн гүйцэд мэдээллийг бүрэн фазын диаграммуудыг бүртгэх замаар олж авах бөгөөд үүнийг боломжтой бол автоматжуулсан системээр гүйцэтгэхийг илүүд үздэг.

Эдгээр фазын диаграммаас тогтмол фазын контурыг гарган, фазын төв буюу лавлах цэгийг тодорхойлох боломжтой. Фазын төвийг олон зэргэлдээ огтлолоос бүрдүүлсэн фазын диаграммаас тооцоолохдоо хамгийн бага квадратын аргыг ашиглахыг зөвлөдөг.

Харин нэг огтлолт фазын диаграммын хувьд энэхүү дэд бүлгийн дараагийн хэсэгт тайлбарласан илүү ойлгомжтой аргыг хэрэглэж болно.

Фазын төв нь тодорхойлогдсон антены фазын диаграммын түгээмэл шинж чанаруудыг авч үзэх нь тодорхойгүй шинжтэй антены диаграммыг тайлбарлахад тустай.

Хэрэв амплитудын диаграммд хажуугийн дэлбээнүүд илэрвэл, тэг утгын цэг бүр дээр фаз 180° -аар урвуу шилжих бөгөөд фазын диаграмм огцом шилжилт үзүүлнэ.

Хэрэв антены эргэлтийн төв нь фазын төвтэй давхцаж байхаар фазын диаграммыг хэмжсэн бол, үндсэн дэлбээн дээрх уг фазын диаграмм нь тодорхойлолтоороо тогтмол утгатай байна.

Өгөгдсөн антен нь бүтцийн тэнхлэг дээр байрлах фазын төвтэй бөгөөд уг антеныг Зураг 41(а)-д үзүүлсэн координатын системд байрлуулахдаа $\theta = 0$ үед фазын төв нь эргэлтийн төв (А цэг)-ийн урд байрлана гэж үзье. Мөн зайны тэнхлэг R-ийн дагуу хавтгай долгионы цацаргалт ирж буй нөхцөлд үндсэн дэлбээний муж дахь үүсэх фазын диаграмм ψ нь Тэгшитгэл (30)-өөр илэрхийлэгдэнэ.

$$\psi = -kp(1 - \cos(\theta)) \quad (30)$$

Энд

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ долгионы тоо

p фазын төвийн эргэлтийн төвөөс хазайсан зай

θ гол чиглэлтэй харьцангуй эргэлтийн өнцөг

Хэрэв өгөгдсөн антен нь Зураг 41(б)-д үзүүлсний дагуу фазын төв нь эргэлтийн төвийн ард (В цэгт) байрлаж байвал, хазайлтын векторын өнцөг нь $\theta' = \theta + \pi$ гэж тодорхойлогдоно. Энэ тохиолдолд үүсэх фазын диаграмм нь Тэгшитгэл (31)-р илэрхийлэгдэнэ.

$$\psi = -kp(1 - \cos(\theta')) \quad (31)$$

Хэрэв илрэх фазын төв нь антены тэнхлэгийн дагуу байрлах p хазайлтаас гадна тэнхлэгт перпендикуляр чиглэлд d зайгаар шилжсэн байвал (Зураг 41(с) ба Зураг 41(д)-д үзүүлсний дагуу), фазын төв нь эргэлтийн төвөөс Тэгшитгэл (32)-д үзүүлсэн байдлаар дараах зайгаар хазайна.

$$p' = (p^2 + d^2)^{\frac{1}{2}} \quad (32)$$

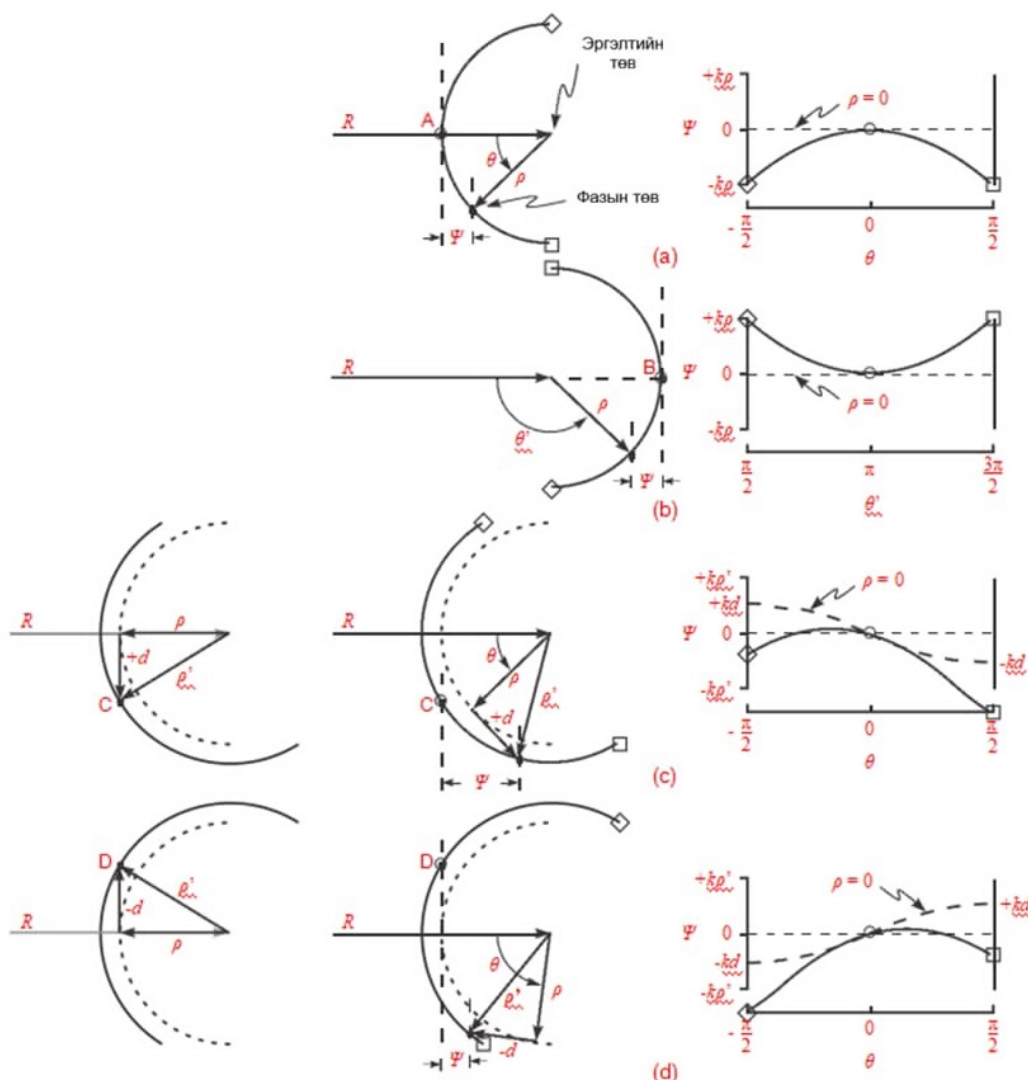
Энэ нь $\theta = 0$ үед d -ийн тэмдгээс хамааран С эсвэл D цэгийн байрлалд харгалзана. Энэ тохиолдолд фазын диаграмм нь Тэгшитгэл (33)-оор илэрхийлэгдэх бөгөөд

$$\psi = kp'(1 - \cos(\theta + \tan^{-1}(d/p))) \quad (33)$$

Энд косинусоид фазын өөрчлөлтийн өнцгийн муж нь тэнхлэг дээрх (on-axis) тохиолдолтой харьцуулахад $\tan^{-1}(d/\rho)$ -аар шилжсэн байна.

Онолын хувьд өгөгдсөн нэг фазын диаграммаас тухайн хавтгай дахь антены фазын төвийн байрлалыг тооцоолох боломжтой. Гэвч практикт диаграммын болон туршилтын алдаанаас шалтгаалан, фазын төвийн ойролцоо мужийг хамруулах зорилгоор антеныг тэнхлэгийн дагуу физик байдлаар шилжүүлэн байрлуулж, хэд хэдэн диаграммыг бүртгэх шаардлагатай болдог.

Эдгээр хэмжилтийг хийхдээ хэмжигдэж буй антеныг шаардлагатай туйлшрал бүхий үүсгүүрийн алсын оронд байрлуулж, антены тэнхлэг дагуу нарийн эргэлт (precise rotation) болон нарийн шилжилт (precise translation) хийх чадвартай байршуулагч дээр тавих хэрэгтэй. Фазын төв тэнхлэгээс хөндлөн чиглэлд шилжсэн шилжилтийг засварлах болон үнэлэх, мөн байрлуулагчийн механик жижиг алдааг засахын тулд антеныг түүний тэнхлэгт перпендикуляр чиглэлд нарийвчлалтай шилжүүлэх боломжтой байх нь зүйтэй юм.



Зураг 41 Өгөгдсөн эх цэгийн тойронд шилжсэн фазын төвүүдтэй хэмжигдэж буй антен -ийг эргүүлэх үед үүсэх геометр болон фазын өөрчлөлт

9. Антенны өсгөлт, чиглүүлэмжийн хэмжилт

9.1 Ерөнхий зүйл

Антенны өсгөлт нь тодорхой чиглэлд нэгж орон зайд ноогдох цацаргалтын чадлыг $U(\theta, \phi)$ антенны генератораас хүлээн авсан нийт чадал (P_0)-д харьцуулсан харьцааг 4π дахин үржүүлсэнтэй тэнцүү байдаг. (IEEE Стандарт 145-2013 болон Зураг 42).

(34)-р тэгшитгэл нь өсгөлтийн томъёог (44)-р тэгшитгэл нь цацаргалтын нягтын томъёог харуулж байна.

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_0} \quad (34)$$

Энд:

G - Өсгөлт

P_0 - Антенаар хүлээн авсан чадал

$$U(\theta, \phi) = \frac{r^2}{2Z_0} (|E(r, \theta, \phi)|^2) \cong \frac{r^2}{2Z_0} (|E_\theta(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2) \quad (35)$$

Энд:

$E(r, \theta, \phi)$ - Антенны цахилгаан оронгийн хүчлэг $= F(\theta, \phi) \frac{e^{-j\omega t}}{r}$

$E_\theta(r, \theta, \phi)$ - Алсын оронгийн бүс дэхь цахилгаан оронгийн бүрэлдэхүүн хэсэг θ .

$E_\phi(r, \theta, \phi)$ - Алсын оронгийн бүс дэхь цахилгаан оронгийн бүрэлдэхүүн хэсэг ϕ .

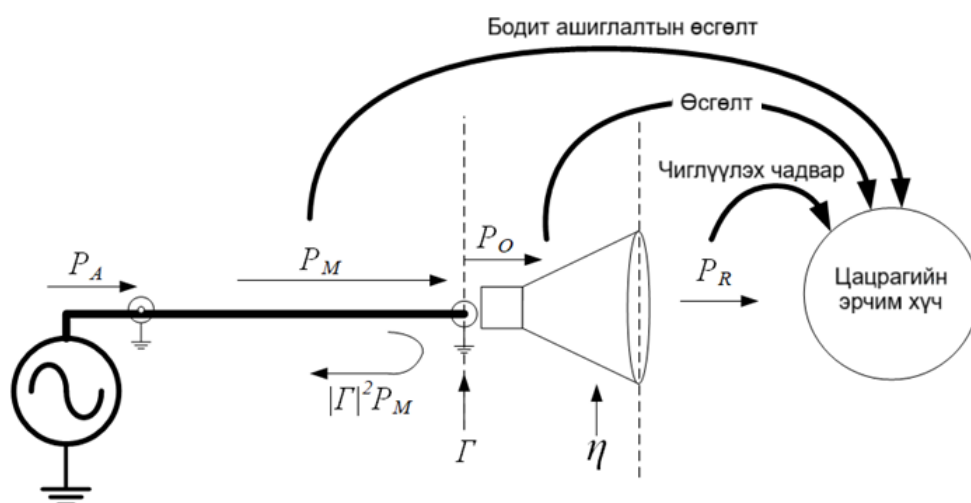
Z_0 - Чөлөөт орчны эсэргүүцэл

Талбайн функцийн радиаль бүрэлдэхүүн E_r -ийг алслагдсан зайд маш бага гэж тооцдог. Иймд (29)-р тэгшитгэлийг ашиглан (35)-р тэгшитгэлийг нормчлогдсон хэлбэрт шилжүүлж бичвэл (36)-р тэгшитгэлд үзүүлсэн илэрхийлэл гарна.

$$U(\theta, \phi) \cong \frac{1}{2Z_0} (|F_\theta(\theta, \phi)|^2 + |F_\phi(\theta, \phi)|^2) \quad (36)$$

$F_\theta(\theta, \phi)$ - Алсын оронгийн бүс дэхь бүрэлдэхүүн хэсэг θ

$F_\phi(\theta, \phi)$ - Алсын оронгийн бүс дэхь бүрэлдэхүүн хэсэг ϕ



Зураг 42 Нэр томъёо ба хоорондын хамаарал

Өсгөлт нь антены анхдагч уг шинж чанар бөгөөд эсэргүүцэл эсвэл туйлшралын зөрүүгээс үүссэн системийн алдагдалтай хамааралгүй байдаг. Энд өсгөлтийн тодорхойлолтыг абсолют өсгөлт шиг ойлгож болно. Өсгөлтийн өөр нэг тодорхойлолтоор антены холбогч дээрх боломжит чадал P_m -ийг авч үздэг бөгөөд үүнийг антены бодит өсгөлт /realized gain/ гэж нэрлэдэг.

Бодит өсгөлт (37) нь абсолют өсгөлтөөсөө бага байдаг бөгөөд учир нь үүнд антены эсэргүүцэл зохицооноос үүсэх алдагдал багтсан байдаг. Дэлгэрэнгүйг 12-р бүлгээс үзнэ үү.

$$G_r = (1 - |\Gamma|^2)G \quad (37)$$

Энд:

G - Абсолют өсгөлт

G_r - Бодит өсгөлт

Γ - Антены оролтын порт дахь ойлтын коэффициент

Тодорхой чиглэлд антены чиглүүлэмж (38) нь тухайн чиглэл дэх нэгж өнцөгт ялгарах чадлыг антенаас нийт гарч буй чадалд P_R -д хуваасныг 4π дахин үржүүлсэн хэмжээтэй тэнцүү байдаг. Үүнийг тэгшитгэл (39)-д үзүүлэв.

$$D(\theta, \phi) = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_R} \quad (38)$$

Энд:

$$P_R = \frac{1}{2Z_0} \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} [|F_{\theta}(\theta, \phi)|^2 + |F_{\phi}(\theta, \phi)|^2] \sin\theta \, d\theta d\phi \quad (39)$$

Антены хэмжилтийг ерөнхийдөө тодорхой өнцөгүүд дээр хийдэг тул цацаргалтын чадлыг мөн (40)-р томъёогоор ойролцоогоор тодорхойлж болно.

$$P_R \approx \frac{1}{2Z_0} \frac{2\pi^2}{NM} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} (|F_{\theta}(\theta_n, \phi_m)|^2 + |F_{\phi}(\theta_n, \phi_m)|^2) \sin\theta_n \quad (40)$$

Энд:

$N - \theta$ тэнхлэгийн дагуу авсан цэгүүдийн тоо

$M - \phi$ тэнхлэгийн дагуу авсан цэгүүдийн тоо

Энэхүү томъёонд хэмжилтийн цэгүүдийн хоорондох өнцгийн интервалууд тэнцүү гэж үзсэн. Цацаргалтын чадлыг илүү нарийвчлалтайгаар тооцоолохын тулд хэмжсэн оронг бөмбөрцгийн долгионы хувьд задалж эсвэл утгуудыг илүү нарийн жингээр авч үзэж болно [13].

Чиглүүлэмж нь антены өсгөлтөөс ялгаатай бөгөөд антены алдагдлыг тооцдоггүй. Байршлыг тооцоолохын тулд аливаа чиглэлд цацаргалтын чадал шаардлагатай. Нийт цацаргалтын энерги нь бүх чиглэл дэх энергийг нэгтгэх замаар тодорхойлогддог.

Цацаргалтын ашигт үйлийн коэффициент нь P_R антенаас цацруулсан нийт чадал болон P_o , үүсгүүрээс антенд хүлээн авсан чадлын харьцаа юм. Ижил чиглэлд байгаа антены өсгөлт ба чиглүүлэмжийн харьцаа нь антены цацаргалтын ашигт үйлийн коэффициентийг илэрхийлдэг.

Антены өсгөлт эсвэл чиглүүлэмжийг ихэвчлэн хамгийн их утгатай чиглэлд хэмждэг бөгөөд энэ утгыг оргил өсгөлт эсвэл оргил чиглүүлэмж гэж нэрлэдэг. Оргил өсгөлт ба чиглүүлэмжийг ихэнх тохиолдолд нэмэлт тодорхойлолтгүйгээр антены өсгөлт эсвэл

чиглүүлэмж гэж нэрлэдэг. Чиглэлийн диаграммын графикаар дамжуулан бусад чиглэл дэх антены өсгөлтийг тодорхойлох боломжтой.

Хажуугийн дэлбээгийн түвшинг ихэвчлэн оргил өсгөлт (эсвэл оргил чиглүүлэмж)-тэй харьцуулан тооцож, децибелээр илэрхийлдэг.

Антену чадлын өсгөлтийг тодорхойлох арга нь түүний ажиллах давтамж, антены хэмжээ болон бусад хүчин зүйлээс хамаарна. Чөлөөт орчны антены туршилтын зайнууд нь ойролцоогоор 1 Гц ба түүнээс дээш радио давтамжид ашиглагдана. Авсаархан хэмжилтийн орчин болон ойрын бүсийн оронгийн сканерын орон зайнууд нь бичил долгион, миллиметрийн долгион, мөн терагерцийн давтамж дээр ашиглагдана. Харин 1 Гц-аас доош радио давтамжид газрын гадаргаас ойлттой хэмжилтийн орчин болон масштабын загварчлалын аргууд ашиглах боломжтой.

Антену өсгөлтийн хэмжилтийг абсолют өсгөлтийн хэмжилт болон өсгөлтийг хөрвүүлэх хэмжилт гэсэн хоёр үндсэн ангилалд хуваадаг. Абсолют өсгөлтийн хэмжилт хийхэд хэмжилтэнд оролцож буй антенуудаас аль нэгнийх нь өсгөлтийг урьдчилан мэдэх шаардлагагүй. Энэ аргыг ихэвчлэн өсгөлтийн стандарт хэмжилт хийхэд ашигладаг. Антену өсгөлтийг хөрвүүлэх арга нь хэмжигдэж буй антены өсгөлтийг харьцуулах зорилгоор тодорхой нэг стандарт өсгөлттэй антен ашиглахыг шаарддаг.

Хэмжигдэж буй антены чиглүүлэмжийг тодорхойлохдоо алсын оронгийн чиглэлийн диаграммыг хаалттай бөмбөрцөг хэлбэртэй гадаргуугийн дагуу хэмжиж нэгтгэснээр тодорхойлдог. Хэрэв антены алдагдал нь тодорхой бол түүний өсгөлтийг чиглүүлэмжийн хэмжилтээр тодорхойлох боломжтой.

Антену өсгөлтийг тодорхойлохдоо үр дүнг тохирох нэгжээр илэрхийлэх шаардлагатай. Доорх хэмжээсүүд нь антены өсгөлтийг тодорхойлоход түгээмэл хэрэглэгддэг.

dBi- (Изотроп антены хувьд децибелээр): Энэхүү нэгж нь антены өсгөлтийг шугаман туйлшралтай изотроп антены өсгөлттэй харьцуулсан байдлаар илэрхийлдэг. Зарим тохиолдолд dBiL гэж тэмдэглэж, Linear-шугаман туйлшралтай болохыг онцолж болно. Хэрвээ антен болон хэмжилтийн төхөөрөмжүүд (жишээ нь: жишиг антен, туршилтын антен) бүгд шугаман туйлшралтай бол, өсгөлтийг dBi-аар илэрхийлнэ. Хэрвээ туршиж буй антены аль аль туйлшралыг хэмжсэн бол үр дүнг мөн dBi нэгжээр илэрхийлнэ.

dBd- (Диполь антены хувьд децибелээр): Энэхүү нэгж нь өсгөлтийг төгс диполь антены өсгөлттэй харьцуулсан байдлаар илэрхийлдэг. Энэ хэмжээсийг ихэвчлэн хиймэл дагуулын холбоонд өргөн хэрэглэдэг. Диполь антены өсгөлт нь изотроп антенаас ойролцоогоор 2.15 дБ-ээр өндөр байдаг тул:

$$dBd = dBi - 2.15$$

$$dBi = dBd + 2.15$$

dBic- Энэхүү нэгж нь тойрог хэлбэрийн туйлшралтай изотроп антентай харьцуулахад өсгөлтөөр илэрхийлдэг. Хэрэв тойрог хэлбэрийн туйлшралтай хэмжигдэж буй антеныг тойрог туйлшралтай хэмжилтийн антентай болон тойрог туйлшралтай өсгөлтийн стандарттай хамт хэмжвэл нормчлогдсон үр дүн шууд dBic нэгжтэй гарна.

Энгийн жишээ нь тойрог туйлшралтай антеныг шугаман туйлшралтай антен болон шугаман туйлшралтай өсгөгчийн стандартаар хэмждэг. Энэ тохиолдолд хэмжилтийн стандарт ба хэмжигдэж буй антены туйлшралыг хэмжихийн тулд хэмжилтийн антены хоёр ортогональ туйлшралыг ашиглан бүх хэмжилтийн хэмжээ болон фазын аль алиныг нь авна. Үүний үр дүнд үүссэн шугаман хэсэгчилсэн антены өсгөлтийг тэгшитгэл (41) ба тэгшитгэл (42) ашиглан баруун гарын тойрог туйлширсан (RHCP) ба

зүүн гарын тойрог туйлширсан (LHCP) өсгөлтийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдэд векторын байдлаар нэгтгэнэ.

$$(G_{RHCP})_{dBic} = 20 \log_{10} \left| \frac{w_{\theta} + jw_{\phi}}{\sqrt{2}} \right| \quad (41)$$

$$(G_{LHCP})_{dBic} = 20 \log_{10} \left| \frac{w_{\theta} - jw_{\phi}}{\sqrt{2}} \right| \quad (42)$$

Энд:

$(G_{RHCP})_{dBic}$ - баруун гарын тойрог туйлшралын өсгөлтийн нэгж нь dBic

$(G_{LHCP})_{dBic}$ - зүүн гарын тойрог туйлшралын өсгөлтийн нэгж нь dBic

W_{θ} - Өсгөлтөөр нормчилсон шугаман комплекс θ -туйлшралтай оронгийн бүрэлдэхүүн хэсэг

W_{ϕ} - Өсгөлтөөр нормчилсон шугаман комплекс ϕ -туйлшралтай оронгийн бүрэлдэхүүн хэсэг

Тэгшитгэл (41) ба (42)-ийг 10-р бүлэгт тайлбарласан цахилгаан оронгийн бүрэлдэхүүн болох E_{θ} ба E_{ϕ} -тэй харьцуулж үзэх хэрэгтэй. Эдгээр тэгшитгэлүүдэд хэмжилтийн систем нь антены өсгөлтөөр нормчлогдсон бөгөөд үүний үр дүнд цахилгаан оронтой пропорциональ (комплекс) болно. Үүнийг хүчдэлийн өсгөлт гэж тодорхойлдог. Өсгөлтийн нормчлолын нийтлэг аргачлалыг 9.4-д тайлбарласан. Тэгшитгэл (41), (42) -д $e^{+j\omega t}$ хугацааны функц болон зураг 34-д үзүүлсэн шиг туйлшралын нэгж векторууд $\hat{a}_{\theta}$ болон $\hat{a}_{\phi}$ -ийг ашигладаг.

Хэмжилтийн систем нь өсгөлтөөр нормчлогдсон байдаг — өөрөөр хэлбэл, системээс гарах комплекс оронгийн утгууд нь бодит цахилгаан оронгийн хүчлэгтэй пропорциональ бөгөөд уг нормчлол нь хүчдлийн өсгөлтийг хамгийн сайн тодорхойлдог гэж үзэж болно.

Ерөнхийдөө өсгөлтийн хэмжилтийн утгыг (жишээлбэл: dBi-ээр) ашиглан цацаргалтын энергийн нягт (W/m^2) болон антены порт дахь чадал (W) хоорондын хамаарлыг тодорхойлдог. Өөр нэг арга бол цахилгаан оронгийн хүчлэг (V/m) болон хэмжигдэж буй антены терминал дахь хүчдэлийн хамаарлыг ашиглах бөгөөд үүнийг антены коэффициент (Antenna Factor - AF) гэж нэрлэдэг. Энэ нь тэгшитгэл (43)-р тодорхойлогдоно.

$$AF = E/V \quad (43)$$

Энд:

E - цахилгаан оронгийн хүчлэг

V - антены порт дахь хүчдэл

Иймд, антены коэффициент нь объектив уртын урвуу нэгж ($1/m$) бөгөөд антены ашигт үйлийн коэффициенттэй урвуу хэмжигдэхүүн юм [3].

Антены коэффициент нь практик хэрэглээнд хүлээн авсан хүчдэлийн утгаар цахилгаан оронгийн хүчлэгийг тодорхойлоход оршино. Үүнд: $E = V \times AF$.

Антены коэффициент ихэвчлэн децибел/метрээр илэрхийлдэг. Антены коэффициент болон өсгөлтийн хоорондын шугаман хамаарлыг (44)-р тэгшитгэлээр тодорхойлсон.

$$AF = \sqrt{\frac{4\pi Z_0}{G\lambda^2 Z_r}} \quad (44)$$

Энд:

Z_0 - цацаргаж буй орчны бүрэн эсэргүүцэл (чөлөөт орчинд $Z_r = 120\pi$ ом)

Z_r - хүлээн авагчийн бүрэн эсэргүүцэл

G - антены өсгөлт

λ - долгионы урт

(44)-р тэгшитгэлд антены оролт нь Z_r -тэй тохирсон гэж үздэг. Харин (44)-р тэгшитгэлийн түгээмэл хэрэглэгддэг нэг хувилбар нь чөлөөт орон зайн тархалт, 50Ω эсэргүүцэлтэй хүлээн авагч, үр дүнг децибелээр илэрхийлэх бөгөөд үүнийг тэгшитгэл (45)-д үзүүлсэн байна.

$$AF_{dB/m} = 19.8 - G_{db} - 20 \log_{10} \lambda_m \quad (45)$$

Энд:

$AF_{dB/m}$ -Антенны коэффициент дБ/м нэгжээр илэрхийлсэн утга

G_{db} - Антенны өсгөлтийг дБ нэгжээр илэрхийлсэн утга

λ - долгионы урт

9.2 Антенны өсгөлтийг хэмжих стандарт антенууд

Антенны өсгөлтийн хувьд стандарт антен болгон ашиглагдах антен нь дараах шаардлагуудыг хангах ёстой. Үүнд: өсгөлтийн утга нь маш нарийн тодорхойлогдсон байх, хэмжээний хувьд тогтвортой байх, мөн туйлшрал цэвэр байх шаардлагатай. Өсгөлтийн стандарт антенуудад ихэвчлэн давтамжийн дагуух өсгөлтийн утгыг харуулсан хүснэгт эсвэл калибровкийн муруй дагалддаг бөгөөд тэдгээрт өсгөлтийн утгын тодорхойгүй байдлын хүрээ болон итгэлцлийн түвшинг заавал тусгасан байх ёстой. Хэрэв калибровкийн өгөгдөл хангалттай нарийвчлалтай биш бол тухайн өсгөлтийн стандартыг стандартын лабораторид дахин калибровк хийх шаардлагатай.

Хамгийн өргөн хэрэглэгддэг хоёр өсгөлтийн стандарт бол: Диполь антен, пирамид хэлбэрийн рупор антен. Эдгээр антен нь ихэнхдээ шугаман туйлшралтай байдаг. Харин бага хэрэглэгддэг ч тойрог туйлшралтай өсгөлтийн стандарт антенууд мөн бий. Н-хавтгайн чиглэлд бүх чиглэлд цацаргадаг диполь антены онцлогоос шалтгаалан түүний орчны нөлөөлөл нь өсгөлт ба туйлшралд нөлөөлж болзошгүй. Үүнээс зайлсхийхийн тулд илүү өндөр өсгөлттэй антенуудыг ихэвчлэн ашигладаг. Үүнд: Пирамид рупор антен, лог-периодик антен, ховилтой конус хэлбэрийн рупор, давхар ховилтой рупор антен зэрэг багтана.

9.3 Өсгөлтийг хэмжих стандарт антеныг тохируулах

9.3.1 Ерөнхий зүйл

Өсгөлтийн үнэмлэхүй хэмжилт нь Фрийс-Friis дамжууллын томъёонд үндэслэдэг. Энэ томъёонд хоёр антен бүхий системд нэвтрүүлэгч антенд очиж буй чадал P_{in} -с хамааруулан хүлээн авагч антеныг тохирсон ачаанд холбосон үед хүлээн авагдах чадал P_r дараах (46)-р томъёогоор илэрхийлэгдэнэ:

$$P_r = P_{in} G_A G_B \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (46)$$

Энд:

P_r - антены хүлээн авсан чадал

P_{in} - антены нэвтрүүлсэн чадал

G_A - антены нэвтрүүлсэн чадлын өсгөлт

G_B - антены хүлээн авсан чадлын өсгөлт

λ - долгионы урт

R - хоёр антены хоорондын зай

Энэхүү томъёонд тодорхойлсноор антенууд туйлшралын хувьд тохирсон, мөн антенуудын хоорондын зай нь алсын оронгийн нөхцөлд зураг 40-д үзүүлсэнтэй нийцэж байна. Томъёоны бусад хувилбаруудад туйлшралын зөрүү, эсвэл терминал дээрх тохиргооны зөрүү зэрэг нэмэлт нөхцөл орж ирж болдог.

9.3.2 Хоёр антены арга

Хэрэв А болон В антенууд хоорондоо ижил бол антенуудын хоорондын зай R , нэвтрүүлэгч антенд өгсөн чадал, хүлээн авагч талд хэмжсэн чадал зэрэг хэмжилтүүдийг ашиглан антены өсгөлтийг тодорхойлж болно. Энэ аргад ижил төрлийн хоёр антен шаардлагатай тул энэ аргыг хоёр антены арга гэж нэрлэдэг.

9.3.3 Гурван антены арга

Хэрэв А болон В антенууд ижил биш бол гурав дахь С антеныг нэмж ашиглана. Үүний өсгөлт G_c –г мэддэг гэж үзээд, дараах байдлаар гурван хослолыг туршина.

А антеныг зөвхөн нэвтрүүлэх горимд, С антеныг зөвхөн хүлээн авах горимд, В антеныг нэвтрүүлэх болон хүлээн авах горимд ажиллах чадвартай байх ёстой тул В антен харилцан уялдаатай байх шаардлагатай. Гурван антен ашиглаж хэмжилтийг хийснээр дараах (47), (48), (49)-р тэгшитгэлүүд гарна.

$$(G_A)dB + (G_B)dB = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - 10 \log_{10} \left(\frac{P_{in}}{P_r} \right)_{AB} \quad (47)$$

$$(G_A)dB + (G_C)dB = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - 10 \log_{10} \left(\frac{P_{in}}{P_r} \right)_{AC} \quad (48)$$

$$(G_B)dB + (G_C)dB = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - 10 \log_{10} \left(\frac{P_{in}}{P_r} \right)_{BC} \quad (49)$$

Эдгээр тэгшитгэлүүдээс үл мэдэгдэх гурван өсгөлтийн утгыг тодорхойлох боломжтой. Энэ аргыг гурван антены арга гэж нэрлэдэг [9].

Хэмжилтийг зөв ажиллуулахын тулд нэвтрүүлэгч болон хүлээн авагч антенуудын хоорондын дамжуулах шугам, бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг нарийвчлан тодорхойлж, хяналтын цэг дээрх нэвтрүүлж буй чадлын хэмжээ нь антенд хүлээн авагдаж буй чадалтай яг таг холбогдох нөхцлийг хангах хэрэгтэй. Бүх бүрэлдэхүүнүүдийн ойлтын коэффициентийг хэмжин, тооцох шаардлагатай.

Антенуудын хоорондын зай нь алсын оронгийн нөхцөлийг хангахуйц байх ёстой бөгөөд хоёр антен туйлшрал болон чиглэлийн дагуу зэрэгцсэн байх шаардлагатай. Пирамид хэлбэрийн рупор антенуудын хувьд апертурын фазын муруйлтаас үүсэх алдааг багасгахын тулд антен хоорондын зай нь алсын оронгийн бүсийн орчмын нөхцөлд нийцэх радио давтамжийн замын уртыг тодорхойлохдоо өөр лавлах цэгийг ашиглана [10].

Антенуудын хоорондын нарийн чиглэл, тэнхлэг тохируулгыг сайжруулахын тулд механик төхөөрөмж, лазер хэмжих систем эсвэл бусад аргыг ашиглаж болно.

Энэ үндсэн аргын нэг нь газрын ойлтын арга бөгөөд голчлон бага давтамжид ашиглагддаг. Энэ тохиолдолд Friis-ийн (46)-р томъёог өөрчилнө. Энд R нь антенуудын хоорондын шууд зай биш, харин долгион газраас ойж туулсан нийт замын урт болно. Хэрэв олон замын нөлөөнөөс шалтгаалан өсгөлт гажиж байвал, өөр хэсэгт шилжүүлэх арга ашиглан олон замын нөлөөнөөс үүссэн цикл хэлбэрийн тогтмол долгионы хэлбэлзлийг арилгаж болно. Үүний тулд антены байрлалыг өөрчилж болохоор хөдөлгөөнт суурь ашиглаж, антенуудын хоорондын зайг өөрчилж хэмжилт хийнэ.

9.3.4 кстраполяцийн хүрээнд өсгөлтийн стандарт антенуудад калибровк хийх

Антену хэмжилтийн орчинд хийгддэг бүх хэмжилтүүдэд олон замын тархалт болон ойртолтын нөлөө заавал үүсдэг (8.1.2 ба 9.5-р хэсэг). Экстраполяцийн арга нь эдгээр нөлөөнөөс үүсэх алдааг үнэлэх, мөн засварлах боломжийг олгодог. Энэ аргын үед нэвтрүүлэгч болон хүлээн авагч антенуудын хоорондын зайг өөрчилж, хүлээн авсан дохиог хэмжинэ. Олон замын нөлөө нь хүлээн авсан дохиог зайнаас хамааруулан графикаар дүрслэхэд цикл шинжтэй муруй хэлбэрээр илэрдэг.

Олон замын тархалтын нөлөөнөөс үүссэн хүлээн авсан дохионы цикл хувьсацыг математик аргаар дундажлах, эсвэл хэмжилтийн төхөөрөмжийн хугацааны тогтмолыг тохируулж, цикл хувьсацыг хэмжихгүйгээр зөвхөн дундаж утгыг нь бичиж авах боломжтой. Дундаж өгөгдөлд муруйг тохируулснаар алсын оронгийн бүсэд хэмжих ёстой дохионы түвшинг экстраполяци хийж гаргаж авч болно.

Ингэснээр ойртолтын болон олон замын нөлөөллийг арилгаж, үүний үр дүнгээс өсгөлтийг тооцоолох боломжтой болно.

Хосолсон арга: Экстраполяцийн аргыг гурван антену аргатай хослуулах үед зөвхөн өсгөлт төдийгүй, гурван антену туйлшралын шинж чанарыг ч тодорхойлох боломжтой (бүлэг 10-г үзнэ үү). Гэхдээ үүнд нэг хязгаарлалт бий. Гурван антену аль нь ч номиналь утгын хувьд тойрог туйлшралтай байж болохгүй. Хэрэв нэг нь тойрог туйлшралтай бол зөвхөн тэр антену үзүүлэлтүүдийг бүрэн тодорхойлж болно. Хоёр болон түүнээс олон нь тойрог туйлшралтай бол энэ аргыг ажиллахгүй. Харин гурвуулаа хос порттой тойрог туйлшралтай байвал, нэг антену порт хоорондын харьцааг шугаман туйлшралтай антенаар хэмжсэн тохиолдолд бусад портуудын туйлшрал ба өсгөлтийг тооцоолж болно.

Экстраполяцийн хүрээ нь нарийн удирдлагатай хөдөлгөөнт цамхаг эсвэл робот гартай байх ёстой. Энэ нь нэвтрүүлэх ба хүлээн авах антену тохируулах боломжийг олгодог. Хэмжилтийг $2D^2/\lambda$ -ээс бага зайд хийж болно. (D — антену хамгийн том хэмжээ). Антену апертураас газарт хүртэлх өндөр нь, антенуудын хоорондох хамгийн их зайнаас дор хаяж 15%-иас багагүй байх ёстой. Өсгөлтийн хэмжээ ихсэхийн хэрээр антенуудын хоорондын зай болон өндөр нь ихэсдэг. Энэ тохиолдолд өндөр нь хэт ихэсвэл цацаргалтын чиглэлийг хадгалж хөдөлгөөнт цамхаг барих нь хэцүү, зардал өндөртэй болдог. Гэсэн ч орчин үеийн робот гар ашигласнаар үүнийг хялбарчилж болно [5]. Ойролцоогоор 40 дБ өсгөлттэй антену нь энэхүү аргын практик дээд хязгаарыг илэрхийлдэг.

Гурван антену аргыг экстраполяцийн аргаар хослуулснаар, антену өсгөлтийн тодорхойгүй байдлыг хэдэн зуун хувь дБ-ийн нарийвчлалтай хэмжиж чадна.

9.4 Өсгөлтийг шилжүүлэх хэмжилт

9.4.1 Шугаман туйлшралтай антену хэмжилт

Өсгөлтийн шилжүүлгийн арга нь мэдэгдэж буй стандарт антентай харьцуулж хэмжигдэж буй антену бодит өсгөлтийг тодорхойлдог. Хэмжигдэж буй антену нь туйлшралын хувьд тохирсон хавтгай долгионоор тэжээгдсэн байж болно. Хүлээн авах чадлыг зохицсон ачаан дээр хэмжинэ. Дараа нь хэмжигдэж буй антенуыг стандарт өсгөлтийн антенаар сольж, бусад бүх нөхцлийг ижил байлгаж, дахин хэмжилт хийнэ. Friis-ийн томъёо (46)-оос эхлэн, хэмжигдэж буй антену болон стандарт хэмжилтийн антену хүлээн авсан чадлуудыг харьцуулж хэмжигдэж буй антену бодит өсгөлт G_{AUT} -ийг дараах байдлаар олно.

$$G_{AUT}(dB) = G_s(dB) + 10 \log_{10}(P_{AUT}/P_s) \quad (50)$$

Энд:

G_s - антенны өсгөлтийн стандарт утга

P_{AUT} – хэмжигдэж буй антенд хүлээн авсан чадал

P_s - антенны өсгөлтийн стандарт антенд хүлээн авсан чадал

Хэмжилтийн алдааг бууруулахын тулд стандарт антенны гол цацаргалт нь хэмжилтийн антентай геометрийн хувьд нэг хэвтээ тэнхлэгт зэрэгцсэн байх ёстой. Антенуудыг хэмжилтэнд тохируулахын тулд хөвлөн болон босоо чиглийн өнцөг, туйлшралыг авч үзэх ёстой.

Ойлтын нөлөөг бууруулахын тулд, стандарт хэмжилтийн антенны ар талд долгион шингээгч байрлуулна. Хэрэв хэмжигдэж буй антен болон пирамид стандарт рупор антенныг хамгийн тохиромжтой фазын төв дээр суурилуулж, нэг тэнхлэгт зэрэгцүүлбэл хэмжилтийн нарийвчлал нэмэгдэнэ [10].

Тэгшитгэл (50) нь бүрэн эсэргүүцэл зохицсон нөхцөлд хүчинтэй. Гэвч бодит нөхцөлд бүрэн эсэргүүцэл нь зохицоогүй байдал үүсч болно (зураг 42-г үзнэ үү). Интерфэйс дээрх ойлтын коэффициентийг давтамжийн функц хэлбэрээр хэмжиж, үүнийг ашиглан илэрч буй алдааг засварлах шаардлагатай. (9.5 ба бүлэг 12-д бүрэн эсэргүүцлийн хэмжилтийн талаар дэлгэрэнгүй тайлбарласан.)

9.4.2 Тойрог болон эллипс туйлшралтай антенны хэмжилт

Тойрог туйлшралтай хэмжигдэж буй антенны өсгөлтийг тойрог туйлшралтай стандарт хэмжилтийн антен ашиглан калибровк хийж болох ч, ихэнх тохиолдолд шугаман туйлшралтай стандарт антен ашигладаг. Энэ нь практикт хүчинтэй арга гэж үздэг. Учир нь антенаар цацагдаж буй долгионы нийт чадлыг хоёр ортогональ шугаман туйлшралд хувааж болно. Иймд хоёр шугаман туйлшралтай стандарт антенаар хэсэгчилсэн хэмжилт хийж, нийт өсгөлтийг тооцоолно. Мөн нэг стандарт шугаман антенныг 90° эргүүлж, хоёр туйлшралыг дараалан хэмжиж болно (IEEE Std 145-2013 үзнэ үү). Энэ талаар бүлэг 11-д тодорхой тайлбарласан.

Анхаарах хүчин зүйлс: Эхний хэмжилт нь стандарт антенныг үндсэн туйлшралын хувьд хамгийн өндөр давхцалтай байхаар тохируулна. Дараагийн хэмжилтээр стандарт болон хэмжилтийн антенуудыг ортогональ туйлшралд тохируулж давтан хэмжинэ. Эдгээр хоёр хэмжилтээр хэмжигдэж буй антенны хоёр ортогональ хэмжилтийг нормчлон, өсгөлтийн шилжүүлгийг бүрэн гүйцэтгэнэ.

Хэмжилтийн явцад хоёр туйлшралын хооронд фазын зөрүү үүсч болзошгүй. Фазын зөрүүний нийтлэг шалтгаан нь кабелийн нугаралт, антенуудын хоорондын физик зайны өөрчлөлт гэх мэт байж болно.

9.5 Өсгөлтийн хэмжилтэнд үүсэх алдаанууд

Өсгөлтийн хэмжилтийн нийт алдаа нь санамсаргүй болон системчилсэн алдаанаас бүрдэх бөгөөд эдгээрийг нийлүүлэн хэмжилтийн эргэлзээ гэж нэрлэнэ. Идеал буюу төгс нөхцөлд дараах шаардлагууд хангагдсан байх ёстой.

a) Антенны хэмжилтийн орчин нь хүлээн авагч антенд жигд хавтгай долгион үүсгэдэг байх.

b) Хэмжигдэж буй антен, стандарт хэмжилтийн антен, хэмжүүрээр ашиглаж буй бусад антен нь тэгш хэмтэйгээр ашиглаж болохуйц буюу антенуудыг өөр хооронд нь солиход нөлөө үзүүлэхгүй байх, бүрэн эсэргүүцлийн хувьд зохицсон байх,

геометрийн хувьд нэг тэнхлэгт зэрэгцэн байрласан байх, туйлшрал нь тохирсон байх.

с) Туршилтын төхөөрөмжийн бүрэлдэхүүн хэсгүүд нь бүрэн эсэргүүцлийн зохицоо хангагдсан, генератор болон хүлээн авагчийн тогтворжилт сайн байх, хангалттай мэдрэмж болон динамик хүрээтэй байх.

Хэмжилтийн эргэлзээнд нөлөөлдөг нийтлэг хүчин зүйлүүдийг 4-р хүснэгтэнд харуулсан.

Эдгээрээс а) дээрх дурдсан нөхцөлүүд нь засахад хамгийн хүндрэлтэй байдаг. Алсын оронгийн өсгөлтийн хэмжилт хийхийн тулд нэвтрүүлэгч ба хүлээн авагч антенуудын хоорондын зай их байх шаардлагатай ба олон замын долгион болон гадны сарнилтын нөлөөлөл байх ёсгүй.

Антенаас алслах зай нэмэгдэх үед ойрын бүсийн оронгийн цацаргалт (radiating near-field) -аас алсын бүсийн орон (far-field) руу шилжихэд фокусгалтын нөлөөгөөс болж алдаа үүсдэг.

Хоёр дахь нөлөө нь хэмжигдэж буй антенуудыг жигд бус долгионоор тэжээх бөгөөд энэ нь нэвтрүүлэх, хүлээн авах антенууд хэмжээ, тусгаарлалт, байрлалаас хамаарна. Жишээ нь, $2D^2/\lambda$ зайд агууригийн хазайлт ≈ 0.25 дБ байвал нийт алдаа ~ 0.1 дБ байж болно. Хэмжигдэж буй антенуудыг алс оронгийн бүсийн нөхцөл хангах зайд байрлуулах зөвлөмж нь стандарт антенд ч мөн адил хамаатай. Жигд бус хавтгай долгион нь хүлээн авсан энергийг бууруулах бөгөөд энэ нь пирамид рупор антен зэрэг өндөр чиглэлтэй антенуудад их нөлөөтэй.

Өндөр нарийвчлалтай калибровк боломжгүй нөхцөлд пирамид стандарт рупор антенууд тооцоолсон чиглүүлэмжийг ашиглаж болох бөгөөд эдгээр утгууд нь апертурын хэмжээ, гол тэнхлэгийн чиглэл дэх долгионы хазайлт, хэмжилтийн эргэлзээ гэх мэттэй уялдаатай. Жишээлбэл: < 17 dBi өсгөлттэй үед хэмжилтийн эргэлзээ ± 0.5 дБ (3σ), 17 dBi үед ± 0.3 дБ (3σ) байж болно. Энд холбогч коннектор, коаксиал шугам, нэмэлт адаптеруудын эсэргүүцлийн ба диэлектрик алдагдлыг тусад нь тооцоолж, нийт өсгөлтөөс хасах ёстой.

Бүрэн эсэргүүцэл зохицоогүй байдлаас үүсэх алдааг RF тестийн төхөөрөмжийг калибровк хийх стандарт аргачлал ашиглан засварлаж болно. Хэрэв нэвтрүүлэгч эсвэл хүлээн авагч антенууд ойлтын коэффициент (Γ) мэдэгдэж байвал Friis-ийн томъёонд ($1 - |\Gamma|^2$) маягийн засвар оруулж болно (12-р бүлэг үзнэ үү). Хэрэв ойлтын коэффициент мэдэгдээгүй бол зохицуулах аттенюатор- эсвэл изолятор оруулснаар бүрэн эсэргүүцлийн алдааг багасгаж болно. Гэхдээ энэ нь системийн динамик царгааг бууруулж болзошгүй.

Туйлшрал тохироогүй байдлаас үүсэх алдааг мөн тооцоолох боломжтой. Энэ нь туйлшралын үр ашиг (polarization efficiency)-ийн тэгшитгэлээр тооцогддог. Ерөнхий хэлбэр нь дурын эллипс туйлшрал болон туйлшралын тэнхлэгийн тохирох байдал зэргийг харгалздаг. Туйлшрал тохироогүй байдлын нөлөөг дараах жишээгээр тайлбарлаж болно. Нэгдүгээрт, тойрог туйлшралтай хэмжигдэж буй антенууд өсгөлтийг шугаман стандарт нь цэвэр шугаман поляризацтай гэж үзье. Гэхдээ хэмжилтийн антен төгс тойрог биш байвал тодорхой алдаа гарна (2-р хүснэгт үзнэ үү).

Хүснэгт 2 Антенууд хязгаарлагдмал тэнхлэгийн харьцаанаас шалтгаалсан тойрог туйлширсан антенууд хэмжсэн чадлын өсгөлтийн алдаа

Антенууд тэнхлэгийн харьцаа (dB)	Хэмжилтийн алдаа (dB)	
	Ижил чигтэй (same sense)	Эсрэг чигтэй (opposite sense)
20	+0.828	-0.915

25	+0.475	-0.503
30	+0.270	-0.279
35	+0.153	-0.156
40	+0.086	-0.087
45	+0.049	-0.049
50	+0.027	-0.028

Дараагийн тохиолдолд шугаман туйлшралтай хэмжигдэж буй антенуудыг (тэнхлэгийн харьцаа 25 дБ) шугаман туйлшралтай идеал стандарт антен ашиглан хэмжсэн гэж үзье. Янз бүрийн тэнхлэгийн харьцаанд гарч болох алдааг 3-р хүснэгтэд үзүүлсэн.

Хүснэгт 3. Антенуудыг хязгаарлагдмал тэнхлэгийн харьцаанаас шалтгаалсан тойрог туйлширсан антенуудыг хэмжсэн чадлын өсгөлтийн алдаа

Антенуудыг тэнхлэгийн харьцаа (дБ)	Хэмжилтийн алдаа (дБ)	
	Ижил чигтэй (same sense)	Эсрэг чигтэй (opposite sense)
20	+0.035	-0.063
25	+0.014	-0.041
30	+0.002	-0.029
35	-0.005	-0.022
40	-0.009	-0.019
45	-0.011	-0.016
50	-0.012	-0.015

Ийм төрлийн туйлшрал тохироогүй үеийн алдаа нь хэмжигдэж буй антен нь тойрог туйлшралтай бол илүү хүчтэй нөлөөлдөг. Харин хэмжигдэж буй антен нь шугаман туйлшралтай бол нөлөө нь харьцангуй бага байдаг. Хэрэв олон төрлийн алдаа мэдэгдэж, тооцоологдож байвал нийт стандарт хазайлт (RSS) аргаар нийт эргэлзээг олж болно. Мөн арифметик нийлбэр болон RSS утгыг хоёуланг авч үзэж болно. Хэвийн тархалттай гэж үзвэл 99.5% итгэлцүүр $\pm 3\sigma$ (σ — тус тусын хэмжилтийн стандарт хазайлтын RSS утга). Хэмжилтийн эргэлзээний тоон утгуудыг 4-р хүснэгтэд оруулаагүй, учир нь эдгээр нь тус бүрийн туршилтын орчноос хамаарч бие даан тодорхойлж үнэлэгдэх шаардлагатай байдаг. Хэмжилтийн эргэлзээний үнэлгээг 13-р бүлэгт тусгасан.

Хүснэгт 4. Антенуудыг өсгөлтийг хэмжилт дэх эргэлзээний шалтгаан

(А) Нэг төрлийн радио долгион
Алсын оронгийн бүсийн нөхцөл/ долгионы фронтын хавтгай байх шинж чанар-planarity
Олон замын ойлт
Олон замын нөлөө
Стандарт өсгөлтийн антенуудыг өсгөлтийн характеристик
(В) Геометрийн зэрэгцүүлэлт, бүрэн эсэргүүцлийн зохицоо
Хэмжүүрийн стандарт антен болон хэмжигдэж буй антенуудын харилцан байршил, зэрэгцүүлэлтийн нөхцөл
Антенуудын бүрэн эсэргүүцлийн үл зохицоо
Туйлшралын үл тохирол
(С) Туршилтын төхөөрөмж

Кабель ба туршилтын төхөөрөмж дэх эсэргүүцлийн үл зохицоо
Туршилтын тоног төхөөрөмжийн динамик хүрээ, мэдрэмж, калибровкын алдаа (Шалгалт тохируулгын алдаа)

9.6 Чиглүүлэмжийн хэмжилт

Чиглүүлэмжийг тодорхойлохын тулд антенны чиглэлийн диаграммыг хэмжих шаардлагатай. Оргил чиглүүлэмж гэдэг нь тэгшитгэл (38)-д үзүүлсэнчлэн хамгийн их цацаргалтын чадлын утгыг нийт чадалд хувааснаар олдоно. Нийт цацаргасан чадлыг тодорхойлохын тулд хоёр ортогональ туйлшралын чиглэлд цацаргалтын чадлыг хэмжих шаардлагатай. Хоёр туйлшрал дахь чадлыг тэгшитгэл (39) эсвэл (40)-ийг ашиглан нэгтгэнэ. Нэг туйлшрал дахь чадлын урсгалын нягтыг хоёр туйлшралын нийт цацаргасан чадалд хуваасан утга нь тухайн туйлшралын хэсэгчилсэн чиглүүлэмж болно.

Хэрэв хэмжих гэж буй антен нь шугаман туйлшралтайгаар зохион бүтээгдсэн бол цацаргалтын чадлын урсгалын нягт нь ихэвчлэн хоёр ортогональ шугаман туйлшралд хэмжигддэг. Хэмжих гэж буй антенныг тухайн хоёр ортогональ туйлшралын аль нэгтэй чиглэлийг нь тааруулах байдлаар байрлуулна. Харин нөгөө чиглэлийг хөндлөн туйлшрал гэж үзнэ.

Хэрэв хэмжих антен нь тойрог туйлшралтай зохион бүтээгдсэн бол баруун болон зүүн гарын тойрог туйлшралууд (RHCP, LHCP) ашиглаж болно. Хэрэв баруун гарын тойрог туйлшралтай долгионоор хамгийн долгионыг цацаргахаар (хүлээн авахаар) бол, зүүн нь хөндлөн туйлшралд тооцогдоно. Эсрэгээрээ байж болно.

Антенныг ашиглах гэж буй нөхцөл нь аль туйлшралын хэмжилт хэрэгтэйг тодорхойлдог. Жишээлбэл, тойрог туйлшралтай антен нь шугаман туйлшралтай дохио хүлээн авах зориулалттай бол, түүнийг шугаман ортогональ хоёр туйлшралын дагуу хэмжих нь илүү зөв байж болно. Практик хүчин зүйлс нь аль аргачлалыг сонгохыг тодорхойлдог. Ихэнх тохиолдолд тойрог туйлшралтай оронг цэвэр үүсгэх нь шугаман туйлшралаас илүү хүндрэлтэй тул хэмжилт хийхэд төвөгтэй.

Цацаргалтын чадлыг тодорхойлохын тулд хэмжигдэж буй антенны төвд байрлах бөмбөрцөг гадаргуу дээр талбайг түүвэрлэн хэмждэг. Үүнд дараах аргуудын аль нэгээр гүйцэтгэж болно. Үүнд: Конус хэлбэрийн зүсэлт (тогтмол θ , хувьсах φ өнцгүүдээр), тойрог хэлбэрийн зүсэлт (тогтмол φ , хувьсах θ өнцгүүдээр). Дээж авах алхамуудын тоо нь антенны чиглэлийн диаграммын хээний нарийн төвөгтэй байдалаас хамаардаг. Хээний жигд бус байдал их байх тусам дээж авах алхам нэмэгдэнэ. Дискретчлэлийн теоремын дагуу оронг хангалттай нарийвчлалтайгаар дискретчлэх шаардлагатай бөгөөд үүнийг тэгшитгэл (51)-д харуулсан.

$$\Delta\phi, \Delta\theta \leq \frac{360}{2ka+10} \quad (51)$$

Энд:

k -долгионы тоо

a -хэмжилтийн координатын систем дээр төвлөрсөн антенны бүх цацрагийн хэсгүүдийг тойрсон бөмбөрцгийн радиус

Антенны чиглэлийн диаграммын үндсэн дэлбээ нь нарийн байх тусам олон нарийн хажуугийн дэлбээ үүсгэдэг. Иймд эдгээрийг хэмжилт болон интегралд багтаах шаардлагатай. Хэмжилтийн явцад абсолют утга биш, харин нормчлогдсон утгыг

тэмдэглэгддэг. Учир нь хэмжилт хийхэд масштабыг өөрчлөх хүчин зүйл нь чиглүүлэмжийн тооцоонд нөлөөлдөггүй.

9.7 Том хэмжээтэй антенуудын өсгөлтийн хэмжилт

Туршилтын орчинд багтахааргүй том антенуудын өсгөлтийг хэмжих шаардлагатай тохиолдолд тусгай аргачлал хэрэгтэй болдог. Зарим хэрэглээний хувьд (жишээлбэл: радио телескоп) өсгөлтийг зөвхөн хэмжих биш, өндрийн дагуу маш нарийн нарийвчлалтай тодорхойлох хэрэгтэй байдаг. Учир нь хүндийн хүчнээс шалтгаалсан бүтцийн гажуудал нь нөлөөлж болзошгүй. Ийм хэмжилтийг дараах аргууд ашиглан хийж болно. Үүнд: Агаарын нэвтрүүлэх станц, сансар дахь байгалийн радио үүсгүүрүүд, хиймэл дагуул дээр суурилсан маякт дохио.

Сансар дахь байгалийн радио үүсгүүрүүдийн байршил ба цацаргалтын чадлын нягт нь өсгөлтийн хэмжилтэд ашиглахад хангалттай нарийвчлалтай гэдэг нь тодорхойлогдсон байдаг. Эдгээр үүсгүүр нь 10 мегагерцээс эхлэн миллиметрийн долгион, террагерцийн долгионыг хамрахуйц хамрах хүрээтэй. Нарийн зурвастай хиймэл дагуулын дохиогоор дунд зэргийн өсгөлттэй антеныг хэмжих ба дохио шуугианы харьцаа нь тохиромжтой байдаг. Ийм дохио нь ихэвчлэн нэг давтамжаар хязгаарлагддаг бөгөөд өндөр нарийвчлалтай хэмжилт хийхийн тулд геостационар хиймэл дагуул ашиглах нь тохиромжтой байдаг. Хэрэв хиймэл дагуулын дохионы цацаргалтын чадал тодорхойгүй бол, өсгөлтийн шилжүүлгийн аргыг ашиглах шаардлагатай.

10. Туйлшралын хэмжилт

10.1 Ерөнхий зүйл

Туйлшрал нь антены цацаргалтын диаграммын үндсэн шинж чанаруудын нэг юм. Аль ч чиглэлд тархаж буй долгионы хувьд туйлшрал нь цахилгаан оронгийн векторын хугацааны болон тархалтын орон зайн дагуух траекторыг тодорхойлдог. Туйлшрал нь шугаман, тойрог, эллипс гэсэн гурван төрөлтэй. Шугаман болон тойрог туйлшрал нь эллипс туйлшралын тухайн тохиолдлууд юм.

Антену чиглэлийн диаграммын туйлшралын шинж чанарыг тодорхойлохын тулд тухайн диаграммын хэрэглээний онцлогт хамгийн тохирох ортогональ оронгийн бүрэлдэхүүнүүдэд хуваан авч үзэх нь тохиромжтой байдаг. Мөн антены туйлшралын гүйцэтгэлийг тооцохын тулд тэнхлэгийн харьцаа, туйлшралын эргэх чиг (sense), налах өнцөг зэрэг үзүүлэлтүүдийг тодорхойлдог. Эдгээр нэр томъёог IEEE Std 145-2013-д тайлбарласан бөгөөд энэ дэд хэсэгт математик хэлбэрээр тодорхойлно.

Алсын оронгийн чиглэлийн диаграммыг ихэвчлэн бөмбөрцөг $r\theta\phi$ -координатын системээр тодорхойлдог (Зураг 34-ийг үзнэ үү). Бөмбөрцөг $r\theta\phi$ координатын систем нь тэгш өнцөгт x, y, z координатын системтэй тэгшитгэл (52)-д үзүүлсэн уламжлалт хувиргалтын дагуу холбогдоно.

$$(x, y, z) = (r \sin(\theta) \cos(\phi), r \sin(\theta) \sin(\phi), r \cos(\theta)) \quad (52)$$

Алсын оронгийн бүс дэхь чиглэлийн диаграммыг бөмбөрцөг гадаргуугийн дагуух ортогональ оронгийн бүрэлдэхүүнүүдийн өөр өөр хэсгүүд болгон задлах боломжтой. Бөмбөрцөг гадаргууд перпендикуляр цацрагийн бүрэлдэхүүн нь чадлын хувьд маш бага байдаг тул ихэвчлэн тооцогддоггүй. Ийм ортогональ бүрэлдэхүүнүүдийг хэмжигдэж буй антены туйлшралын шинж чанараас хамааран сонгож болдог.

Зураг 32-д үзүүлсэнчлэн E_θ болон E_ϕ бүрэлдэхүүнүүд нь тус тус θ тэнхлэг болон ϕ тэнхлэгийн дагуу чиглэсэн байдаг бөгөөд олон тохиолдолд эдгээрийг шууд хэмждэг.

E_θ ба E_ϕ бүрэлдэхүүнүүд нь E_x, E_y, E_z (x, y, z тэнхлэгүүдийн дагуу чиглэсэн) бүрэлдэхүүнүүдтэй тэгшитгэл (53) болон (54)-д өгөгдсөн илэрхийллүүдээр холбогдоно.

$$E_\theta = E_x \cos(\theta) \cos(\phi) + E_y \cos(\theta) \sin(\phi) - E_z \sin(\theta) \quad (53)$$

$$E_\phi = E_x \sin(\phi) + E_y \cos(\phi) \quad (54)$$

Харилцан перпендикуляр чиглэлтэй хоёр өөр алсын оронгийн хэмжилтийн агууриг болон фаз хоёулаа мэдэгдэж байгаа тохиолдолд бусад оронгийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг тооцоолж болно. Шугаман туйлшралтай, туйл руу чиглэсэн ($\theta = 0$) антенуудын хувьд (polar-pointing antennas) нэвтрүүлж байгаа хүлээн авч байгаа антен ижил туйлшралтай үеийн E_{co} , хөндлөн туйлшралтай үеийн E_{cx} оронгийн бүрэлдэхүүнүүдийг бөмбөрцгийн дурын цэг дээр тус тус (55) болон (56) тэгшитгэлээрүүдээр тодорхойлогдоно.

$$E_{co} = E_\theta \cos(\phi - \phi_0) - E_\phi \sin(\phi - \phi_0) \quad (55)$$

$$E_{cx} = E_\theta \sin(\phi - \phi_0) + E_\phi \cos(\phi - \phi_0) \quad (56)$$

Энд туйлшралын лавлах өнцөг ϕ_0 нь co-polarization буюу нэвтүүлж байгаа болон хүлээн авч байгаа антенны туйлшрал ижил байх үеийн нэгж вектор нь тухайн сонгосон чиглэл дэх шугаман туйлшралтай цахилгаан оронгийн вектортой параллель байхаар сонгогддог бөгөөд энэ ихэвчлэн үндсэн цацрагын чиглэл байдаг.

Тойрог туйлшралтай антенуудын хувьд алсын оронгийн чиглэлийн диаграммыг баруун гарын тойрог туйлшралтай E_{RHCP} болон зүүн гарын тойрог туйлшралтай E_{LHCP} цахилгаан оронгийн бүрэлдэхүүнүүдэд задлан илэрхийлж болно. Эдгээрийг тус бүр нь Тэгшитгэл (57) болон Тэгшитгэл (58)-д үзүүлснээр тодорхойлно.

$$E_{RHCP} = \frac{E_{co} + jE_{cx}}{\sqrt{2}} \quad (57)$$

$$E_{LHCP} = \frac{E_{co} - jE_{cx}}{\sqrt{2}} \quad (58)$$

Тэгшитгэлийн баруун тал нь туйлшралын лавлах өнцөг ϕ_0 -ийг 0-тэй тэнцүү гэж авсан болно (өөр ямар ч утга авсан тохиолдолд энэ нь зөвхөн тогтмол фазын зөрүүтэй дүйцнэ). Цахилгаан оронгийн туйлшралын чиглэлийг аль их хэмжээтэй тойрог туйлшралын (CP) оронгийн бүрэлдэхүүнээр тодорхойлно. Эдгээр CP тэгшитгэлүүд болон туйлшралын чиглэлийн тодорхойлолтууд нь $e^{+j\omega t}$ цагийн конвенцод суурилсан бөгөөд долгионы тархах чиглэлтэй харьцуулан IEEE Std 145-2013 стандартад заасны дагуу тодорхойлогдсон болохыг анхаарна уу.

Тэнхлэгийн харьцаа (AR), хазайлтын өнцөг (τ), болон туйлшралын чиглэл нь аль ч цэг дээрх цацаргасан цахилгаан оронгийн туйлшралын шинж чанарыг тодорхойлоход чухал хэмжигдэхүүнүүд юм.

Тэнхлэгийн харьцаа (AR) нь дараах тэгшитгэлээр тодорхойлогдоно.

$$AR = \frac{\text{major axis}}{\text{minor axis}} = \frac{|E_{RHCP}| + |E_{LHCP}|}{|E_{RHCP}| - |E_{LHCP}|} \quad 1 \leq |AR| \leq \infty \quad (59)$$

Энд их тэнхлэг болон бага тэнхлэг нь ерөнхий хазайлттай эллипс туйлшралын тэнхлэгүүдийг илэрхийлнэ. IEEE Std 145-2013 стандартад нийцүүлэн, тэгшитгэл (68)-ээс гарч буй утга нь баруун гарын чиглэлд эерэг, зүүн гарын чиглэлд сөрөг утгатай байна.

Өөрөөр хэлбэл, тэнхлэгийн харьцаа (AR)-ыг туйлшралын эллипсийн хагас их тэнхлэг (OA) болон хагас бага тэнхлэг (OB) -ийн хэмжээнүүдийг ашиглан тооцоолж болно. Эдгээр нь E_θ болон E_ϕ оронгийн бүрэлдэхүүнүүдээр дамжуулан тус тус Тэгшитгэл (61) болон Тэгшитгэл (62)-д тодорхойлогдсон байдаг.

$$AR = OA/OB \quad (60)$$

Энд

$$OA = \sqrt{0.5 \left[|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2 + \sqrt{|E_\theta|^4 + |E_\phi|^4 + 2|E_\theta|^2 |E_\phi|^2 \cos(2\Delta\psi)} \right]} \quad (61)$$

$$OB = \sqrt{0.5 \left[|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2 - \sqrt{|E_\theta|^4 + |E_\phi|^4 + 2|E_\theta|^2 |E_\phi|^2 \cos(2\Delta\psi)} \right]} \quad (62)$$

Энд

$\Delta\psi$ нь хоёр оронгийн бүрэлдэхүүнүүдийн фазын зөрүүг илэрхийлнэ. Тэгшитгэл (61)-ыг Тэгшитгэл (62)-д харьцуулан AR -ийг тооцоолох үед, гарч буй үр дүн нь эерэг утгатай байна. Шугаман туйлшралтай антен нь маш өндөр AR -тэй байдаг (идеал тохиолдолд $|AR| = \infty$, харин тойрог туйлшралтай антен нь нэгжид ойр AR -тэй байна (идеал тохиолдолд $|AR| = 1$)).

Хазайлтын өнцөг (τ) нь туйлшралын эллипсийн х-тэнхлэгтэй харгалзсан хэмжигдэхүүн бөгөөд энэ нь E_θ болон E_ϕ оронгийн бүрэлдэхүүнүүдээр илэрхийлэгдэж, Тэгшитгэл (63)-т тодорхойлогдоно.

$$\tau = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2|E_\theta||E_\phi|}{|E_\theta|^2 - |E_\phi|^2} \cos \Delta\psi \right) \quad (63)$$

Хазайлтын өнцгийн утгыг мэдэх нь шугаман эсвэл эллипс туйлшралтай оронгийн тохиолдолд ашигтай боловч, тойрог туйлшралтай оронгийн хувьд хэрэглэгдэхгүй.

Оронгийн туйлшралын шинж чанарыг тодорхойлоход өргөн хэрэглэгддэг өөр нэг хэмжигдэхүүн бол хөндлөн туйлшралын зөрүү (XPD) юм. XPD нь хэмжигдсэн (эсвэл гарган авсан) хоёр харилцан ортогональ оронгийн бүрэлдэхүүнүүдийн агууригийн харьцаа бөгөөд Тэгшитгэл (64)-д үзүүлсэнчлэн тодорхойлогдоно.

$$XPD = \frac{|\text{Эхний элемент}|}{|\text{Хоёр дахь элемент}|} \quad (64)$$

Энд:

$$|\text{Эхний элемент}| \geq |\text{Хоёр дахь элемент}|$$

Тэнхлэгийн харьцаа (AR) нь үргэлж XPD -ээс их (эсвэл ядаж тэнцүү) байдгийг анхаарах хэрэгтэй. AR болон XPD хоёуланг нь ихэвчлэн децибел (dB)-ээр илэрхийлдэг бөгөөд, эдгээр нь оронгийн утгуудын харьцаа тул $20 \log_{10} |\cdot|$ функцээр тооцоологдоно. AR -ийг децибелээр илэрхийлэх үед, туйлшралын чиглэлийг тэмдэг ашиглалгүйгээр, баруун гарын эсвэл зүүн гарын туйлшрал гэж ил тод зааж бичих нь зүйтэй.

10.2 Туйлшралын хэмжилт

Антену туйлшралын шинж чанарууд нь хоёр харилцан ортогональ оронгийн бүрэлдэхүүнийг хэмжих боломжтой ба хэмжилтийн тохируулгатай системээр хэмжиж болно. Бүрэн чиглэлийн диаграммын туйлшралын хэмжилт хийхийн тулд, хэмжилтийн зай нь хэмжүүр антен болон туршиж буй антен хоёулаа алсын оронгийн нөхцөлд байхаар хангалттай хол байх ёстой. Гэсэн хэдий ч, үндсэн цацрагийн чиглэлд

туйлшралын хэмжилтийг $\frac{D^2}{4\lambda}$ хүртэлх харьцангуй богино зайд ч гүйцэтгэх боломжтой. Ийм төрлийн хэмжилтэд, антены туйлшралын шинж чанарыг хэмжилтийн антен болон хэмжилтийн тохируулгаар тогтоогдсон лавлах координатын системтэй харьцуулан тодорхойлдог. Иймээс хэмжүүрийн антены нарийвчлал болон чанар нь хэмжилтийн тодорхой бус байдалд шууд нөлөөлнө. Хэмжүүрийн антен нь хэмжилтийн үр дүнд нөлөөлөхгүй байхын тулд туйлшралын шинж чанар нь урьдчилан мэдэгдсэн, эсвэл хангалттай өндөр туйлшралын цэвэршилттэй байх шаардлагатай. Хэмжилтийн системийн агууриг болон фазын оронгийн өгөгдөл цуглуулах чадвараас хамааран туйлшралын хэмжилтийг өөр өөр төрлүүдийг гүйцэтгэх боломжтой.

Хэрэв хэмжилтийн систем нь агууриг болон фазыг хэмжих боломжтой бол цацаргасан оронгийн хоёр харилцан ортогональ бүрэлдэхүүнийг хэмжихэд л хангалттай. Үлдсэн бусад бүрэлдэхүүнүүдийг 10.1-р хэсэгт өгөгдсөнтэй төстэй илэрхийллүүдийг ашиглан тодорхойлж болно. Үүнтэй адилаар, туйлшралын шинж чанарууд болох тэнхлэгийн харьцаа AR , туйлшралын чиглэл болон хазайлтын өнцгийг мөн 10.1-р хэсэгт дурдсан илэрхийллүүдээр гарган авч болно. Туйлшралыг нарийвчлан тодорхойлохын тулд, ортогональ фазын хэмжилтүүдийн хоорондын фазын уялдааг хадгалах нь маш чухал бөгөөд үүнийг 6.3-р хэсэгт хэлэлцсэн. Мөн цацрагийн алдагдлыг бууруулах нь туйлшралын хэмжилтийн алдааг багасгахад чухал үүрэгтэй. Туйлшралын эргэлзээнээс үүсэх алдаануудыг 9.5-р хэсэгт авч үзсэн болно.

Хэрэв хэмжилтийн систем нь зөвхөн агууригийн хэмжилт хийж чаддаг бол, хэмжүүрийн антен нь хүсэж буй оронгийн бүрэлдэхүүнийг шууд хэмжих ёстой. Жишээлбэл, θ_ϕ эсвэл E_{RHCP} , E_{LHCP} бүрэлдэхүүнүүдийг хэмжихийн тулд зөв чиглэлд байрлуулсан шугаман туйлшралтай хэмжилтийн антен ашиглах шаардлагатай. Тойрог туйлшралтай CP бүрэлдэхүүнүүдийг хэмжихийн тулд тойрог туйлшралтай хэмжилтийн антен хэрэглэнэ. Цаашлаад, тэнхлэгийн харьцаа AR болон хазайлтын өнцгийг хэмжихийн тулд, шугаман туйлшралтай хэмжүүрийн антеныг 360° -аар эргүүлэн, олон цэг дээр хэмжилт хийх хэрэгтэй. Ингэснээр, AR -ийг авсан дохионы оргил болон хамгийн бага утгуудын харьцаагаар, хазайлтын өнцгийг хүлээн авсан дохионы хамгийн их утгад харгалзах өнцгийн координатаар тус тус тодорхойлж болно. Энэхүү аргын нарийвчлал нь сонгосон загварын нягтаас шууд хамаарна. Мөн эллипс эсвэл тойрог туйлшралтай оронгийн тохиолдолд, энэхүү арга нь туйлшралын эргэлтийн чиглэлийг тодорхойлох боломж олгодоггүй.

Туйлшралын хэмжилт хийх үед, хэмжилтийн систем болон хэмжигдэж буй антеныг тохируулах нь онцгой чухал ач холбогдолтой юм.

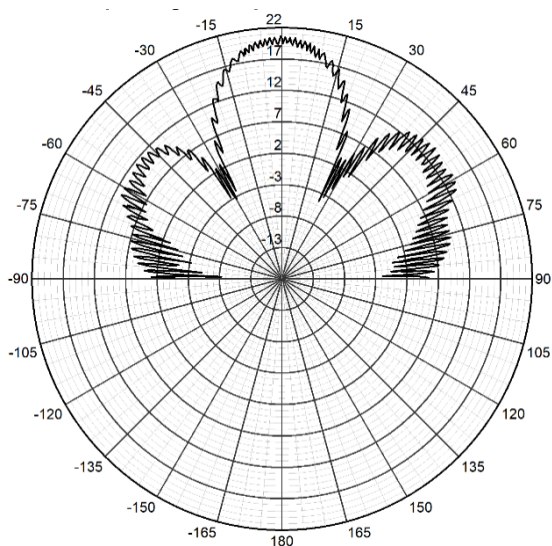
Агууриг болон фазын өгөгдөл байх нь дараах боловсруулалтын аргуудыг ашиглан туйлшралын хэмжилтийг сайжруулах боломж олгодог гэдгийг онцолсон байна. Жишээ нь:

- Хугацааны мужын шүүр: Хэрэв хангалттай олон давтамжийн цэгүүд байгаа бол, дохиог Фурьегийн хувиргалт эсвэл **chirp** Z -хувиргалтаар хугацааны муж руу шилжүүлж болно. Ингэснээр шууд дохиотой харьцуулахад хугацааны хамаарал нь урт байдаг тул цуурай болон шуугианыг арилгахын тулд шүүх боломжтой болно.
- $\lambda/4$ зайтайгаар салангид авсан өгөгдлүүдийг дундажлах: Энэ арга нь долгионы уртын дөрөвний нэг эсвэл ялгаатай зайд хийгдсэн хоёр эсвэл түүнээс олон хэмжилтийг авах, дараа нь зохих фазын завсрын гишүүнийг тооцон дундажлах зарчимд суурилдаг. Энэхүү аргын зорилго нь ойлтуудыг эсрэг фазаар нь давхардуулж, улмаар харилцан устгах явдал юм.
- Хэмжилтийн антены хөндлөн туйлшралын оронгоос үүдэлтэй алдааг арилгахын тулд хэмжигдэж буй антены туйлшралыг засварлах шаардлагатай байж болно. Идеал нөхцөлд, хэмжүүрийн антен нь ямар ч хөндлөн

туйлшралтай оронг цацруулах ёсгүй. Гэвч бодит нөхцөлд хэмжилтийн антены төгс бус байдлаас үүссэн хөндлөн туйлшралын шинж чанарыг туйлшралын цэвэршилт өндөртэй туслах антен ашиглан засварлаж болно. Энэхүү туслах антеныг ашигласнаар хэмжилтийн антены туйлшралын шинж чанарыг илүү нарийвчлалтай болгох боломжтой бөгөөд энэ нь ерөнхий гурван антены аргын тухайн тохиолдол гэж үздэг. Шугаман туйлшралтай лавлах антены хувьд пирамид хэлбэрийн стандарт өсгөлттэй антен ашиглахыг зөвлөдөг. Учир нь туйлшралын цэвэршилт маш өндөр (тэнхлэгийн харьцаа ихэвчлэн 40 dB-ээс их), мөн механик гадаргуунууд нь туйлшралын тэнхлэгийг хэмжилтийн координатын системтэй хялбар зэрэгцүүлэн байрлуулах боломж олгодог.

- Хэрэв өгөгдлийг зөвхөн хоёр ортогональ цэгт бус, 360° -ын туршид утгуудыг сонгож авбал олон авсан өгөгдөлд Фурьегийн шинжилгээ хийх замаар туйлшралын илүү нарийвчилсан мэдээлэл гарган авч болно.

Хэрэв хэмжигдэж буй антен нь тойрог туйлшралтай эсвэл төгс шугаман туйлшралтай биш бол spinning line-аг-эргэлдэгч шугаман арга (эсвэл эргэдэг хэмжилтийн антен ашиглах арга) нь чиглэлийн диаграммын өнцгөөс хамааран тэнхлэгийн харьцааны хэмжээг тодорхойлох шуурхай хэмжилтийн арга болдог. Энэхүү арга нь зөвхөн агууригийн өгөгдөл дээр суурилна. Хэмжилтийн явцад хэмжигдэж буй антеныг уламжлалт чиглэлийн диаграммын хэмжилтийн адил удаанаар эргүүлж, шугаман туйлшралтай хэмжүүрийн антеныг хурдтайгаар эргүүлнэ. Хэмжигдэж буй антен болон хэмжүүрийн антены эргэх хурдыг хэмжүүрийн антен хагас эргэлт хийх хугацаанд хэмжигдэж буй антены диаграмм мэдэгдэхүйц өөрчлөгдөхгүй байхаар тохируулах шаардлагатай. Антены чиглэлийн диаграммыг бүрэн огтлолд хурдан хэлбэлзэлтэй тэмдэглэнэ. Диаграмм дээрх дараалсан хамгийн их болон хамгийн бага утгуудын ялгаа нь тухайн чиглэл дэх тэнхлэгийн харьцааг илэрхийлнэ. Энэхүү зөвхөн агууриг дээр суурилсан хэмжилтийн аргаар туйлшралын эргэлтийн чиглэлийг тодорхойлох боломжгүй. Эргэлдэх шугаман хэмжилтийн аргын жишээг Зураг 43-д үзүүлсэн болно.



Зураг 43 Эргэлдэх шугаман аргаар хэмжсэн антены хэмжилтийн жишээ

11. Цацаргалтын ашигт үйлийн коэффициентийн хэмжилт

Антену цацаргалтын ашигт үйлийн коэффициент гэдэг нь цацаргалтын явцад антены терминал дээр хүлээн авсан нийт чадлыг антены нийт чадалд харьцуулсан харьцаа юм. Эдгээр хоёр чадлын зөрүү нь антенаар тархсан чадал юм. Цацаргалтын ашигт үйлийн коэффициент нь антены дотоод шинж чанар бөгөөд бүрэн эсэргүүцэл эсвэл

туйлшралын зохицоогүй байдлаас шалтгаалсан системийн хүчин зүйлүүдээс хамаардаггүй.

Ашигт үйлийн коэффициентыг тодорхойлох үндсэн арга нь 9-р бүлэгт тайлбарласан хэмжилтэд тулгуурладаг. 9.1-д дурдсанчлан цацаргалтын ашигт үйлийн коэффициент (65)-р тэгшитгэлд үзүүлсний дагуу тодорхой чиглэл дэх өсгөлтийн харьцааг тухайн чиглэл дэх чиглүүлэмжтэй харьцуулсан харьцаатай тэнцүү байна.

$$\eta = \frac{G}{D} \quad (65)$$

Энд

η — цацаргалтын ашигт үйлийн коэффициент

G — өсгөлт

D — чиглүүлэмж

Цацаргалтын ашигт үйлийн коэффициентыг тодорхойлохдоо ихэвчлэн хамгийн их цацаргалтад харгалзах чиглэлийг авч үздэг. Оргил өсгөлт ба чиглүүлэмжийг хэмжихдээ 9.1 болон 9.5-д дурдсан бүх болгоомжлолыг нарийн сахих хэрэгтэй. Өсгөлт ба чиглүүлэмжийг хэмжилтийн эргэлзээний үр дүнг үнэлэхдээ харгалзах хэрэгтэй.

Антен нь цахилгаан хэмжээний хувьд жижиг ба энгийн бол оролтын бүрэн эсэргүүцлийн бодит хэсгээс бүрдэнэ, өөрөөр хэлбэл антены эсэргүүцэл нь цацаргалтын эсэргүүцэл болон алдагдал эсэргүүцлийн нийлбэртэй тэнцүү дараалсан эквивалент схемээр олдох боломжтой байдаг. Цацаргалтын эсэргүүцэл нь нийт цацаргасан чадлыг, алдагдал эсэргүүцэл нь антен дотор тархсан нийт чадлыг тооцдог. Диполь болон Гогцоо хэлбэрийн гэх мэт антены хувьд цацаргалтын эсэргүүцлийг антены хэмжээнээс үндэслэн тооцоолох нь хамгийн тохиромжтой. Антены эсэргүүцлийг 12-р бүлэгт тайлбарласан оролтын бүрэн эсэргүүцлийн хэмжилтээр олно. Цацаргалтын ашигт үйлийн коэффициент (66)-р тэгшитгэлээр тодорхойлно

$$\eta = Z_{\text{radiation}}/Z_{\text{antenna}} \quad (66)$$

Энд:

$Z_{\text{radiation}}$ — цацаргалтын эсэргүүцэл

Z_{antenna} — нийт идэвхтэй эсэргүүцэл

Энэ арга нь зөвхөн антеныг цуваа эквивалент хэлхээний хувьд нарийн дүрслэх боломжтой үед хүчинтэй. Алдагдал чадлыг цуваа эсэргүүцлээр (цацаргалтын эсэргүүцэл) илэрхийлэх боломжгүй тохиолдолд жишээлбэл, алдагдалтай диэлектрикээр бүрсэн антен эсвэл алдагдалтай газар дээрх антены хувьд энэ аргыг ашиглаж болохгүй бөгөөд 11.2, 11.3, 11.4-д үзүүлсэн аргуудыг авч үзэх хэрэгтэй. Түүнчлэн тооцоолсон цацаргалтын эсэргүүцэл болон хэмжигдсэн антены эсэргүүцэл нь антены нэг терминалын цэгт харгалзах ёстой. Мөн энэ төрлийн антены оролтын бүрэн эсэргүүцэл нь дамжууллын шугамтай эсэргүүцлийн хувьд огт зохицоогүй байдал үүсгэж болох бөгөөд энэ үед мэдэгдэхүйц алдагдалтай зохицуулалтын хэлхээг нэмэлтээр хэрэглэгдэж болно. Ийм алдагдлыг ихэвчлэн цацаргалтын ашигт үйлийн коэффициентын утгад оруулдаггүй ч системийн хувьд чухал ач холбогдолтой гэдгийг тэмдэглэх хэрэгтэй.

12. Бүрэн эсэргүүцлийн хэмжилт

12.1 Ерөнхий мэдээлэл

Тодорхой терминалд хэмжигдэх антены оролтын бүрэн эсэргүүцэл нь чадал дамжуулалт, шуугиан болон идэвхтэй хэлхээний бүрэлдэхүүнүүдийн тогтвортой байдалд чухал нөлөө үзүүлдэг хүчин зүйл юм. Ихэнх тохиолдолд антены бүрэн эсэргүүцэл нь антены ашигтай зурвасын өргөнийг хязгаарлагч гол параметр болдог. Түүнчлэн антены бүрэн эсэргүүцэл нь антены абсолют өсгөлт болон бодит өсгөлттэй нягт уялдаатай байдаг.

IEEE-ийн өсгөлтийн тодорхойлолтод хэмжигдэж буй антены порт болон тэжээлийн сүлжээн дэх бүрэн эсэргүүцлийн зохицоогүй байдлыг (mismatch) тооцдоггүй тул хэмжигдсэн бодит өсгөлтийн утгаас антены өсгөлтийг тодорхойлохын тулд антены бүрэн эсэргүүцэл шаардлагатай (IEEE Std 145-2013-ыг үзнэ үү).

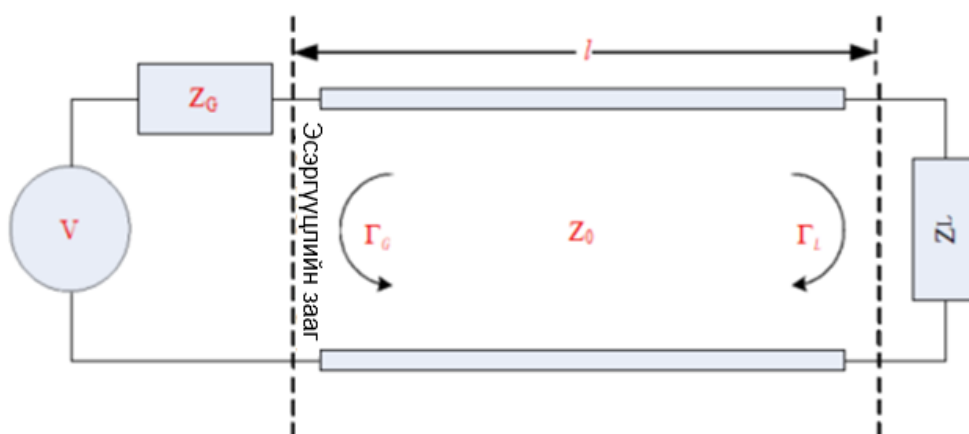
Антен нь бүрэн эсэргүүцлийн хувьд зохицоогүй ачаатай (ихэнх тохиолдолд ийм байдаг) үед шаардлагатай бүрэн эсэргүүцлийн зөрүүний засварыг тодорхойлох шаардлагатай. Энэхүү засвар нь хэмжигдсэн бодит өсгөлтийн утгыг нэмэгдүүлж, антены жинхэнэ өсгөлтийг гарган авахад хэрэглэгдэнэ.

12.2 Бүрэн эсэргүүцлийн зохицооны засвар

Бүрэн эсэргүүцэл зохицоогүй байдлыг засварлах нь антены өсгөлтийг хэмжих үед хамгийн чухал эргэлзээний хүчин зүйл юм. Хэмжигдэж буй антен нь хэмжилтийн системийн портод холбогдох үед бүрэн эсэргүүцлийн зохицоогүй байдал үүсч болох бөгөөд энэ нь чадлын дамжуулалтын үр ашгийг бууруулдаг.

Генератор нь V (дотоод бүрэн эсэргүүцэл Z_G -тэй) нь шугамын урт нь l , бүрэн эсэргүүцэл нь Z_0 бүхий алдагдалгүй дамжууллын шугамд холбогдож, улмаар ачааны бүрэн эсэргүүцэл Z_L -д төгсгөл болж байгаа тохиолдлыг авч үзье.

Энэ нөхцөлийг Зураг 44-д үзүүлсэн. Энэхүү тохиолдол нь антены хэмжилтийн орчинд антен (Z_L) нь дамжууллын шугамаар дамжин үүсгүүр эсвэл хүлээн авагчид холбогдож буй нөхцлийг төлөөлнө.



Зураг 44 Үүсгүүр, дамжууллын шугам болон ачааны эсэргүүцэлтэй бүхий хэлхээ

Генератор–дамжууллын шугамын болон дамжууллын шугам–ачааны интерфэйсүүдэд бүрэн эсэргүүцлийн зохицоогүй гэж үзэхэд, энэ нь чадлын дамжуулалтын үр ашгийг бууруулах нөхцөл болдог.

Хэмжигдэж буй антен холбогдсон дамжууллын шугамыг салгаж, өсгөлтийн шилжүүлгийн зорилгоор хэмжигдэж буй антеныг өсгөлтийн стандарт антенаар солих

шаардлагатай. Тохирох интерфэйс дээр бүрэн эсэргүүцлийн зохицоогүй байдлын засварыг хэрэгжүүлэх ёстой. (67)-р тэгшитгэл нь нэг портын холболтын хувьд бүрэн эсэргүүцлийн зохицоогүй байдлын засварын коэффициентийг үзүүлнэ.

Тэмдэглэгээ (') нь дамжууллын шугамын тодорхой хэсгээр дамжин хувирсан ачаа (эсвэл үүсгүүр)-тай холбоотой бүрэн эсэргүүцэл эсвэл хүчдэлийн ойлтын коэффициентийг илэрхийлдэг.

$$\frac{P_T}{P_{max}} = \frac{(1-|\Gamma_{G'}|^2)(1-|\Gamma_{L'}|^2)}{|1-\Gamma_{L'}\Gamma_{G'}|^2} \quad (67)$$

эсвэл (68)-р тэгшитгэлээр дБ-ийн залруулгын коэффициент болгон хувиргана:

$$\frac{P_T}{P_{Max}}|_{db} = 10 \log_{10} \left[\frac{(1-|\Gamma_{G'}|^2)(1-|\Gamma_{L'}|^2)}{|1-\Gamma_{L'}\Gamma_{G'}|^2} \right] \quad (68)$$

Энд

P_T ачаан дээрх чадал

P_{max} үүсгүүрээс авах боломжтой дээд чадал

$\Gamma_{L'}$ ачаа (эсвэл антен) руу чиглэн хэмжсэн хүчдэлийн ойлтын коэффициент

$\Gamma_{G'}$ үүсгүүр (эсвэл хүлээн авагч) руу чиглэн хэмжсэн хүчдэлийн ойлтын коэффициент

(67)-р тэгшитгэлд $0 \leq P_T/P_{max} \leq 1$ бөгөөд децибел (dB) хэлбэрт шилжүүлбэл энэ нь сөрөг утгатай гарч, хэмжигдсэн өсгөлтөөс хасагдан, илүү өндөр, засварлагдсан утгыг гарган авна.

Өсгөлтийн тодорхойлолт нь хэмжигдэж буй антенныг зохицсон сүлжээнд холбогдсон гэж үздэг ч практик хэмжилтийн үед ихэвчлэн зохицоогүй байдаг. Иймээс энэхүү бүрэн эсэргүүцлийн зохицооны засвар нь хэмжигдэж буй антенны хэмжигдсэн бодит өсгөлтийн анхны хэмжсэн утгыг нэмэгдүүлж, жинхэнэ өсгөлтөд ойртуулах үүрэгтэй. Өсгөлтийн шилжүүлгийн аргыг ашиглах үед, хэмжигдэж буй антенны өсгөлтийг өсгөлтийн стандарт антентай харьцуулан тодорхойлдог бөгөөд өсгөлтийн стандарт антенны бүрэн эсэргүүцлийн зохицоогүй байдлын засварыг мөн авч үзэх шаардлагатай. Хэмжигдэж буй антен болон өсгөлтийн стандартын хоорондох бүрэн эсэргүүцлийн зохицоогүй байдлын харьцааг (S') илэрхийлэх MdB коэффициентийг (69)-р тэгшитгэлд үзүүлсэн хэлбэрээр тодорхойлж болно.

$$M_{dB} = 10 \log_{10} \left[\frac{|1-\Gamma_{S'}\Gamma_{G'}|^2(1-|\Gamma_{L'}|^2)}{|1-\Gamma_{L'}\Gamma_{G'}|^2(1-|\Gamma_{S'}|^2)} \right] \quad (69)$$

Энд

$\Gamma_{S'}$ өсгөлтийн стандарт антенны оролтын портод хэмжсэн хүчдэлийн ойлтын коэффициент

Хэмжигдэж буй антенны өсгөлтийг өсгөлтийн стандарт антентай харьцуулан тодорхойлдог тул эдгээр хоёрын засварын утгуудын харьцаа нь өсгөлтийн стандарттай харьцуулсан бүрэн эсэргүүцлийн зохицоогүй байдлаас үүдэх өсгөлтийн засварын гишүүнийг илэрхийлнэ. Энэхүү утга нь хэмжигдэж буй антен болон өсгөлтийн стандарт антенны харьцангуй зохицоогүй байдлаас хамааран эерэг, сөрөг аль ч утгатай байж болно.

MdB коэффициентийг хэмжигдэж буй антенны хэмжигдсэн өсгөлтийн утгаас хасч, засварлагдсан утгыг гарган авна. MdB нь эерэг эсвэл сөрөг байж болох тул хэмжигдэж буй антенны өсгөлтийн утгыг нэмэгдүүлэх эсвэл бууруулах боломжтой. Энэ нь хэмжигдэж буй антен болон өсгөлтийн стандарт антенны бүрэн эсэргүүцлийн зохицлын харьцангуй байдлыг илэрхийлдэг.

12.3 Бүрэн эсэргүүцлийн хэмжилт

Бүрэн эсэргүүцлийн хэмжилт буюу түүнтэй эквивалент комплекс ойлтын коэффициентийг хэмжих үйл ажиллагаа нь уламжлалт байдлаар бүрэн эсэргүүцлийн гүүр (bridges) эсвэл завсарт шугамыг тухайн давтамжийн мужид ашиглах боломжтой үед хэрэглэж ирсэн.

Өнөө үед вектор сүлжээний анализатор ашиглах нь стандарт арга болон төлөвшиж, алдааны засварын (error-correction) аргууд нь эдгээр багажийн нарийвчлалыг урьд өмнө байгаагүй түвшинд хүргэсэн. Эдгээр төхөөрөмжүүд нь 1 ТГц хүртэлх давтамжид хэмжилт хийх боломжтойгоор худалдаанд байдаг бөгөөд автомат туршилтанд өргөн хэрэглэгддэг.

Өгөгдлийг дүрслэн харуулах ажиллагаа нь хялбар бөгөөд 12.2-т тодорхойлсон аливаа бүрэн эсэргүүцлийн параметрийн хувьд хэрэгжүүлэх боломжтой боловч практикт комплекс буцах алдагдал болон комплекс ойлтын коэффициентийг хамгийн түгээмэл хэмждэг. Фазын мэдээлэл дутмаг байдал нь VSWR-ийн хэрэглээг бууруулж байгаа бол фазыг хэмжих боломж нэмэгдсэнээр 12.2-т тайлбарласан бүрэн эсэргүүцлийн засварын гишүүдийг тооцоолох нөхцөл бүрддэг.

(76)-р тэгшитгэл дэх бүрэн эсэргүүцлийн зохицоогүй байдлын засварын коэффициентийг тооцоолох зорилгоор ихэвчлэн вектор сүлжээний анализатор ашиглаж, нэг портын (хэмжилт, тохируулга) калибровк хийдэг. Ийнхүү багажийн калибровкийн засварын коэффициентийг тодорхойлохын тулд (open) нээлттэй хэлхээний, (short) богино холболтын, болон (load) тохирсон ачаатай үеийн хэмжилтүүдийг гүйцэтгэдэг. Энэхүү функц нь багажид суурилагдсан байх ёстой бөгөөд хэрэглэгчийг алхам алхмаар удирдан чиглүүлэх байдлаар хэрэгждэг.

Калибровк дууссаны дараа кабель болон Z_L ачааны холболтыг салгаж, Z_L ачааны комплекс ойлтын коэффициентийг хэмжинэ. Дараа нь кабелийн порт руу чиглэсэн ойлтын коэффициентийг хэмжинэ. Мөн кабелийн төгсгөл дэх холбогчийн (коннекторын) төрөл, хүйсийн ялгаанаас шалтгаалан вектор сүлжээний анализаторын портод адаптер нэмэх шаардлага гарч болно. Энэ тохиолдолд багажыг шинэ лавлах портод тохируулан дахин калибровк хийх шаардлагатай. (Комплекс хэмжилт тул адаптер нэмэгдэхэд цахилгааны уртын өөрчлөлт үүсэх бөгөөд дахин калибровк нь үүнийг арилгадаг. Харьцангуй бага давтамжид хийх хэмжилтэд адаптерын цахилгаан урт эсэргүүцлийн засварт нөлөө багатай бол дахин калибровк хийхгүй байж болно).

Эдгээр хоёр комплекс ойлтын коэффициентийг (67)-р тэгшитгэлтэй хамт ашиглан хэмжилтийн порт дахь бүрэн эсэргүүцлийн зохицоогүй байдлын засварын коэффициентийг тодорхойлно. Энэхүү хэмжилтийг сонирхож буй давтамж бүр дээр хийх шаардлагатай бөгөөд стандарт өсгөлтийн лавлах антенд мөн давтан хэрэгжүүлнэ.

Хэмжилт хийхээс өмнө холбогчийн төрөл болон хүйсийг харгалзан үзэж, тохирох калибровкийн иж бүрдлийг ашиглах ёстой бөгөөд ингэснээр калибровкийг зөв интерфэйс дээр хийх боломжтой болно.

Антенны оролтын бүрэн эсэргүүцлийн хэмжилтийг антенны аль ч порт дээр хийж болох бөгөөд тодорхой урьдчилан сэргийлэх арга хэмжээ авсан тохиолдолд антенныг чиглүүлэгдсэн долгионы төхөөрөмж мэтээр авч үзэн гүйцэтгэж болно. Гэвч цацаргах

төхөөрөмжүүдэд онцгой нэг хүндрэл байдаг бөгөөд оролтын бүрэн эсэргүүцэл нь антенны орчны нөлөөгөөр өөрчлөгдөж болдог. Энэ нь хэмжигдсэн бүрэн эсэргүүцэл нь антен байрлаж буй орчны нөхцөлөөс хамаарч нөлөөлөгдөнө гэсэн үг юм.

Иймээс бүрэн эсэргүүцлийн хэмжилт хийх үед антенаа түүний бодит ажиллах орчныг дуурайлгасан нөхцөлд байрлуулах шаардлагатай. Ихэнх тохиолдолд нарийн чиглэлт антенны хувьд энэ шаардлагыг хангах нь харьцангуй хялбар бөгөөд хэмжилтэнд оролцож буй антенуудыг ойсон долгион үүсгэх саадтай объектуудаас хол, өөр хооронд нь чиглүүлэн байрлуулж болно. Харин бүх чиглэлд цацруулдаг антенны хувьд орчны ихэнх бүтэц оролтын бүрэн эсэргүүцэлд нөлөөлдөг тул хэмжилт хийх нь илүү хүндрэлтэй байдаг.

Нарийн чиглэлт антенны хувьд шингээгч материалаар бүрсэн хананд чиглүүлэх замаар ажиллах орчныг дуурайлган үзэж болно. Мөн зарим хэмжилтэд шингээгч доторлогоотой хайрцгийг ашигладаг. Харин бүх чиглэлд цацруулдаг антенны бүрэн эсэргүүцлийг ихэвчлэн хоосон анэхоик-цуурайгүй чамберт хэмжинэ. Бүрэн эсэргүүцлийн хэмжилт хийх явцад орчны өөрчлөлтөд оролтын бүрэн эсэргүүцэл хэр мэдрэмтгий байгааг түргэн шалгаж баталгаажуулах шаардлагатай.

Олон порттой антенны нэг портын оролтын бүрэн эсэргүүцлийг хэмжих үед бусад портуудыг тохирсон ачааны терминалаар төгсгөх ёстой. Эдгээр терминалууд нь антенны бус хэсгүүд рүү хослон нэвтэрч буй энергийг шингээж, зохицоогүй портуудад ойлт үүсэх болон дахин цацах үзэгдлээс сэргийлснээр хэмжилтийн бүрэн эсэргүүцлийн утгад нөлөөлөхөөс хамгаална.

12.4 Бүрэн эсэргүүцлийн үл зохицлын эргэлзээ

(67)-р тэгшитгэлийг антенны хэмжилтэд үүсэх бүрэн эсэргүүцлийн зохицоогүй байдлын алдааг засварлахад ашиглаж болно. Энэ нь комплекс хэмжилт шаарддаг бөгөөд фазын мэдээлэл тодорхойгүй тохиолдолд бүрэн эсэргүүцлийн зохицоогүй байдлаас үүдэх алдааны хамгийн муу тохиолдлын эргэлзээний хязгаарыг л тооцоолох боломжтой бөгөөд үүнийг хэмжилтийн эргэлзээний үнэлгээнд (13-р бүлэг) нэгтгэн оруулна.

Ийм нөхцөлд (67)-р тэгшитгэл дэхь бутархайн зөвхөн хуваарь нь хоёр ойлтын коэффициентийг комплекс үржвэрээр фазын нөлөөнд ордог бөгөөд нэг портын холболтын дээд болон доод хязгаарыг (70)-р тэгшитгэлд үзүүлсэн хэлбэрээр илэрхийлж болно.

$$\frac{(1-|\Gamma_{S'}|^2)(1-|\Gamma_L|^2)}{[1+|\Gamma_{L'}||\Gamma_{G'}|]^2} \leq \frac{P_T}{P_{max}} \leq \frac{(1-|\Gamma_{S'}|^2)(1-|\Gamma_L|^2)}{[1-|\Gamma_{L'}||\Gamma_{G'}|]^2} \quad (70)$$

Өсгөлтийн шилжүүлгийн аргыг системийн өсгөлтийг нормчлох зорилгоор ашиглах үед (9.4-ийг үзнэ үү), хэмжилтийн явцад өсгөлтийн стандарт антен болон хэмжигдэж буй антен хоёуланд нь бүрэн эсэргүүцлийн зохицоогүй байдлын алдаа үүсдэг. Фазын мэдээлэл байхгүй нөхцөлд (69)-р тэгшитгэлийг ашиглан засварын гишүүн MdB -ийн хязгаарыг тодорхойлох боломжтой бөгөөд үүнийг (71)-р тэгшитгэлд үзүүлсэн хэлбэрээр илэрхийлнэ.

$$20 \log_{10} \left[\frac{1-|\Gamma_{S'}||\Gamma_{G'}|}{1+|\Gamma_{L'}||\Gamma_{G'}|} \right] \leq M_{dB} \leq 20 \log_{10} \left[\frac{1+|\Gamma_{S'}||\Gamma_{G'}|}{1-|\Gamma_{L'}||\Gamma_{G'}|} \right] \quad (71)$$

(71)-р тэгшитгэл нь энэ тохиолдлын алдааны хязгаарыг тооцоолсон (72)-р тэгшитгэлтэй нийцнэ.

$$U = -20 \log_{10} \left[\frac{1 \pm |\Gamma_{G'}| |\Gamma_{L'}|}{1 \mp |\Gamma_{G'}| |\Gamma_{S'}|} \right] \quad (72)$$

Энд

U - эсэргүүцлийн зохицоогүй байдлаас үүдэлтэй хоёр талт эргэлзээний хязгаар, дБ-ээр

$\Gamma_{S'}$ - өсгөлтийн стандарт антены оролтын портод хэмжсэн хүчдэлийн ойлтын коэффициент

(72)-р тэгшитгэлийн тооны хэсэгт $\mp$ операторыг, хуваагч хэсэгт $\pm$ операторыг ашиглана. Зөв хэмжилтийн эргэлзээний утгыг тооцоолохын тулд энэ дүрмийг дагах хэрэгтэй.

13. Хэмжилтийн эргэлзээ

13.1 Ерөнхий зүйл

Эргэлзээний талаарх ерөнхий хэлэлцүүлгийг ISO/IEC гарын авлага 98-3:2008(E) [8] -аас болно. ISO/IEC Guide 98-3:2008(E) [8] -ийн дагуу алдаа ба эргэлзээ нэр томъёог ялгах ёстой. Алдаа гэдэг нь жинхэнэ утга (энэ нь мэдэгдэхгүй) болон хэмжилтийн үр дүнгийн зөрүү гэж тодорхойлогддог. Алдаа гарах магадлалтай хүрээг тооцоолох боломжтой бөгөөд энэ тооцоог эргэлзээ гэж нэрлэнэ.

Эргэлзээний талаар мэдээлэлгүйгээр хэмжилтийн үр дүнг харьцуулах боломжгүй. Тиймээс эргэлзээний талаар мэдээлэлгүйгээр хэмжилт нь бүрэн гүйцэд биш юм.

Хүснэгт 6-д олон антены хэмжилтэд хамаарах эргэлзээний үүсгүүрүүдийг жагсаав. Зарим нь бараг бүх антены хэмжилтэд хамаатай бол зарим нь зөвхөн зарим тохиолдолд тооцогдож эргэлзээнд хувь нэмэр оруулдаг. Эргэлзээний зарим шалтгааныг хүснэгтэнд оруулаагүй байж болно. Эргэлзээний талаар мэдээлэхдээ 6-р хүснэгттэй төстэй хэлбэрийн хүснэгтийг ижил баганын бүтэцтэй ашиглаж болно.

Хүснэгт 6 Антены хэмжилтийн эргэлзээ үүсэх шалтгаан

Тодорхойгүй байдлын үүсгүүр	Утга	Төрөл	Хуваарилалт	Хуваагч	Стандарт эргэлзээ
Антену хүрээ/лавлагаа антены шинж чанарууд					
Тохируулга/байршил					
Хүлээн авагчийн системийн шугаман бус байдал					
Шуугиан					
Шилжилт- Drift					
Эсэргүүцлийн үл зохицоо					
Нэвчилт ба хөндлөн огтлолцол					
Кабелийн нугалаа					
Олон замын тархалт - Multipath					
Нормчиллол - Normalization					
Долгионы жигд бус тусгал					
Давхцал – Aliasing (дискрет дохио боловсруулалт)					

Хэмжилтийн оронгийн хуваагдал (Хэмжилтийн оронгийнзах хэсгийг нь орхин (таслах) хэмжих үзэгдэл)					
Антеннаас антенруу олон удаагийн ойлттой байх					
Санамсаргүй алдаа					
Нийт стандарт эргэлзээ					
Хамрах хүрээний хүчин зүйл					
Өргөтгөсөн эргэлзээ					

Хүснэгтийн 1-р баганад тайлагнаж буй хэмжилтийн эргэлзээний шалтгаануудын жагсаалтыг жагсаах ёстой.

Хүснэгтийн 2-р баганад 1-р баганад харгалзах эргэлзээний шалтгааны утгыг тусгана. Хүснэгтийн 3-р баганад эргэлзээний төрлийг (А эсвэл В төрөл) заана. ISO/IEC гарын авлага 98-3:2008(E) [8] -д заасны дагуу А төрлийн эргэлзээг давтан хэмжилтээр тодорхойлно.

В төрлийн эргэлзээг бусад аргаар тодорхойлогддог.

Хүснэгтийн 4-р баганад ашиглагдаж буй тархалтын функцийг (жишээ нь, хэвийн, тэгш өнцөгт гэх мэт) мэдээлнэ.

Хүснэгтийн 5-р баганад харгалзах тархалтын функцтэй холбоотой хуваагчийг мэдээлнэ (жишээ нь, хэвийн тархалтын функцийн хувьд 1, тэгш өнцөгт тархалтын функцийн хувьд 3).

Хүснэгтийн 6-р баганад харгалзах стандарт эргэлзээг мэдээлнэ (2-р багана нь 5-р баганад хуваагдана). Үүссэн стандарт эргэлзээ нь хэмжилтийн үр дүнгийн стандарт хазайлтаар илэрхийлэгдсэн эргэлзээ юм. Стандарт эргэлзээг тодорхойлсны дараа тэдгээрийг язгуур нийлбэрийн квадрат аргаар нэгтгэж, нэгдсэн стандарт тодорхой бус байдлыг олж авна. дБ-ээр утгыг харуулах үед, эргэлзээг хослуулахдаа шугаман хэмжигдэхүүнийг ашиглахад анхаарах хэрэгтэй.

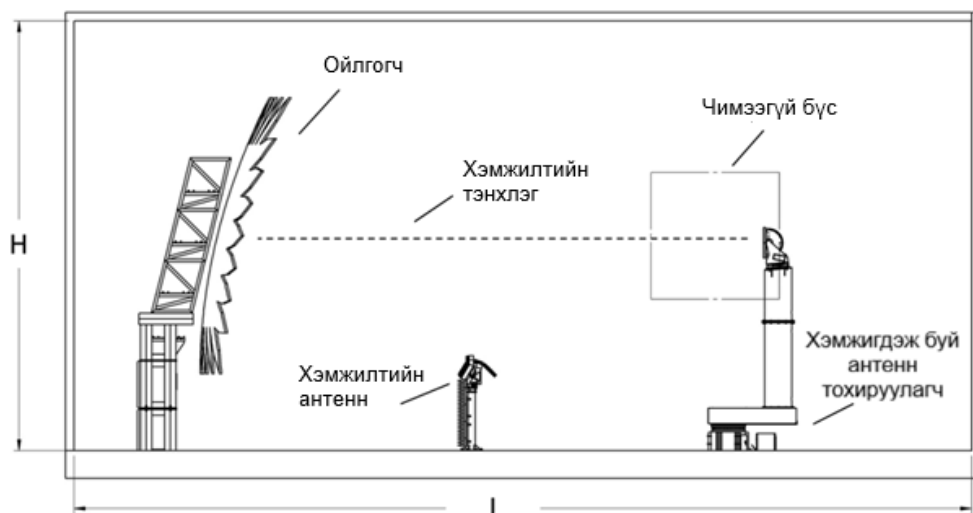
Өргөтгөсөн эргэлзээг олж авахын тулд нэгдсэн стандарт эргэлзээг хамрах хүчин зүйлээр (ихэвчлэн 2 эсвэл 3-ын мужид) (тодорхойгүй байдал ба хамрах хүрээний хүчин зүйлийн ашиглалтын талаарх дэлгэрэнгүйг ISO/IEC гарын авлага 98-3:2008(E) [8]-аас үзнэ үү).

Үүссэн эргэлзээг тодорхой итгэлийн түвшинтэй холбохдоо болгоомжтой байх хэрэгтэй. Итгэлийн түвшинг тодорхойлохын тулд үр дүнгийн хуваарилалтын талаар нарийвчилсан мэдлэг шаардлагатай. Хэвийн тархалт биелэхгүй нөхцөл байдал тохиолдвол шууд түүнийг хэвийн тархалт гэж үзэж болохгүй.

13.2 Хэмжилтийн авсаархан орчин- Compact range

13.2.1 Ерөнхий зүйл

Энэ дэд зүйлд хэмжилтийн авсаархан орчинг хэмжих ерөнхий аргыг хэмжилтийн эргэлзээг ойлгуулахад дөхөм болгох үднээс жишээ болгон тайлбарлах бөгөөд холбогдох эргэлзээний нэр томъёог тодорхойлсон болно. Энд дурьдах аргыг ихэнх авсаархан хэмжилтийн системд ашиглахад хэрэглэж болно. Алсын оронгийн бүсийн загварчлалын ойлголт дахь алдаа үүсгэдэг олон механизмыг авсаархан орчинд шууд хэрэглэж болно. Зураг 45- д үндсэн фокусын нэг ойлттой авсаархан орчинд зориулсан хэмжилтийн системийн геометр бүтцийг харуулав.



Зураг 45— Хэмжилтийн авсаархан орчны системийн геометр

Хэмжилтийн авсаархан орчин нь чимээгүй бүсэд (QZ) хангалттай түвшний туршилтын дохиог бий болгох, чимээгүй бүсийн (QZ) дотор хэмжигдэж буй антеныг байрлуулах, бичил долгионы (microwave) өгөгдлийг цуглуулах, хэмжигдэж буй антены хэмжилтийн үр дүнд шинжилгээ хийх зэрэг хэд хэдэн үүрэг бүхий дэд системүүдээс бүрдэнэ.

- Хэмжилтийн авсаархан орчны оптик тохируулга: Чимээгүй бүс гэж нэрлэгддэг туршилтын байгууламжийн хязгаарлагдмал эзэлхүүн дотор хавтгай цахилгаан соронзон долгион үүсгэхийн тулд дор хаяж нэг ойлгогч гадаргуу ашигладаг. Ихэнх ойлгогч нь параболик эсвэл цилиндр хэлбэртэй байдаг бөгөөд чимээгүй бүс (QZ) дахь цацаргалтын үндсэн тэнхлэгийн дагуу хэмжилтийн антенаас бөмбөрцөг хэлбэрээр цацарч буй долгионыг хавтгай долгионы фронт болгон хувиргахад эдгээрийг ойлгогчыг ашигладаг. Хэмжилтийн антен нь ойлгогчыг дохиожуулах бөгөөд орчны оптикийг зөв төвлөрүүлэхийн тулд фазын төвийг ойлтын фокусын цэг дээр байрлуулах ёстой. Чимээгүй бүс (QZ) доторх оронгийн чанарыг оновчлохын тулд хэмжилтийн антены чиглэлийн диаграмм нь ойлтын геометртэй таарч байх ёстой. Дэлгэрэнгүй мэдээллийг 5.4.7-оос үзнэ үү.
- Байршлын дэд систем: Байршлын системийг хэмжигдэж буй антен талыг өгөгдөл цуглуулах явцад хянах зорилгоор ашигладаг. Босоо, хэвтээ, эргэх гээд хүссэн тэнхлэгийн дагуу байрлуулахын тулд байрлал тогтоогчийн янз бүрийн тохиргоог ашигладаг. Байршуулагч систем хэмжигдэж буй антеныг чимээгүй бүсэд (QZ) хүссэн байршилд зөв байрлуулсан эсэхээс хамаарч эцсийн өгөгдлийн үнэн зөв байдал тодорхойлогдоно.
- Нэвтрүүлэх болон хүлээн авах дэд системүүд: Нэвтрүүлэх болон хүлээн авах дэд системүүд нь хэмжилтийн системийн хувьд RF-ийн туршилтын дохиог үйлдвэрлэх, чиглүүлэх, илрүүлэхэд ашиглагддаг. Дохионы үүсгүүр(үүд), дамжууллын шугам, хүлээн авагч, холигч, өсгүүр болон унтраагч нь бүгд дэд системүүдийн нэг хэсэг бөгөөд хэмжилтийн эргэлзээнд нөлөө үзүүлдэг. Иймээс хэмжилтийн интервал дахь багаж хэрэгсэл, эд ангиудын тогтвортой байдлыг харгалзан үзэх шаардлагатай.
- Байгууламжийн дэд систем: Нарийвчлалд сөргөөр нөлөөлж болзошгүй байгууламжийн дэд бүтцийн буюу орчны асуудалд хана, таазны хамгаалалт, тусгаарлалтын нөлөө, доторлогооны шингээгч материалын ойлт, температурын шилжилт, чийгшлийн өөрчлөлт орно.

13.2.2 Алдааны нэр томъёо

13.2.1-д тодорхойлсон авсаархан орчин болон 13.1-д заасан аргыг ашигласан тохиолдолд дараах алдааны нэр томъёог авч үзнэ. Жишээ болгон авсаархан орчны хэмжилтийн эргэлзээний шинжилгээг Хүснэгт 7-д нэгтгэн үзүүлэв.

Хэмжилтийн антенуудын тохируулга: Чимээгүй бүсийн (QZ) фаз ба агууригийн хэмжилтийг оновчтой болгохын тулд хэмжилтийн антеныг ойлгогч руу зөв чиглүүлэн тохируулах шаардлагатай. Хэрэв буруу тохируулбал фаз ба агууригийн алдааг үүсгэж хэмжилтийн эргэлзээг нэмэгдүүлэх эрсдэлтэй байдаг. Фазын алдаа нь хэмжилтийн антены фазын төвийг ойлгогч гадаргуугийн фокусын цэгтэй нийцүүлээгүйгээс үүсдэг. Хэмжилтийн антены фазын төв нь давтамжаас хамааран шилжиж болох тул давтамжийн зурвасын дагуу фокусын тохиргоо алдагдах боломжтой. Өгөгдсөн хэмжээтэй чимээгүй бүс (QZ) болон ойлтын фокусын зайн уртын хувьд чимээгүй бүс (QZ)-ийн агууригийн өөрчлөлт (taper) нь гол төлөв хэмжилтийн антены агууригийн шинж чанараас хамаардаг. Гэсэн хэдий ч фокусын цэгээс ойлтын төв ба гадна талын хэсэг хүртэлх замын уртын зөрүүгээс шалтгаалан бага зэрэг агууригийн өөрчлөлтийг (taper) үүсгэдэг. Практикт ойлгогчийн зах дахь чадлын алдагдлыг нөхөхийн тулд хэмжилтийн антены цацаргалтын чигийг ойлтын төвөөс бага зэрэг дээш чиглүүлдэг.

Туйлшралын үл нийцэх байдал: Чимээгүй бүс (QZ) дахь туршилтын дохионы туйлшралын үл нийцэх байдал нь хэмжилтийн антен болон орчны ойлтын деполяризацийн нөлөөллөөс шалтгаална. Өсгөлтийн стандарт антены туйлшралын үл нийцэх байдал нь өсгөлтийн хэмжилтийн эргэлзээнд нөлөөлдөг. Учир нь өсгөлтийн стандарт антен нь ихэвчлэн хэмжигдэж буй антены туйлшралын лавлах чиглэлийг тогтоодог. Тойрог туйлшрал, ялангуяа хөндлөн туйлшралыг нэгтгэхийн тулд хоёр шугаман туйлшралын хэмжилтийг нэгтгэвэл алдаа их байж болно (10-р бүлгийг үзнэ үү).

Хэмжилтийн антены дохио чимээгүй бүсэд салаалах нь: Хэмжилтийн антен ба чимээгүй бүсийн хоорондох шууд салаалалт нь өсгөлт болон хажуугийн дэлбээний эргэлзээний шалтгаан болж болно.

Чимээгүй бүсийн чиглэлд антены цацрагийг хаахын тулд шингээгч хаалт ашиглан шууд салаалалтыг багасгаж болно.

Энэ алдааны тооцоог орчны геометр болон чимээгүй бүсийн байршилтай холбоотойгоор хэмжилтийн антены чиглэлийн диаграммыг үнэлэх замаар хийнэ. Шингээгч хаалт ашиглах нь шууд салаалалтаас урьдчилан сэргийлдэг бөгөөд хаалт нь хэмжилтийн антены чиглэлийн диаграммыг гажуудуулахгүй, бүтцийн хамааралтай сарнилтаас зайлсхийхүйц хийгдсэн байх ёстой.

Ойлгогчийн ирмэгийн дифракци: Ойлгогч гадаргуугийн жигд бус байдлаар болж ойлгогч дээр дохионы сарнилт үүсдэг. Бага давтамжтай үед анхдагч алдаа нь ойлгогч гадаргуугийн зах дээр үүсдэг ба энэ нь ойлгогч ба чөлөөт орон зай хоорондын зааг дээр гадаргуугийн гүйдэл үүсдэгтэй холбоотой юм. Сарнисан энергийн нэг хэсэг нь чимээгүй бүс рүү тархах ба ингэснээр анхдагч туршилтын дохионы өсгөлт болон хажуугийн дэлбээний эргэлзээг нэмэгдүүлдэг. Энэ алдааг багасгах хэд хэдэн арга байдаг тухайлбал долгион ойж байгаа ирмэгийг янз бүрээр хэлбэржүүлэх арга байж болно.

Хоёр нийтлэг арга бол ойлгогч гадаргуугийн ирмэгийг шүд хэлбэрийн зүсэлттэй болгох эсвэл мөлгөр цувисан ирмэгтэй болгож хийх зэрэг юм.

Энэ алдааг чимээгүй бүсэд хэмжилтийн тэнхлэг дагуу тархаж буй үндсэн дохиотой интерференцэд орох сарнисан энергийн дохионы түвшинг тооцоолох замаар үнэлж болно.

Эсвэл 7.4-т заасны дагуу чимээгүй бүс дэх оронгийн хэмжээг пробоор хэмжин үнэлж болно.

Ойлгогч гадаргуугийн тэгш бус байдал: Өндөр давтамжууд дээр ойлгогч гадаргуугийн тэгш бус байдал нь эргэлзээний хүчин зүйл болж болох бөгөөд ойлгогч гадаргуугийн хувьд дохиог оновчтой фокуслах чадварыг нь хязгаарладаг. Энэ нөлөө нь давтамж нэмэгдэж, гадаргуугийн шинж чанар нь долгионы уртын мэдэгдэхүйц хэсэг болох тусам фокуслах чадварыг хязгаарлаж болно.

Нэвчилт ба харилцан нөлөөлөл: Нэвчилт нь когерент цацраг санамсаргүйгээр чэмбэр дотор бий болоход үүсдэг бөгөөд ихэвчлэн кабелиуд буруу холбогдсон, гэмтсэн үед үүснэ. Мөн түүнээс гадна холигч, өсгүүр, сэлгэн залгагч, хүчдэл үржүүлэгч, тусгаарлагч зэрэг бусад бичил долгионы төхөөрөмжүүдэд нэвчилт тохиолддог.

Хэмжилтийн төхөөрөмжийн хэлхээнд нэвтрүүлэх, тулгуур (reference) болон хүлээн авах дохионуудын хоорондын дотоод тусгаарлалт муу байснаас үүдэлтэй интерференц нь төхөөрөмжийн дотоод харилцан нөлөөллийн нэвчилтийг үүсгэдэг.

Эдгээр хоёр нөхцлийг тус тусад нь шалгаж болно.

Дотоод харилцан нөлөөллийг дохионы үүсгүүрийн гаралт болон хүлээн авагчийн оролт тус бүрийг нь терминалд холбож, давтамжаас хамааран өгөгдөл цуглуулах аргаар шинжилдэг.

Нэвчилтийг шалгахын тул хэмжилтийн рупор антены оролтод дамжуулах шугамыг төгсгөж (terminated), өнцөг болон давтамжаас хамааран өгөгдөл цуглуулан туршилт хийнэ.

Нэвчилтийг бүрэн тодорхойлохдоо хүрээний тэжээлийн антен холбогдсон гэхдээ хэмжигдэж буй антены кабелийг салгаж, терминалд холбосон үед нэвчилтийн шинж чанарыг цуглуулах аргыг ашиглана.

Харилцан нөлөөллийн туршилтын үед хамгийн бага түвшнээс дээшхи дохиог нэвчилт гэж үзнэ. Энэ туршилтыг хийхдээ ихэвчлэн өсгөлтийн стандарт антеныг хүлээн авагч байдлаар ашиглана.

Нэвчилтийн дохиог дохионы оргил утгатай харьцуулахад –70 дБ-ээс бага түвшинд хүртэл бууруулах нь өсгөлт болон хажуугийн дэлбээний эргэлзээг бууруулдаг. Хэмжилтийн систем дэх дотоод нэвчилт нь агууриг болон фазын хэмжилтэд нөлөөлж болох бөгөөд энэ үед хэлхээг дахин зохион байгуулахгүйгээр амархан засварлах боломжгүй юм.

Зарим тохиолдолд RF шингээгч материал, дамжуулагчын шинжтэй бүрээс эсвэл халхавч, зөгийн үүр хэлбэрт агааржуулалтын нүх, зэс эсвэл никель хальс, дамжуулагч эпокси зэргийг ашиглан алдагдлыг багасгаж болно.

Өрөөн дэх сарнилт: Ихэнх авсаархан орчин нь бичил долгионы шингээгч материалаар бүрсэн өрөөн дотор зохион байгуулагддаг. Шингээгчийн төрөл, зохион байгуулалтыг сонгохдоо шал, хана, тааз зэрэгт ойж чимээгүй бүс рүү дахин чиглэх аливаа сарнисан энергийг сулруулах зорилгоор сонгоно. Бичил долгион шингээгч материалыг зөв сонгох болон шингээгчийг чөмбөрт зөв байрлуулах нь ямар ч антены авсаархан хэмжилтийн орчны чухал юм. Дохионы ирэх өнцөг нь заримдаа шингээгчийн оновчтой ажиллах чиглэлтэй давхцахгүй тохиолдол гарах тул энергийн зарим хэсэг нь шингэхгүйгээр ойдог. Хэмжилтийн орчныг анх загварчлахдаа олон төрлийн геометр бүхий шингээгч материалыг туршиж деталуудын үзүүр болон хавтгай гадаргуунуудаас үүсэх сарнилтыг хяах нөхцөлийг бүрдүүлсэн байдаг. Шингээгчийн бистатик ойлтын шинж чанарыг (bistatic reflectivity) шинжилснээр чимээгүй бүсэд сарнисан дохионы түвшинг тооцоолон үнэлж болно.

Чимээгүй бүсийн агууригийн өөрчлөлт: Хэмжилтийн антены гол цацрагийн агууригийн характеристик чимээгүй бүсэд проекцлогддог бөгөөд чимээгүй бүсийн өөрчлөлтийн ихэнх хувийг эзэлдэг.

Энэ агууригийн өөрчлөлт нь давтамжаас хамааран аажмаар өөрчлөгдөж, өргөн зурвастай антенууд өндөр давтамжид илүү тодорхой агууригийн өөрчлөлтийг үүсгэхэд хүргэдэг.

Өргөн зурвасын антен ($> 2:1$ зурвасын өргөн) нь загвараасаа хамааран давтамжийн функцаар фазын төвийн нэмэлт шилжилт эсвэл агууригийн өөрчлөлтийг мэдрэх боломжтой. Хэмжилтийн антенг сонгохдоо системийн ерөнхий ажиллагаа болон тухайнтөлөвлөсөн хэрэглээний хувьд хэмжилтийн шаардлагыг харгалзан үзэх ёстой. Энэ нөхцөл байдал нь нь өсгөлтийн хэмжилтийн эргэлзээнд нөлөөлдөг.

Үл зохицоо: Антен болон хүлээн авагчийн хоорондох дамжууллын шугамын ойлт нь тэнд байгаа төхөөрөмж бүрийн ойлтын коэффициентээс шалтгаалах бөгөөд энэ нь хэмжилтийн эргэлзээг үүсгэж болно. Энэ нөхцөл нь хэмжигдэж буй антен болон өсгөлтийн стандарт антен аль алинд нь байдаг (12.2-ыг үзнэ үү).

Практикт ойсон дохиог бууруулахын тулд аттеньонатор (сулруулагч) ашигладаг бөгөөд үүний улмаас динамик цараа буурдаг. Зарим тохиолдолд тусгаарлагч (isolator) эсвэл диплексер ашиглаж болно (6.4 хэсгийг харна уу).

Өөрөөр хэлбэл, дамжууллын шугамын ойлтын нөлөөг математикийн аргаар тооцож болно. Энэ нь зөвхөн өсгөлтийн хэмжилтийн эргэлзээнд нөлөөлдөг.

Хэмжигдэж буй антенны байрлал тогтоох систем: Хийгдэж буй хэмжилтийн төрлөөс хамаараад хэмжилтийн нийт эргэлзээнд байрлалаас үүсэх алдааны нөлөө гэж байдаг. Хөндлөн туйлшрал (Cross-polarization)-ын шинж чанар нь ижил туйлшрал (co-polarization)-ын хэмжилтээс илүү байрлалын алдаанд мэдрэмтгий байдаг. Биеэ даасан хоёр ортогональ шугаман туйлшралын хэмжилтээс тойрог туйлшралын синтез хийх гэх мэт туршилтын дохиог хослуулсан хэмжилтийн боловсруулалтын үед тухайн хэмжилт нь байршлын алдаанд илүү мэдрэмтгий байдаг.

Шугаман бус байдал: Бичил долгионы хүлээн авагч эсвэл бусад бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн шугаман бус байдал нь хэмжигдэж буй антенны чиглэлийн диаграммын хажуугийн дэлбээний хэмжилтийн эргэлзээг нэмэгдүүлнэ. Энэ хэмжигдэхүүнийг хүлээн авагч үйлдвэрлэгчдээс тодорхой динамик цараанд шугаман бус байдлаар тогтоон өгсөн байдаг.

Динамик цараа: Бага агууригтай дохионы хэмжилт нь хэмжилтийн систем дэх когерент бус интерференц болон шуугианы үүсгүүрээс үүсэх алдаанд илүү өртөмтгий болдог. Дохио ба шуугианы өндөр харьцааг (SNR) хадгалах нь интерференцийн алдааг багасгахад тусална. Тухайлбал 45 дБ-ийн динамик цараа нь өсгөлтийн хэмжилтийн эргэлзээг 0.05 дБ хүртэл бууруулахад хангалттай. Мөн хажуугийн дэлбээний түвшин буурах тусам хажуугийн дэлбээний хэмжилтийн эргэлзээнд нөлөөлнө.

RF-ийн давтан хэмжилтэнд гарах алдаа: Чимээгүй бүсийн агууриг ба фазын алдаанаас гадна бичил долгионы дэд системд кабелийн гулзайлтаас үүсэх агууриг ба фазын гажуудал, температур, чийгшлийн өөрчлөлтөөс шалтгаалсан багажны техникийн алдаа, туршилтын дохиог холих, нягтруулах зэргээс шалтгаалсан алдаа зэргийг нэмж тооцох хэрэгтэй.

Олон тооны ойлт: Хэмжигдэж буй антенны тархалтын хөндлөн огтлол нь ойлгогч руу чиглэж сарнисан дохио үүсгэдэг ба энэ нь хэмжигдэж буй антен руу буцаж тархан интерференц үүсгэдэг. Антенны радарын хөндлөн огтлол нэмэгдэх тусам энэ алдаа нэмэгддэг ба мөн хэмжилтийн үндсэн тэнхлэгийн дагуу өөр өөр байршилд хэмжилт хийх замаар алдааг үнэлж болно. Энэ төрлийн хэмжилтэнд хэмжигдэж буй антенны байрлалыг хялбар өөрчлөхийн тулд шалан дээр гүйх суурь (floor slide) ашиглаж болно.

Өсгөлтийн стандарт антен (Gain standard): Антенны өсгөлтийн хэмжилтийг ихэвчлэн 9.4-т тайлбарласан өсгөлтийг шилжүүлэх аргаар гүйцэтгэдэг бөгөөд антен хэмжилтээр гарсан утгууд болон өсгөлтийн стандарт антенны урьдчилан мэдэгдэж буй өсгөлтийн утгуудыг ашиглан нормчлох коэффициентийг гарган авдаг.

Өсгөлтийг шилжүүлэх арга нь бүхэл бүтэн хэмжилтийн шилжүүлгийн функцийг тооцдог ба тухайн царааны давтамжийн хариу үйлдлийг нөхдөг.

Өсөлтийн стандарт антен нь чиглэлийн диаграммынхаа хамгийн их утгын цэгт хэмжигдсэн байх бөгөөд эндээс тооцоолсон нормчлолын коэффициентийг бүх дараагийн хэмжилтүүдэд хэрэглэснээр туршиж буй антены чиглэлийн диаграммыг нормчилон гаргадаг. Өсөлтийн стандарт антен бүр шинжилгээнд тооцох ёстой өөрийн гэсэн хэмжилтийн эргэлзээтэй байдаг. Энэхүү хэмжилтийн эргэлзээний тухай мэдээллийг баталгаажуулалтын лабораторийн гэрчилгээнээс авч болно.

Хүснэгт 7- Жишээ: Хэмжилтийн авсаархан орчинний эргэлзээний шинжилгээний хүснэгт

			Өсгөлтийн эргэлзээ (дБ)			-30дБ Хажуугийн дэлбээний эргэлзээ		
Эргэлзээ үүсэх шалтгаан	Төрөл	Тархалт	Утга	Хуваагч	Стандарт эргэлзээ	Утга	Хуваагч	Стандарт эргэлзээ
Хэмжилтийн антеныг тохируулах	B	Тэгш өнцөгт	0.000	1.73	0.000	0.000	1.73	0.000
Туйлшрал үл тохирох байдал	B	Тэгш өнцөгт	0.016	1.73	0.009	0.000	1.73	0.000
Хэмжилтийн антены дохио чимээгүй бүсэд салаалах	B	U хэлбэртэй	0.006	1.41	0.004	0.169	1.41	0.120
Ойлгогч гадаргуугийн ирмэгийн дифракци	B	Тэгш өнцөгт	0.138	1.73	0.080	0.865	1.73	0.500
Ойлгогч гадаргуугийн гадаргуугийн тэгш бус байдал	B	Тэгш өнцөгт	0.000	1.73	0.000	0.000	1.73	0.000
Нэвчилт ба хөндлөн нөлөөлөл	A	Тэгш өнцөгт	0.000	1.73	0.000	0.000	1.73	0.000
Өрөөн дэх сарнилт	B	Тэгш өнцөгт	0.000	1.73	0.000	0.087	1.73	0.050
Чимээгүй бүсийн агууригийн өөрчлөлт	B	Нормал	0.054	3	0.018	0.000	3	0.000
Үл зохицоо- Mismatch	B	U хэлбэртэй	0.348	1.41	0.247	0.000	1.41	0.000
Хэмжигдэж буй антены байрлал тогтоох систем	B	Тэгш өнцөгт	0.000	1.73	0.000	0.000	1.73	0.000
Шугаман бус байдал	B	Тэгш өнцөгт	0.000	1.73	0.000	0.151	1.73	0.087
Динамик цараа	A	Нормал	0.000	3	0.000	0.270	3	0.090
RF-ийн давтан хэмжилтэнд гарах алдаа	A	Нормал	0.066	3	0.022	0.000	3	0.000
Олон тооны ойлт	B	U хэлбэртэй	0.000	1.41	0.000	0.000	1.41	0.000
Өсгөлтийн стандарт антен	B	Нормал	0.370	2	0.185	0.000	2	0.000
Нийт стандарт эргэлзээ					0.32	0.53		
Хамрах хүрээний хүчин зүйл					2	2		
Өргөтгөсөн эргэлзээ					0.64	1.06		

ТӨГСӨВ.