

Тема 3

Антенні та фідерні пристрої ЗРЛ.

Заняття №2 Загальні відомості і характеристики антенних систем.

Питання заняття

- 1. Призначення і основні характеристики антенних систем.**
- 2. Основні типи антенних систем.**
- 3. Метод частотного сканування променем.**
- 4. Методи формування парціальних діаграм направленості.**

Призначення і основні характеристики антенних систем

Призначення антени

Антенa призначена для перетворення НВЧ струмів, що поступають по фідерному тракту, в енергію електромагнітних хвиль та направленою випромінювання їх у простір і навпаки.

Співвідношення, отримані для передаючих антен, майже цілком застосовні і для приймальних антен, і навпаки.

Основні характеристики антенних систем

Параметри, що характеризують направлену дію антени:

коефіцієнт направленої дії (КНД) D антени називається число, яке показує вираш у щільності потоку потужності або в випромінюваній потужності (P), що дає в точці спостереження антена направленого випромінювання в порівнянні з антеною не направленого випромінювання

$$D(\theta, \phi) = \frac{P_{\Sigma}(\theta, \phi)}{P_0} = \frac{E^2(\theta, \phi)}{E_0^2} \quad \text{при} \quad P_{\Sigma} = P_0$$
$$D(\theta, \phi) = P_{\Sigma} / P_0 \quad \text{при} \quad E_{\Sigma} = E_0$$

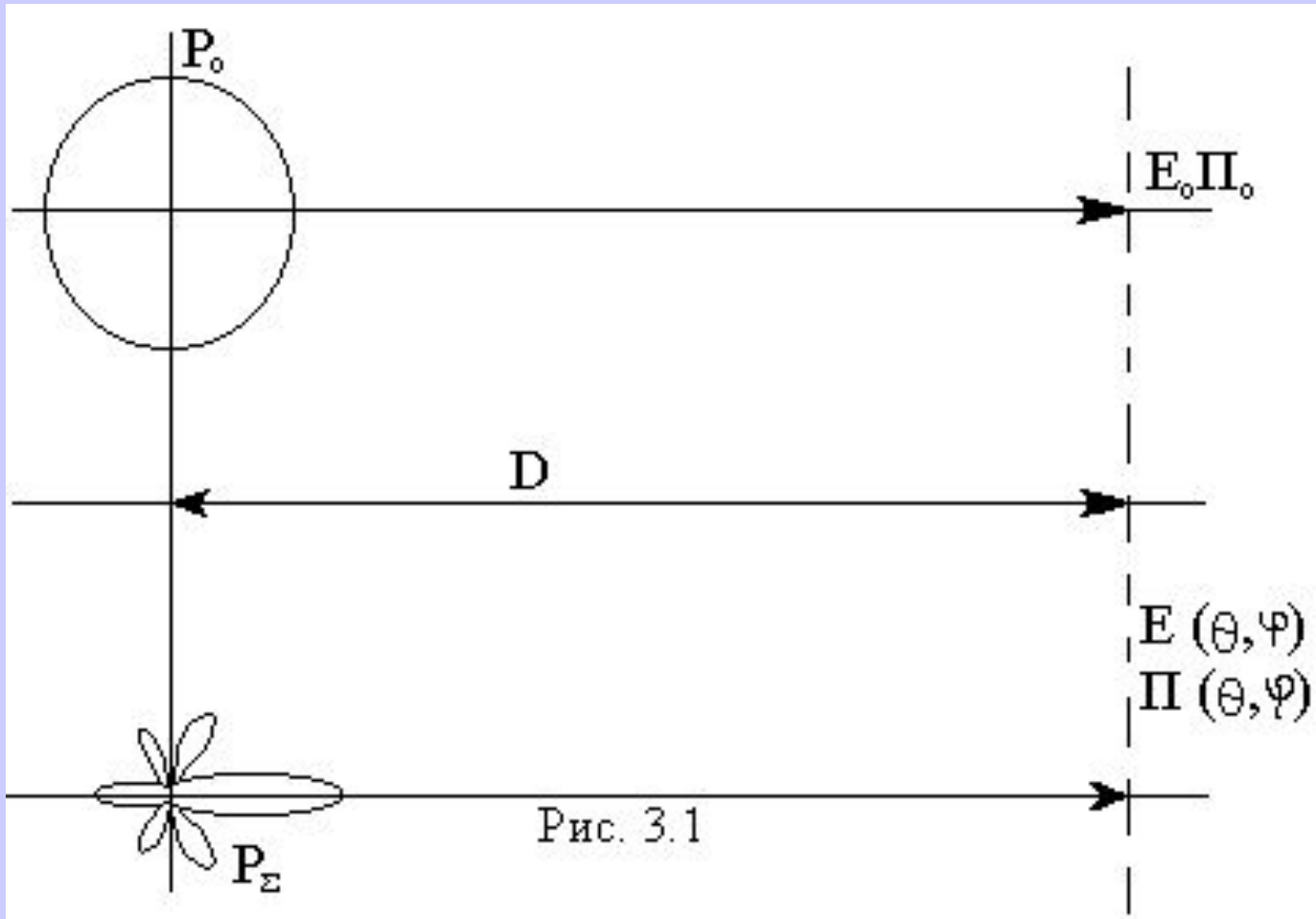
де $P_{\Sigma}(\theta, \phi)$ - щільність потоку потужності, створювана в даній точці розглянутої антени.

P_0 - щільність потоку потужності, створюваного ненаправленою антеною.

P_{Σ} - потужність, що випромінюється направленою антеною.

P_0 - потужність, що випромінюється ненаправленою антеною.

Цей параметр характеризує виграш по потужності, обумовлений напрямленими властивостями антени. Для повної оцінки виграшу необхідно враховувати також і втрати в антені.



Коефіцієнтом підсилення G антени називається число, що показує дійсний виграш у щільності потоку потужності або в випромінюваній потужності, що дає антена направленою випромінювання, тобто виграш з урахуванням втрат:

$$G(\theta, \phi) = D(\theta, \phi) \eta_A \quad \text{де} \quad \eta_A - \text{ККД антени}$$

Ефективна площа антени A_{ef} є іншим параметром, що характеризує направлені властивості антен при прийомі сигналів. Вона дорівнює добутку коефіцієнта використання поверхні K_{en} та геометричної площі антени S_2 :

$$A_{ef} = S_2 K_{en}$$

Ефективна площа антени пов'язана з іншими параметрами залежністю (для випадку повного узгодження антени з приймачем):

$$A_{ef} = \lambda^2 G(\theta, \phi) / 4\pi$$

Опором випромінювання R_{Σ} називається коефіцієнт, пов'язуючий випромінювану антеною потужність з квадратом амплітуди струму (I) в даній точці антени:

$$P_{\Sigma} = I^2 R_{\Sigma} / 2$$

Вхідним опором Z_A антени, що передає, називається опір, на який навантажений фідер, що живить антену. Він визначається як відношення комплексної амплітуди напруги $U_{вх}$ до комплексної амплітуди струму, $I_{вх}$ на вході антени:

$$Z_A = U_{вх} / I_{вх} = R_{вх} + jX_{вх}$$

де $R_{вх}$ - активна складова вхідного опори, що характеризує витратну активну потужність в антені, що являє собою суму потужності випромінювання і потужності втрат.

Відповідно:

$$\begin{aligned} P_{випр} &= P_{\Sigma} + P_{втр} \\ R_{вх} &= R_{\Sigma вх} + R_{втр.вх} \end{aligned}$$

Опір втрат тепер визначаємо аналогічно опоріві випромінювання:

$$R_{втр.вх} = 2P_{втр} / I_{вх}^2$$

Реактивна складова вхідного опору характеризує реактивну потужність, зосереджену поблизу антени.

Для обчислення активної складової повного вхідного опору (зокрема $P_{втр}$) та $X_{втр.вх}$ необхідно знайти точне значення струму і напруги на вході антени. Це завдання, як правило, дуже складне. Тому в більшості випадків вхідний опір Z_A визначається напівемпіричними формулами або експериментально.

Діаграмою направленості (ДН) називається залежність щільності потоку потужності (П) або амплітуди напруженості поля антени (E) від напрямку в просторі при постійній відстані до точок спостереження і незмінних умов збудження антени.

Під нормованою ДН розуміють відношення значення ДН у довільному напрямку до максимального значення ДН.

ДН характеризується шириною головного пелюстка (ступень спрямованості) в двох площинах (горизонтальної β (Θ) і вертикальної ε (ϕ)) по половинній потужності $2\theta_{0,5p}$ і рівнем бокових пелюстків відносно головного (в % або дБ).

На практики ДН відображаються плоскими перетинами (у вертикальній і горизонтальній площинах) в полярній або прямокутній системах координат.

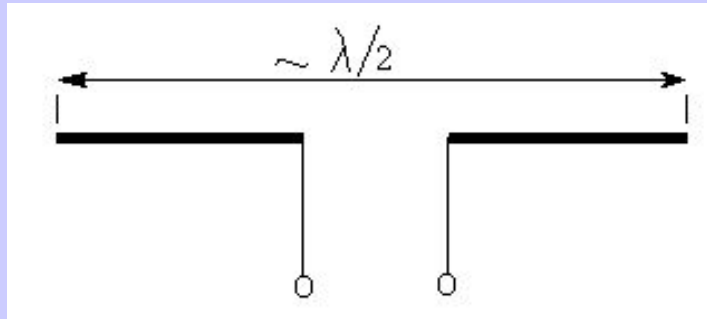
ДН класифікуються в залежності від їхньої форми (виду), які розглядалися в темі 3 “основи радіолокації”.

Основні типи антенних систем

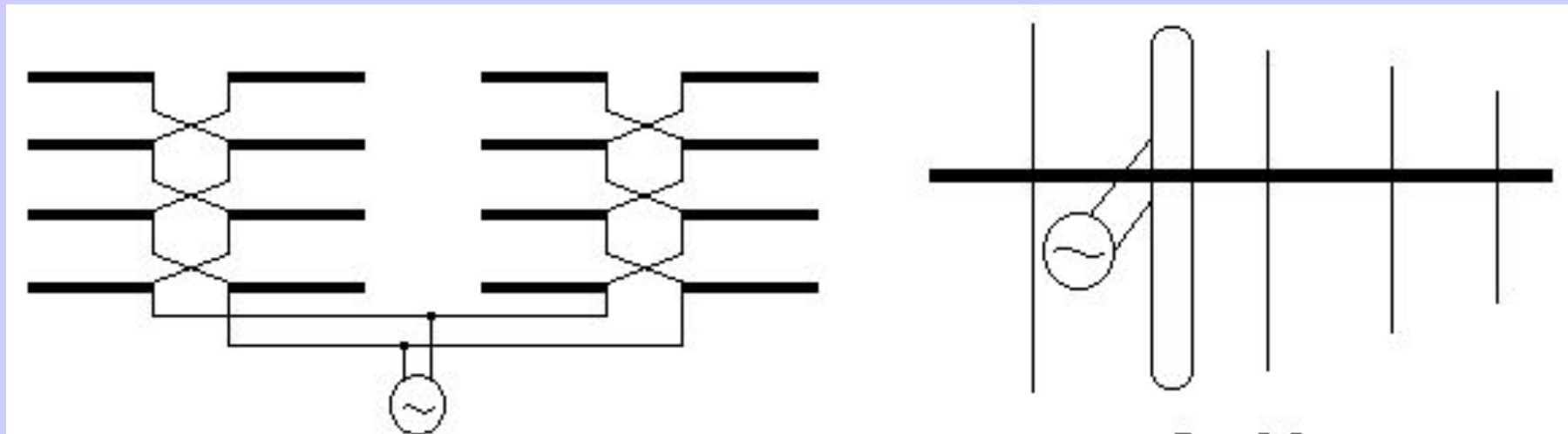
Дротові антени.

Цей клас антен можна розділити на два основних підкласи: *вібраторні* та *спіральні*.

У *вібраторних антенах* основним елементом є симетричний вібратор довжиною біля $\lambda/2$



Ряд таких вібраторів, однаково орієнтованих і розміщених на деякій відстані друг від друга, утворять вібраторні решітки двох основних типів: з *поперечним* та *осьовим* випромінюванням.



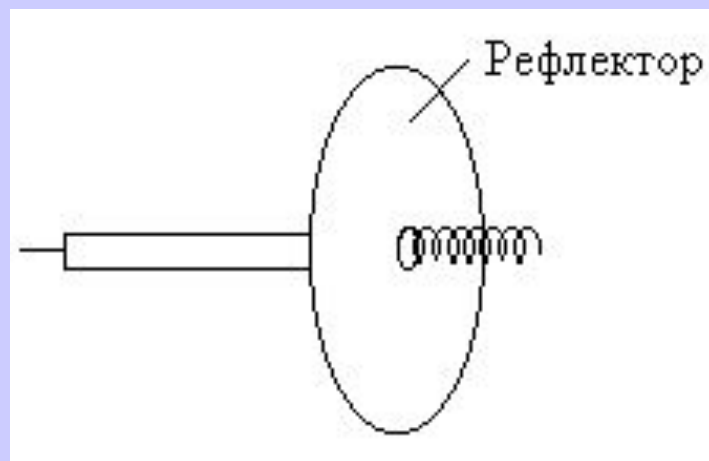
У решітках першого типу максимум випромінювання направлений по нормалі до площини решітки або відхилений від нормалі на деякий кут, а в решітках другого типу уздовж лінії розташування вібраторів.

У решітках першого типу вібратори живляться синфазно, а другого типу лише один вібратор – “активний”, поле якого збуджує інші “пасивні” вібратори. Необхідні фази струмів у вібраторах забезпечуються шляхом добору довжин (хвиль) вібраторів і відстаней між ними.

Перевагою антен осьового випромінювання є формування порівняно вузької діаграми спрямованості одночасно в двох взаємно перпендикулярних площинах за рахунок збільшення одного лінійного розміру - довжини антени, у той час як в антені з поперечним випромінюванням для цього необхідно збільшувати обидва розміри полотна.

Недоліком антен осьового випромінювання (у порівнянні з антенами з поперечним випромінюванням) - великий рівень бічних пелюстків.

До *спіральних антен* відноситься **циліндрична спіраль**, що звичайно застосовується з рефлектором. Якщо довжина, витка спіралі приблизно дорівнює довжині хвилі у вільному просторі, то максимум випромінювання направлений уздовж осі.



Крім **циліндричної** використовуються й інші види спіральних антен - *конічна*, із *перемінним кутом намотки*, *плоска* і т.д.

Перевагою спіральних антен є їхня діапазоність і **кругова поляризація** поля, утворюваного в напрямку осі спіралі.

До **дротових антен** відносять також антени, що складаються з тонких проводів або металевих стрічок: **прямолінійних** або у вигляді зигзагу, рамки і т.д.

Анени акустичного типу.

До них відносять *хвилеводні випромінювачі* та *рупорні антени*.

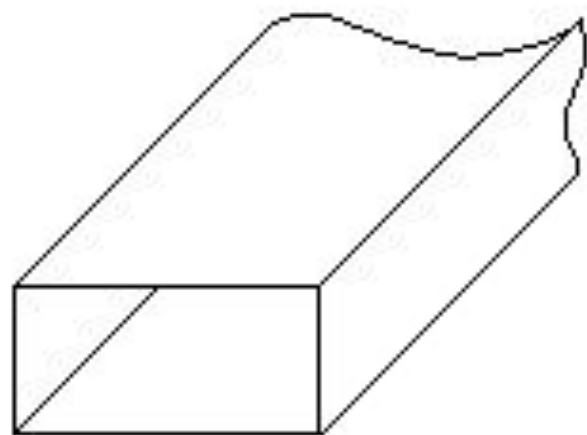
Найпростішим хвилеводним випромінювачем є відкритий кінець прямокутного або круглого хвилеводу. Направленість випромінювання такої антени невелика. Крім того, вона погано узгоджена з вільним простором.

Для збільшення спрямованості і поліпшення узгодження відкритий кінець хвилеводу обладнують рупором, що у конструктивному відношенні подібний акустичному рупору.

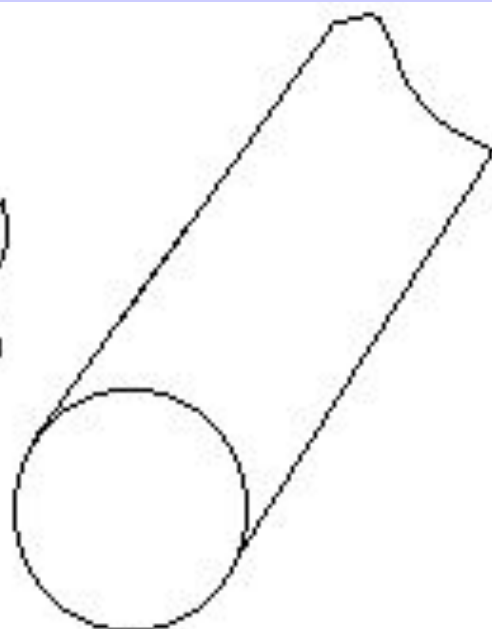
Можливі типи рупорів: *пірамідальний, секторний, конусний*.

Перевага рупорних антен простота і широкосмуговість. Вони широко застосовуються як самостійні антени (особливо у вимірювальній техніці), так і в якості елементів більш складних антен.

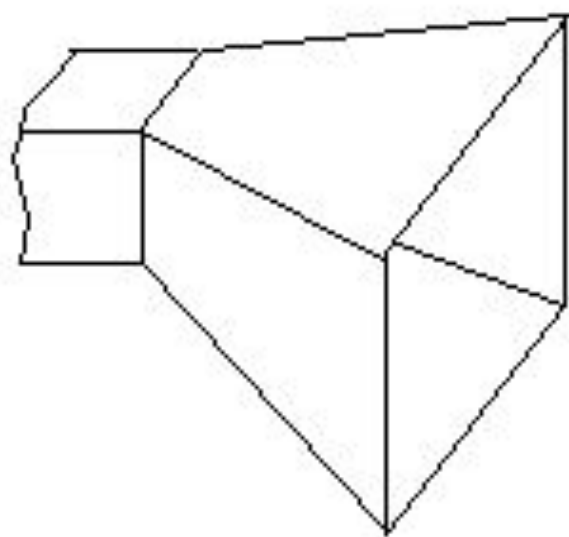
Недоліком рупорних антен є складність одержання вузьких діаграм спрямованості.



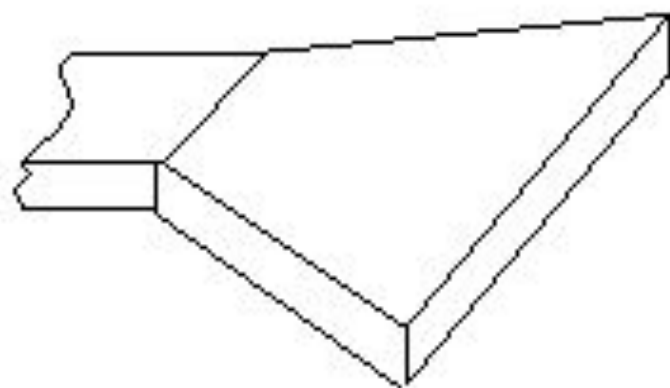
a)



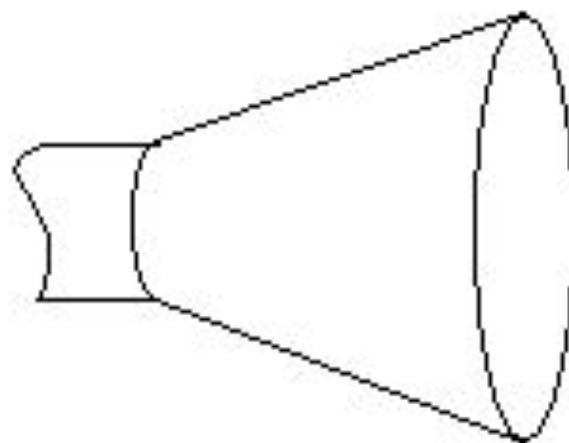
б)



в)



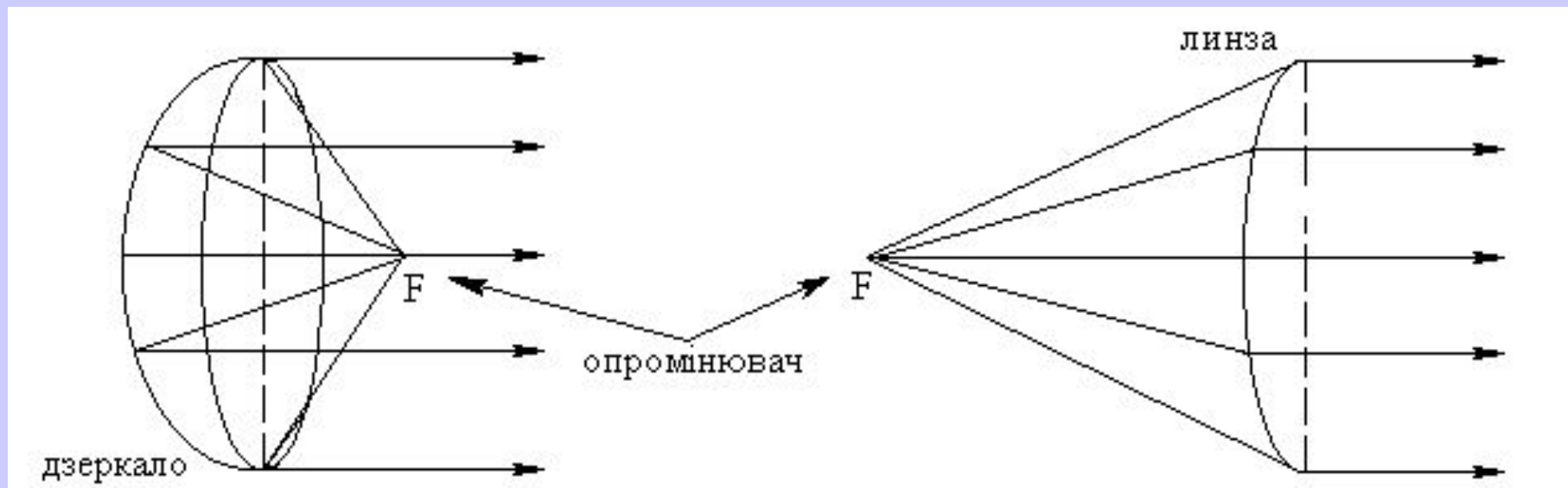
г)



д)

Антенни оптичного типу.

До антен цього типу відносяться *дзеркальні* (рефлекторні) та *лінзові антенни*, що складаються з двох елементів - *джерела* (опромінювача) і *дзеркала* або *лінзи*, що перетворюють розбіжний від точкового опромінювача пучок променя у рівнобіжний на виході системи.

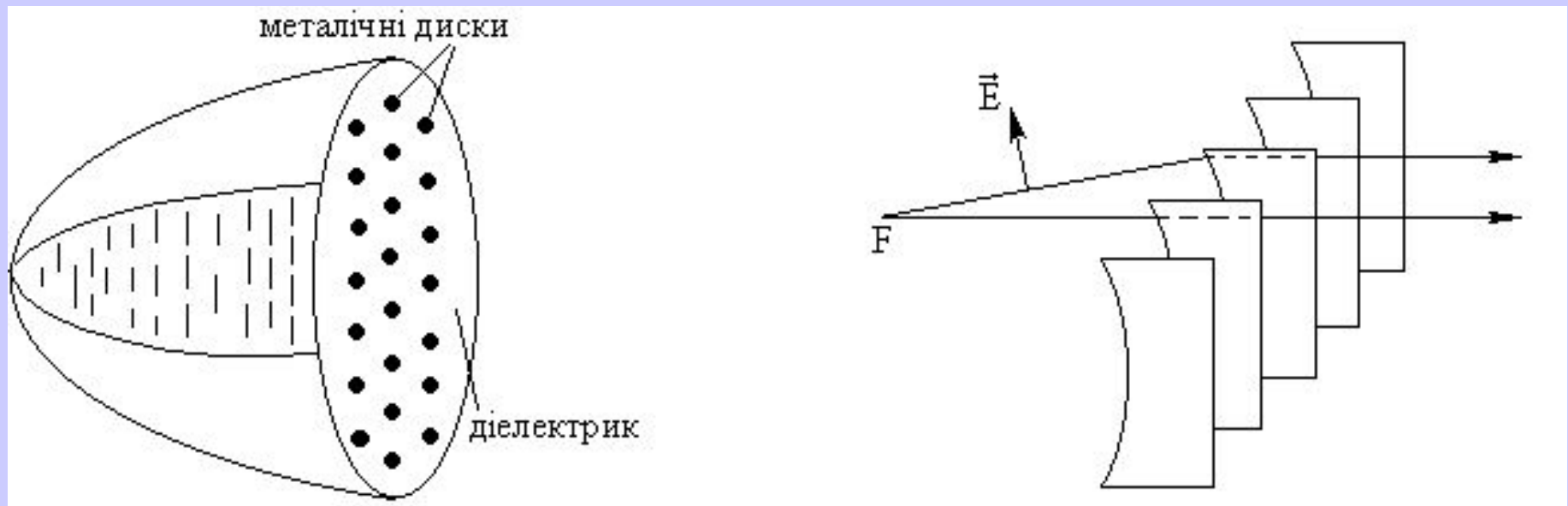


Дзеркальні антени одержали дуже широке поширення в радіолокації, космічному зв'язку, радіоастрономії. Це обумовлено простотою і механічною міцністю конструкції цих антен, їхньою діапазонністю, високим ККД і можливістю порівняно нескладними засобами створювати різноманітні діаграми спрямованості.

Дзеркала бувають різноманітної форми - параболоїд обертання, вирізка з параболоїда обертання, параболічний циліндр і т.д.

Лінзи можуть бути виконані з діелектриків із малими втратами (велика маса і висока вартість), або штучні заломлюючі середовища (штучні діелектрики), що представляють собою решітки з металевих часток, запресованих у діелектрик із коефіцієнтом переломлення, близьким до одиниці. Штучні діелектричні лінзи більш дешеві і легші за масою ніж діелектричні.

У радіодіапазоні використовуються не тільки лінзи, що уповільнюють, із коефіцієнтом переломлення більше одиниці ($n > 1$), але і лінзи що прискорюють ($n < 1$), наприклад, металопластинчаті.



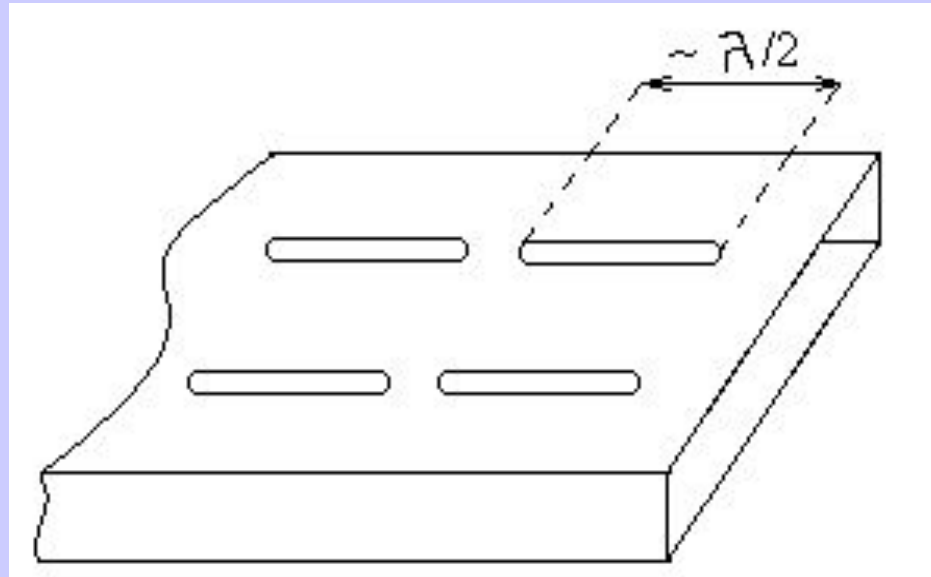
Перевага лінзових антен у порівнянні з дзеркальними:

- **відсутність елементів, затіняючих випромінюючий розкрит, що сприяє пониженню рівня бічного випромінювання;**
- **широкі можливості формування бажаної діаграми направленості шляхом зміни профілю двох поверхонь, величини коефіцієнта переломлення і закону зміни його усередині лінзи;**
- **можливість створення антен для хитання променя в широкому секторі.**

Недолік лінзових антен, що використовуються у радіодіапазоні - велика маса і складність конструкції.

Щілинні (дифракційні) антени.

Являють собою системи щілин (частіше усього напівхвильових), прорізаних на поверхні хвилеводу, коаксиального кабелю або об'ємного резонатора. По напрямленим властивостях щілинні антени аналогічні вібраторним антенам. Існують щілинні системи з поперечним випромінюванням і системи осьового випромінювання, у яких щілини живляться хвилею, що біжить.



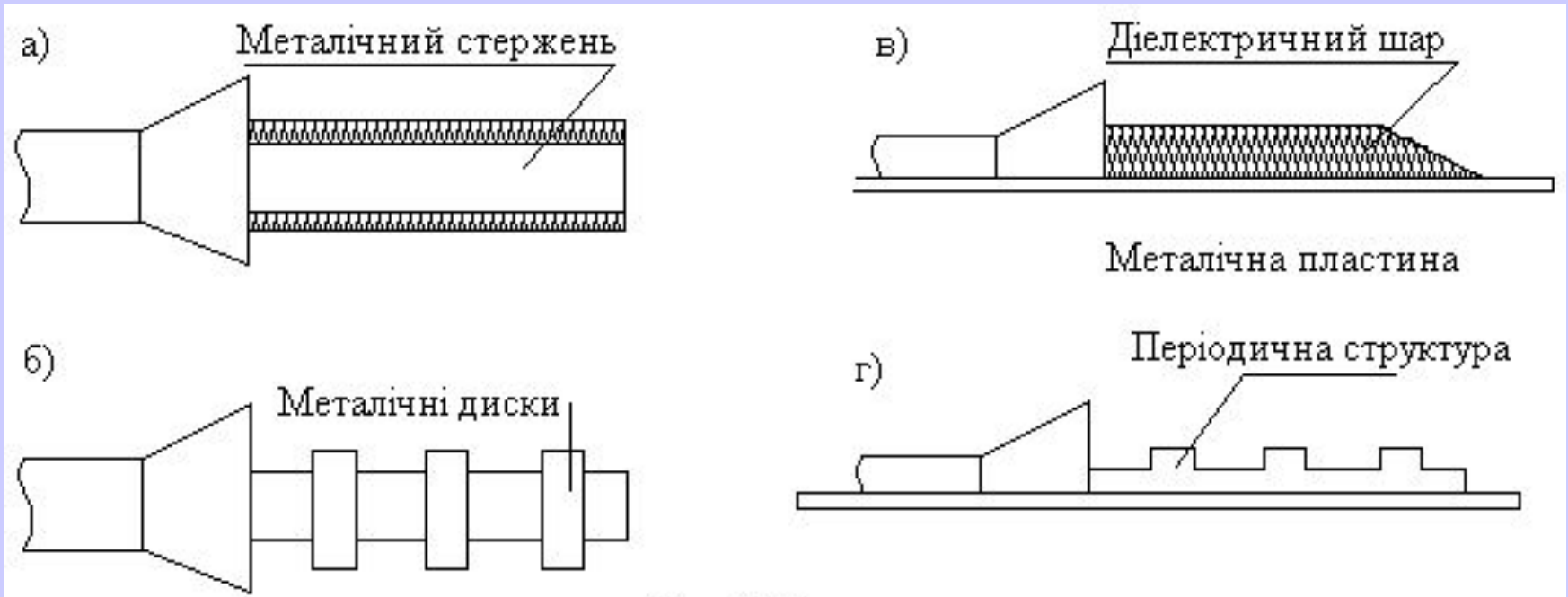
Переваги щілинних антен - простота і відсутність частин, що виступають за межі поверхні, на якому прорізани щілини.

Недоліком щілинних антен є їхня вузькосмуговість.

Анени поверхневих хвиль (АПХ).

Основним елементом у цих антенах є уповільнююча структура, що формує поверхневу хвилю. Хвиля, що випромінюється рупором, поступово трансформується в поверхневу. Це сприяє збільшенню спрямованості системи в порівнянні зі спрямованістю рупора.

Конструктивне виконання АПХ, за типом структури, що уповільнює (гладка - рис. а, в або періодична - рис. в, г) і її геометрії (плоска - рис. в, г стрижнева - а, б і ін).



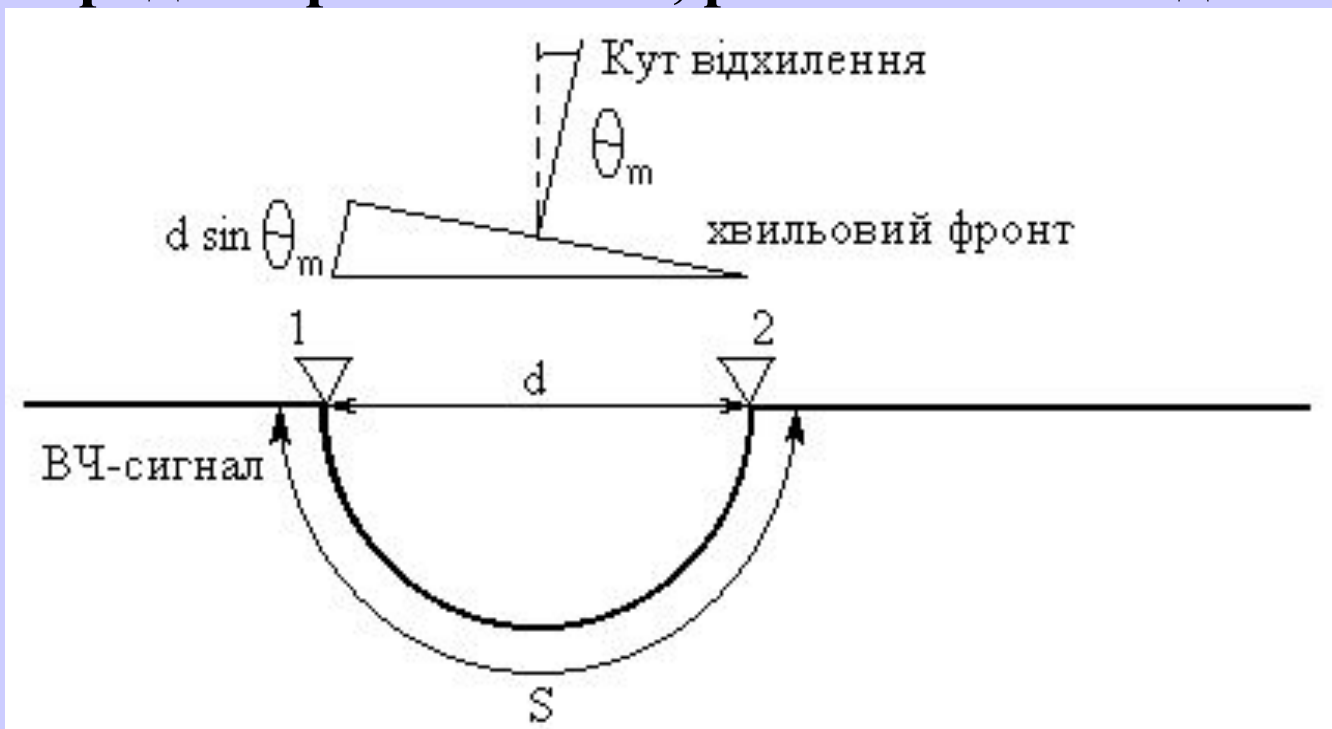
Перевагою АПХ є широкопasmовість (особливо для АПХ із гладкими структурами, що уповільнюють), малі розміри по висоті (для плоских АПХ), багаті можливості створення різноманітних діаграм спрямованості шляхом варіювання параметрів структури, що уповільнює.

Недоліки АПХ - помітні втрати й обмеження по пропускній потужності, особливо в АПХ із періодичним структурами, що уповільнюють.

Метод частотного сканування променем

Метод частотного сканування одержав найбільше поширення в системах огляду повітряного простору. У порівнянні з іншими методами він більш економічний і порівняно простий. В оглядових трьохкоординатних РЛС метод частотного сканування променя застосовується для визначення кута місця повітряних цілей.

Для пояснення принципу частотного сканування розглянемо ряд випромінювачів, рознесених на відстань d .



Положення хвильового фронту, а отже, і положення променя (θ_m) у просторі залежать безпосередньо від фазових співвідношень електричних коливань у випромінювачах.

Якщо позначити через λ довжину хвилі у вільному просторі і через λ_B довжину хвилі в провіднику і прийняти, що затримки по фазі рівні в обох каналах проходження сигналів до хвильового фронту, дійсна наступна рівність:

$$\frac{2\pi}{\lambda} d \sin\theta_m = \frac{2\pi s}{\lambda_B} - 2\pi n \quad \text{де } n - \text{ціле число, звідси:}$$

$$\sin\theta_m = \frac{s\lambda}{\lambda_B d} - \frac{n\lambda}{d} = \frac{\varphi}{kd} - \frac{n\lambda}{d}$$

Тобто напрямок головного максимуму переміщається як за рахунок зміни довжини хвилі λ так і за рахунок зсуву фаз між струмами збудження сусідніх випромінювачів ϕ .

Ефективність частотного засобу сканування характеризується куточастотною чутливістю, що визначає величину відхилення променя в градусах на один відсоток зміни частоти, тобто

$$q_f = \frac{d\theta_m}{\frac{df}{f} * 100\%} [\text{град}/\%] \quad (1)$$

Сучасні НВЧ - генератори припускають перебудову по частоті в межах $\pm 5\%$ від несучої. Щоб при такій зміні частоти здійснити переміщення променя в достатньо широкому секторі, куточастотна чутливість повинна складати $5 \div 10^\circ/\%$, а іноді і більше.

Залежність куточастотної чутливості від параметрів решітки.

Диференціюючи співвідношення (1) і з огляду на, що $\lambda f = C$ та $1 \text{ рад} = 57,30^\circ$ (2) знайдемо:

$$q_f = \frac{0,573}{\cos\theta_m} \left(\frac{C}{2\pi d} + \frac{d\phi}{df} - \sin\theta_m \right) \quad (3)$$

Куточастотна чутливість залежить від положення променя в просторі: вона підвищується при збільшенні θ_m , причому при $d\phi/df > 0$ (нормальна дисперсія) більш швидко в області негативних кутів.

Для підвищення q_f при незмінній відстані d потрібно збільшити похідну $d\phi/df$.

Фізично - це більш різка зміна зсуву фаз ϕ при зміні частоти, що призводить до великої зміни крутості лінійного фазового розподілу в антені і, відповідно, до великого відхилення променя.

При частотному методі можуть застосовуватися схеми з *послідовним і рівнобіжним збудженням*.

Схема з *рівнобіжним збудженням* дозволяє пропускати велику потужність у порівнянні з послідовної. Вона менше критична до точності виготовлення елементів, проте складна і потребує застосування великого числа діапазонних ділянок потужності.

Головна перевага схеми з *послідовним збудженням* її простота і надійність.

У послідовній схемі відстань між випромінювачами вибирається з умови відсутності побічних максимумів при скануванні

$$d = \frac{\lambda_{\min}}{1 + |\sin \theta_m|} \text{ де } (\lambda_{\min}) - \text{мінімальна довжина хвилі генератора.}$$

Визначаючи значення ($d\phi/df$) і враховуючи співвідношення (3) отримаємо:

$$q_f = \frac{0,573}{\cos\theta_m} (\beta_{gp} \beta_r - \sin\theta_m) \quad (4)$$

де ($\beta_2 = S/d$) – геометричне сповільнення хвилі.

($\beta_{gp} = C/V_{gp} = \beta + d\beta/df$) – групове сповільнення хвилі (групова швидкість хвилі, що розповсюджується у фідері)

($\beta = C/V_\phi = \lambda/\lambda_\phi$) – фазове сповільнення хвилі (λ_ϕ - фазова швидкість хвилі, що розповсюджується у фідері)

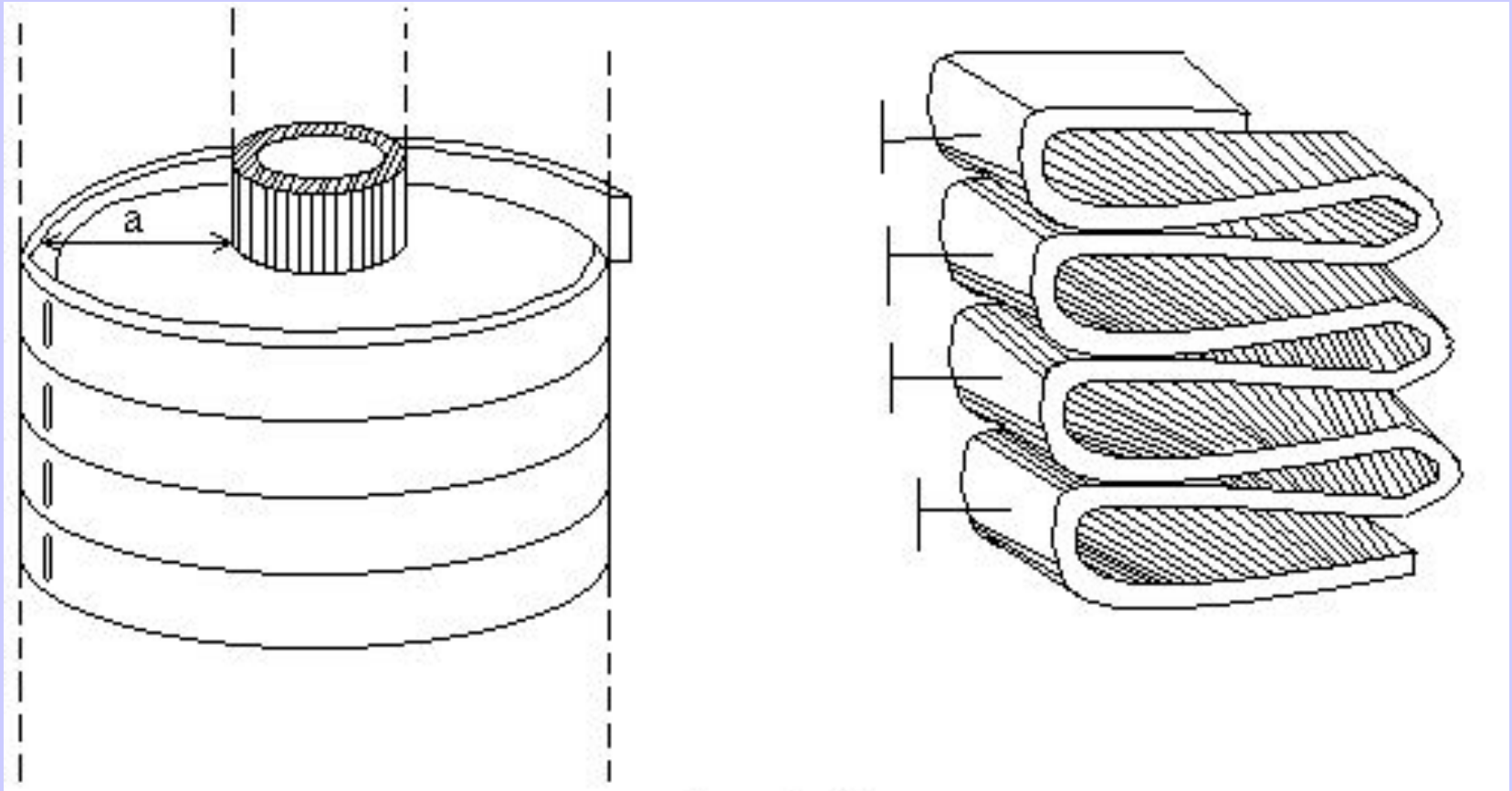
Співвідношення 4 визначає шляхи збільшення куточастотної чутливості антени з послідовною схемою збудження. Збільшення куточастотної чутливості (q_f) може бути досягнуте шляхом *збільшення групового уповільнення хвилі* при ($S \approx d(\beta - 1)$) або шляхом *збільшення геометричного уповільнення хвилі* при невеличкому значенні групового уповільнення.

Для збільшення групового уповільнення застосовують фідерні лінії із системою, що уповільнює, наприклад хвилевід із ребристою структурою. Така структура забезпечує як збільшення фазового уповільнення хвилі (β), так і особливо збільшення похідної ($d\beta/df$) через підвищення дисперсії системи.



Недоліком системи зі структурою, що уповільнює, є те, що при збільшенні групового уповільнення хвилі збільшується концентрація електромагнітного поля в поверхні структури, що уповільнює - що призводить до зниження пропускної потужності і росту омичних втрат.

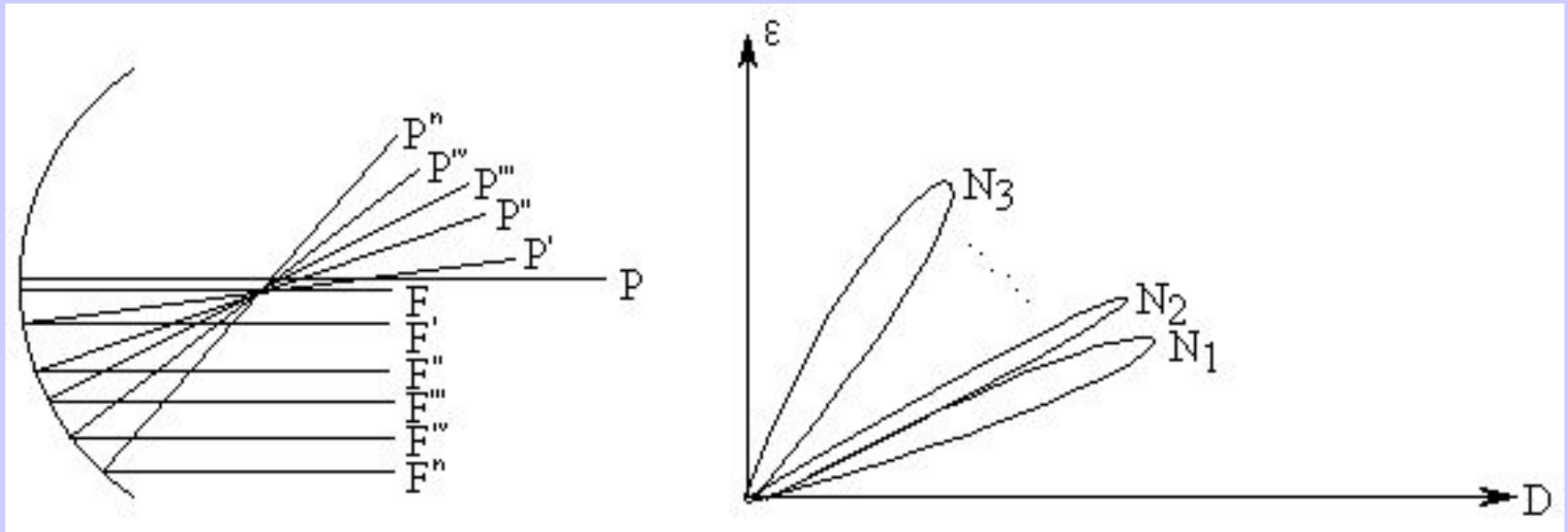
Збільшення геометричного уповільнення хвилі досягається використанням схем із більшою довжиною відрізка фідера S , що живить суміжні випромінювачі (збільшується $\beta_2 = S/d$). Конструктивно збільшення S досягається використанням спіральних або змійкових хвилеводів.



Методи формування парціальних діаграм направленості

Одним із засобів підвищення швидкості огляду (наприклад за кутом місця) є використання багатопроменевих діаграм направленості (парціальних ДН).

У найпростішому випадку створення багатопроменевої ДН досягається установкою декількох випромінювачів, винесених із фокуса дзеркальної параболічної антени.



Проте, у цьому випадку, при великих відстанях від точки фокуса, відбувається збільшення променя як за кутом місця так і по азимуті, що викликає необхідність використання декількох дзеркал.

Використовуючи властивості дзеркальних антен і антенних решіток, наприклад антен із ЧКП і подаючи на вхід антени багаточастотні сигнали, можна одержати парціальні ДН, кожену на певній частоті.

