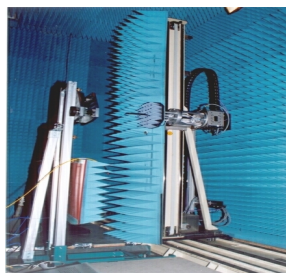


Антенни измервания

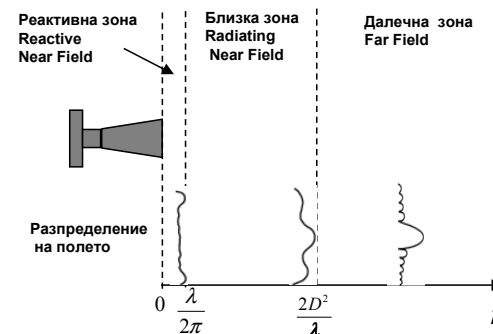


1

Антенни измервания

1. Зони на електромагнитно излъчване

Излъченото поле от антената се определя от вектора на Пойнтинг. В близост до антената той е реактивен (имагинерен) и има компоненти и по трите координатни оси. Интензитета на полето намалява по-бързо от $1/r$ в непосредствена близост до антената и пропорционално на $1/r$ в далечната зона.



2

Антенни измервания

1.1 Реактивна близка зона

Зоната се простира в непосредствена близост до отвора на антената на разстояние

$$0 < r < \frac{\lambda}{2\pi}$$

В тази зона векторът на Пойнтинг е имагинерен (няма излъчване) и има компоненти и по трите сферични координати (r, θ, φ) които затихват по-бързо от $1/r$

1.2 Близка зона на излъчване (Зона на Френел)

Зоната се простира на разстояния от антената в интервала

$$\frac{\lambda}{2\pi} < r < \frac{2D^2}{\lambda}$$

Където D е най-големият размер на антенната апертура. Близката зона може да се раздели на две подзони

$$\frac{\lambda}{2\pi} < r < \frac{D^2}{4\lambda} \longrightarrow \text{Полето намалява по-бързо от } 1/r \text{ и диаграмата на насоченост зависи от } r$$

$$\frac{D^2}{4\lambda} < r < \frac{2D^2}{\lambda} \longrightarrow \text{Полето намалява с } 1/r, \text{ но диаграмата на насоченост зависи от } r. \text{ Диаграмата на насоченост е равна на Фурие преобразованието на полето в апертурата с фазова грешка над } 22.5^\circ. \text{ Тази грешка зависи от } r \text{ и клони към } 0 \text{ с нарастване на разстоянието.}$$

3

Антенни измервания

1.3 Далечна зона (Зона на Фраунхофер)

Зоната се простира на разстояния от антената в интервала

$$r > \frac{2D^2}{\lambda}, r > 10\lambda \longleftarrow \text{при малки антени}$$

Векторът на Пойнтинг е изцяло реален и има само две компоненти в сферичната координатна система (θ, φ) . Полето затихва пропорционално на $1/r$ и диаграмата на насоченост не зависи от r. Тя се определя от Фурие преобразованието от разпределението в апертурата с фазова грешка по-малка от 22.5° .

В зависимост от това в коя зона на електромагнитното поле в близост до антената се извършва измерването, антените измервания се делят на:

- **Антенни измервания в близката зона** (в зоната на Френел)
 - **Антенни измервания в далечната зона** (в зоната на Фраунхофер)
- При измерване в далечната зона антенните параметри като диаграма на насоченост, коефициенти на насочено действие и усилване, ефективност на антената и др. могат да бъдат измерени директно, докато при измерване в близката зона се налага резултатите да бъдат допълнително обработени, за да бъде изчислено излъченото поле и свойствата на изследваната антена в далечната зона.

4

Антенни измервания

2. Антенни параметри

Параметри на излъчване Radiation characteristics

- Диаграми на насоченост
- Коефициент на насочено действие
- Усилване
- Фазова диаграма на насоченост
- Поляризационна диаграма
- Ефективност на антената
- Ефективна изотропна излъчена мощност
- Коефициент на качество
- Шумова температура

Схемни параметри Circuit Characteristics

- Входен импеданс
- КСВ, коефициент на отражение
- Изолация между входовете

Конструктивни параметри Structural integrity

- Устойчивост на вибрации
- Механична здравина и удароустойчивост

Максимална мощност и напрежение Power –handling capabilities

- Максимална работна мощност
- Пробивно напрежение

Електромеханични параметри Electromechanical

- Точност на насочване
- Скорост на следене

Климатични параметри Environmental

- Ветроустойчивост
- Влагозащитеност
- Работен температурен интервал
- Работна надморска височина

5

Антенни измервания

3. Параметри на излъчване

Всяка антена може да бъде разглеждана като устройство трансформиращо електромагнитните вълни, от такива разпространяващи се в предавателни структури (канализиращи системи), във вълни разпространяващи се в свободното пространство. При това антената е обратимо устройство и основните и параметри са еднакви в режим на предаване или приемане. Най-често антените параметри биват измервани в режим на приемане, поради по-удобната конфигурация на измервателната постановка.

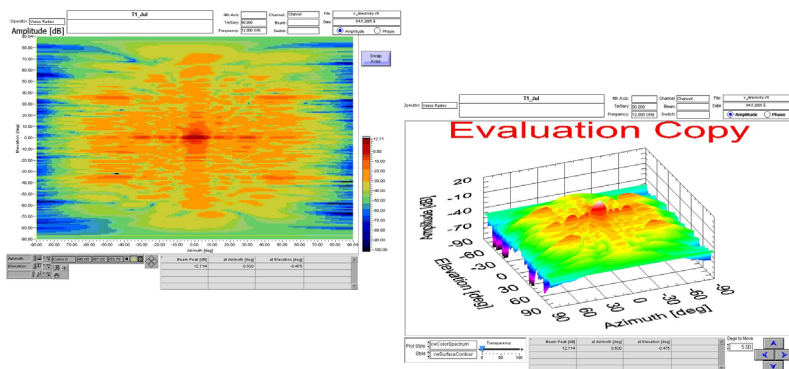
3.1 Диаграма на насоченост

Диаграмата на насоченост определя (описва) пространствената функция на излъчването по напрежение или по мощност. Най-често тази функция се описва в сферична координатна система (θ, φ) на зададено разстояние от антената (в далечната зона) и за определена честота. Типичната диаграма на насоченост се състои от главен максимум (главен лист) – *main beam*, определящ посоката на максимално излъчване и странични излъчвания – *side lobes*.

В зависимост от използвания метод на измерване, може да бъде измерена (снета) пространствената диаграма на насоченост или определени нейни сечения (*pattern cuts*). Най-често използваните в практиката сечения са т.н. "основни сечения" (*principal cuts*), които при антените работещи с линейна поляризация се наричат още сечения в Е и Н равнина. Това са сечения в равнини които се определят от посоката на максималното излъчване и векторът на електрическото и магнитното полета. В антените работещи с кръгова поляризация основните сечения на диаграмата на насоченост се определят от равнините съдържащи хоризонталната и вертикална оси на симетрия. Сечения на диаграмата на насоченост обикновено се снемат за кополяризацията (поляризация на вълната на облъчващата антена съвпадаща с тази на изследваната антена) и за кросполяризацията, съответстваща на обратната поляризация и се изобразяват в логаритмичен мащаб.

6

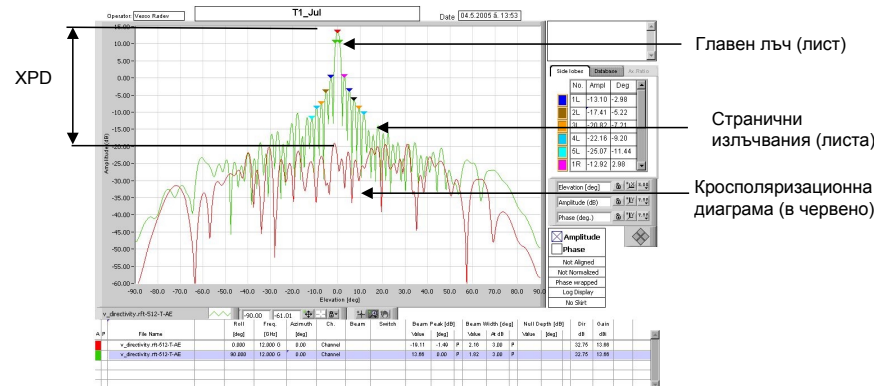
Антенни измервания



Пространствена диаграма на насоченост снета с помощта на планарен скенер в близката зона

7

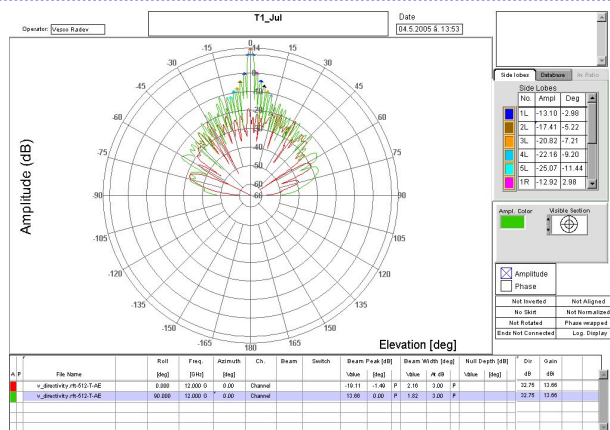
Антенни измервания



Основно сечение на кополяризацията и кросполяризацията диаграми на насоченост в правоъгълна (декартова) координатна система. Сечение в азимуталната равнина по $\varphi, \theta = const$
XPD (Cross Polarization Discrimination) коефициент на подтискане на обратната поляризация

8

Антенни измервания



Азимутални сечения на коополаризационната и кросполаризационна диаграми на насоченост в полярна координатна система

9

Антенни измервания

3.2 Коефициент на насочено действие (*Directivity*)

Определя насочените свойства на антената. Дефинира се като отношение на интензитета на излъченото поле в направление на главния максимум спрямо това на изотропен, ненасочен излъчвател, запазен със същата мощност. Най-често се измерва в логаритмични единици dB. На практика стойността му се изчислява от снетата пространствена диаграма на насоченост на антената, като отношение на мощността излъчена в посоката на главния максимум към цялата мощност излъчена от антената.

3.3 Усилване на антената (*Gain*)

Свързан е тясно с коефициента на насоченост, но отчита и всички загуби в антената. Измерва се в логаритмични единици dB.

3.4 Ефективност на антената (*Efficiency*)

Определя се като отношение между коефициента на насоченост и усилването на антената. Отчита всички загуби на електромагнитната енергия преди да бъде излъчена – отражение от входа, загуби в проводящите и диелектрични материали от които е направена антената, загуби от засенчване, преливане и др.

3.5 Поляризационни свойства на антената (*Polarization*)

Способност на антената да приема или излъчва електромагнитни вълни с определена поляризация – линейна или кръгова и способността и да подтиска излъчването или приемането на електромагнитни вълни с обратната поляризация. Коефициент на подтискане на обратната поляризация (Cross polarization discrimination).

10

Антенни измервания

3.6 Ефективна изотропна излъчена мощност (*EIRP*)

Параметър на предавателните антени, определящ излъчваната мощност в направление на главния максимум на диаграмата на насоченост. Определя се като произведение от мощността подавана на входа на антената и нейното усилване. Измерва се в логаритмични единици dBm или dBW.

3.7 Шумова температура на антената (*Noise temperature*)

Определя се от шумовата мощност приета от антената на дадена честота. Може да се определи като произведение от насочеността на антената и интензивността (яркостта) на шумовото излъчване на заобикалящата среда. Това излъчване може да има много източници – космически, атмосферни, топлинно излъчване от Земята и небето (космоса), промишлени шумове и др. Измерва се в градуси Келвин.

3.8 Коефициент на качеството на антената в режим на приемане (*G/T*)

Определя отношението сигнал шум на изхода на антената. Отношение на усилването на антената към шумовата температура. Измерва се в логаритмични единици dB/K.

11

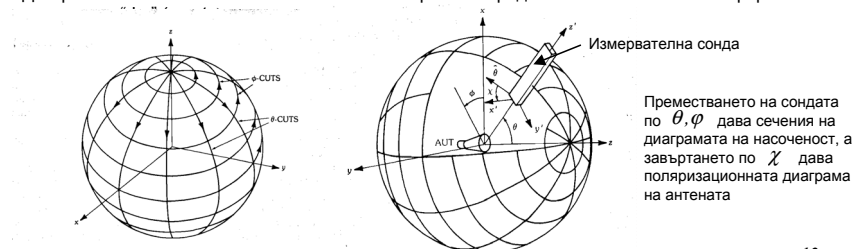
Антенни измервания

4. Измерване на диаграми на насоченост в далечната зона

4.1 Диаграми на насоченост

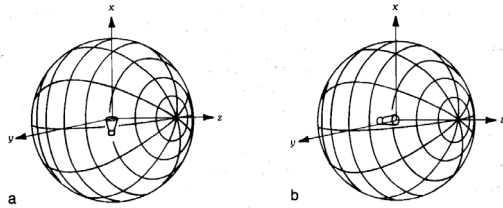
Диаграма на насоченост – пространственото разпределение на някоя от величините, характеризиращи полето, излъчено от антената: интензитет на потока мощност, напрегнатост на полето, насоченост, усилване, фазово разпределение и поляризация. Измерването на диаграмата на насоченост е основно антенно измерване, чрез което може да се окачестви всяка една антена.

Полето излъчено от всяка антена в далечната зона обикновено се измерва по повърхността на сфера (наречена "сфера на излъчване"), като всяка точка от повърхността на тази сфера се характеризира с координати θ, φ . Диаграмите на насоченост обикновено се измерват в определени сечения на тази сфера



12

Антенни измервания



Стандартни ориентации на измерваната антена спрямо сферичната координатна система върху сферата на излъчване: а) Екваториална ориентация (**най-често използвана**) б) Полярна ориентация
Главни сечения на диаграмата

- θ сечение при $\varphi=0$
- φ сечение при $\theta=0$

Кополаризационна и кросполаризационна диаграми в зависимост от ориентацията на вектора на електрическото поле на референсната антена (пробника) и поляризацияните свойства на измерваната антена.

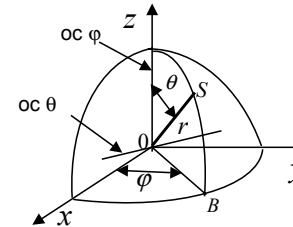
Измерват се двете компоненти на електрическото поле ориентирани по тангентата към двата координатни кръга в дадена точка от повърхността на сферата на излъчване E_θ, E_φ

13

Антенни измервания

4.2 Полигони за измерване на диаграмата на насоченост в далечната зона

4.2.1 Позиционери и координатни системи



Позиционерът представлява платформа, която може да се върти по двете оси θ, φ , върху която се поставя измерваната антена, така че фазовият и център да съвпада с центъра на координатната система 0.

В практиката най-често се използват двuosни позиционери макар че съществуват и позиционери с възможност за движение по три оси.

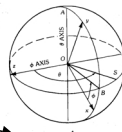
Най-често използваната в практиката постановка за измерване диаграмата на насоченост е тази, при която антената се върти с помощта на позиционер, а референсната антена е неподвижно закрепена в някаква точка от повърхността на сферата на излъчване в далечната зона, така че в начална позиция осите на главния лъч на референсната антена и измерваната антена да съвпадат. Друга възможна конфигурация на постановката на измерване е, когато измерваната антена е неподвижна, а измервателната сонда се движи описвайки окръжности по φ и θ върху повърхността на сферата на излъчване. Такъв тип конфигурация се използва най-често при измерване на умалени модели на изследваните антени.

14

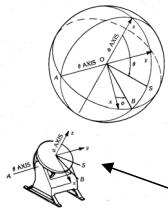
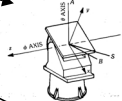
Антенни измервания

Типове двuosни позиционери – три основни типа

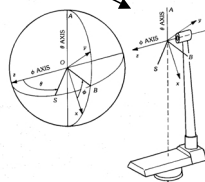
Позиционер “елевация върху азимут”



Позиционер “осево въртене върху азимут”



Позиционер “азимут върху елевация”



15

Антенни измервания

4.2.2 Основни критерии при проектиране на полигони за антени измервания в далечната зона

При измерване на изследваната антена в режим на приемане важно условие е, да се осигури плоска електромагнитна вълна в зоната на измерване, затова при проектирането на полигона трябва да бъдат спазени следните изисквания:

- Реактивното поле да бъде много по-слабо от излъченото поле в зоната на измерване.

$$R \geq 10\lambda$$

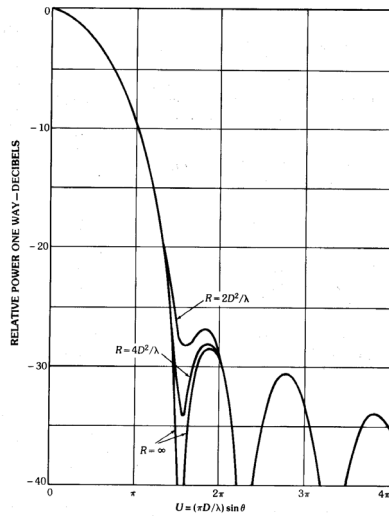
- Отражението (стоящата вълна) между двете антени да бъде малко – около 45 dB return loss в отвората на референсната антена
- Напречна неравномерност на амплитудата на полето в зоната на измерване – обикновено се поставя ограничение тази нееднородност да е по-малка от 0.25 dB, което дава грешка при измерване на усилването от 0,1 dB
- Надлъжна неравномерност на полето в зоната на измерване – отразява се като грешка при измерване на страничните листа отстоящи на 90° от главния максимум. Ограничава се до 1 dB
- Неравномерност на фазовото разпределение в зоната на измерване – основен източник на грешките при измерването. Критерий – фазовата неравномерност да е по-малка от $\pi/8$ rad.

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

- Отражения от околни обекти, позиционера, антената кула и интерференция от други комуникационни съоръжения

16

Антенни измервания



Влияние на разстоянието между референсната антена и измерваната антена при полигоните за измерване на диаграмата на насоченост в далечната зона.

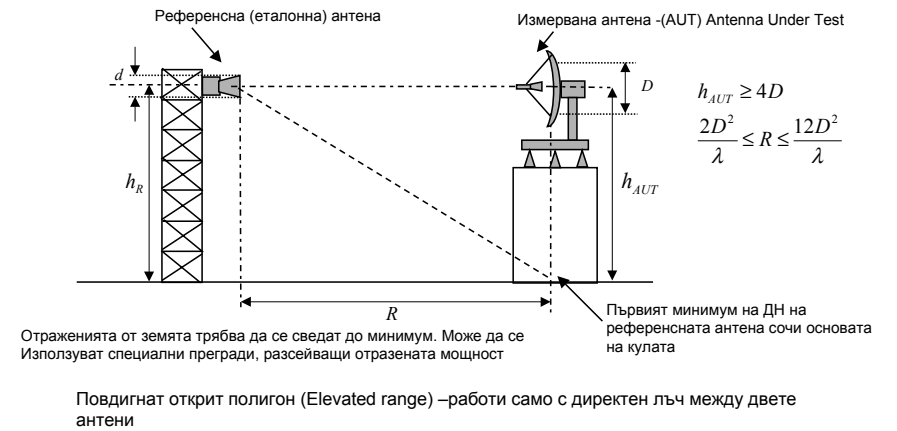
При недостатъчно голямо разстояние между антените първите странични листа се сливат с главния максимум, запълват се нулите. Грешки при измерване на усилването на антената и нивото на първите странични листа.

Грешките са особено големи при антени с ниско ниво на страничните излъчвания- голям тейпъринг в арпертурата на антената.

17

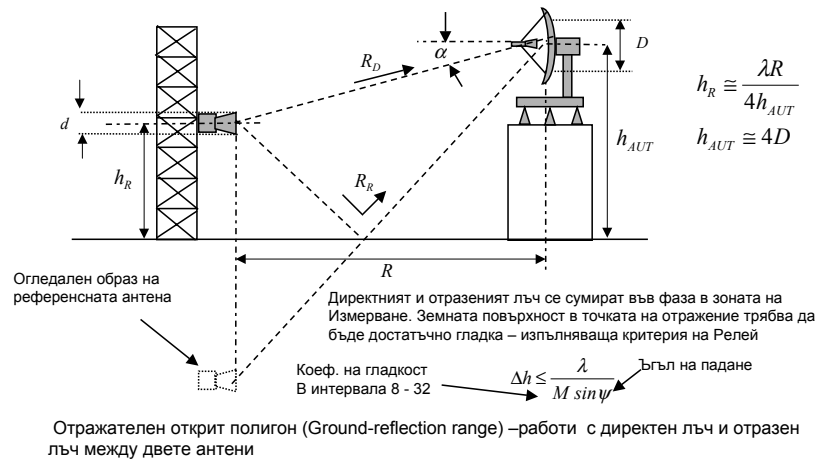
Антенни измервания

4.2.3 Открити полигони за измерване в далечната зона –три основни типа



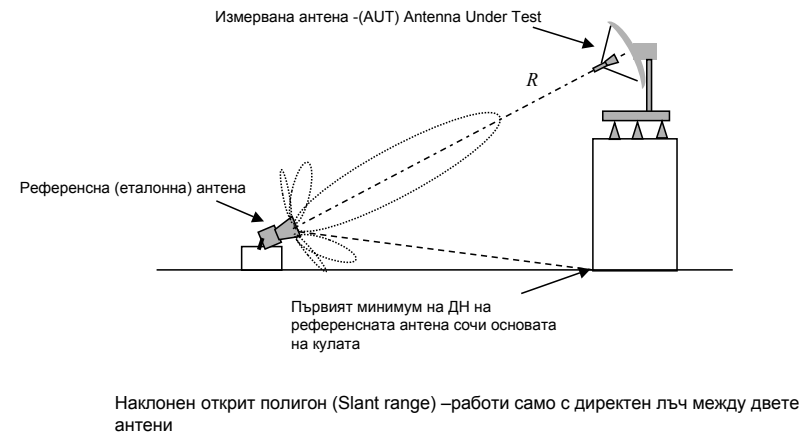
18

Антенни измервания



19

Антенни измервания



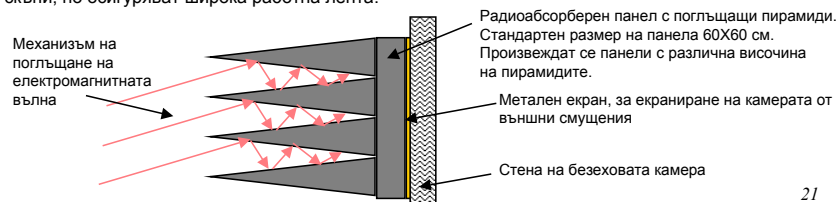
20

Антенни измервания

4.2.4 Закрити полигони за измерване в далечната зона

За да може едно закрито помещение да се използва за антени измервания, трябва да се елиминират отраженията от стените, пода и тавана му (т.н. "безехови камери"). Това става чрез облицоване на помещението с т.н. радиопоглъщащи материали (абсорбери), които поглъщат падащата върху тях електромагнитна енергия и по-този начин намаляват мощността на отразената вълна обикновено с повече от 50dB. В качеството на радиопоглъщащи материали обикновено се използват полиуретанови пирамиди напълнени с поглъщащ радиовълните въглероден прах и други примеси, правещи ги негорими. Тези пирамиди осигуряват добро поглъщане на електромагнитната вълна в широка лента и при различни ъгли на падане, като долната граница на работния им обхват зависи от размера на пирамидите. За по-ниски честоти те трябва да имат по-голяма височина.

За честоти под 1 GHz размерите на пирамидите стават много големи и заемат голяма част от обема на помещението, затова за обхвата от 30 до 1000MHz обикновено се използват феритни плочи, които заемат малко място, но поглъщането е резонансно и сравнително теснолентово. Съществуват и комбинирани покрития с използването на феритни слоеве и поглъщащи пирамиди, които са по-същипи, но осигуряват широка работна лента.

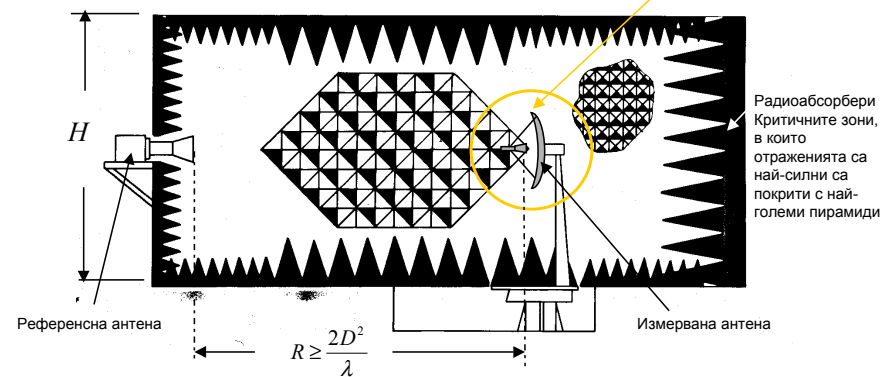


21

Антенни измервания

4.2.5 Типове закрити полигони за измерване в далечната зона

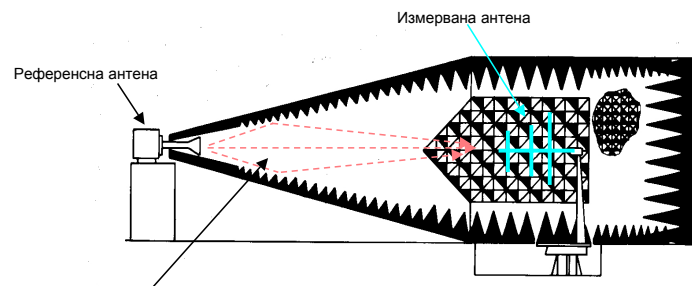
Тиха зона с диаметър около 1/3 H



Безехова камера (Anechoic chamber) със стандартна форма на паралелепипед

22

Антенни измервания

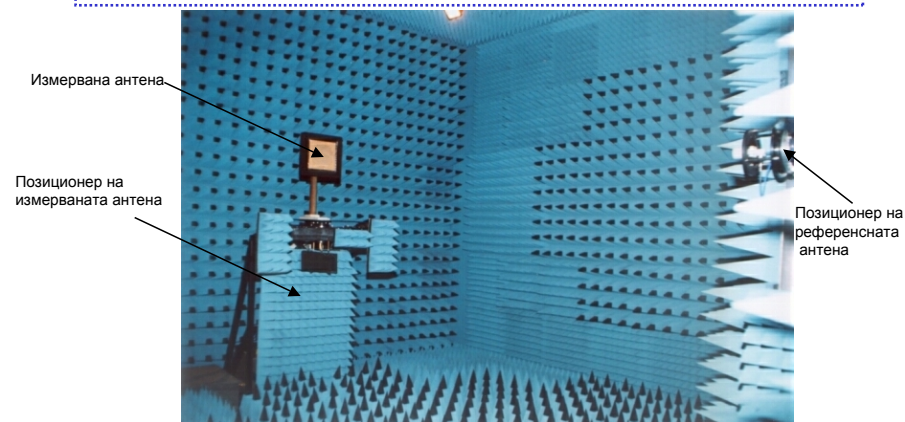


Камерата има форма на рупор така, че отразените лъчи и директния лъч се сумират във фаза в тихата зона, поради което се допускат по-високи отражения от стените. Особено удачно и икономически ефективно решение при измервания на честоти под 1GHz

Модифицирана безехова камера (Tapered anechoic chamber) с форма на рупор

23

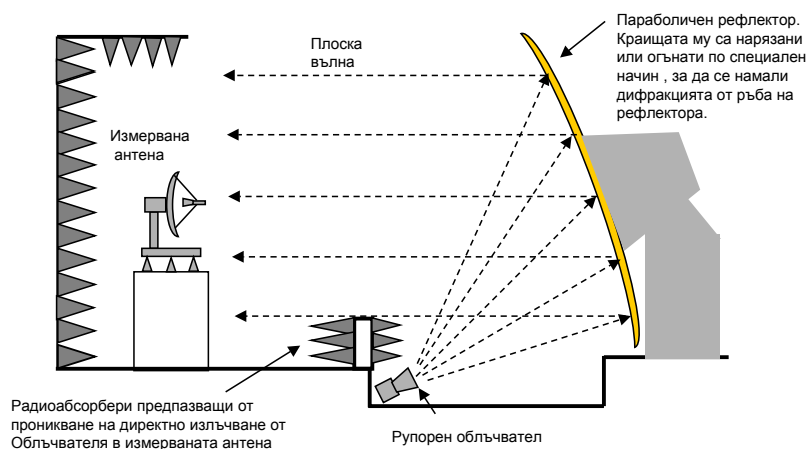
Антенни измервания



Безехова камера за антени измервания в далечната зона – всички стени на камерата и съоръженията в нея са покрити с пирамидални абсорбери

24

Антенни измервания



Компактен закрит полигон (Compact range)

25

Антенни измервания

Източници на грешки при измерване в компактен закрит полигон

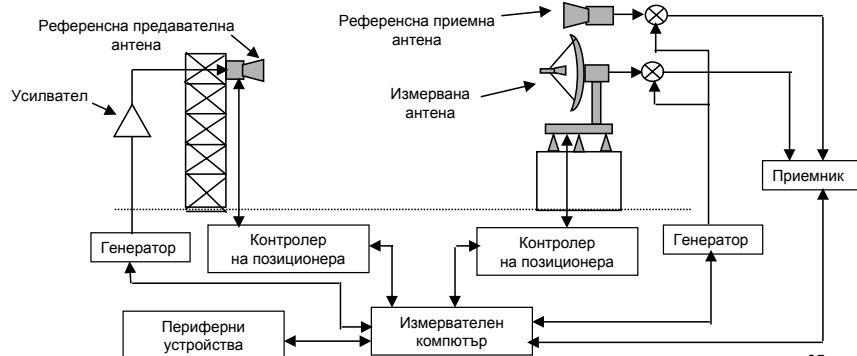
- Засенчване на рефлектора – за избягването му обикновено се използва офсетна конфигурация
- Точност на отражателната повърхност на отражателя – необходима е голяма прецизност при изработката, тъй като от това зависи еквифазността на вълновия фронт в зоната на измерване т.е. доброто приближение до измерване в далечната зона. Точността на повърхността на рефлектора определя и горната работна честота на полигона
- Дифракция от краищата на рефлектора – определя долната граница на честотите на което може да се ползува полигона. За да се намали дифракцията и дифрактиралата вълна да не попада в зоната на измерване обикновено ръба на рефлектора се нарязва или се огъва по специален начин, а дифрактиралата вълна се абсорбира с подходящо разположени радиоабсорбери.
- Дължината на фокуса на рефлектора – обикновено тази дължина се избира да бъде голяма, за да се намали деполаризационния ефект на рефлектора, което гарантира добър кроспол в зоната на измерване. От друга страна облъчвателя е далеч от рефлектора и може да бъде разположен и екраниран по подходящ начин така, че да не облъчва пряко измерваната антена.
- Диаграмата на излъчване на облъчвателя – подбира се облъчвател с ниско ниво на задни излъчвания, като допълнително се разполага и екранира с поглъщаща материя така, че излъчена от него енергия да не попада директно в зоната на измерване.
- Отражения от стените на помещението, в което е разположен полигона – облицова се с поглъщатели (радиоабсорбери)
- Измервателната зона се разполага на разстояние $1/3$ до $1/2$ от диаметъра на рефлектора за да се гарантира най-добра еквиамплитудност и еквифазност на полето.

26

Антенни измервания

4.3 Апаратура на полигоните за измерване в далечната зона

Най-често използвания комплект апаратура включва: генератор за захранване на предавателната антена; приемна апаратура, включена към измерваната антена; апаратура за завъртане и позициониране на изследваната антена и апаратура за обработка и разпечатване на резултатите от измерването. Най-често самото измерване се извършва автоматично и се контролира от компютър, зареден със съответния специализиран измервателен софтуер



27

Антенни измервания

4.4 Настройки и окачествяване на полигоните за измервания в далечната зона

4.4.1 Настройка на осите на позиционера

4.4.2 Настройка на насочването на референсната антена

Чрез пробна антена, която може да се движи по хоризонталната и вертикалната ос на зоната на измерване се измерва дали посоката на максимума на лъча на референсната антена сочи центъра на зоната на измерване. Той трябва да остане непроменен при завъртане на референсната антена на 180° .

4.4.3 Настройка на съостността на референсната и измерваната антена

Настройката може да стане оптически или чрез лазерен лъч. Важен критерий за съостността на двете антени е получаването на една и съща стойност на приетия в максимума на антенния лъч сигнал за различните основни сечения на диаграмата на насоченост. Разликата в нивото на сигнала между отделните сечения не бива да е по-голяма от $0.2 - 0.3$ dB.

4.4.4 Окачествяване на полигона по отношение на грешките внасяни от отражения

Чрез пробна антена, която се премества през $1/8$ от дължината на вълната по вертикалната и хоризонтална ос в зоната на измерване за определяне на посоката, от която идва отражението при малък ъгъл спрямо посоката на директния сигнал и по надлъжната ос за измерване на посоката на отразения сигнал при ъгли между директния и отразен лъч близки до 90° .

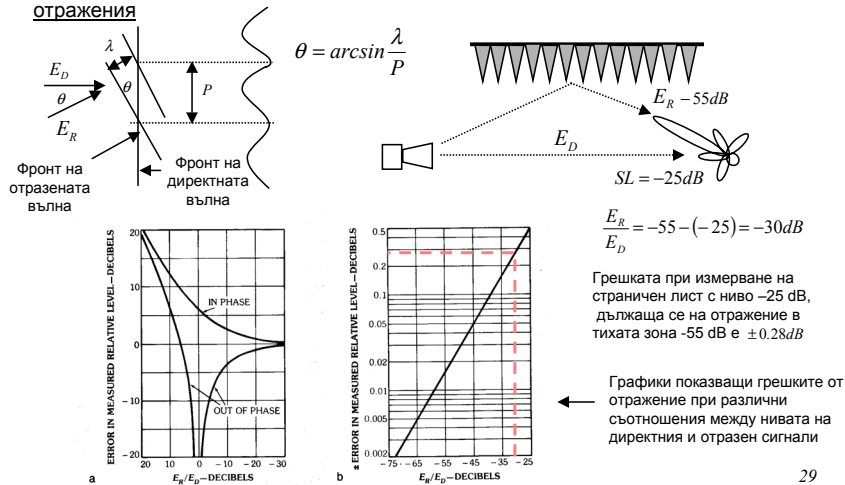
При окачествяване на тихата зона в безехови камери се измерва флуктоацията на полето по вертикалната, хоризонталната и надлъжна оси при завъртане на пробната антена на 10 стъпки от $0 - 360^\circ$, след което се изчислява максималното ниво на отразени сигнали в тихата зона за дадена честота.

28

Антенни измервания

4.5 Грешки при измерване на диаграмата на насоченост в далечната зона дължащи се на

отражения



29

Антенни измервания

5. Измерване на коефициента на насочено действие (КНД)

Параметър КНД може да се определи изцяло от измерените пространствени диаграми на насоченост за "ко" и "крос" поляризация. Тези диаграми може да се определят, като се снимат определен брой сечения. Колкото броя на сеченията е по-голям, толкова точността на изчислената стойност на КНД е по-голяма. Обикновено са необходими от 6 до 9 сечения на амплитудните диаграми на насоченост, снети при две ортогонални поляризации. Парциалните стойности на КНД се пресмятат за всяко сечение в нормиран вид, като отношение на главния максимум към площта на диаграмата (изчислена чрез числено интегриране), след което се определя цялостната стойност на КНД. Подпрограмите за изчисляване на КНД от диаграмата на насоченост обикновено са част от измервателния софтуер, използван на антенния полигон.

Стойност на максимума на ДН

$$D_m(\theta', \varphi') = \frac{\Phi_m(\theta', \varphi')}{\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \Phi(\theta, \varphi) d\varphi \sin \theta d\theta}$$

Нормирани спрямо максимума "ко" и "крос" пространствени ДН

$$D_m(\theta', \varphi') = D_1(\theta', \varphi') + D_2(\theta', \varphi')$$

КНД за "ко" и "крос" поляризации

$$D_1(\theta', \varphi') = \frac{\overline{\Phi}_1(\theta', \varphi')}{\frac{1}{4\pi} (\overline{P}_1 + \overline{P}_2)}; D_2(\theta', \varphi') = \frac{\overline{\Phi}_2(\theta', \varphi')}{\frac{1}{4\pi} (\overline{P}_1 + \overline{P}_2)}$$

$$\overline{P}_1 = \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} [\overline{\Phi}_1(\theta, \varphi) d\varphi] \sin \theta d\theta; \overline{P}_2 = \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} [\overline{\Phi}_2(\theta, \varphi) d\varphi] \sin \theta d\theta$$

За остро насочени антени може да се използва приблизителният израз за КНД в зависимост от ширината на главния лъч в двете основни сечения

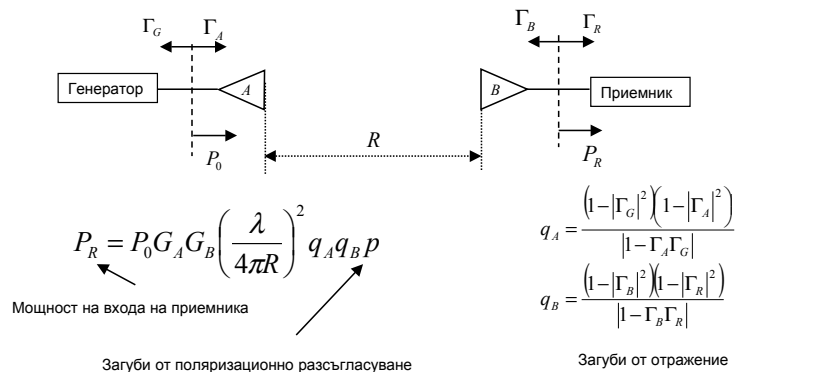
$$D_m(\theta', \varphi') = \frac{32400}{\Delta\theta_{-3\text{dB}} [\text{deg}] \times \Delta\varphi_{-3\text{dB}} [\text{deg}]}$$

30

Антенни измервания

6. Измерване на коефициента на усилване

Използваните методи за измерване на коефициента на усилване на антените се базират на уравнението на връзката (формулата на Фриз – Friis transmission formula)



31

Антенни измервания

6.1 Метод на двете антени

Методът се използва най-често при калибриране на еталонни антени. За да се извърши измерване на коефициента на усилване по този метод са необходими две абсолютно еднакви антени

$$(G_A)_{AB} + (G_B)_{AB} = 20 \lg \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - 10 \lg \left(\frac{P_0}{P_R} \right) - 10 \lg C$$

$$C = q_A q_B p$$

$$(G_A)_{AB} = (G_B)_{AB} = \frac{1}{2} \left[20 \lg \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - 10 \lg \left(\frac{P_0}{P_R} \right) - 10 \lg C \right]$$

6.2 Метод на трите антени

Усилванията на трите антени могат да се определят от решението на следната система от три уравнения

$$(G_A)_{AB} + (G_B)_{AB} = 20 \lg \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - \left[10 \lg \left(\frac{P_0}{P_R} \right) + 10 \lg C \right]_{AB}$$

$$(G_A)_{AB} + (G_C)_{AB} = 20 \lg \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - \left[10 \lg \left(\frac{P_0}{P_R} \right) + 10 \lg C \right]_{AC}$$

$$(G_B)_{AB} + (G_C)_{AB} = 20 \lg \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - \left[10 \lg \left(\frac{P_0}{P_R} \right) + 10 \lg C \right]_{BC}$$

32

Антенни измервания

6.3 Сравнителен метод

Подобен е на метода на двете антени, но усилването на едната антена е известно. За тази цел обикновено се използват т.н. стандартни антени с калибрирано усилване в зададения работен честотен обхват. В микровълновия обхват в качеството на стандартни антени се използват набор от рупорни антени, а за по-ниски честоти диполни или логопериодични антени. При процеса на измерване измерваната антена се заменя със стандартната такава и се измерва приетата мощност в двата случая. Двете антени, стандартната и измерваната, могат да бъдат разположени на въртящ се позиционер с гръб една към друга, като се завъртат последователно към предавателната антена.

$$(G_{AUT})_{dB} = (G_S)_{dB} + 10 \lg \left(\frac{P_{RAUT}}{P_{RS}} \right) - 10 \lg \left(\frac{q_{AUT}}{q_S} \right) - 10 \lg \left(\frac{p_{AUT}}{p_S} \right)$$

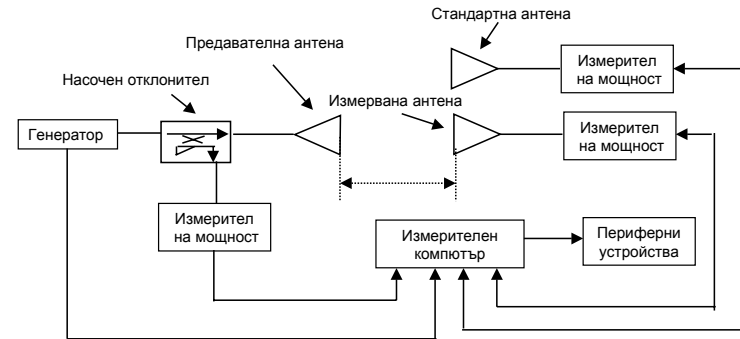
Отношение на мощностите приети от измерваната и стандартната антени Загуби от разсъгласуване Загуби от поляризационно разсъгласуване

При измерване на усилването на антена работеща на кръгова поляризация се измерват поотделно усилванията във вертикалната и хоризонтална поляризация с помощта на еталонна антена и тогава се изчислява усилването за кръгова поляризация

$$(G_{AUT_{CP}})_{dB} = 10 \lg (G_{AUT_V} + G_{AUT_H})$$

33

Антенни измервания



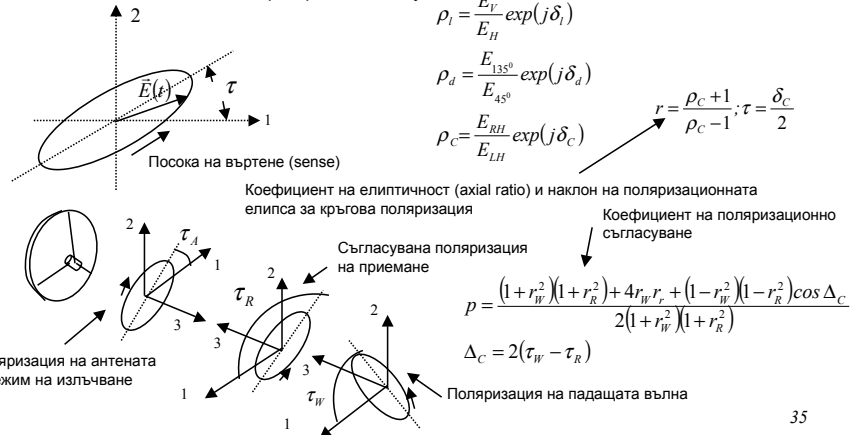
Типична постановка при измерване коефициента на усилване

34

Антенни измервания

7. Поляризационни измервания

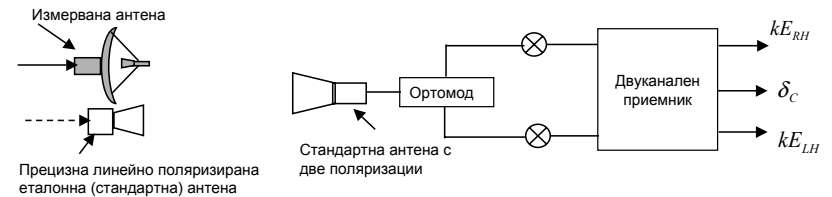
Поляризацията на антената се определя от поляризацията на плоската вълна в далечната зона излъчена от нея, която може да бъде дефинирана от отношението на две ортогонални компоненти на полето и дефазирването между тях



35

Антенни измервания

7.1 Фазово амплитуден метод



Измерване на антена с кръгова поляризация

Използва се стандартна антена с два изхода за лява и дясна кръгова поляризация. С помощта на прецизния стандарт с линейна поляризация се настройва постановката, така че сигналите на изходите на двата канала на приемника да са еднакви независимо от ъгъла на завъртане на прецизния линейен стандарт. След това на мястото на прецизния стандарт се поставя измерваната антена и на изходите на приемника се измерва директно $\rho_c = \frac{E_{RH}}{E_{LH}}$ и δ_c след което се изчисляват и параметрите на поляризационната елипса.

Измерване на антени с линейна поляризация

Използва се стандартна антена с две линейни ортогонални поляризации. Отново първо се калибрира постановката с прецизния линейен стандарт на вертикална и хор. поляризации, както и под ъгъл 45° , когато сигналите на двата канала на приемника трябва да са абсолютни равни. След това се поставя измерваната антена и се измерват двете компоненти

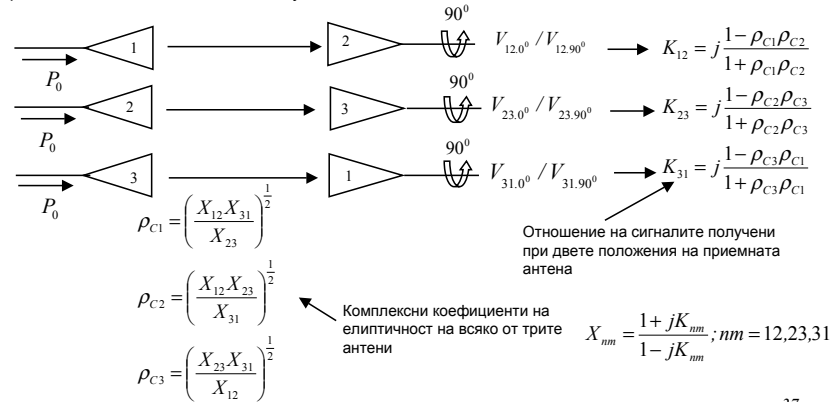
$$\rho_1 = \frac{E_V}{E_H}$$

36

Антенни измервания

7.2 Метод на трите антени

Необходимо е да се разполага с 3 антени, две от които имат поляризация близка до кръгова. Третата антена може да бъде произволна поляризация. За да се определят поляризиациите на трите антени са необходими 6 измервания, като едната антена се завърта на 0 и 90 градуса за трите възможни комбинации между антените.

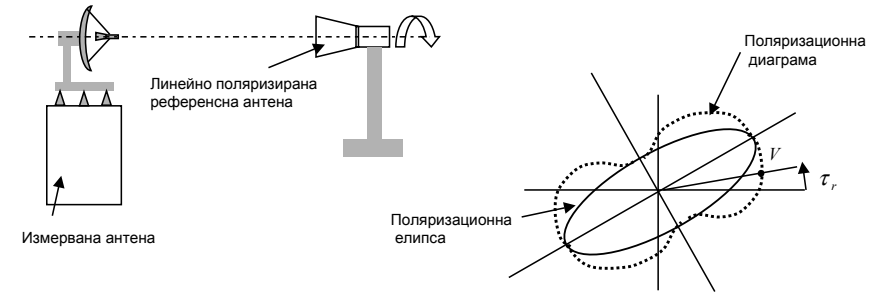


37

Антенни измервания

7.3 Метод на поляризационната диаграма

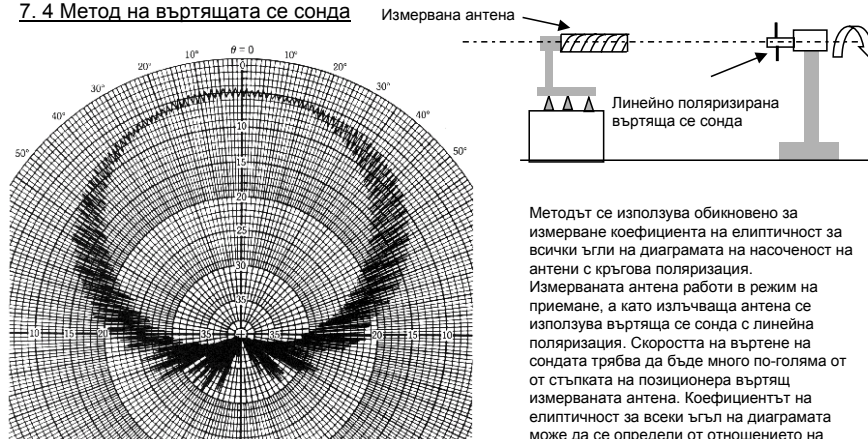
Метода използва въртяща се линейно поляризирана референсна антена като се снима амплитудата на приемания сигнал V за различните ориентации на вектора на електрическото поле в равнина перпендикулярна на оста на полигона. Снетата крива се нарича поляризационна диаграма. Поляризационната елипса е вписана в така снетата диаграма, като допирните им точки лежат на осите на поляризационната елипса. От поляризационната елипса могат да бъдат определени коефициентът на елиптичност и наклона на елипсата. Метода не дава информация за посоката на въртене.



38

Антенни измервания

7.4 Метод на въртящата се сонда



Диаграма на насоченост на кръгово поляризирана антена снета по метода на въртящата се сонда

Методът се използва обикновено за измерване коефициента на елиптичност за всички ъгли на диаграмата на насоченост на антени с кръгова поляризация. Измерваната антена работи в режим на приемане, а като излъчваща антена се използва въртяща се сонда с линейна поляризация. Скоростта на въртене на сондата трябва да бъде много по-голяма от стъпката на позиционера въртящ измерваната антена. Коефициентът на елиптичност за всеки ъгъл на диаграмата може да се определи от отношението на максимума и минимума в точката на измерване.

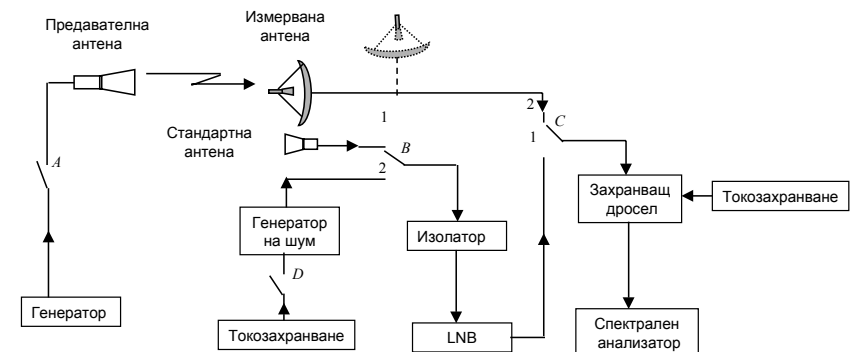
39

Антенни измервания

8. Измерване коефициента на качество G/T

8.1 Измервателна постановка

Усилването на антената се измерва чрез сравнение със стандартна калибрирана антена, а шумовата и температура чрез сравнение с калибриран генератор на бял шум.



Постановка за измерване коефициента на качество съгласно стандарт ETS 300 457

40

Антенни измервания

8.2 Последователност на измерването

- Измерването се извършва на открит полигон като стандартната антена с калибрирано усилване се поставя в непосредствена близост до измерваната антена. Измерването на мощностите става с помощта на спектрален анализатор.
- Измерваната антена се измерва заедно с нейния конверторен блок (LNB), който се захранва през захранващ дросел от специален токозахранващ блок. Същият блок захранва и референсното LNB което се включва към изхода на стандартната антена.
- Генераторът се настройва на желаната честота, на която искаме да извършим измерването
 - Измерваната антена се насочва към предавателната антена
 - Ключът С се поставя в положение 2 и се измерва мощността P_1 във ватове
 - Ключът А се отваря и се измерва мощността P_2 във ватове
 - Измерваната антена се насочва към небето на определена елевация, за която искаме да измерим коефициента на качество и се измерва мощността P_3 във ватове
 - Ключът А се затваря, а ключове В и С се поставят в положение 1 и се измерва мощността P_4
 - Ключът А се отваря и се измерва мощността P_5 във ватове
 - Ключът В се поставя в положение 2, а ключът D се затваря. Измерва се мощността P_6 във ватове
 - Отваря се ключ D и се измерва мощността P_7 във ватове

41

Антенни измервания

8.3 Резултати от измерването

- P_1 – мощност на сигнала на изхода на измерваната антена, насочена към предавателната антена
 - P_2 – мощност на шума на изхода на измерваната антена, насочена в посока на предавателната антена, когато генератора е изключен
 - P_3 – мощност на шума на изхода на измерваната антена насочена към небето (на определена елевация)
 - P_4 – мощност на сигнала на изхода на стандартната калибрирана антена, насочена към предавателната антена
 - P_5 – мощност на шума на изхода на стандартната калибрирана антена, насочена към предавателната антена при изключен генератор
 - P_6 – мощност на шума на генератора на шум + референсното LNB
 - P_7 – мощност на шума на референсното LNB
- Всички шумови мощности трябва да са измерени в една и съща честотна лента или приравнени към една и съща лента. Честотната лента в която се извършва измерването зависи от избраната лента на каналния филтър на спектралния анализатор.

42

Антенни измервания

8.4 Обработка на резултатите и изчисляване на коефициента на качество

Коефициентът на качество се изчислява от следния израз като се използват измерените резултати и данните за коефициента на усилване на стандартната антена и шумовата температура ENR (Excess Noise Ratio) на генератора на шум

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{dB/K} = 10 \lg \frac{G_S (P_1 - P_2)}{(P_4 - P_5) \beta} \frac{(P_6 - P_7)}{ENR_{NS} \cdot T_0 \cdot P_3}$$

Пресмятане на шумовата температура

Пресмятане на коефициента на усилване

G_S – коефициент на усилване на стандартната антена за честотата на измерване в пъти
 ENR_{NS} (Excess Noise Ratio) – шумово температурно отношение на генератора на шум в пъти
 T_0 – стандартна шумова температура на Земята 290 K
 β – коефициент отчитащ разликата в напрегатостите на полето създавано от предаващата антена в мястото на измерваната антена и стандартната антена

$$T = \frac{(P_6 - P_7)}{P_3 \left(\frac{T_h - T_0}{T_0} \right)} \quad ENR$$

T_h е шумовата температура на генератора на шум във включено състояние

$$\frac{1}{T} = \frac{P_3}{(P_6 - P_7)} (T_h - T_0)$$

Реципрочна стойност на шумовата температура на измерваната антена

43

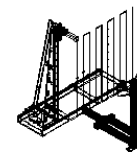
Антенни измервания

9. Антени измервания в близката зона (Near field measurements)

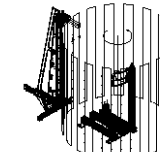
Методът се базира на измерване фазата и амплитудата на електромагнитното поле в близката зона на излъчване посредством специална сонда и векторен анализатор на вериги или друг тип приемна апаратура, която може да измерва едновременно амплитудата и фазата на електромагнитното поле.

9.1 Основни типове скенери за измерване в близката зона

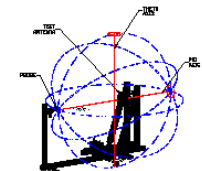
Сондата се движи (сканира) по определена повърхност в близост до антената със стъпка равна на половин дължина на вълната (това е оптимална стойност на стъпката на сканиране, която осигурява оптимум между точността и времето на измерване). В зависимост от вида на повърхнината на сканиране, скенерите на измерване близката зона биват: планарни, цилиндрични или сферични



Планарен скенер



Цилиндричен скенер



Сферичен скенер

44

Антенни измервания

9.2 Планарен скенер

При планарния скенер измерването на амплитудата и фазата на електромагнитното поле става в равнина разположена пред антенната апертюра. Измерваната антена е закрепена неподвижно, като отвората на антената е разположен в равнина успоредна на равнината на сканиране. Сондата на скенера се движи по двете оси на равнината на сканиране (хоризонтална и вертикална) като измерванията по двете оси се извършват през разстояние половин дължина на вълната. Тъй като процеса на измерване е много бърз, сондата се движи непрекъснато (measurement on fly), а управляващият компютър определя момента на измерване и подава съответната команда до векторния анализатор на вериги. Положението на сондата се определя в триизмерната координатна система на измерваната антена (x, y, z_0) . В процеса на сканиране координата z_0 остава непроменена а сондата се движи в равнината (x, y) . Разстоянието до антената z_0 се избира от порядъка на 3 – 10 дължини на вълната, за да се намира извън реактивната област на полето, в непосредствена близост до антената. Размера на областта ("прозореца") на сканиране D_s се определят от критерия:

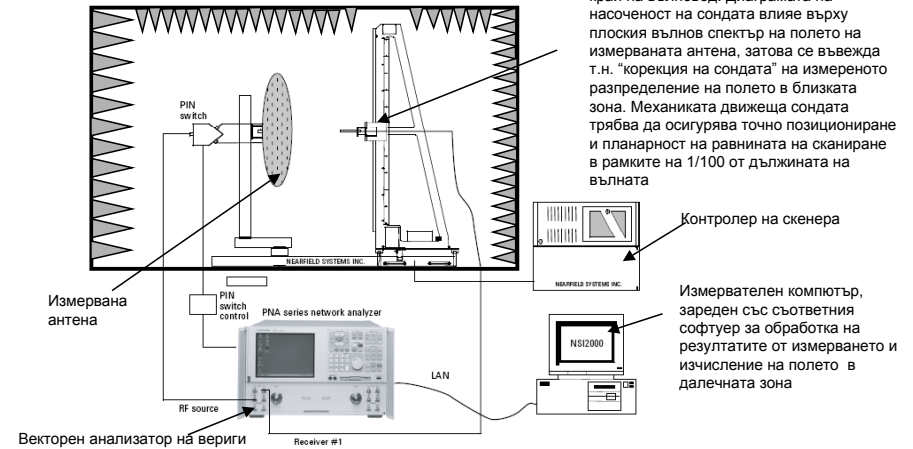
$$D_s = D + 2z_0 \tan \theta$$

където D е максималния размер на апертурата на измерваната антена а θ е максималният ъгъл на диаграмата на насоченост за който желаем да се получат достоверни измервания. Измерените стойности на полето в близката зона $E(x, y, z_0)$ се трансформират в далечната зона (спектр на плоски вълни) $E(k_x, k_y)$ в К пространство чрез двумерна Фурие трансформация. Координатите в К пространството са свързани със сферичните координати със зависимосте $k_x = k \sin \theta \cos \varphi, k_y = k \sin \theta \sin \varphi; k = 2\pi / \lambda$

45

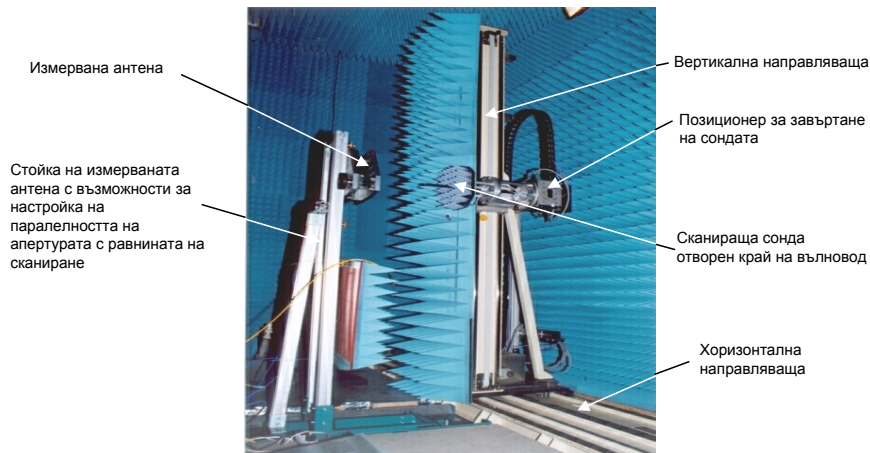
Антенни измервания

Апаратура използвана за измерване в близката зона – планарен скенер



46

Антенни измервания

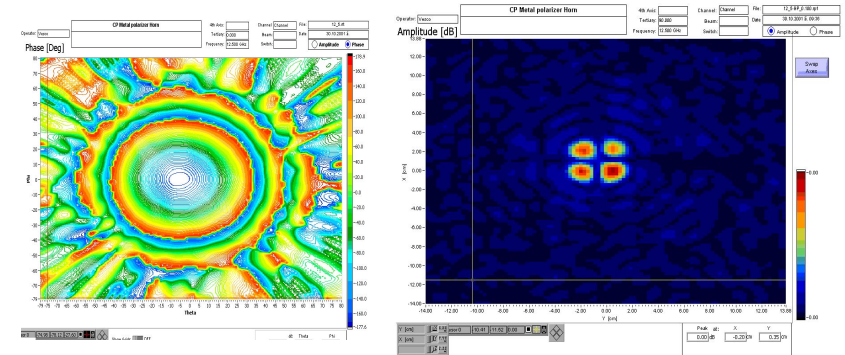


Планарен скенер за антени измервания в близката зона

47

Антенни измервания

Фазови и амплитудни разпределения на електромагнитното поле снети с помощта на планарен скенер



Фазово разпределение на поле излъчено от конична рупорна антена

Кросполяризационно амплитудно разпределение на полето излъчено от конична рупорна антена

48

Антенни измервания

9.3 Други типове скенери

9.3.1 Цилиндричен скенер

При цилиндричния скенер измерваната антена се върти в азимуталната равнина, а сондата се движи вертикално, описвайки по този начин една цилиндрична повърхност около измерваната антена. Цилиндричното сканиране позволява да се измери точната диаграма на насоченост в азимуталната равнина, а в елевационната равнина грешката зависи от това каква част от енергията излъчена във вертикална посока е обхваната от скенера. Двудимензионното Фурие преобразуване на полето измерено в повърхнината на сканиране дава цилиндрични вълнови функции, от които може да бъде изчислена диаграмата в далечната зона. Цилиндричните скенери са особено подходящи за измерване на антени, които имат широка диаграма на насоченост в азимуталната равнина и тясно насочена такава в елевационната равнина (такива са например антените на базовите станции на клетъчните мрежи)

9.3.2 Сферичен скенер

При сферичните скенери измерваната антена се върти в двете равнини, като обикновено сондата е неподвижна. Основното предимство на сферичния скенер е пълното обхващане на полето около антената, което позволява да бъдат измервани точно антени с широки диаграми на насоченост (малък коефициент на усилване). Измереното чрез сондата поле в сферичната повърхност около антената се преобразува в система от сферични вълнови функции, след което се изчислява полето в далечната зона.

49

Антенни измервания

9.4 Основни източници на грешки при измервания в близката зона

9.4.1 Отражения

Основни източници на отражения са отраженията от самата сонда и отраженията от стените на камерата и съоръженията в нея. Отраженията от сондата може да се елиминират, като се постави поглъщаща материя около самата сонда и върху позиционера, който я върти около оста и, заостряне на краищата на сондата (вълноводните стени) и използване на изолатор. Отражението от стените на помещението и съоръженията в него (механиката на скенера, позиционера на измерваната антена и др.) се премахва чрез покриване с радиопоглъщащи пирамидални абсорбери.

9.4.2 Грешки от точността на механиката

Тук спадат грешки от неточности в повърхнината на сканиране и неточности от позициониране на сондата. Грешките от неточната повърхнина на сканиране (отклонения от равниността при планарните скенери) предизвикват случайни фазови грешки при измерването което се отразява на точността на измерването на страничните листа в диаграмата на насоченост. За минимизиране на тези грешки обикновено се поставят високи изисквания към точността на механиката на скенера – отклонения от равниността и точност при позициониране на сондата по-малки от 1/100 от дължината на вълната за най-високата работна честота на скенера. При скенери работещи в милиметровия обхват се използват лазерни далекомири за точното определяне на позицията на сондата.

50

Антенни измервания

9.4.3 Грешки от непълното обхващане на излъченото поле от повърхността на сканиране

Такъв тип грешки се наблюдават при планарните и цилиндрични скенери и особено при измерване на антени с малък коефициент на усилване. В резултат от това че не цялата енергия на антената е обхваната от повърхността на сканиране се наблюдава отчитане на по-ниска стойност на коефициент на усилване и грешки в измерването на страничните листа. Ако измерената стойност на полето в края на повърхността на сканиране е с 30 dB по ниска от тази измерена в центъра на антената (максимума на излъчване), то грешките внасят от не обхванатата част от полето са пренебрежимо малки.

9.4.4 Системни грешки

Могат да се дължат се на нелинейности на приемника (при високи нива на излъчвания сигнал), фазови грешки внасяни от измерителните кабели и др. За отстраняване на подобни грешки, трябва да се снемат тестови диаграми при няколко нива на излъчвания сигнал, за да се уверим че приемника не работи в нелинеен режим. Необходимо е също да бъдат използвани прецизни фазово стабилни кабели за свързване на сондата и измерваната антена към векторния измерител на фазата и амплитудата на електромагнитното поле.

51

Антенни измервания

9.5 Сравнение на различните типове скенери

| Тип антена/Параметър | Планарен скенер | Цилиндричен скенер | Сферичен скенер |
|---|-----------------|--------------------|-----------------|
| Точност при измерване на антени с голямо усилване >25dB | отлична | добра | добра |
| Точност при измерване на антени с малко усилване <15dB | лоша | добра | отлична |
| Неподвижно закрепване на измерваната антена | да | възможно | възможно |
| Първоначална настройка на измерването | лесна | сложна | сложна |
| Бързина на измерването | голяма | средна | малка |

52

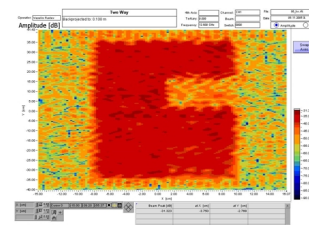
Антенни измервания

9.6 Диагностика на разпределението на полето в отвора на антената (Микровълнова холография)

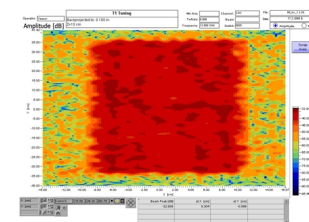
Измерването на разпределението на електромагнитното поле в близката зона може да бъде използвано за получаването на информация за разпределението на полето в отвора (апертурата) на антената. За целта трябва да се извърши обработка на данните от измерванията така, че измерените стойности за разпределението на полето в близката зона да се трансформират непосредствено в отвора на антената. Този процес е известен под името "back projection", "back transformation" или "microwave holography". Такава трансформация е възможна и при трите вида скенери и обикновено е част от измерителния софтуер на скенера. Микровълновата холография се използва широко при измерване и диагностика на антени решетки и фазиращи антени решетки за установяване на съответствието между желаното и реално постигнатото фазово-амплитудно разпределение, за установяване на грешки във фазово-амплитудното разпределение, дължащи се на неточности при изработката, грешки при проектирането или такива от дефектиране на отделни елементи от сигнално-разпределителната система, усилвателни или фазорегулиращи устройства. Микровълнова холография също може да бъде използвана за детектиране на изкривявания в разпределението на полето дължащите се на влиянието на антенния облъчвател или неточности в профила на антенния отражател, които водят до фазови грешки в апертурата. Данните получени при микровълновата холография на дадена фазираща антена решетка могат да бъдат използвани за автоматична донастройка, чрез корекция на фазорегулиращите устройства, които да компенсират неточностите при изработката на антената.

53

Антенни измервания



Микровълнова холография на планарна активна антена решетка – амплитудно разпределение на полето в апертурата на антената. Ясно се вижда неработещата част от антената поради повреда в Усилвател, ذخранващ група елементи на решетката.



Същата антена решетка след ремонт на дефектирания усилвател. Вижда се равномерното амплитудно разпределение в отвора на антената

54

Антенни измервания

10. Сравнителна таблица на различните видове полигони за антенни измервания

| | Измерване в близката зона | | | Измерване в далечната зона | | |
|---------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-------------------|
| | Планарен скенер | Цилиндричен скенер | Сферичен скенер | Открит полигон | Безехова камера | Компактен полигон |
| Антенни с голямо усилване | Отлично | Добро | Добро | Адекватно | Адекватно | Отлично |
| Антенни с малко усилване | Лошо | Добро | Отлично | Адекватно | Добро | Отлично |
| Високи честоти | Отлично | Отлично | Отлично | Добро | Лошо | Отлично |
| Ниски честоти | Лошо | Лошо | Добро | Добро | Задоволит. | Лошо |
| Усилване | Отлично | Добро | Добро | Отлично | Добро | Отлично |
| Близки стр. листа | Отлично | Отлично | Отлично | Добро | Лошо | Отлично |
| Далечни стр. листа | Адекватно | Отлично | Отлично | Добро | Лошо | Добро |
| Коеф. на елиптичност | Отлично | Отлично | Отлично | Добро | Лошо | Добро |
| Цена | Ниска | Умерена | Умерена | Висока | Умерена | Много висока |
| Бързина на измерване | Отлично | Добра | Задоволит. | Задоволит. | Задоволит. | Задоволит. |
| Сложност | Умерена | Умерена | Висока | Умерена | Ниска | Висока |
| Настройка на антената | Лесна | Умерена | Трудна | Умерена | Умерена | Трудна |

55