

Prednáška 12: **SÚSTAVY ANTÉN**

doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.
(lubos.ovsenik@tuke.sk, tel. 421 55 602 4336)

[http://kemt-old.fei.tuke.sk/predmety/EVaA/_materialy/
Prednasky/Pr12/Pr12.pdf](http://kemt-old.fei.tuke.sk/predmety/EVaA/_materialy/Prednasky/Pr12/Pr12.pdf)

<http://los.fei.tuke.sk/>

Obsah prednášky

- Úvod do sústav antén
- Lineárna anténová sústava
- Plošná anténová sústava
- Základné zapojenia fázovaných anténových sústav

Anténové sústavy

- Veľký význam v anténovej technike majú **anténové sústavy** vytvorené z **určitého počtu rovnakých a rovnako orientovaných prvkov** (jednoduchších antén)
- **Výsledné smerové charakteristiky sústav zdrojov** závisia od amplitúd a fáz elm vln vyžarovaných jednotlivými prvkami
 - tieto amplitúdy a fázy sa pritom volia tak, aby sme získali **požadovanú smerovú charakteristiku celej sústavy**
- Jednotlivé prvky anténovej sústavy môžu byť **rozmiestnené ľubovoľne**
 - v praxi sa však používajú sústavy určitých **jednoduchých geometrických tvarov**

■ **Najväčší význam** majú:

■ **lineárne anténové sústavy**

■ v ktorých sú prvky rozmiestnené pozdĺž priamky

■ a **plošné anténové sústavy**, ktoré môžeme rozdeliť na:

■ sústavy **pravouhlé**

■ ktoré možno považovať za **lineárne sústavy** zložené z lineárnych sústav

■ a na sústavy **prstencové**

■ v ktorých sú prvky umiestnené na **obvode kruhu**

■ **Podstatný rozdiel medzi anténovými sústavami a plošnými anténami** (parabolickými, šošovkovými) je v tom

■ že v prípade anténových sústav sa rozloženie fázy poľa v apertúre sústavy realizuje ešte pred jeho vyžiarením

■ **Charakteristickou vlastnosťou anténových sústav** je teda **možnosť meniť rozloženie fázy** poľa v apertúre sústavy

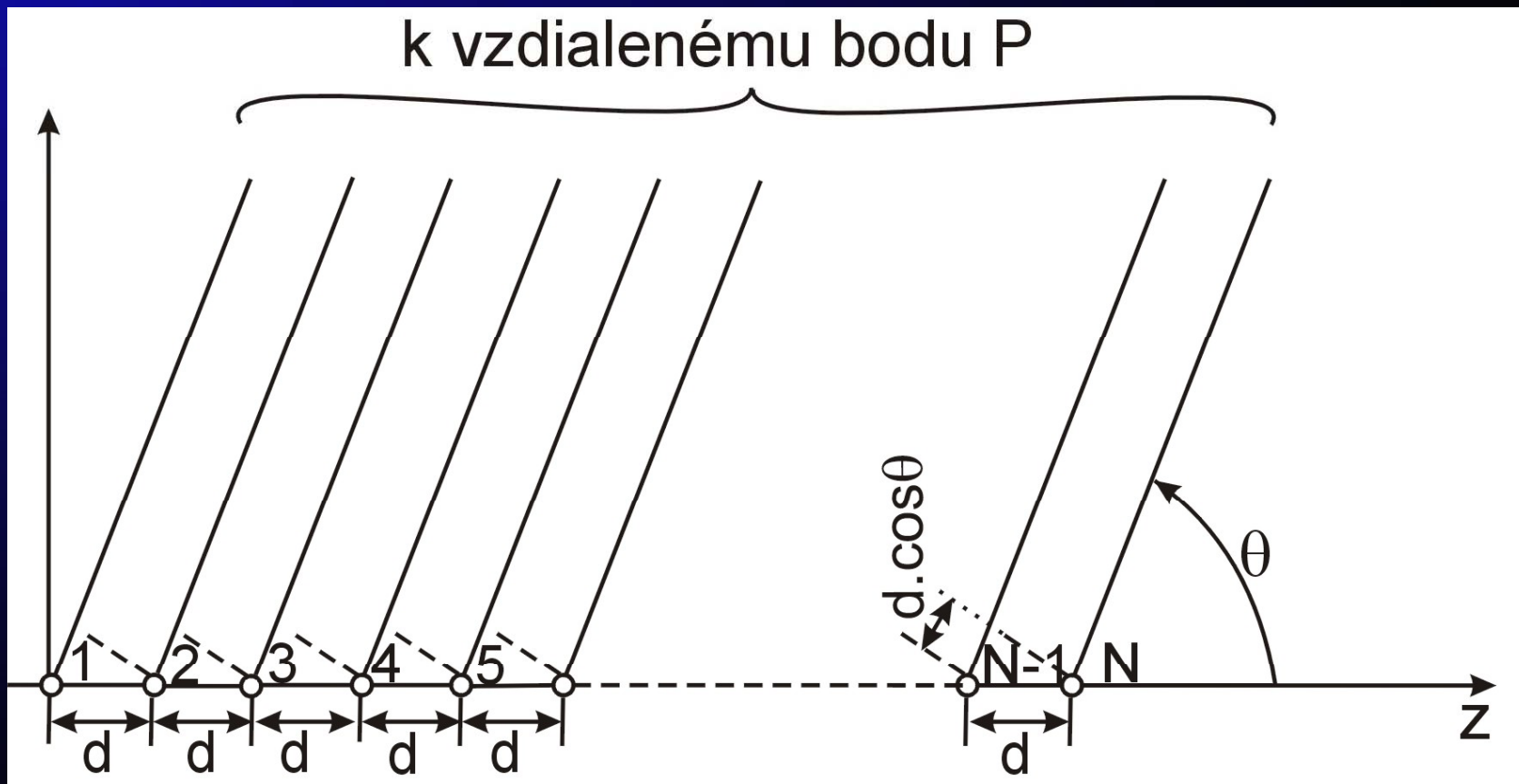
■ Táto vlastnosť sa využíva pri **elektrickom vychyľovaní smerovej charakteristiky** anténových sústav

- V súlade s princípom násobenia charakteristík **smerová charakteristika anténovej sústavy** je
 - súčinom smerovej charakteristiky **jedného prvku sústavy**
 - a smerovej charakteristiky rovnakej sústavy vytvorenej z **izotropne** (všesmerovo) **vyžarujúcich antén**, tj. interferenčného činiteľa sústavy
 - v ďalšom sa preto budeme zaoberať **len sústavami izotropne vyžarujúcich antén**, t. j. budeme sa zaujímať o interferenčné činitele jednotlivých sústav

Lineárna anténová sústava

- Uvažujme sústavu N izotropne vyžarujúcich antén rovnomerne rozmiestnených pozdĺž osi z

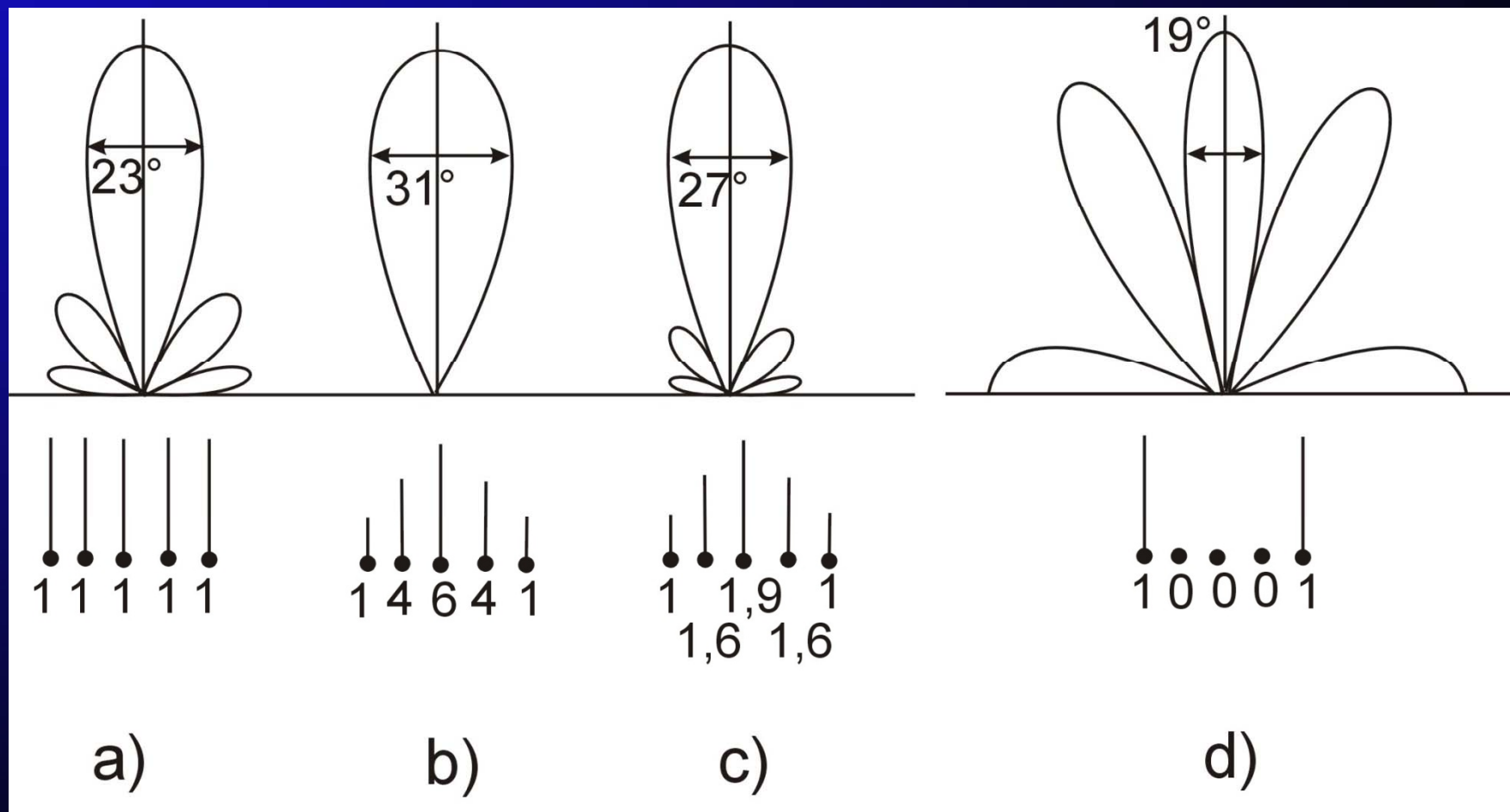
Obr.12.1 Lineárna anténová sústava



- Charakteristickou vlastnosťou súfázových lineárnych anténových sústav je vznik hlavného laloku smerovej charakteristiky pri $\Theta=90^\circ$ (obr.12.1) čo je smer kolmý na os sústavy; (obr.12.2)
 - preto sa súfázové lineárne sústavy nazývajú tiež sústavami s priečnym vyžarovaním

- Ak je vzdialenosť medzi prvkami sústavy (obr.12.1)
 - menšia ako vlnová dĺžka ($d < \lambda$), potom má smerová charakteristika len jeden hlavný lalok; (obr.12.2a,b,c)
 - pri $d \geq \lambda$ vznikajú v smerovej charakteristike druhotné difrakčné maximá; (obr.12.2d)

Obr.12.2 Smerové charakteristiky súfázovej lineárnej sústavy piatich antén; napájaných prúdmi s rôznymi relatívnymi amplitúdami; vzdialenosť medzi prvkami sústavy je $\lambda/2$



- Ak sú prvky napájané prúdmi s postupne rastúcou fázou ($\nu \neq 0$), potom sa smer maximálneho vyžarovania odchyľuje od kolmice na os sústavy

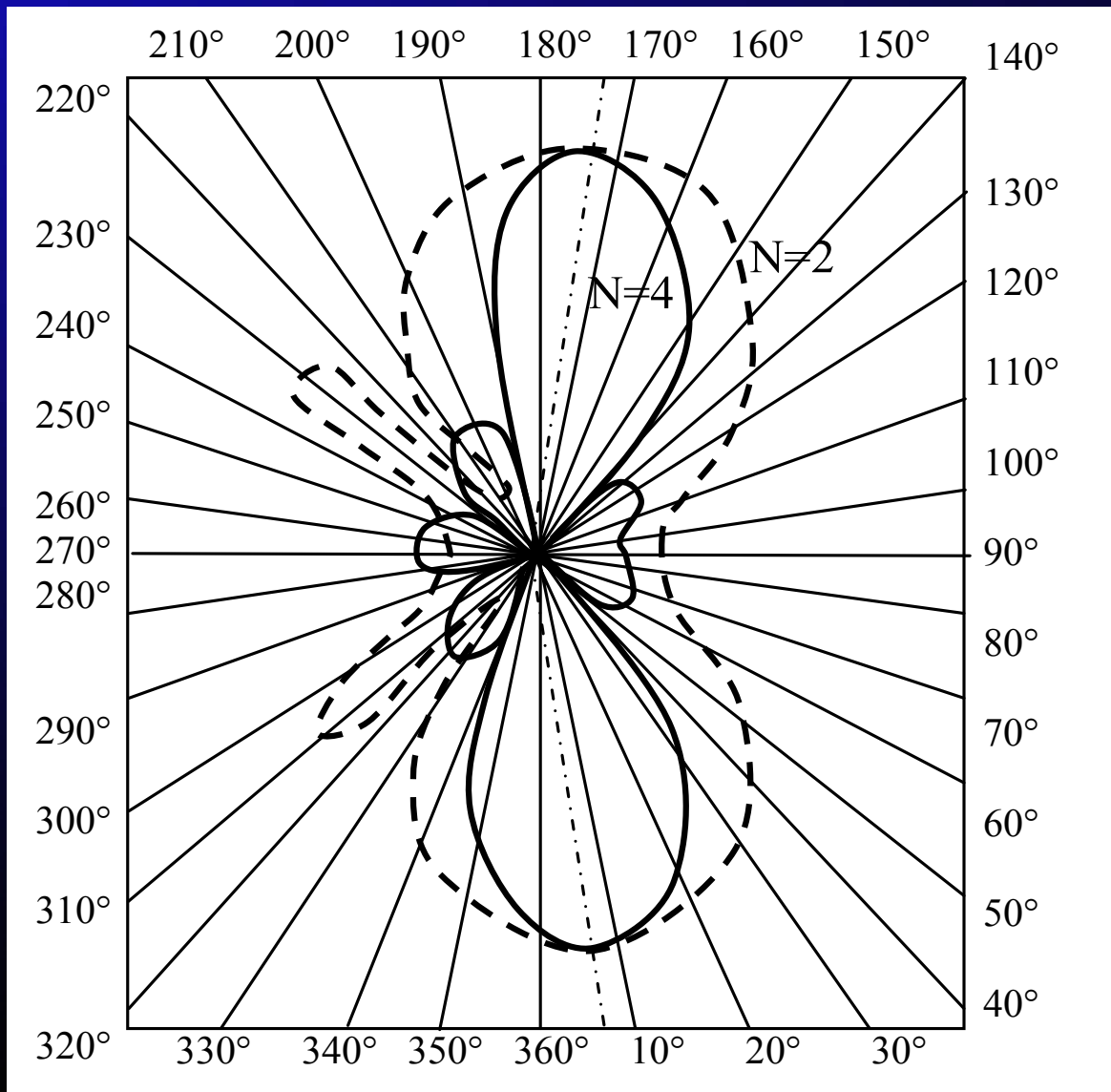
$$\Theta_m = \arccos\left(-\frac{\mathcal{I}\lambda}{2\pi d}\right)$$

- Závislosť smeru maximálneho vyžarovania od rozdielu fáz medzi prvkami sa využíva na **elektronické vychyľovanie smerovej charakteristiky** vo fázovaných anténových sústavách
- V **špeciálnom prípade**, keď fázový posun medzi prvkami sústavy je rovnaký ako fázové oneskorenie, ktoré dosiahne vlna pri prekonaní dráhy od jedného prvku k susednému, **smer maximálneho vyžarovania splýva s osou sústavy**
 - potom hovoríme o **sústave s osovým vyžarovaním**

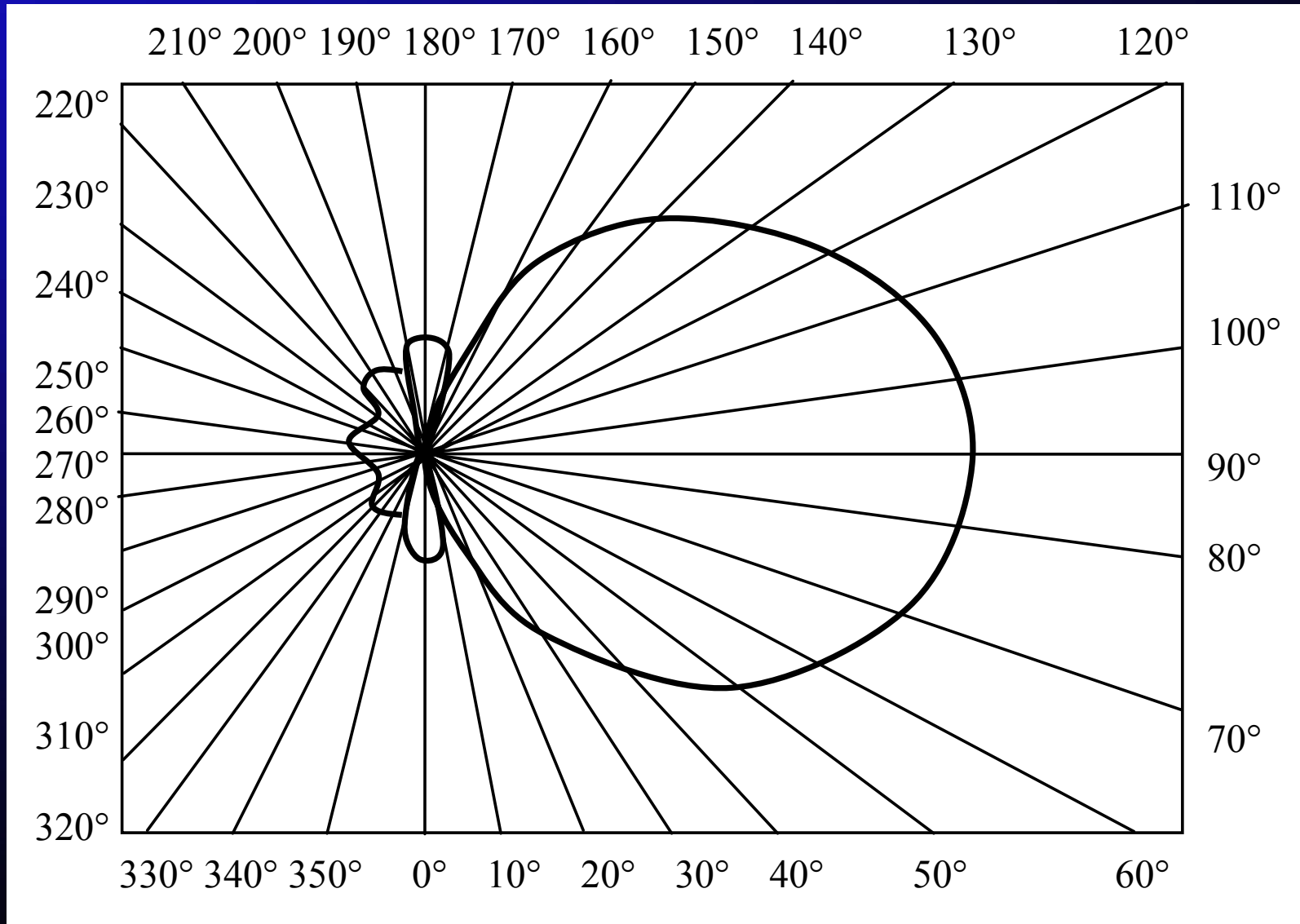
- Reálna smerová charakteristika s **narastaním fázy v jednom smere nie je symetrická** vzhľadom na smer vyžarovania
- Pri veľkých odchýlkach od smeru kolmého na os sústavy **dochádza rozšíreniu** hlavného laloka; (obr.12.3)
- **Vznik** druhotných difrakčných maxím (**lalokov sústavy**) závisí od **vzdialenosti a fázového posunu medzi prvkami** sústavy

- Pre získanie **jednolalokovej smerovej charakteristiky** pre ľubovoľné fázové posuny je potrebné sústavu konštruovať tak, **aby vzdialenosť** medzi jej jednotlivými prvkami bola omnoho **menšia ako vlnová dĺžka $d \ll \lambda$** ; (obr.12.4)
 - v reálnych sústavách táto **vzdialenosť môže byť väčšia**, pretože časť lalokov sústavy možno **odstrániť použitím prvkov sústavy s neizotropnými smerovými charakteristikami**

Obr.12.3 Horizontálne smerové charakteristiky lineárnych anténových sústav vytvorených z 2 a 4 vertikálnych polvlnových lineárnych antén ($d=\lambda/2$; $\nu=30^\circ$)



Obr.12.4 Horizontálna smerová charakteristika sústavy lineárnych antén vytvorenej zo 6 vertikálnych polvlnových lineárnych antén ($d=\lambda/2$; $v=90^\circ$)



- **Šírka hlavného laloka** lineárnej súfázovej anténovej sústavy je (obr.12.4)

$$\alpha \approx 0,88 \frac{\lambda}{L} = 0,88 \frac{\lambda}{Nd}$$

- α - šírka hlavného laloka lineárnej súfázovej anténovej sústavy
- L - dĺžka sústavy
- N - počet prvkov sústavy
- d - vzdialenosť medzi prvkami sústavy
- λ - vlnová dĺžka elm vlnenia

- **Úroveň postranného laloka je – 13,2 dB**

- Pri vychýlení zväzku od smeru kolmého na os sústavy rastie šírka hlavného laloka **nepriamo úmerne** veľkosti **$\sin\Theta_m$**

- **Smerovosť** lineárnej súfázovej anténovej sústavy sa **rovná počtu prvkov sústavy** ($d=\lambda/2$; $\nu = 0$)

$$D = N = 2 \frac{L}{\lambda}$$

- **Energetický zisk** súfázovej lineárnej anténovej sústavy vzhľadom na polvlnový dipól
 - **prakticky sa používa** aj v prípadoch, keď vzdialenosť medzi prvkami je rôzna od $\lambda/2$

$$G_{\lambda/2} \approx 1,22 \frac{L}{\lambda}$$

PRÍKLAD SÚSTAVY PRIJÍMACEJ LINEÁRNEJ ANTÉNY

- **Lineárny anténny rad** (priamkový), zložený z lineárnych prvkov (napr. polvlnových dipólov); (obr.12.5)
 - ak dopadá na anténny rad elm vlnenie **zo smeru S_1** , (teda kolmo k osi, na ktorej sú usporiadané anténne prvky), **sú napätia** vybudené na výstupoch jednotlivých prvkov **vo fáze** a pri podmienke, že všetky spojovacie vedenia s prijímačom sú rovnako dlhé, bude **výsledné súčtové napätie maximálne**
 - ak by dopadalo elm vlnenie z iného **smeru napr. S_2** , vidíme, že na stredný prvok **dopadne vlnenie s fázovým oneskorením úmerným dĺžke l**

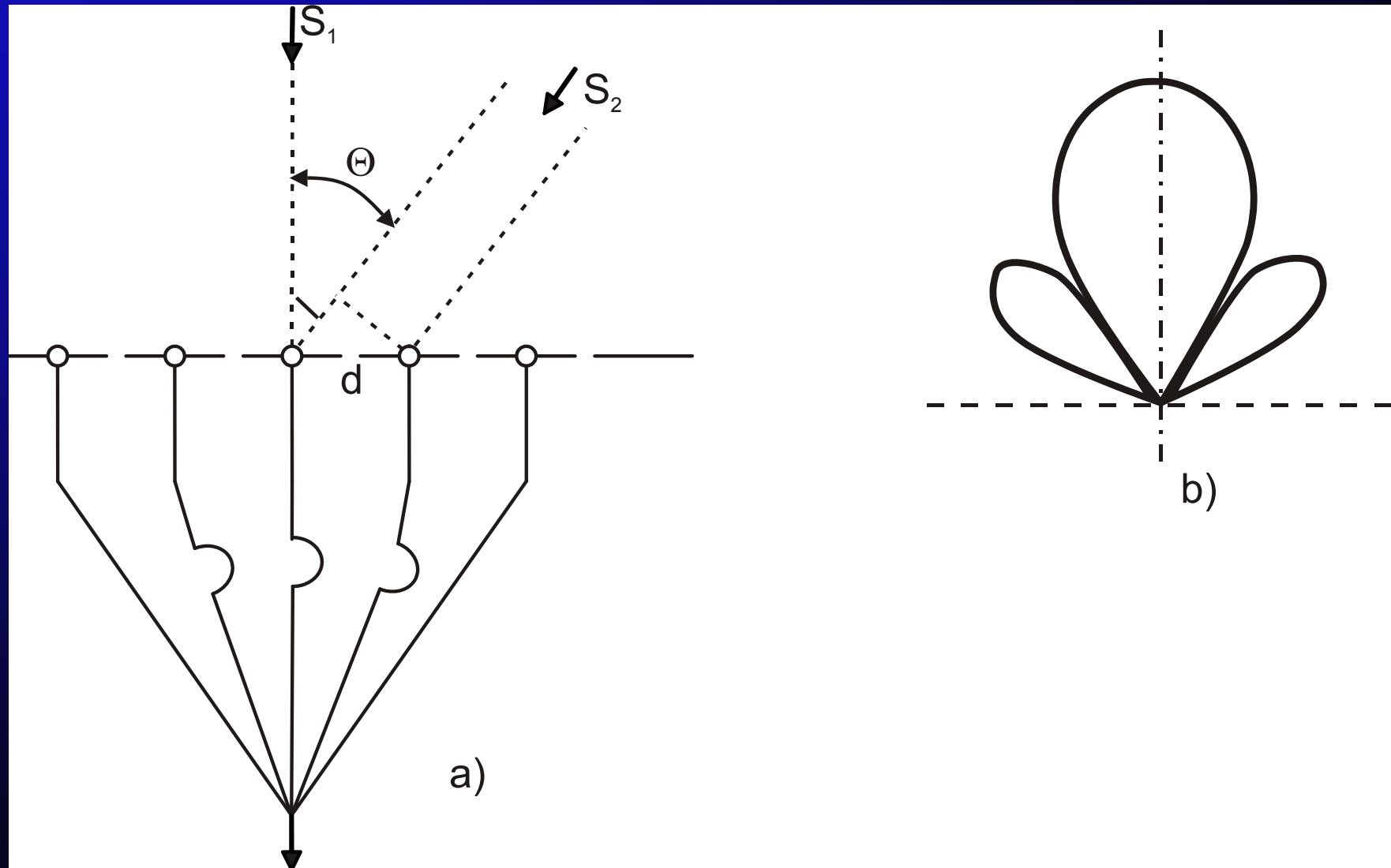
$$\Phi = \frac{2\pi l}{\lambda} \quad [rad]$$

$$l = d \cdot \sin \Theta$$

- príspevky jednotlivých prvkov do spoločného prijímača potom **nie sú vo fáze**, ich vektorový súčet je menší než napätie získané pri dopade vln zo smeru S_1

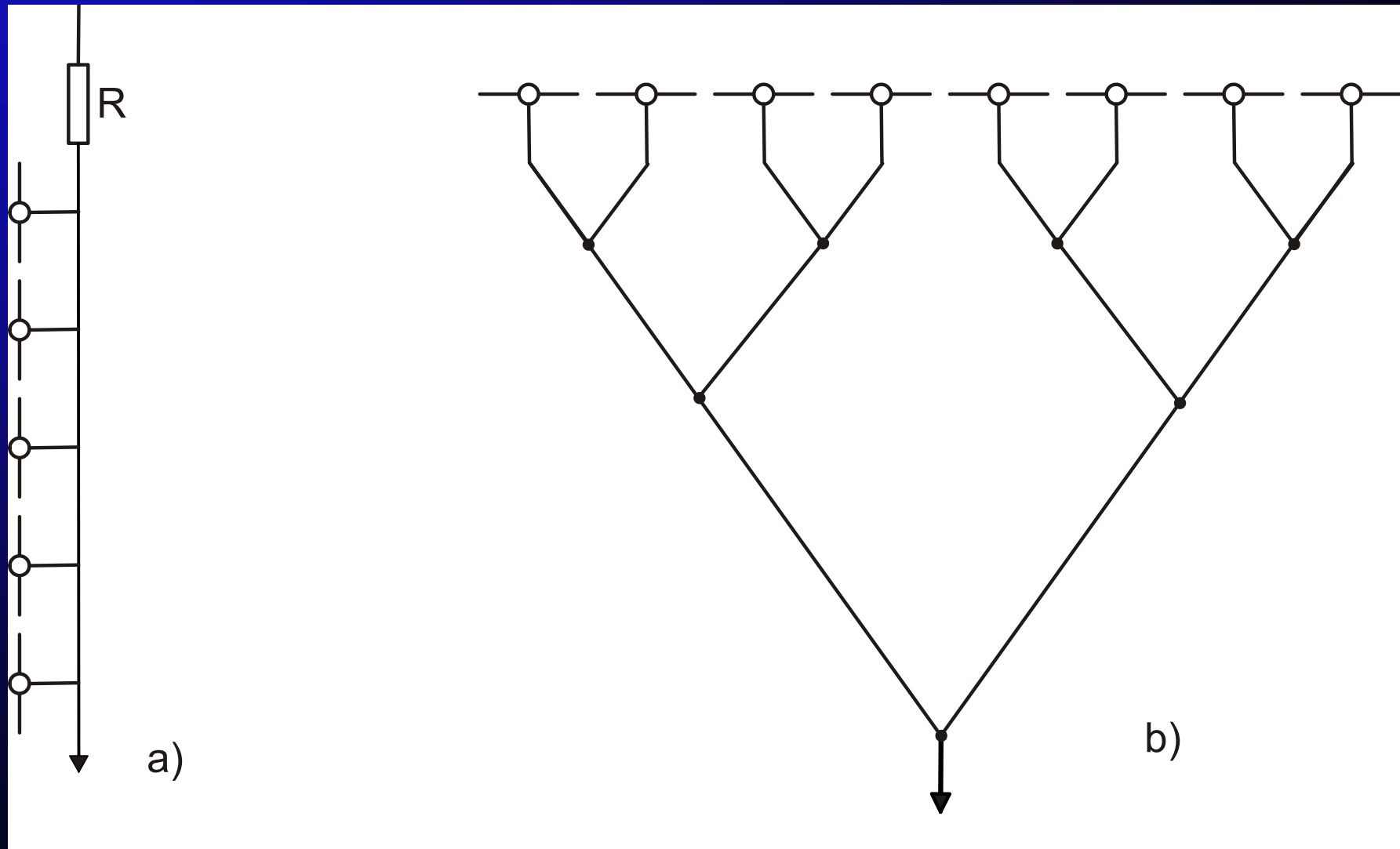
- funkčnú závislosť súčtového napätia na uhle určuje tzv. **diagram anténneho radu**
 - fáza jednotlivých príspevkov závisí na **vzájomnej vzdialenosti anténnych prvkov „d“** a na **periodickej sínusovej funkcii**
- **veľkosť postranných slučiek diagramu závisí** v prvom rade na **vzájomnej vzdialenosti prvkov „d“** a na **vlastnom diagrame anténového prvku**
- So vzájomnou vzdialenosťou anténnych prvkov sa **nedá ľubovoľne zaobchádzať**
 - pretože ak majú prvky radu **príliš veľkú vzájomnú vzdialenosť „d“**, príspevky jednotlivých prvkov sa sčítajú vo fáze ešte v ďalších smeroch, mimo smer **„S₁“**, takže **vznikajú ďalšie podružné, tzv. nežiaduce maximá príjmu**
 - v praxi teda **nejde zväčšiť vzájomnú vzdialenosť nad jednu vlnovú dĺžku**

Obr.12.5 (a) Lineárny (priamkový) antény rad s paralelným napájaním a príslušný (b) antény diagram



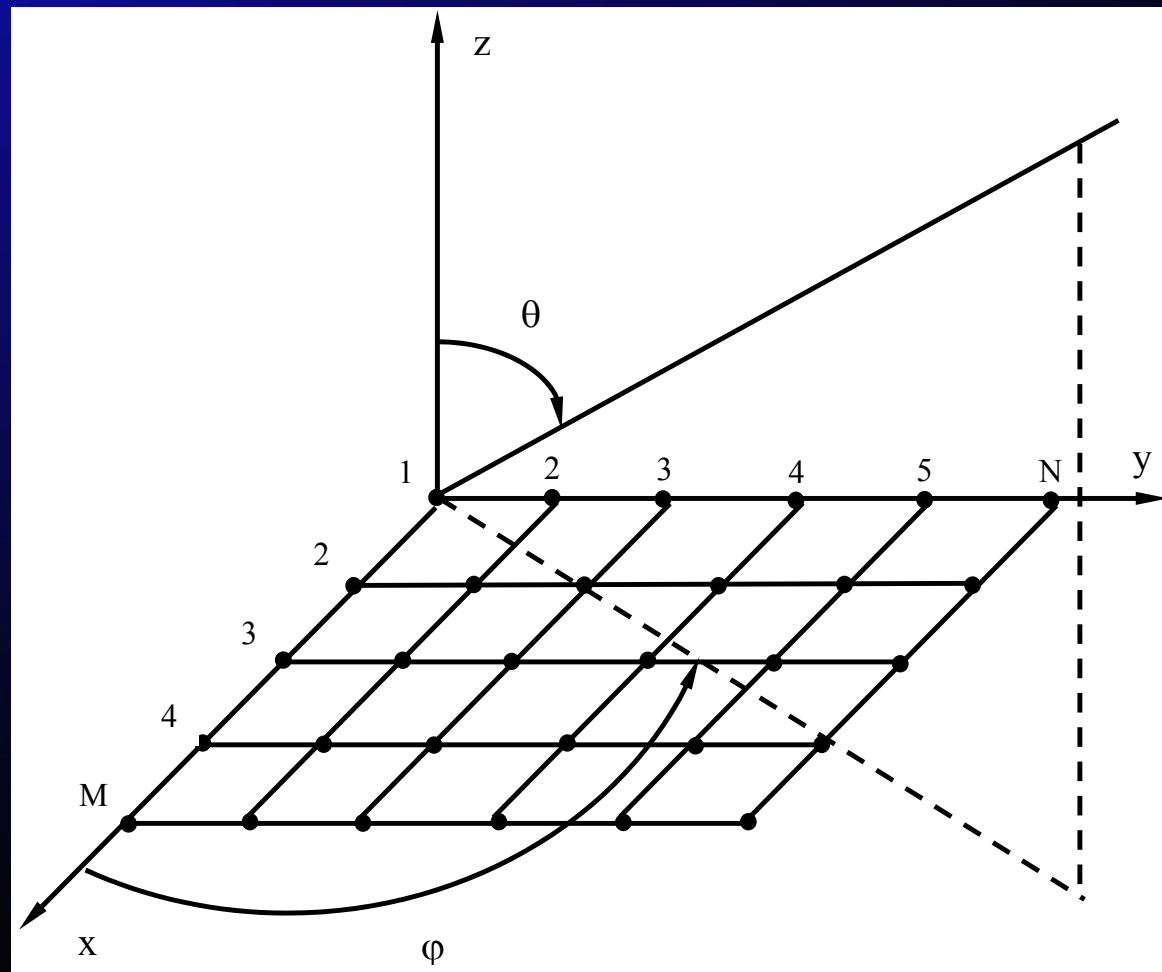
- **Pripojenie** jednotlivých anténnych **prvkov na prijímač** môže byť:
 - **paralelné**; (obr.12.5a)
 - **sériové**; (obr.12.6a)
 - **združené**; (obr.12.6b)

Obr.12.6 Lineárny (priamkový) antény rad so (a) sériovým a (b) združeným napájaním



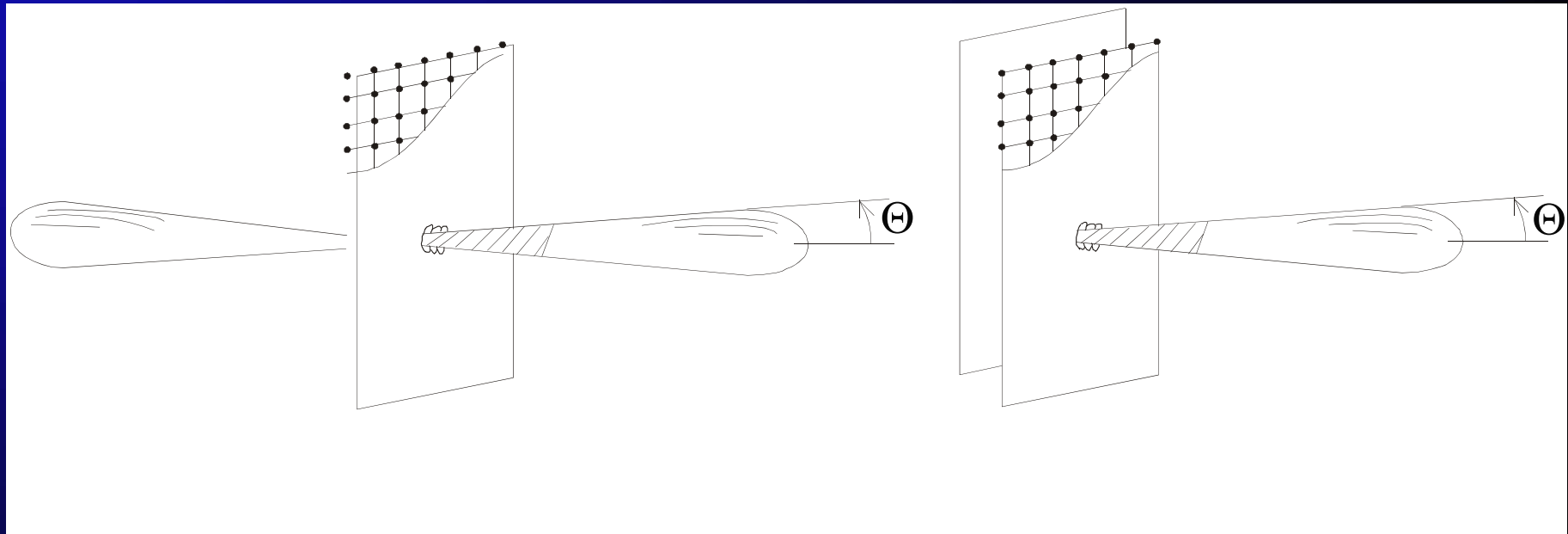
Plošná anténová sústava

- Uvažujme anténovú sústavu vytvorenú z $M \times N$ izotropných žiaričov umiestnených v uzloch pravouhlej siete ležiacej v rovine x, y - **pravouhlá plošná anténová sústava**



- Takúto sústavu **môžeme chápať** ako
 - lineárnu sústavu **vytvorenú z M prvkov**
 - z ktorých každý je lineárnou sústavou z **N zdrojov**
- Pri **súfázovom napájaní** všetkých prvkov sústavy je **smer maximálneho vyžarovania kolmý** na rovinu sústavy; (obr.12.7)
- **Smerová charakteristika** má **dva rovnaké hlavné laloky**(obr.12.7a)
- V mnohých **praktických aplikáciách** sa vyžaduje **vyžarovanie len v jednom smere**, ktoré možno dosiahnuť **umiestnením plošnej sústavy antén pred plochý kovový reflektor** ; (obr.12.7b)
 - prácu takejto sústavy možno popísať **metódou zrkadlenia**
- **Zmenou fáz prúdov** v jednotlivých prvkoch sústavy možno **meniť polohu hlavného laloka** v priestore; (obr.12.8)
 - je dôležité si opäť uvedomiť, že **vychyľovaním zväzku dochádza aj k zmenám jeho šírky**

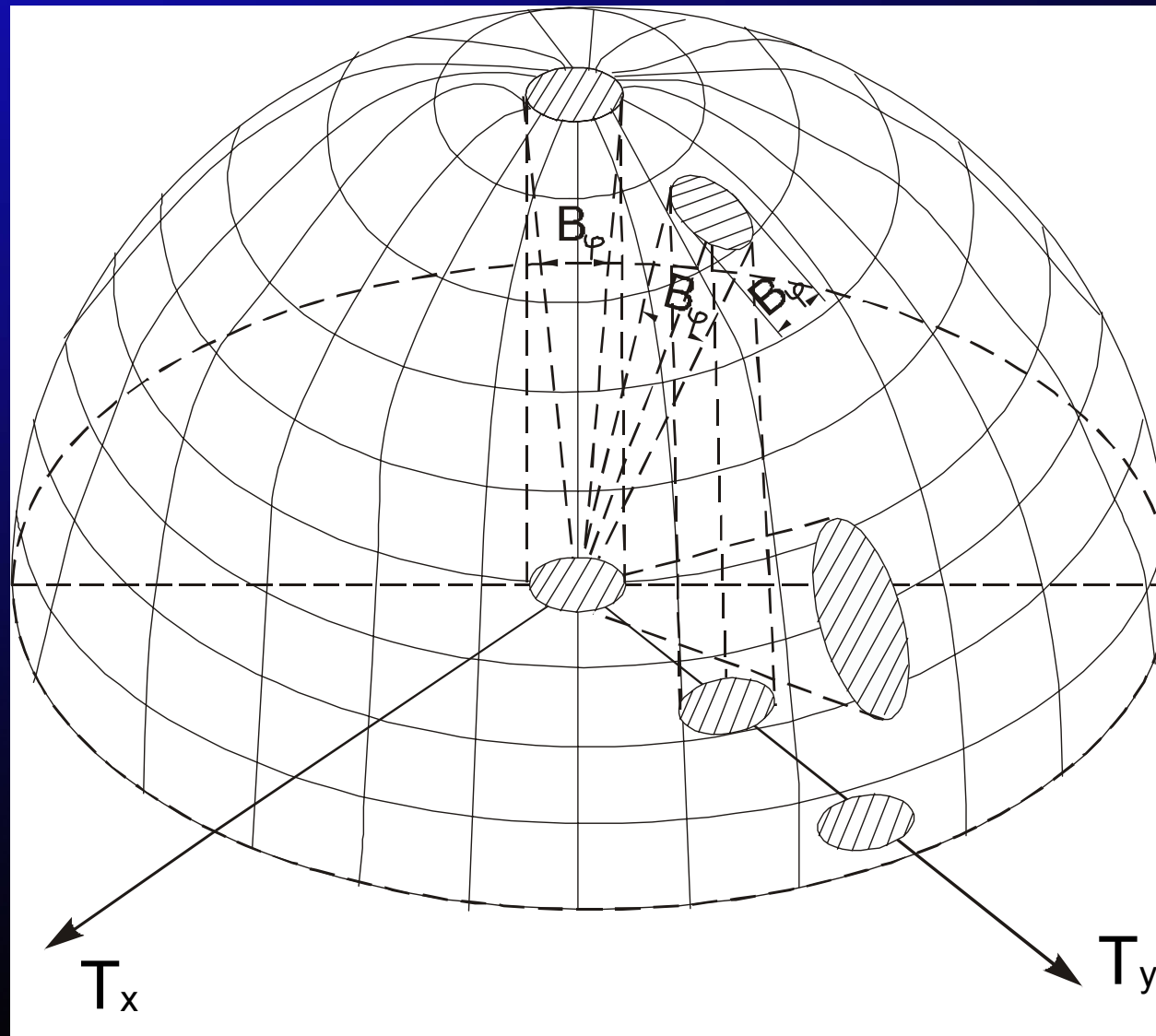
Obr.12.7 Smerová charakteristika plošnej pravouhlej anténovej



a) bez reflektora

b) s reflektorom

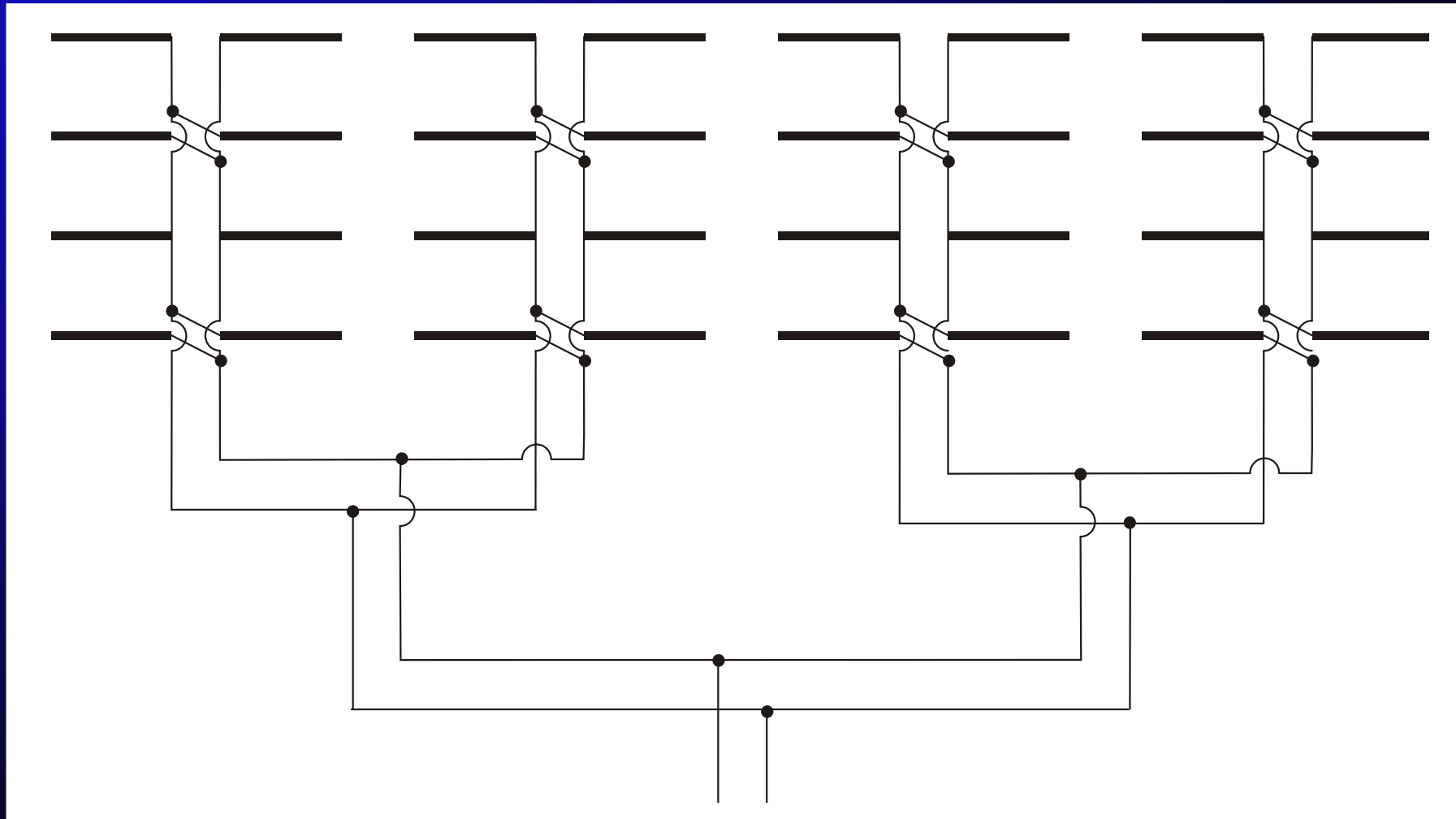
Obr.12.8 Zväčšovanie šírky hlavného laloka smerovej charakteristiky pri jej vychyľovaní



PRÍKLADY SÚSTAV PLOŠNYCH ANTÉN

- Ak rozložíme anténne prvky na rovinnej ploche, vznikne pripojenie plošného radu dipólov – **záclony** (obr.12.9)
 - vysielacie antény pre **krátkovlnný rozhlas** sa používajú od tridsiatych rokov 20. storočia až dodnes
 - základným prvkom týchto antén je **polvlnný dipól alebo sústava vodičov dlhých pol vlny** (systém Chireix-Mesny), **pripojených k vysielачu alebo prijímaču sústavou vedení (feeder)**, ktorá zaisťovala väčšinou súfázové napájanie jednotlivých prvkov anténneho radu
 - uvedený spôsob prepojenia anténnych prvkov dvojdrôtovým vedením si môžeme dovoliť na **nižších frekvenciách**, kde rozmery vodičov vedenia, veľkosť ohybov a zalomení vedenia (diskontinuít) sú zanedbateľné v porovnaní s vlnovou dĺžkou

Obr.12.9 Plošný antény rad dipólov – záclona

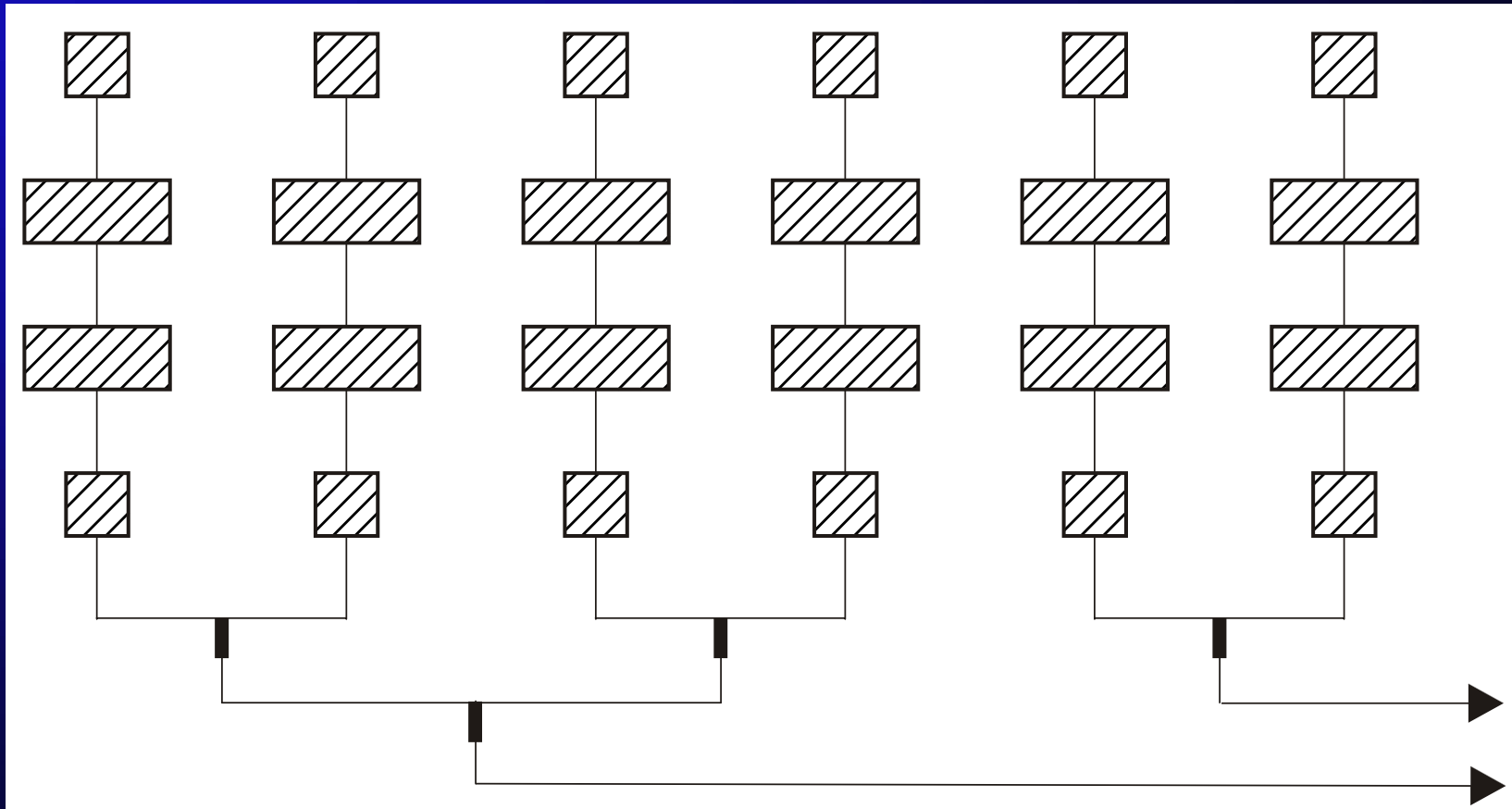


- na frekvenciách v pásme GHz, teda v pásme centimetrových vln, je nemožné týmto spôsobom postupovať
 - uvedené diskontinuity sú zrovnateľné s vlnovou dĺžkou a sú zdrojom parazitných príjmov, ktoré čiastočne alebo celkom môžu znehodnotiť činnosť plošného anténneho radu
 - riešenie sa našlo po objave tzv. mikropásikových antén (obr.12.10;11;12;13)
- U mikropásikových antén hrajú veľkú úlohu rozmery vlastných antén a najmä rozmery a permitivita substrátu
- Elektrické pole je tu sústredené prevažne do dielektrika a každá zmena jeho rozmerov i permitivity ovplyvňuje parametre antény, najmä impedanciu anténneho prvku
- Bežne požadovaná presnosť hrúbky dielektrika musí byť v tolerancii 0,1 až 0,05mm

- S predošlými parametrami súvisí i **šírka frekvenčného pásma**, v ktorom je schopná mikropásiková anténa pracovať
 - silno sústredené elektromagnetické pole v dielektriku dovoľuje pracovnú šírku pásma **1 až 5%** z prenášanej vlnovej dĺžky

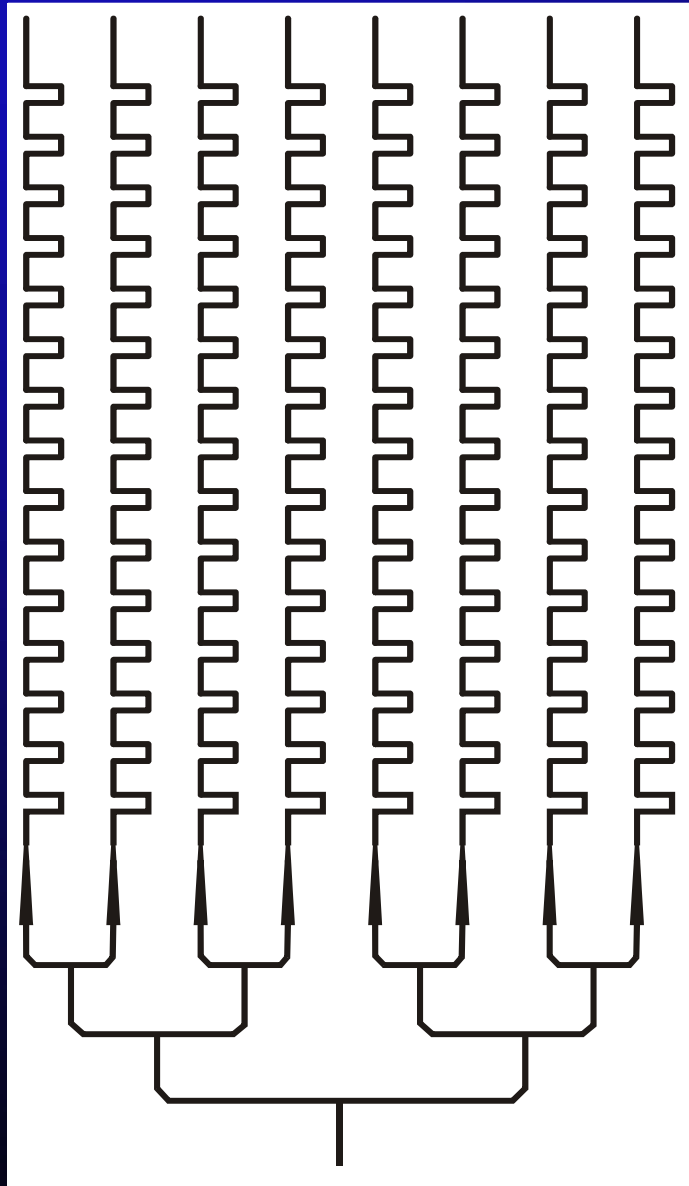
- Pre pásmo **družicovej televízie v okolí 12GHz** to znamená **maximálne 600MHz**, čo však postačí iba na časť vyhradeného frekvenčného pásma
 - o zväčšenie frekvenčnej šírky pásma mikropásikových antén sa v súčasnej dobe veľmi usiluje
(obr.12.10;11;12;13)

Obr.12.10 Príklad realizácie lineárne polarizovaného plošného radu s kombinovaným spôsobom napájania



- Anténny systém zložený z čiastkových radov (subarray), 4 x 4 prvkov, určených pre frekvenciu 40GHz, s pracovnou šírkou pásma 2%

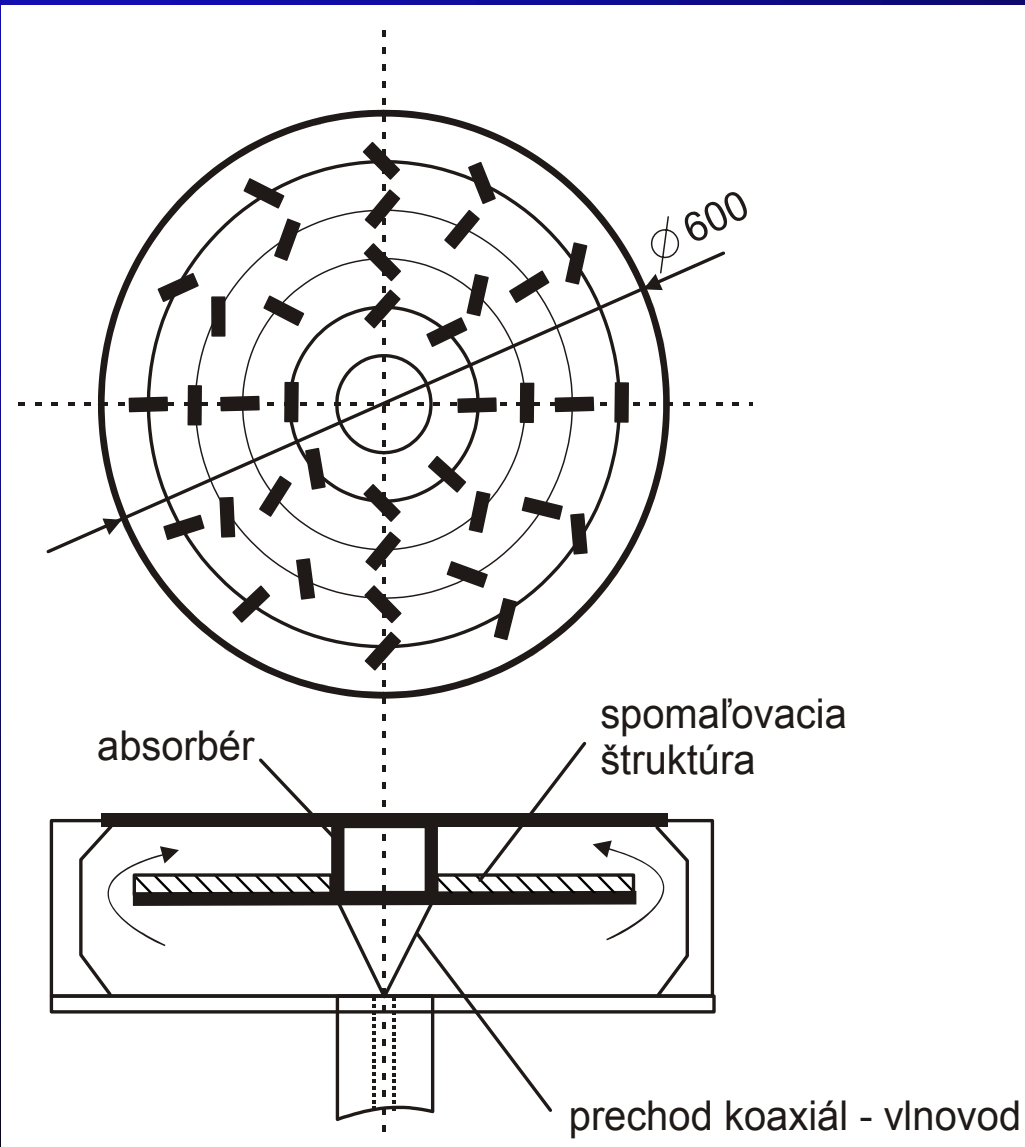
Obr.12.11 Príklad realizácie plošného anténneho radu pre kruhovú alebo pre lineárnu polarizáciu



■ Parametre tejto antény sú:

- Frekvencia 17GHz
- Zisk 27,6dB
- Účinnosť 32%
- Šírka pásma 6 %

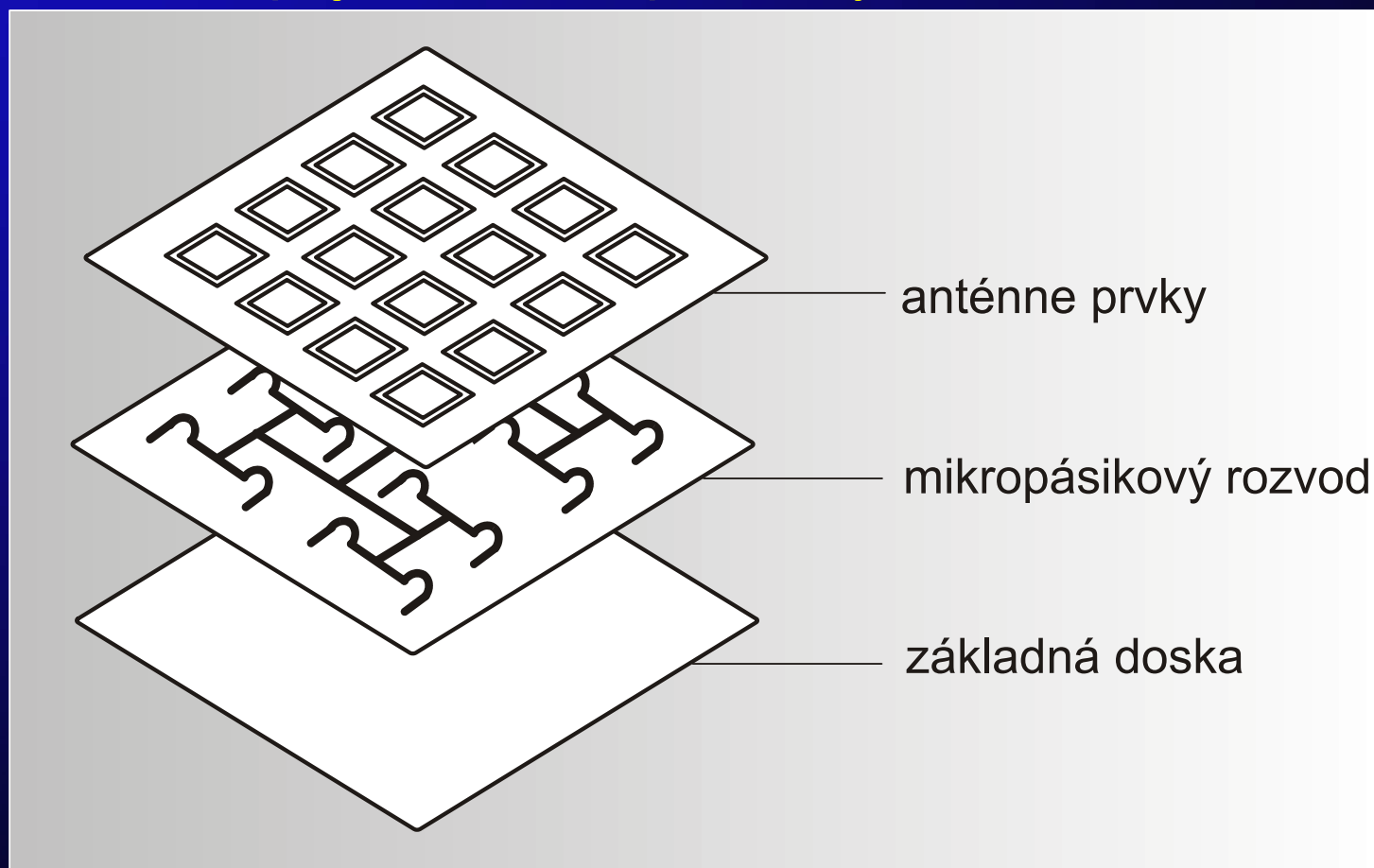
Obr.12.12 Príklad realizácie plošnej antény so štrbinami, budenými radiálnym vlnovodom



■ Parametre tejto antény sú:

- Frekvencia 12GHz
- Zisk 36,3dB
- Účinnosť 76%

Obr.12.13 Príklad realizácie 16prvkového čiastkového radu s napájacím mikropásikovým vedením



■ Parametre tejto antény sú:

- Frekvencia 12GHz
- Zisk 34,8dB
- Účinnosť min.50%
- Šírka pásma 10 %

Základné zapojenia fazovaných anténových sústav

- **Zmenou fáz signálu** v jednotlivých prvkoch anténovej sústavy možno v širokom rozsahu **vychyľovať hlavný lalok** smerovej charakteristiky sústavy
- Táto vlastnosť sa využíva pri **konštrukcii** anténových sústav schopných veľmi rýchlo vychyľovať smerovú charakteristiku bez použitia mechanických konštrukčných prvkov, tzv. **fazovaných anténových sústav**
- **Zmeny fázy signálu** v jednotlivých prvkoch fazovanej anténovej sústavy sa **môžu uskutočňovať**
 - **mechanicky**
 - alebo **elektricky**
 - v tomto prípade hovoríme o **elektronickom vychyľovaní** smerovej charakteristiky
- Fazované sústavy sa **používajú** predovšetkým v **rádiolokácii**

■ Okrem rýchlosti vychyľovania zväzku majú fázované anténové sústavy aj ďalšie **výhody**

- možnosť **súčasného vyžarovania viacerých zväzkov** pomocou jedinej apertúry
- možnosť **vyžarovania veľmi veľkých výkonov** (prvky sústavy možno napájať z rôznych zdrojov – vysieláčov)
- možnosť **potlačenia úrovne postranných lalokov**
- odstránenie **tienenia apertúry**
- možnosť (teoreticky) **prehľadávania celého polpriestoru**

■ Najväčšou ich **nevýhodou** je

■ **vysoká cena**

■ **a zložitosť**

- napr. anténová sústava vyžarujúca zväzok so šírkou 1° musí obsahovať asi **10 000 prvkov**
- pri šírke zväzku $0,1^\circ$ počet prvkov rastie do 10^6 (pri rovnomernom rozmiestnení prvkov)

- Rozoznávame dva základné spôsoby napájania fázovaných anténových sústav
 - sériové
 - s posúvačmi fázy v hlavnom vedení
 - s posúvačmi fázy vo vedľajších vetvách
 - a paralelné napájanie

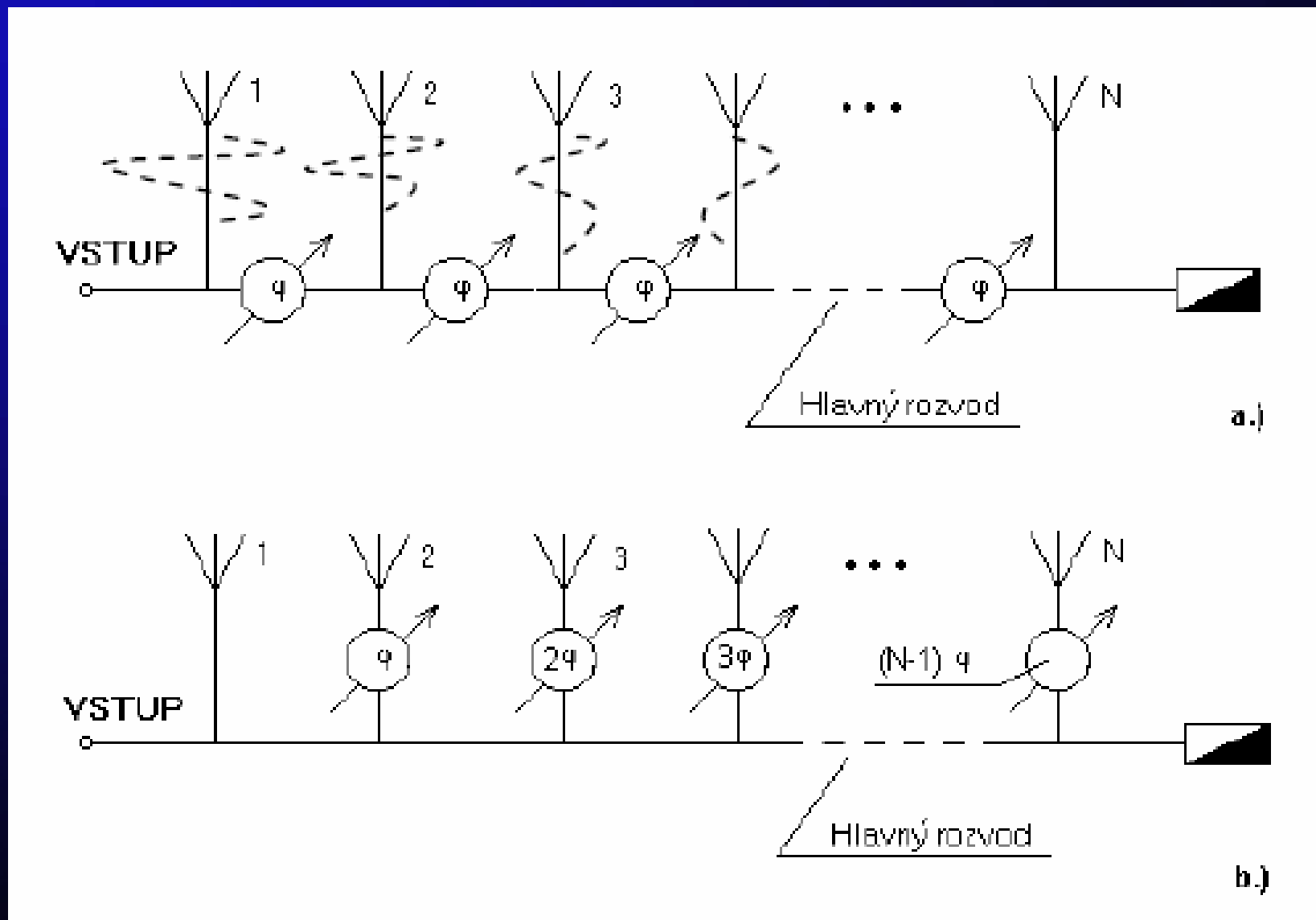
SÉRIOVÉ NAPÁJANIE; (obr.12.14)

- V zapojení s posúvačmi fázy v hlavnom vedení (obr.12.14a)
 - sa výkon k jednotlivým prvkom sústavy privádza odbočením pomocou väzobných prvkov na hlavnom vedení, ktoré je ukončené prispôbenou záťažou
 - rovnaké analógové posúvače fázy sú zaradené medzi väzobné prvky
- Zapojenie je kompaktné, pričom všetky posúvače fázy sa riadia rovnakým signálom (pretože pre odklon zväzku pod určitým uhlom, musí byť konštantný fázový posun medzi jednotlivými prvkami sústavy)
 - v čoho dôsledku sa veľmi zjednodušuje obvod ovládania posúvačov fázy

- Toto zapojenie sa však vyznačuje i niektorými **podstatnými nedostatkami**
 - napr. **fázové chyby** (nepresnosti) jednotlivých posúvačov fázy **sa pozdĺž hlavného vedenia sčítajú**
 - sčítajú sa i tlmenia týchto prvkov
 - preto je v takomto zapojení nutné **použiť veľmi presné posúvače fázy s malými stratami**
 - okrem toho vznikajú veľké nároky na **maximálny prenesený výkon**, predovšetkým posúvača najbližšieho ku vstupu

- Tieto **nevýhody odstraňuje zapojenie s posúvačmi fázy vo vedľajších vetvách**, ktoré je však komplikovanejšie; (obr.12.14b)

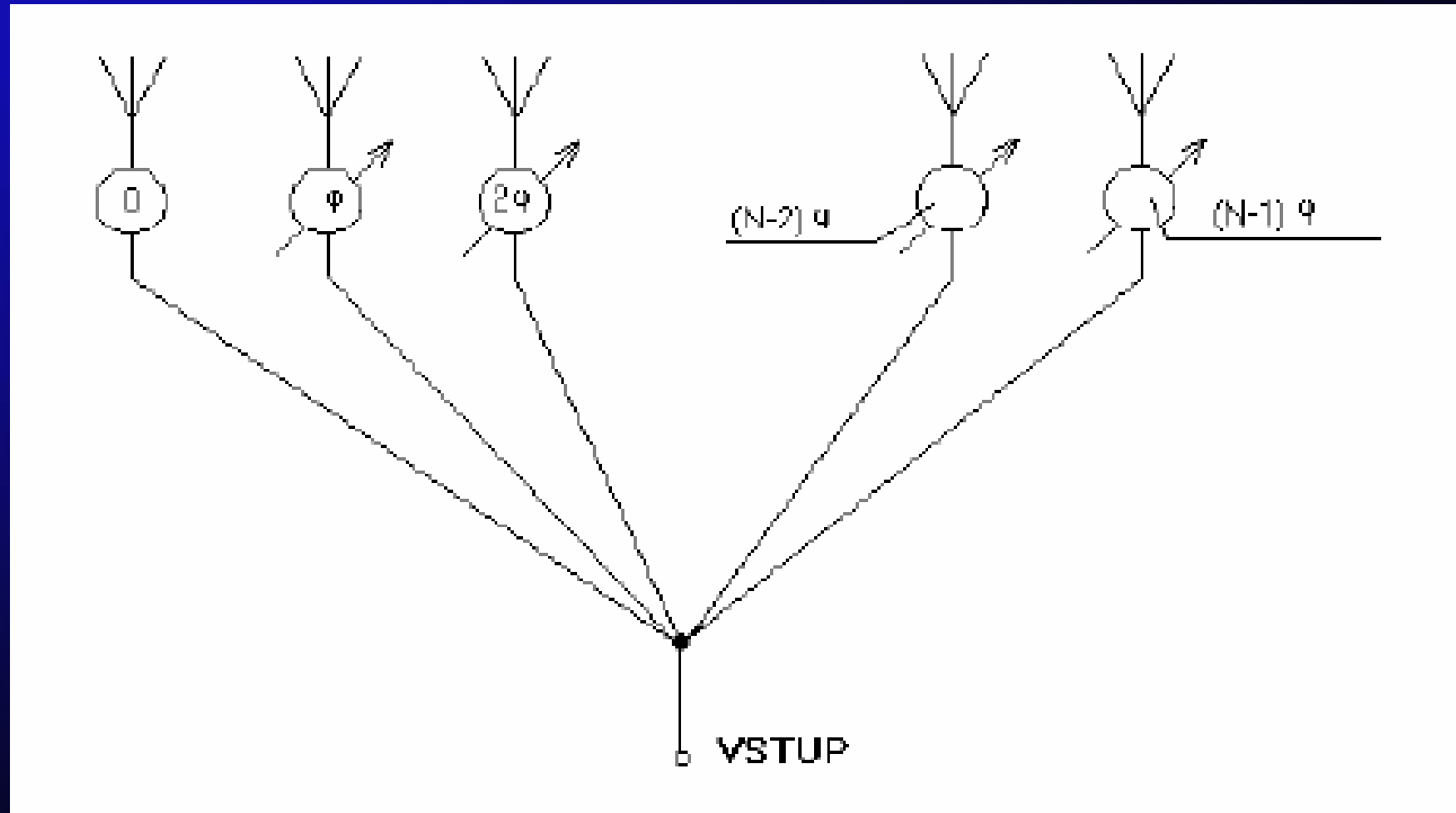
Obr.12.14 Sériové napájanie prvkov anténovej sústavy s posúvačmi fázy v hlavnom (a) alebo vo vedľajšom (b) vedení



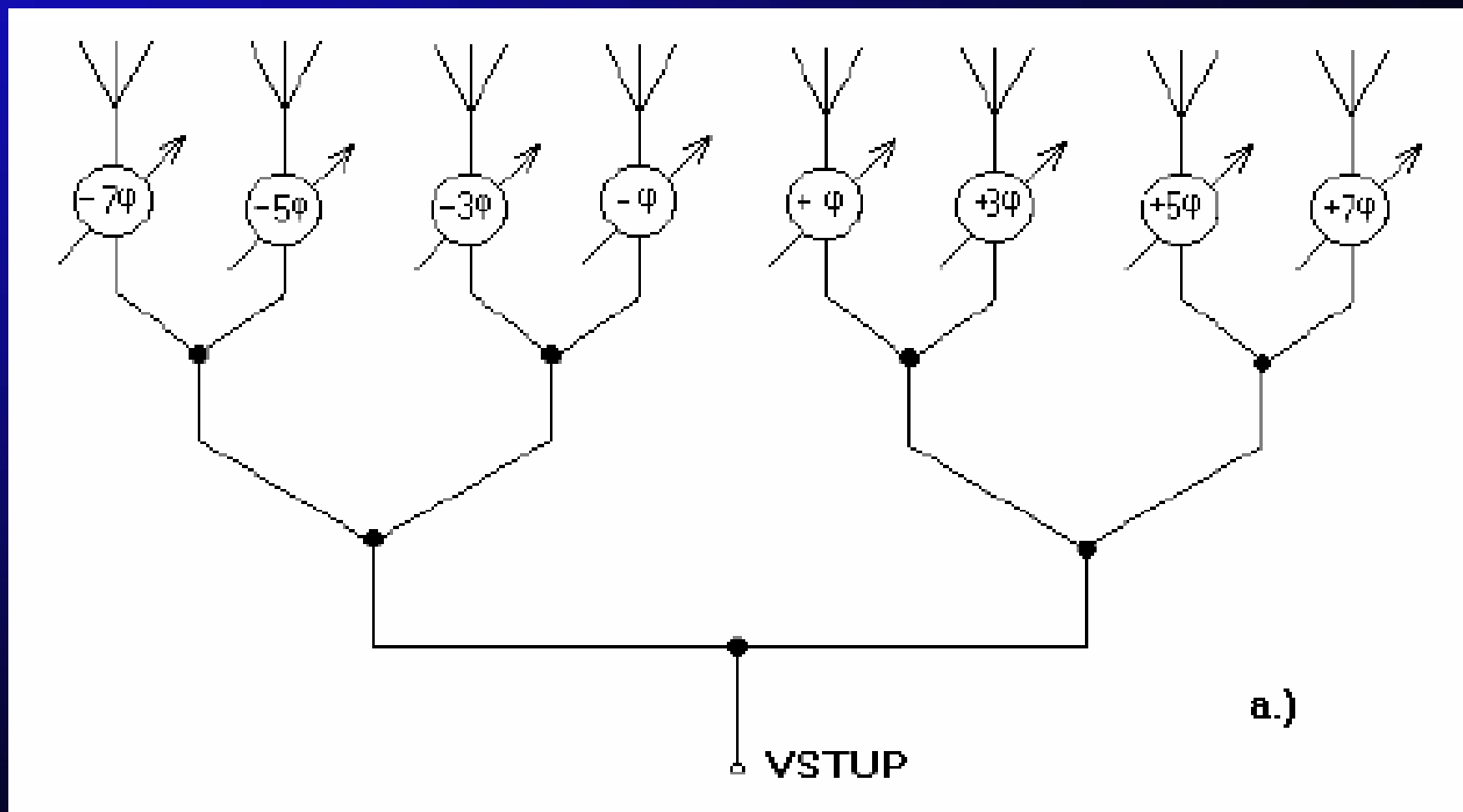
PARALELNÉ NAPÁJANIE; (obr.12.15)

- Toto zapojenie má niekoľko **výhod**
 - napr. možnosť **použiť málovýkonové posúvače fázy** s pomerne veľkými stratami (1,0 – 1,5 dB)
 - významnou výhodou paralelného zapojenia je **odstránenie kumulácie fázových chýb pozdĺž napájača**
- Jeho **nevýhodou** je **zložitejší systém riadenia posúvačov fázy**, pretože každý z nich musí byť nastavený na iný fázový posun
- **Špeciálnymi prípadmi** paralelného zapojenie prvkov sústavy sú **stromové zapojenia**; (obr.12.16); (obr.12.17)

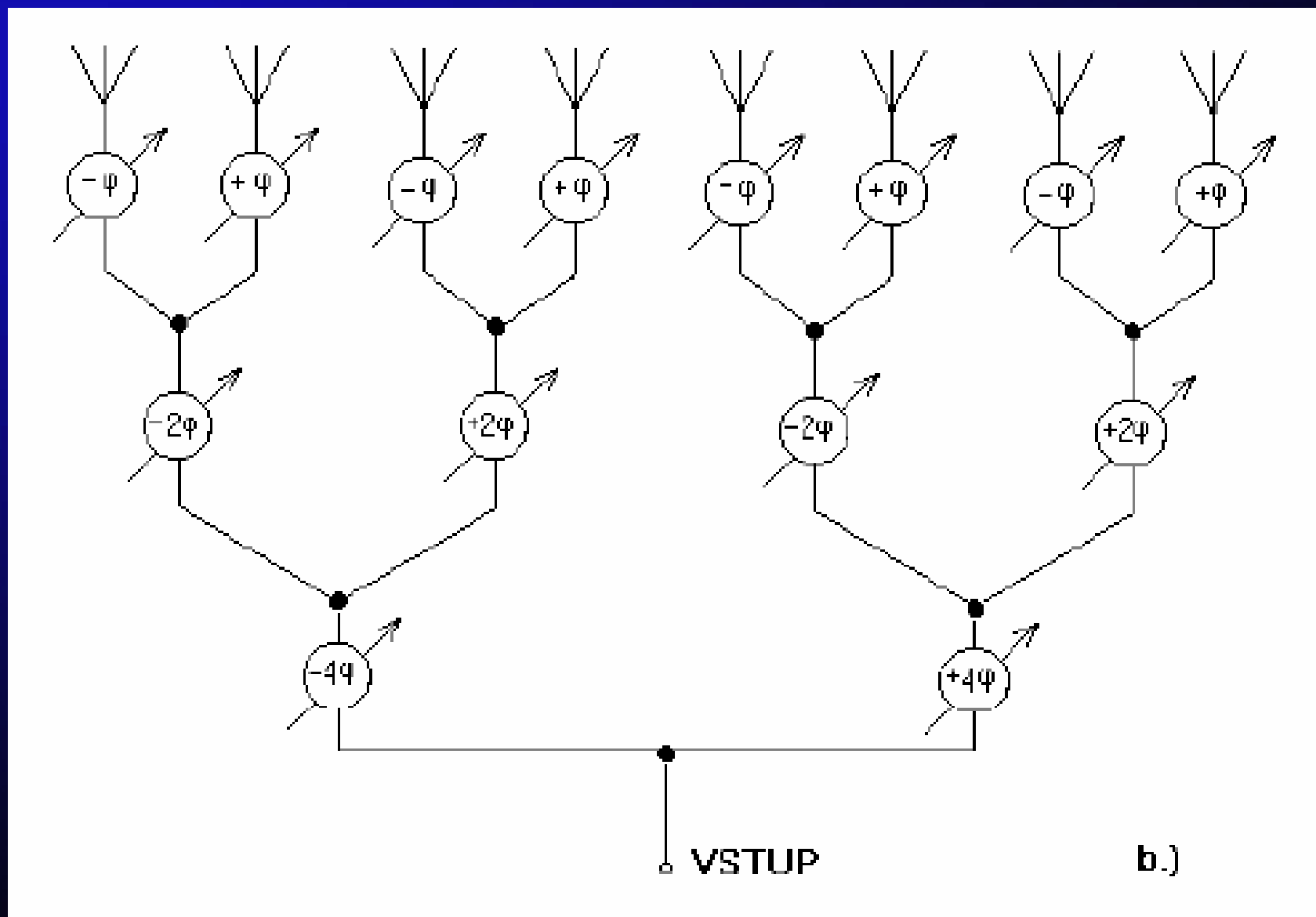
Obr.12.15 Paralelné napájanie prvkov anténovej sústavy



Obr.12.16 Stromové napájanie prvkov anténovej sústavy



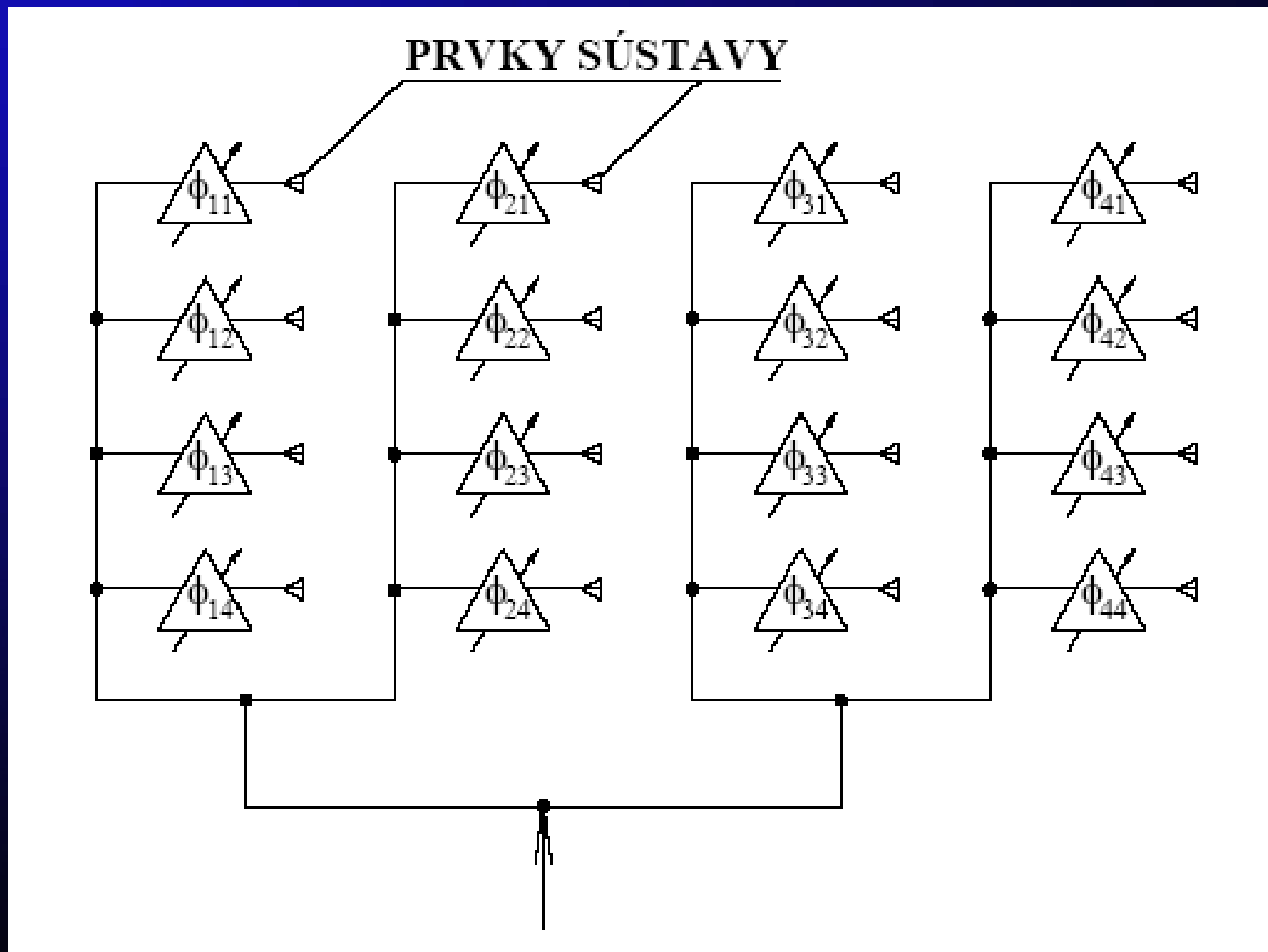
Obr.12.17 Stromové napájanie prvkov anténovej sústavy



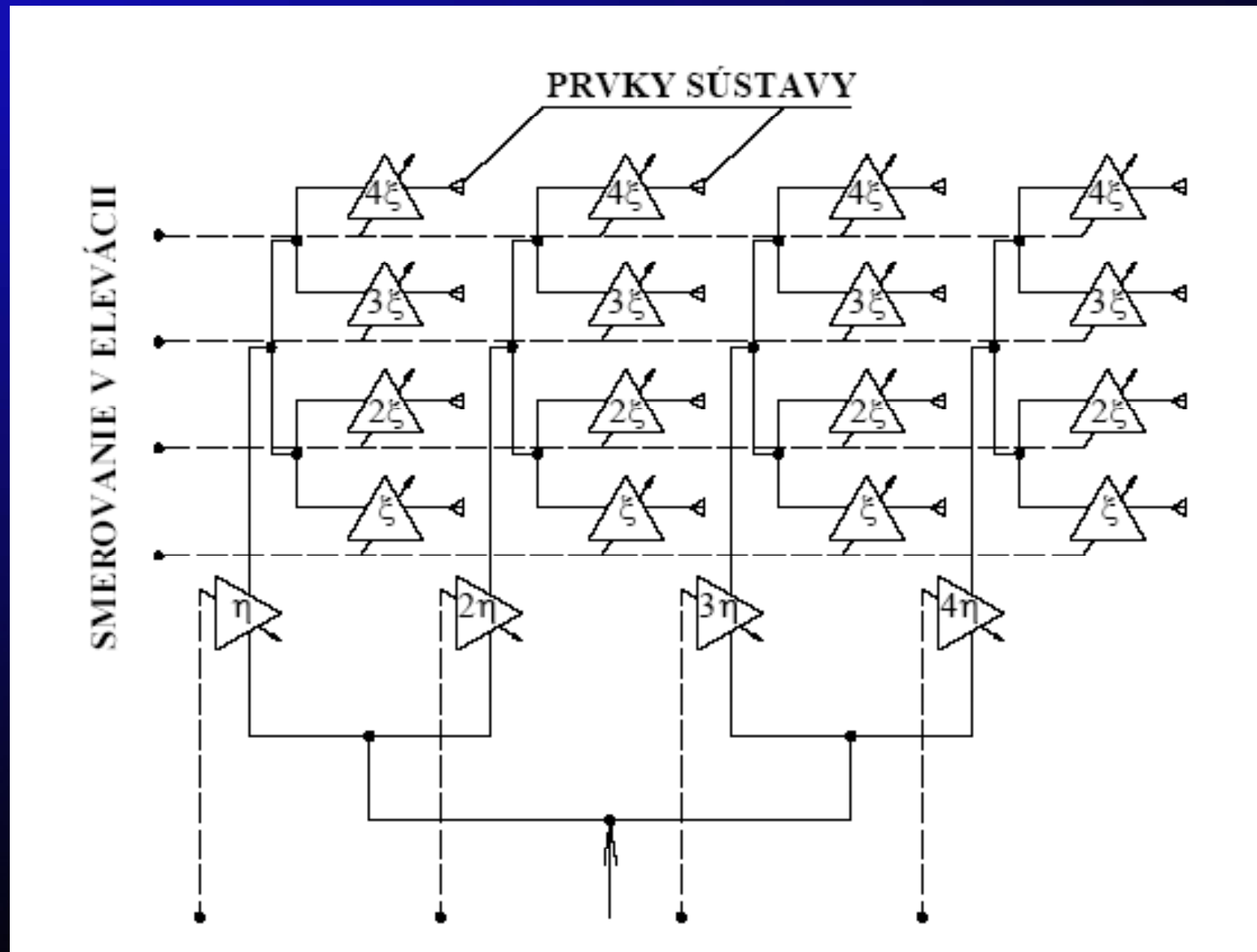
- **Dvojrozmerné prehľadávanie priestoru** možno realizovať pomocou **dvojrozmernej anténovej sústavy** (obr.12.18)
 - každému prvku sústavy je priradený **nezávisle riadený posúvač fázy**
 - príslušný program fázových zmien zabezpečuje **prehľadávanie priestoru v elevačnom aj azimutálnom smere**

- **Zníženie počtu posúvačov fázy** a zjednodušenie riadiaceho elektronického systému možno dosiahnuť zapojením (obr.12.19)
 - kde všetky prvky nachádzajúce sa v **jednom rade dostávajú rovnaký fázový posun** pre odklonenie zväzku v jednej rovine
 - podobne aj prvky nachádzajúce sa v **jednom "stĺpci" sú napájané s rovnakými fázovými posunmi**, čím sa dosiahne smerovanie v ortogonálnej rovine

Obr.12.18 Zapojenie dvojrozmernej fázovanej anténovej sústavy s nezávislými posúvačmi fázy



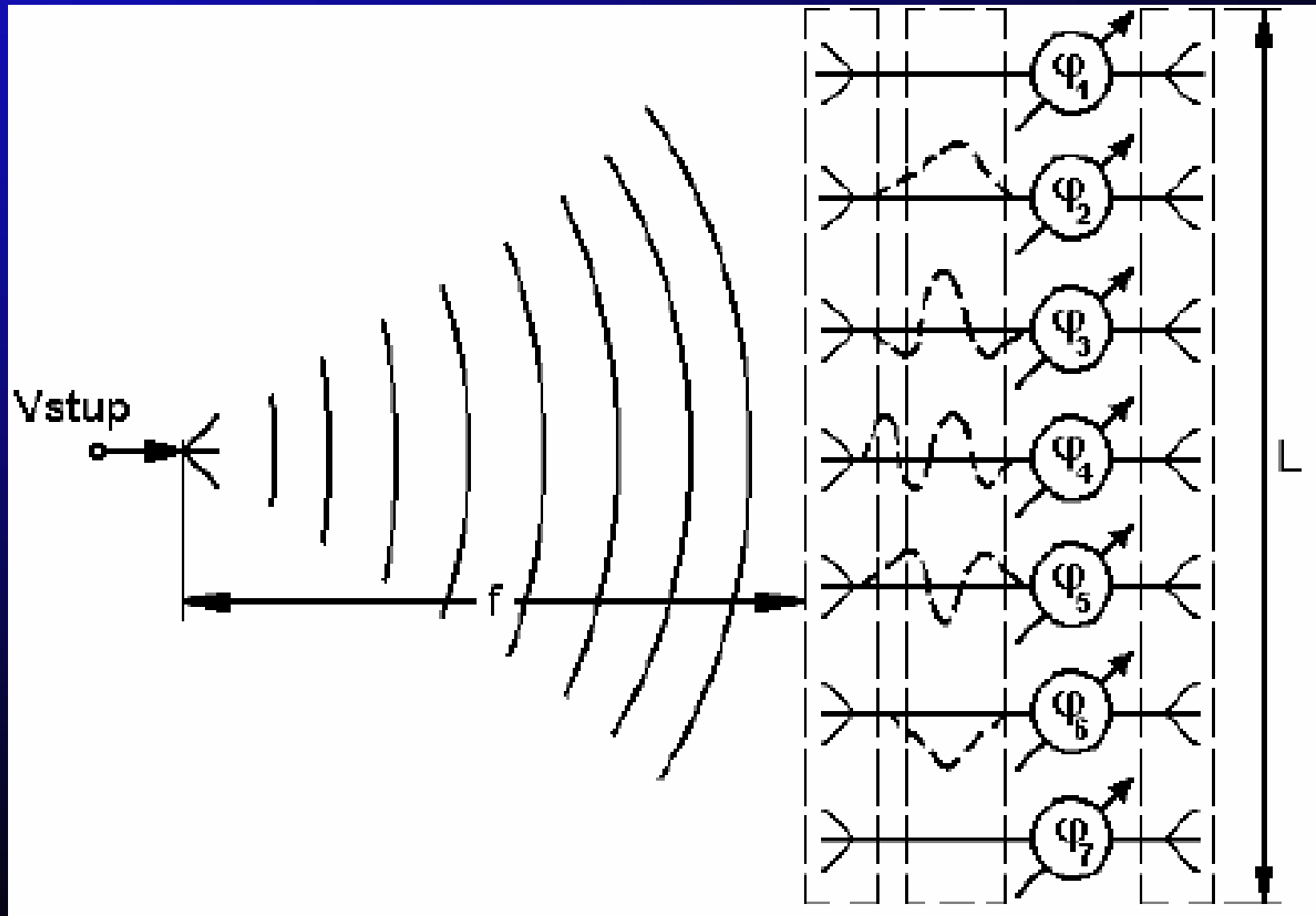
Obr.12.19 Zapojenie dvojrozmernej fázovanej anténovej sústavy so závislými posúvačmi fázy



- Zvláštnym prípadom fázovaných anténových sústav sú tzv. **sústavy optického typu**
 - tieto sústavy **pracujú podobne ako šošovkové a reflektorové antény** s tým, že profil ekvivalentného “indexu lomu“, resp. ekvivalentného “zakrivenia“ je určený fázovými posunmi v úsekoch vedení napájajúcich jednotlivé prvky sústavy

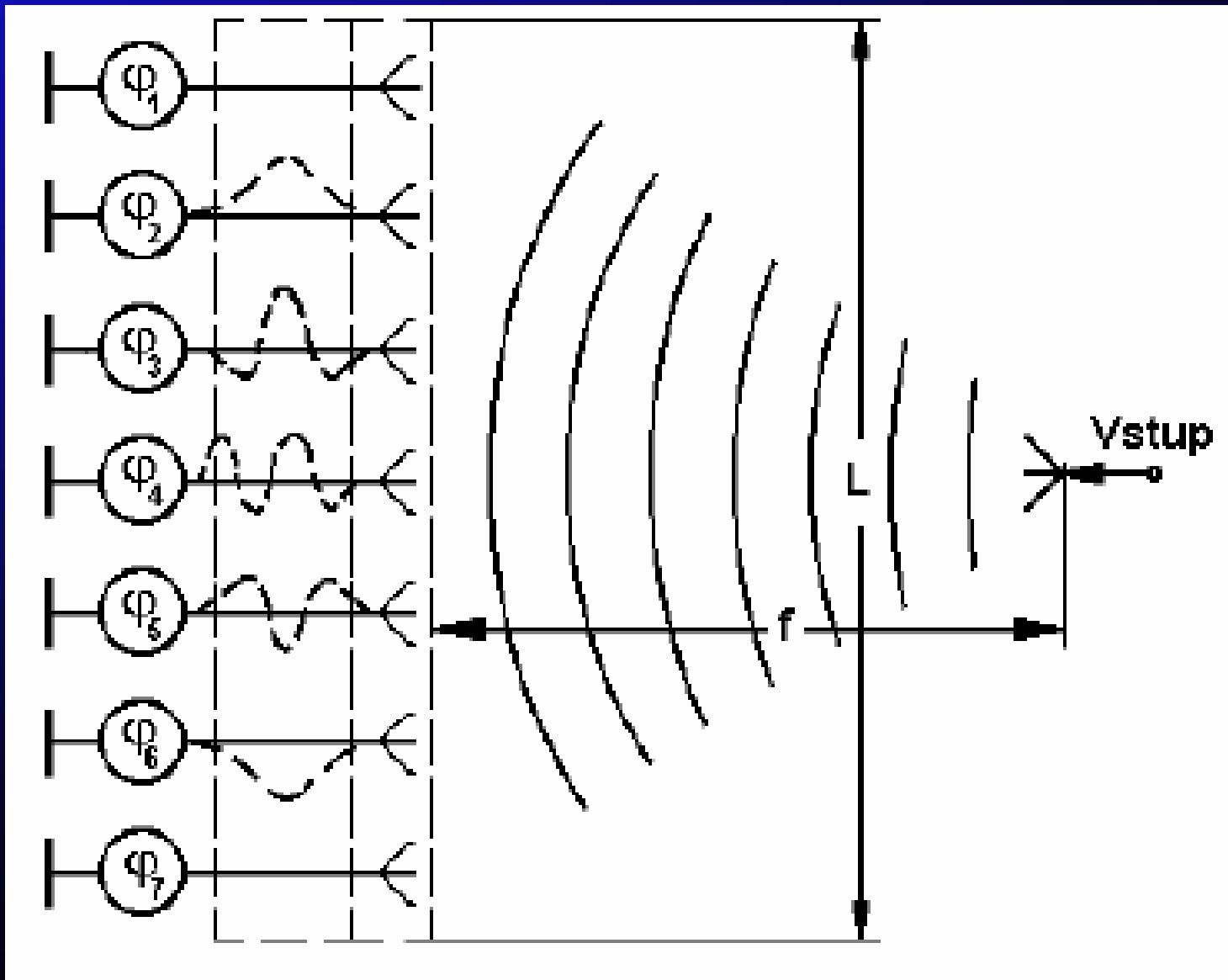
- **Sústava**, ktorú môžeme považovať za diskrétnu **analógiu šošovkovej antény**
 - je napájaná **jedným primárnym žiaričom** umiestneným v “ohnisku“
 - tvoria ju **dve plošné anténové sústavy**, z ktorých jedna je prijímacia a druhá vysielacia
 - **tvár výslednej elm vlny na výstupe je určený fázovými posunmi Φ_1 až Φ_N** ; (obr.12.20)

Obr.12.20 Zapojenie anténovej sústavy optického typu – analógia šošovky



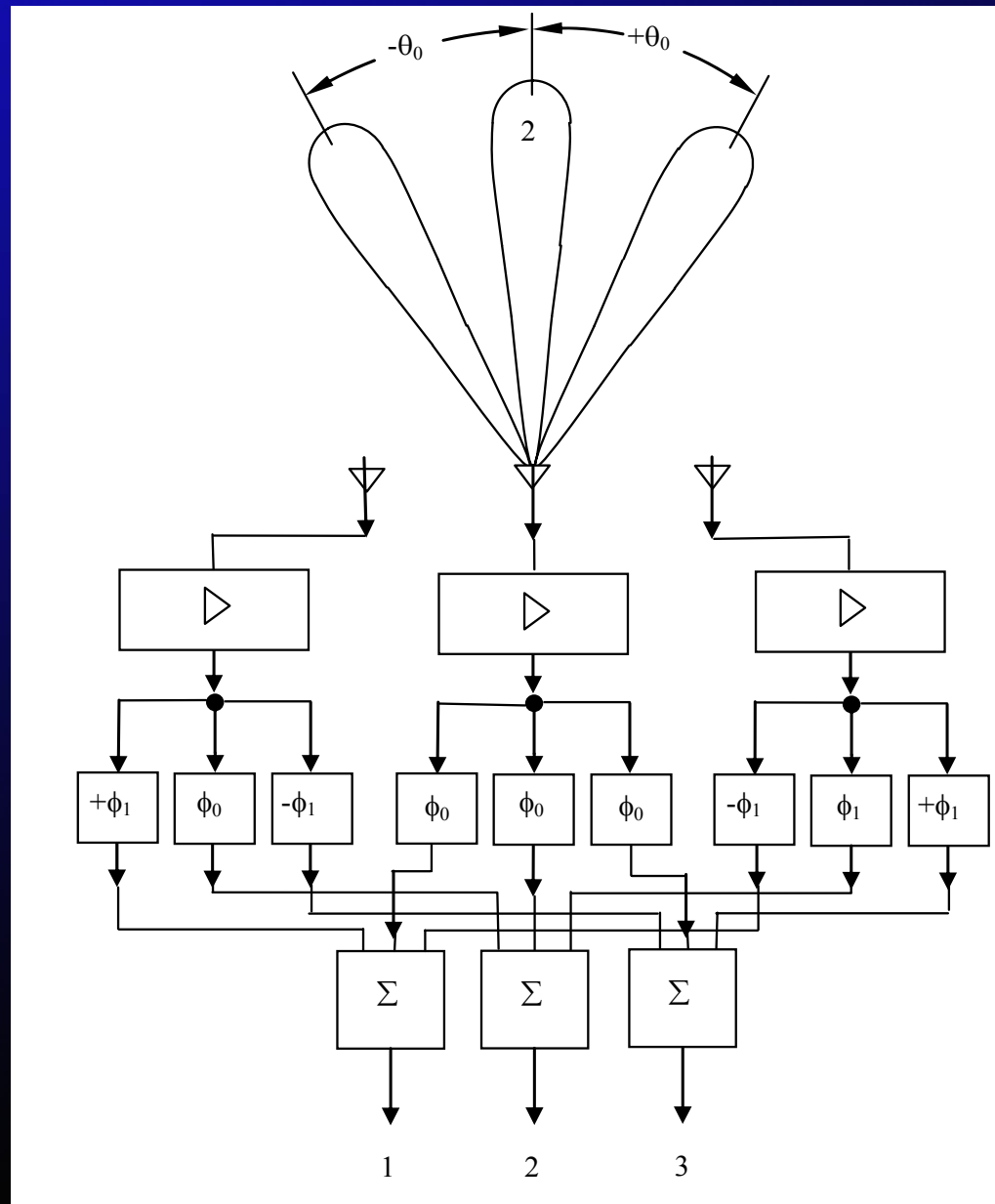
- **Sústava**, ktorú môžeme považovať za **analógiu reflektorovej antény**
 - líši sa od predchádzajúcej sústavy len tým, že jej **prvky sú zároveň prijímacie** (pre primárnu vlnu) **aj vysielacie** (pre výstupnú vlnu)
 - fázový posun medzi primárnou a výstupnou vlnou v každom prvku sústavy je určený dĺžkou príslušného úseku vedenia (na konci napr. skratovaného) a príslušným posúvačom fázy;
(obr.12.21)

Obr.12.21 Zapojenie anténovej sústavy optického typu – analógia reflektora

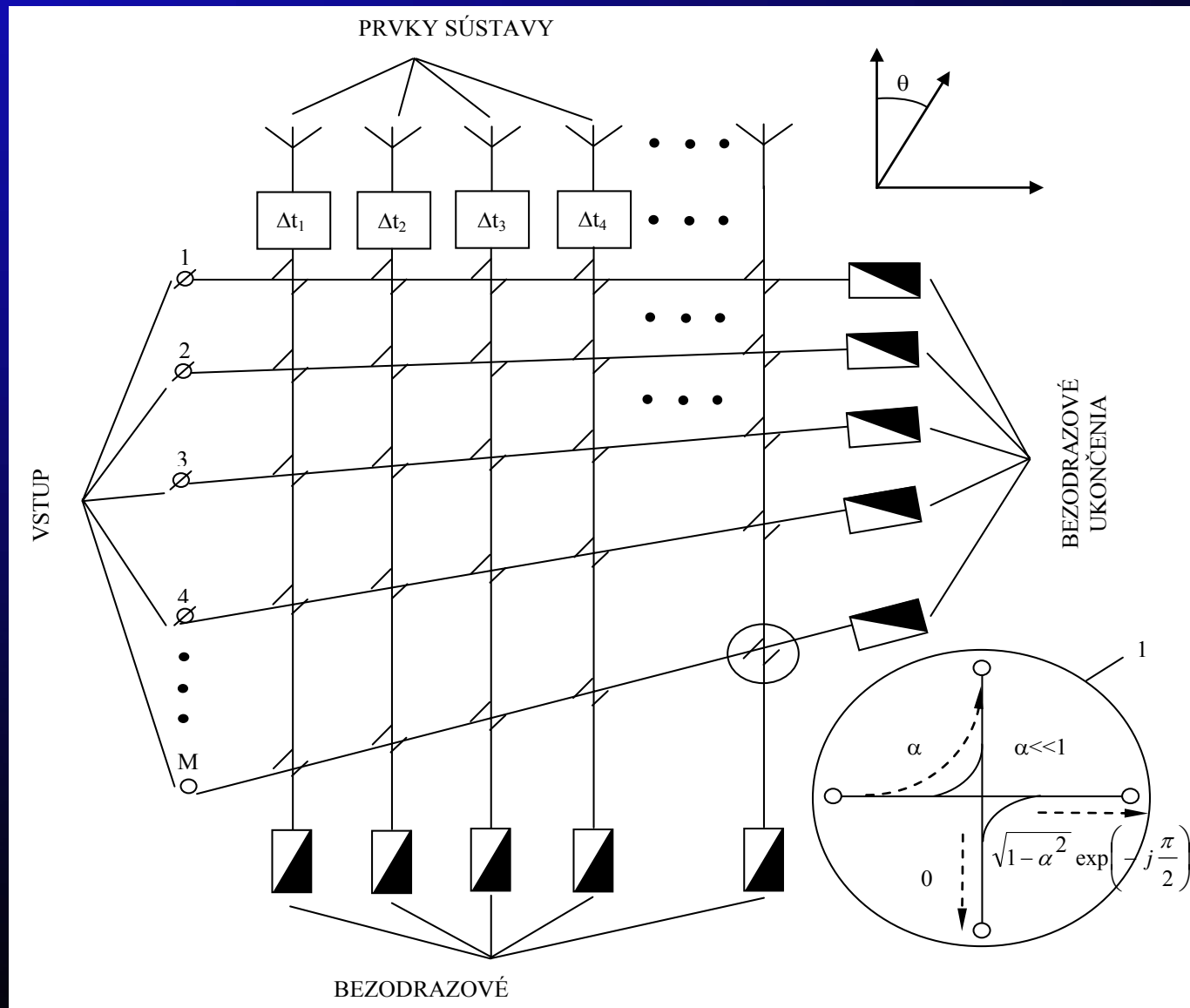


- Pre niektoré rádiolokačné aplikácie sa ukazuje ako **výhodné použiť** namiesto sústavy s jedným vychyľovaným zväzkom **sústavu s viacerými pevnými zväzkami** (lalokmi)
- Tieto sústavy **umožňujú trvale sledovať určitú časť priestoru** (rozdelenú na menšie časti) a **odstraňujú hlavnú nevýhodu sústav uvedených vyššie – relatívne dlhý čas potrebný na prehľadanie celého polpriestoru**; (obr.12.22,23,24)
- Majme **sústavu vytvorenú z troch antén**
 - každému prvku sú priradené tri posúvače fázy
 - **jedna sústava** troch posúvačov vytvára zväzok **kolmý na apertúru sústavy ($\Theta=0$)**
 - **druhá sústava** troch posúvačov vytvára zväzok **so smerom $\Theta=+ \Theta_0$**
 - a **tretia sústava** so smerom **$\Theta=- \Theta_0$**
 - každému zväzku je jednoznačne priradený **práve jeden výstup zo sústavy**

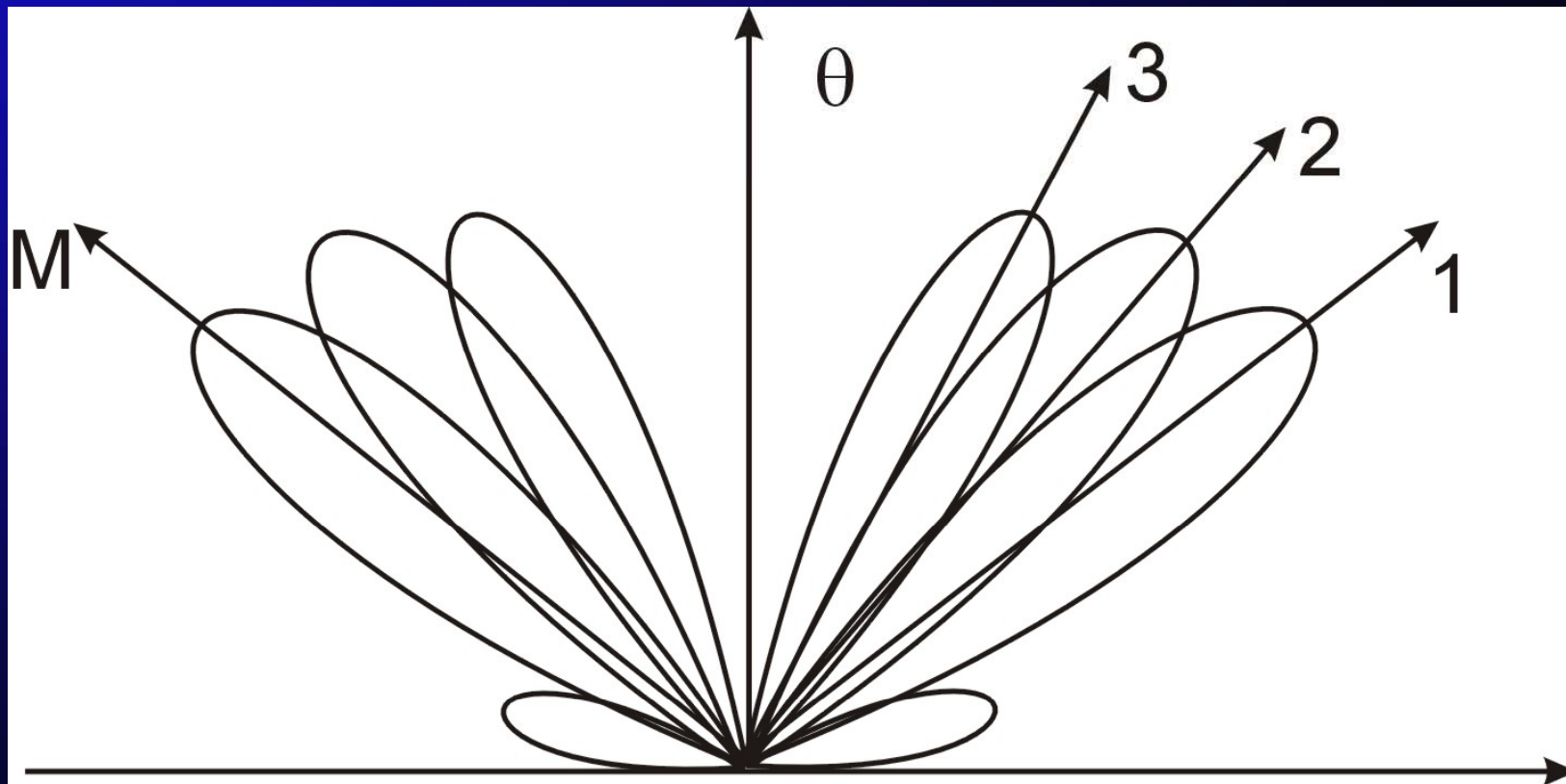
Obr.12.22 Zapojenie trojzväzkovej anténovej sústavy



Obr.12.23 Zapojenie mnohozvážkovej mikrovlnovej anténovej sústavy



Obr.12.24 Smerové charakteristiky pre zapojenie
mnohozväzkovej mikrovlnovej anténovej sústavy



Témy na zapamätanie

- Lineárna anténová sústava
- Plošná anténová sústava
- Základné zapojenia fázovaných anténových sústav

Kontrolné otázky

- Od čoho závisí výsledná smerová charakteristika sústavy zdrojov?
- Aké rozmiestnenie sa používa pre lineárne anténové sústavy v praxi?
- Aké rozmiestnenie sa používa pre plošné anténové sústavy v praxi?
- Aká musí byť vzdialenosť(d) medzi prvkami lineárnej anténovej sústavy, aby jej smerová charakteristika mala len jeden hlavný lalok?
- Aká musí byť vzdialenosť(d) medzi prvkami lineárnej anténovej sústavy, aby jej smerová charakteristika mala aj druhotné difrakčné maximá?
- Aký je smer maximálneho vyžarovania, t.j. smer hlavného laloku smerovej charakteristiky, ak sú prvky lineárnej anténovej sústavy napájané prúdmi s postupne rastúcou fázou ($v \neq 0$)?
- Aký je smer maximálneho vyžarovania, t.j. smer hlavného laloku smerovej charakteristiky, ak sú prvky lineárnej anténovej sústavy napájané prúdmi s rovnakou fázou ($v = 0$)?

- Aké môže byť pripojenie (napájanie) anténnych prvkov lineárnej anténovej sústavy na prijímač? (aj obr.)
- Koľko hlavných lalokov má smerová charakteristika plošnej anténovej sústavy vytvorenej z $M \times N$ izotropných žiaričov?
- Ako dosiahneme vyžarovanie plošnej anténovej sústavy len v jednom smere?
- Zmenou čoho sa dosiahne zmena polohy hlavného laloka smerovej charakteristiky plošnej anténovej sústavy v priestore?
- Nakreslite plošný anténny rad dipólov. (obr.)
- Pre aké frekvenčné pásmo sa používajú „záclony“, plošný anténny rad dipólov?
- Aké plošné anténové sústavy sa používajú pre frekvencie v pásme GHz? (aj obr.)
- Kde sa používajú fázované anténové sústavy?
- Ako sa môžu robiť zmeny fázy signálu v jednotlivých prvkoch fázovanej anténovej sústavy?
- Aké sú výhody fázovaných anténových sústav?

- Aké sú nevýhody fázovaných anténových sústav?
- Aké poznáme typy napájania anténovej sústavy?
- Výhody sériového napájania prvkov anténovej sústavy.
- Výhody paralelného napájania prvkov anténovej sústavy.

Zoznam použitých skratiek a symbolov

■ Skratky:

- ELM, elm- elektromagnetický

■ Značky:

- d - vzdialenosť medzi jednotlivými prvkami
- D - smerovosť
- ϵ_r - permitivita
- G - energetický zisk
- λ - vlnová dĺžka

Ďakujem za pozornosť