



RADIOKOMUNIKAČNÍ TECHNIKA A ANTÉNY

REALIZACE ANTÉNNÍCH ŘAD A ANTÉNNÍCH POLÍ,
SYNTÉZA A DIGITÁLNÍ TVAROVÁNÍ SVAZKU

Tomáš Zálabský

University of Pardubice, Faculty of Electrical Engineering and Informatics
Czech Republic

Blok 5/5

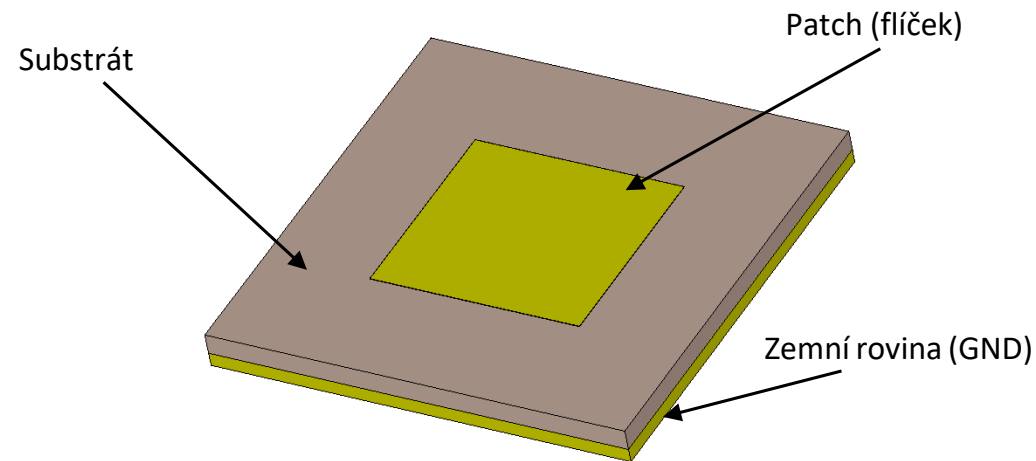
CZVRT

OBSAH BLOKU V

- Mikropásková anténa – základní parametry
- Mikropásková anténa – způsoby napájení
- Návrh obdélníkové patch antény
- Planární dipól
- Anténní řady a pole – základní dělení
- Činitel anténní řady
- Metody syntéz anténní řady
- Vychylování anténního svazku
- Řízení anténních svazků
- Digitální tvarování svazků – beamforming
- Praktická část
- Závěrečný test

MIKROPÁSKOVÉ ANTÉNY (PATCH)

- Mikropásková anténa se skládá z kovového anténního prvku (anglicky patch), z dielektrického substrátu a z kovové zemní desky.
- Nejzákladnější struktura mikropáskové antény:



- Tyto antény vynikají svými malými rozměry, tenkostí a lehkostí, což je činí ideálními pro mnoho aplikací v oblasti radiotechniky, radarových systémů, letectví, mobilních technologií a mnoha dalších oblastí.
- Jejich konstrukce umožňuje efektivní implementaci v prostředích, kde je klíčovým faktorem hmotnost a prostor.

MIKROPÁSKOVÉ ANTÉNY (PATCH)

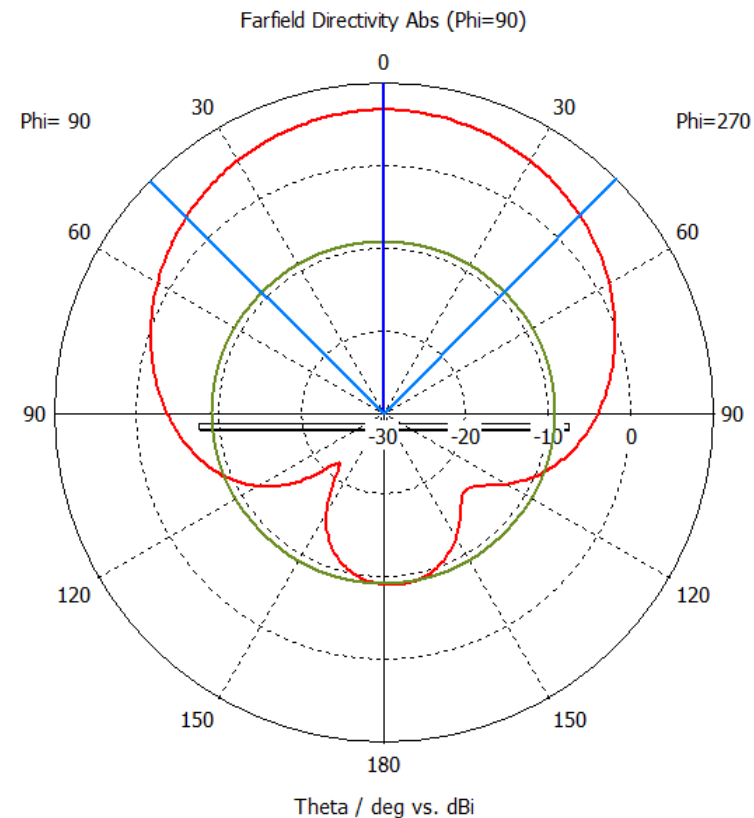
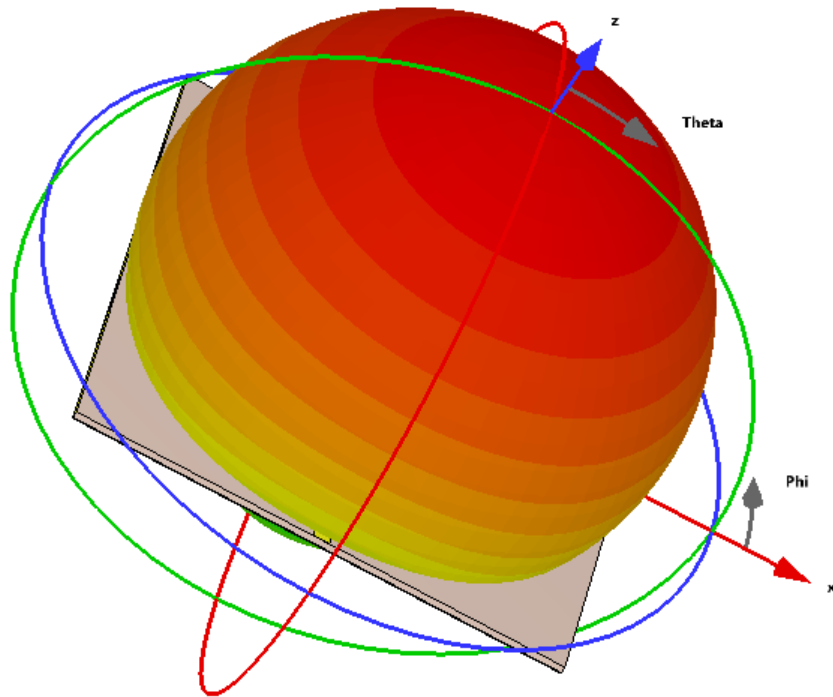
- Mikropáskovou anténu si můžeme představit jako mikropáskové vedení na konci naprázdno, jehož konec je výrazně rozšířený (aby bylo dosaženo co největšího vyzařování energie do prostoru).
- Mikropáskové antény tedy můžeme snadno integrovat do planárních obvodů, které zpracovávají vysílaný nebo přijímaný signál. Tato skutečnost vedla k vývoji integrovaných mikropáskových aktivních antén, ve kterých jsou obvodové funkce svázány s funkcemi antény.
- Mnoho z anténních aplikací v satelitních spojích, mobilních komunikacích, bezdrátových lokálních sítích a dalších klade požadavky na kompaktnost, fungování na dvou frekvencích, řízení směrové charakteristiky, atd.
- Tyto funkce mohou být implementovány přímo ve struktuře mikropáskové antény, a proto jsou tyto antény hojně využívány
- Mikropáskové antény se velmi často používají v širokém intervalu mikrovlnných kmitočtů (od přibližně 100 MHz do cca 100 GHz). Na základě výše uvedených informací lze shrnout, že v porovnání s konvenčními mikrovlnnými anténami přinášejí mikropáskové antény řadu výhod.

MIKROPÁSKOVÉ ANTÉNY (PATCH)

- Hlavní výhody mikropáskových antén:
 - malá hmotnost, malý objem a úzkoprofilové uspořádání;
 - nízké výrobní náklady, snadná reprodukovatelnost při hromadné výrobě;
 - lineární a kruhová polarizace je možná s jednoduchým napájením
 - mohou být snadno vyrobeny duálně-frekvenční antény a antény s dvojí polarizací;
 - mohou být snadno integrovány s mikrovlnnými integrovanými obvody;
 - napájecí vedení a přizpůsobovací články mohou být vyrobeny současně s anténní strukturou.
- Omezení mikropáskových antén:
 - úzké kmitočtové pásmo a související problémy s tolerancemi;
 - poněkud malý zisk, asi 6 dB;
 - velké ohmické ztráty v napájecím systému anténních řad;
 - většina mikropáskových antén vyzařuje pouze do jednoho poloprostoru;
 - vysoko-výkonové anténní řady vyžadují složité napájecí systémy;
 - obtížně se dosahuje polarizační čistota;
 - extrémní vyzařování z napájení;
 - schopnost pracovat pouze s malými výkony, přibližně 100W;
 - redukováný zisk a účinnost a také nepříjemně vysoká úroveň příčné polarizace

MIKROPÁSKOVÉ ANTÉNY (PATCH)

- Standardní vyzařovací diagram patch antény má tvar téměř ideální polokoule s maximem v ose patch antény. Šířka svazku je v optimálním případě v obou rovinách (vertikální i horizontální) shodná a je rovna přibližně 90° .
- Tvar standardního vyzařovacího diagramu včetně řezu:

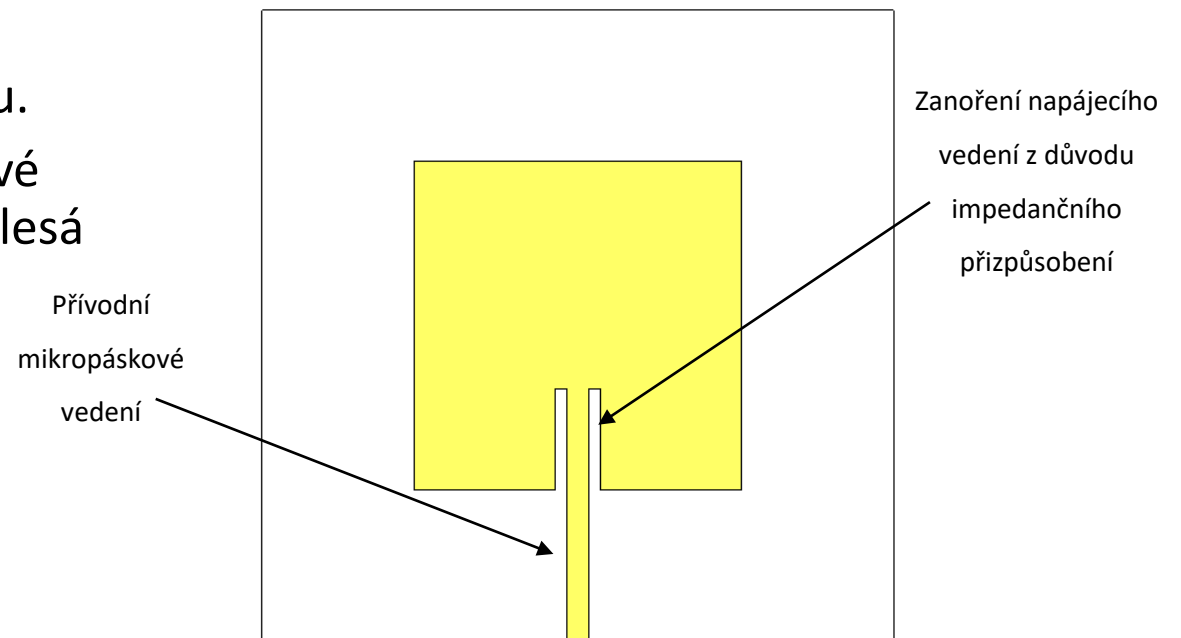


MOŽNOSTI NAPÁJENÍ MIKROPÁSKOVÝCH ANTÉN

- Existují různé způsoby napájení mikropáskové antény.
- Provedení napájení můžeme rozdělit na dvě základní kategorie – kontaktní (mikropáskové, koaxiální vedení) a bezkontaktní (vazební štěrbinou, otevřeným koncem vedení).
- Mezi nejznámější a nejvyužívanější napájení patří koaxiální a mikropáskové vedení.
- Volba napájecí techniky se řídí mnoha faktory. Nejpodstatnější je, aby docházelo k co nejefektivnějšímu přenosu energie mezi vyzařující strukturou a napájecí strukturou tzn. impedančnímu přizpůsobení mezi nimi.
- Nežádoucí vyzařování může způsobit zvýšení úrovně postranních laloků vyzařovacího diagramu, proto minimalizace rušivých vyzařování a její vliv na vyzařovací diagram je jedním z nejdůležitějších faktorů pro posouzení použití způsobu napájení.

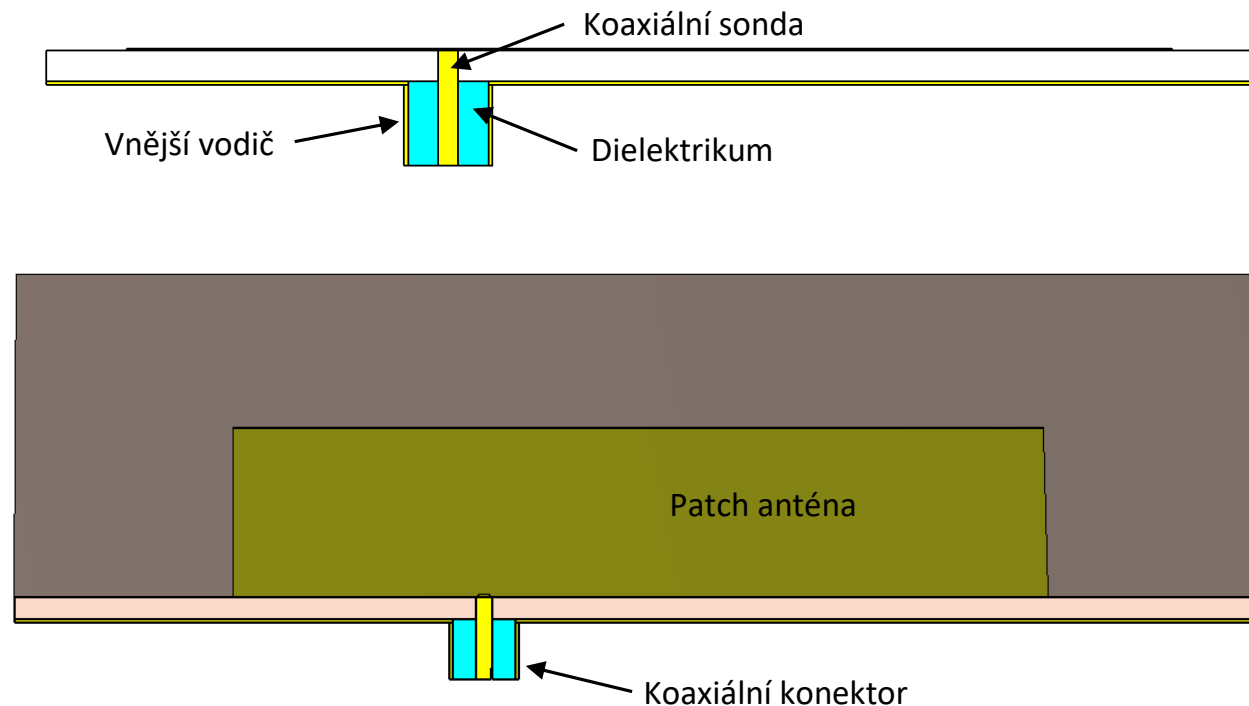
NAPÁJENÍ POMOCÍ MIKROPÁSKOVÉHO VEDENÍ

- U tohoto způsobu napájení je mikropáskové vedení připojeno přímo na hranu flíčku.
- Výhodou tohoto způsobu napájení je použití stejné technologie výroby napájecího vedení jako samotného flíčku.
- Z důvodu dobrého impedančního přizpůsobení a vynechání přizpůsobovacích obvodů se napájecí vedení zanořuje.
- Je to způsobené klesající impedancí od kraje vedení ($100 \Omega - 300 \Omega$) po střed (0Ω), v závislosti na použitém substrátu a šířce flíčku.
- S klesající tloušťkou substrátu rostou povrchové vlny a zvyšují se ztráty v přívodním vedení a klesá tak účinnost antény a zužuje se šířka pásma.



NAPÁJENÍ POMOCÍ KOAXIÁLNÍHO VODIČE

- Napájení pomocí koaxiální sondy patří mezi klasické způsoby. Spojovací sonda je jedním ze základních mechanismů pro přenos mikrovlnné energie.
- Typická mikropásková anténa napájená pomocí koaxiální sondy vyvedené z koaxiálního:

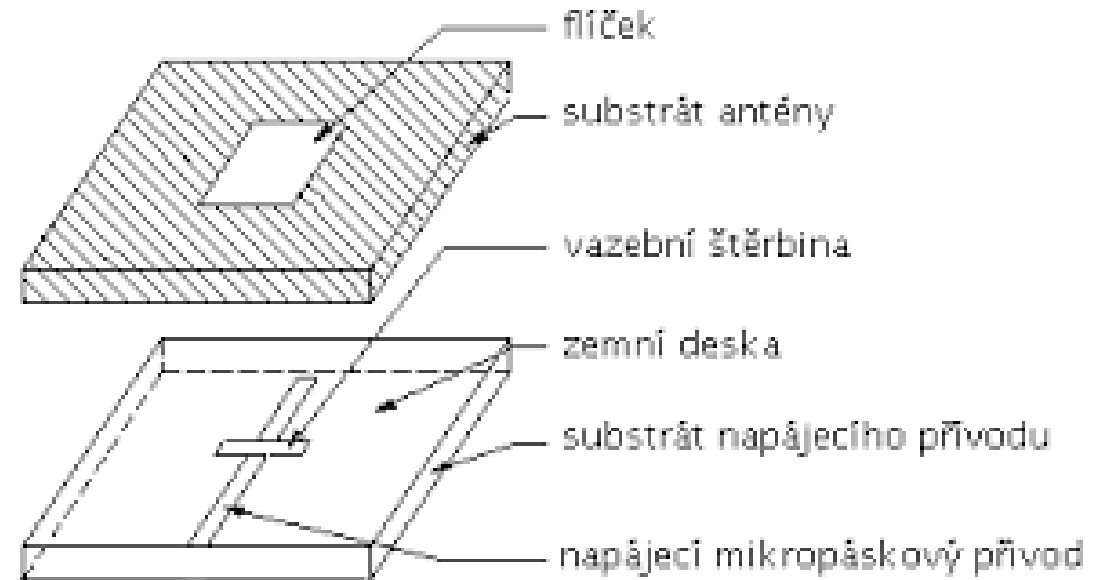


NAPÁJENÍ POMOCÍ KOAXIÁLNÍHO VODIČE

- Jako koaxiální konektor mohou být využity standardní konektory typu SMA, N, TNC a mnoho dalších.
- Koaxiální konektor je připojen na zadní straně desky s plošnými spoji a koaxiální střed vodiče je po průchodu substrátem napájen na flíček.
- Umístění napájecího bodu je určeno pro daný režim tak, aby bylo dosaženo co možná nejlepšího impedančního přizpůsobení – platí stejný princip transformace impedance napříč patch anténou.
- V případě vícevrstvých zářičů, kdy je napájecí síť položena v nižší vrstvě a oddělena od zářičů zemní rovinou, je minimalizováno rušivé vyzařování napájecí sítě.
- Nevýhodou je zvýšená úroveň křížové polarizace při použití substrátů o větší elektrické tloušťce a komplikovanější výroba ve srovnání s mikropáskovým napájením.
- Koaxiální napájení má výhodu v jednoduchosti konstrukce prostřednictvím umístění bodu napájení pro nastavení úrovně výstupní impedance. Ale má několik omezení.
 - Koaxiální napájení rozsáhlejšího anténního pole (více anténních prvků současně) vyžaduje velký počet pájených spojů, což představuje zvýšené nároky na zhotovení a snižuje spolehlivost.
 - Pro zvýšení šířky pásma antény se používá silnější substrát, a proto vyžaduje delší sondu

NAPÁJENÍ VAZEBNÍ ŠTĚRBINOU

- Napájení vazební štěrbinou je složité na výrobu a má úzkou šířku pásma, ale má malé rušivé vyzařování. Tato anténa se skládá ze dvou substrátů oddělených zemní rovinou.
- Na spodní části substrátu je mikropáskové napájecí vedení, které přenáší signál na flíček skrz štěrbinu v zemní rovině. Dané uspořádání umožňuje nezávislou optimalizaci napájecí části a vyzařujícího elementu.
- Pro spodní substrát se typicky volí materiál s vyšší hodnotou permitivity naopak pro vrchní substrát se volí materiál s nízkou dielektrickou konstantou.
- Zemní rovina mezi substráty zmenšuje interferenci rušivého vyzařování z přívodního vedení pro nerušenou směrovou charakteristiku a dosažení polarizační čistoty.



VLIV SUBSTRÁTU NA PARAMETRY MIKROPÁSKOVÝCH ANTÉN

- Pro návrh antény jsou rozhodující především následující vlastnosti substrátu:
 - relativní permitivita ϵ_r
 - ztrátový činitel $\text{tg}(\delta)$
 - tloušťka h
- Relativní permitivita ϵ_r
- Hodnota relativní permitivity má zcela zásadní vliv na geometrické rozměry jednotlivých úseků vodivého obrazce, kterým je tvořena anténa.
- Je to způsobeno faktem, že na hodnotě relativní permitivity závisí vlnová délka vlny λ_g na mikropáskovém vedení.
- Při malé hodnotě relativní permitivity je větší rozptylové pole na hraně mikropáskového zářiče, čímž se zvýší hodnota vyzářeného výkonu, a tedy i účinnost antény, avšak geometrické rozměry se při snižování hodnoty ϵ_r zvětšují.
- Při použití substrátu s velkou hodnotou ϵ_r se geometrické rozměry antény zmenšují, což je výhodné.
- Naproti tomu nevýhodou je fakt, že s rostoucí hodnotou relativní permitivity se obecně zmenšuje impedanční šířka pásma a rostou nároky na přesnost geometrických rozměrů vyráběné antény.

$$\lambda_g = \frac{c}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

VLIV SUBSTRÁTU NA PARAMETRY MIKROPÁSKOVÝCH ANTÉN

- Ztrátový činitel $\text{tg}(\delta)$
- Ztrátový činitel použitého dielektrického substrátu hraje důležitou roli v otázce impedanční šířky pásma mikropáskové antény.
- Zvětšování hodnoty ztrátového činitele dielektrického substrátu má za následek zmenšení účinnosti antény a zvětšení ztrát v úsecích napájecích vedení.
- Pokud má dielektrický substrát velkou hodnotu ztrátového činitele, zvětšuje se impedanční šířka pásma antény.
- Tento fakt lze vysvětlit tak, že obdélníkový anténní zářič vhodných rozměrů tvoří spolu se zemní plochou na druhé straně substrátu rezonátor, pracující s videm TM₁₀.
- Pro složku činitele jakosti takového rezonátoru svázanou s vlastnostmi dielektrika, platí:

$$Q_d = \frac{1}{\text{tg}(\delta)}$$

- Je zřejmé, že při zvětšování hodnoty ztrátového činitele dielektrického substrátu klesá činitel jakosti rezonátoru.
- Důsledkem toho je, že rezonanční křivka rezonátoru se stane plošší a širší, klesne hodnota účinnosti a zvětší se impedanční šířka pásma.

VLIV SUBSTRÁTU NA PARAMETRY MIKROPÁSKOVÝCH ANTÉN

- Tloušťka substrátu H
- Zvětšování tloušťky substrátu má podobný efekt jako snižování hodnoty relativní permitivity materiálu ϵ_r .
- Pokud tedy nejsou prioritním kritériem minimální geometrické rozměry antény, je výhodné použít spíše substrát s větší tloušťkou, neboť tím se zvětší impedanční šířka pásma, a také účinnost antény.
- Zdá se výhodné použít dielektrický substrát s co největší tloušťkou, avšak pokud tloušťka substrátu překročí jistou mez, dochází k nežádoucímu jevu, a sice možnému vybuzení povrchových vln.
- Tím se snižuje účinnost antény, neboť část výkonu přiváděného do antény se spotřebuje na jejich buzení.
- Pokud pro tloušťku dielektrického substrátu platí následující vztah lze ztráty způsobené vlivem povrchových vln zanedbat.

$$H < \frac{0,3 \cdot \lambda_g}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}}$$

NÁVRH OBDÉLNÍKOVÉ MIKROPÁSKOVÉ ANTÉNY S KOAXIÁLNÍM NAPÁJENÍM

- V této části budou uvedeny vztahy pro návrh obdélníkové mikropáskové antény.
- Tyto vztahy se dají použít pro konstrukci klasického patche, avšak v praxi se pro návrhy těchto antén používají profesionální komerční nástroje, u kterých odpadá nutnost provádět drobné úpravy na již zhotovených mikropáscích v podobě doladování rozměrů, které se provádí například tak, že se nožem odstraňují malé části kovové folie.
- Mikropásková anténa má tedy tvar obdélníku o délce L a šířce W s tloušťkou substrátu H .
- Rozměr L se navrhuje s ohledem na pracovní kmitočet antény.
- Hrany anténního prvku vzdálené navzájem o L se nazývají aktivní, neboť právě na nich dochází k vyzařování.
- Hrany zářiče vzdálené navzájem o W se nazývají pasivní, neboť se na vyzařování nepodílí.
- Při návrhu rozměru W se přihlíží především k požadované vstupní impedanci prvku.
- Střední vodič napájecího vedení je vodivě spojen s motivem flíčku.
- Patch musí být při návrhu zkrácen o rozměr Δ , který odpovídá vyzařování elektrického pole za oraje flíčku což prodlužuje jeho efektivní okraj.

NÁVRH OBDÉLNÍKOVÉ MIKROPÁSKOVÉ ANTÉNY S KOAXIÁLNÍM NAPÁJENÍM

- Pokud známe relativní permitivitu substrátu a požadovaný střední kmitočet na kterém má anténa fungovat, můžeme určit šířku mikropáskové antény (patche) W :

$$W = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

- Následně určíme efektivní dialektickou konstantu, která zohledňuje to, že část EM pole se šíří i mimo substrát. Tato konstanta může být zjednodušeně vyjádřena dle následujícího vztahu:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10 \cdot H}{W}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

- Prodloužení flíčku Δ lze pak vyjádřit následovně:

$$\frac{\Delta}{H} = 0,412 \frac{\epsilon_{eff} + 0,3 \frac{W}{H} + 0,262}{\epsilon_{eff} - 0,258 \frac{W}{H} + 0,813}$$

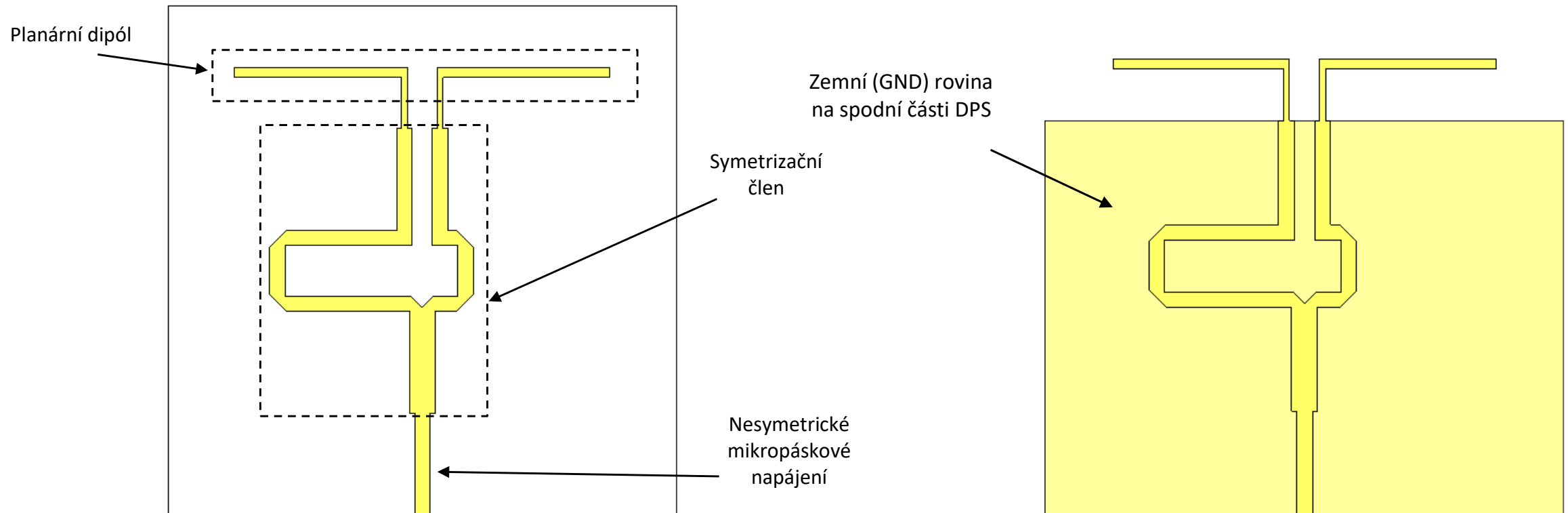
- A následně lze určit finální délku flíčku dle vztahu:

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta$$

PLANÁRNÍ DIPÓL

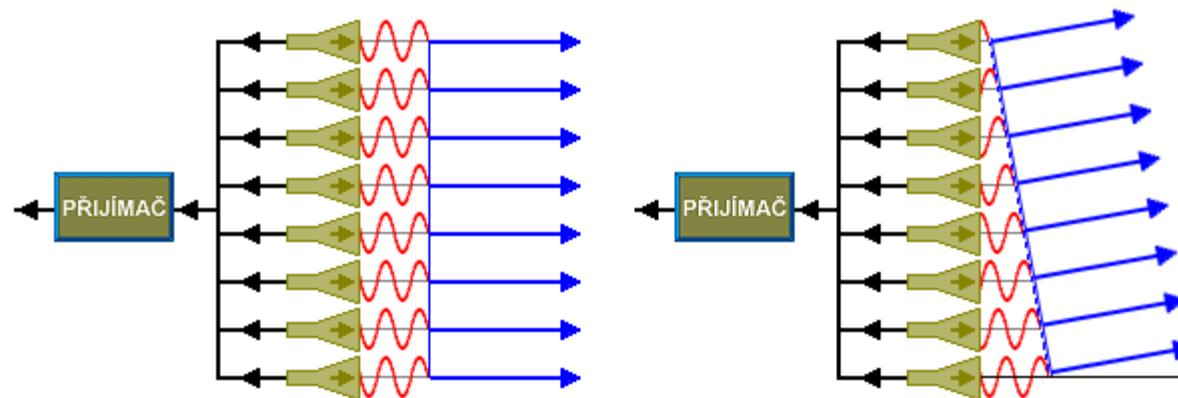
- Planární dipól je velmi podobný mikropáskové (patch) anténě, odlišuje jej však především jeho poměr délky vůči šířce, přičemž šířka dipólu je obvykle menší než $0,05\lambda$.
- Planární dipól se obvykle skládá ze dvou vodivých částí (čtvrtvlnných úseků dipólu), které jsou umístěny v jedné rovině na dielektrickém substrátu.
- Zemní rovina je pouze pod přívodním mikropáskovým vedením, v oblasti dipólu už se nenachází. Jelikož se jedná o typ antény, která vyžaduje symetrické napájení (stejně jako klasický dipól) a standardní přívodní mikropáskové vedení je nesymetrické, je nutné do obvodu zařazovat symetrizační člen.
- Tento člen je pro vyšší kmitočty (nad 100 MHz) obvykle konstruován z dílčích úseků mikrovlnných vedení.
- Úkolem tohoto symetrizačního úseku je rozdělit signál do dvou výkonově symetrických cest (se stejným výkonem), a s fázovým posuvem mezi těmito cestami 180° .

PLANÁRNÍ DIPÓL – KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ



ANTÉNNÍ ŘADY A ANTÉNNÍ POLE

- Soustava více identických zářičů tvoří anténní řadu.
- Výhodou anténních řad je možnost poměrně jednoduše ovlivňovat rozložení amplitudy a fáze na apertuře, a tak ovlivňovat vyzařovací charakteristiku celé anténní řady.
- Požaduje se zejména dosažení požadovaného tvaru a šířky hlavního laloku a obvykle též, aby postranní laloky byly co možná nejmenší.
- Další výhodou anténních řad je jejich velikost, jsou o dost menší než například antény reflektorové.
- Velikou výhodou při použití anténních řad v radarové technice je možnost elektronického vychylování anténního svazku prostřednictvím nastavování vhodných fázových posuvů vysílaného signálu jednotlivými elementy anténní řady, což umožňuje elektronicky řídit směr záření i tvar anténního svazku.



ROZDĚLENÍ ANTÉNNÍCH ŘAD

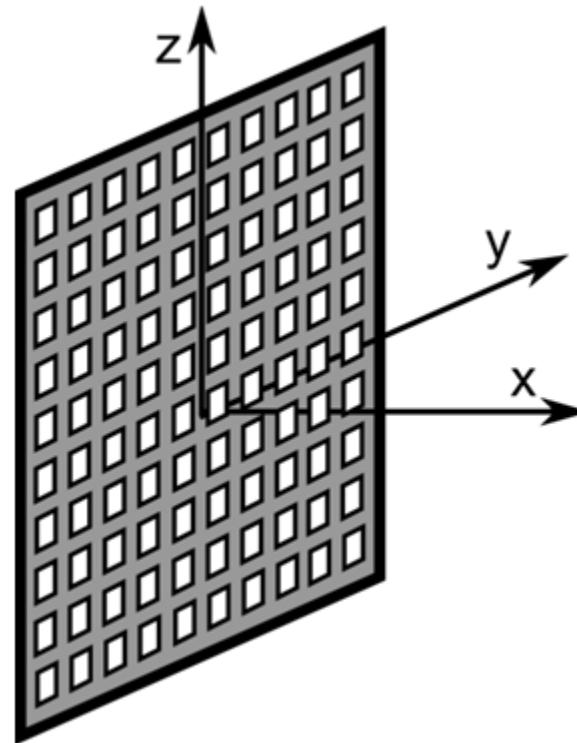
- Dle rozložení anténních prvků můžeme anténní řady do tří skupin.
 - Lineární
 - Rovinné
 - Komfortní
- Anténní řady můžeme také rozdělit dle směru maxima vyzařování na dvě skupiny.
 - Soufázové
 - Protifázové
- Soufázové anténní soustavy mají maximum vyzařování kolmé na anténní řadu. V tomto směru dochází ke sčítání fází ve všech anténních prvcích. U soustav protifázových dochází ve směru kolmém na anténní řadu příspěvky jednotlivých prvků vyruší a anténa tímto směrem nezáří.

ROZDĚLENÍ ANTÉNNÍCH ŘAD

- Lineární anténní řady
 - Lineární anténní řadu tvoří prvky, které leží na jedné přímce. Vzdálenost mezi jednotlivými prvky je obvykle ekvidistantní, mezi jednotlivými zářiči jsou tedy stejné vzdálenosti d .
 - Lineární řady jsou obvykle tvořeny elementárními dipóly, trychtýři nebo patch anténami, ale obecně ji může tvořit jakýkoliv elementární zářič.
- Rovinné anténní řady
 - Rovinná anténní řada vznikne spojením alespoň dvou lineárních anténních řad. Opět zde platí, že jednotlivé řady jsou v rovině a vzdálenosti mezi jednotlivými anténními prvky jsou stejné.
- Konformní anténní řady
 - Na rozdíl od předchozích řad prvky konformní anténní řady neleží na jedné přímce, ale jejich tvar je přizpůsoben tvaru struktury, na kterou jsou namontovány. Typické bývá rozmístění anténních prvků do kruhu, aby bylo možné přijímat signál ze všech směrů.

NÁVRH ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ ANTÉNNÍCH ŘAD

- Při návrhu anténních řad se vychází z požadavků na pokrytí prostoru v úhlu. Dalším důležitým parametrem je, zda se bude svazek vychylovat elektronicky a o jaký maximální úhel. Rozměry antény jsou závislé na zvolené frekvenci, požadovaných šířkách svazků (je uvažováno, že rozlišovací schopnost odpovídá šířce svazku) pro horizontální i vertikální směr a na maximálních vychylovacích úhlech při elektronickém vychylování svazku. Pro další popis uvažujeme souřadnou soustavu zářiče v ose y formují horizontální vyzařovací diagram, zářiče osy z formují vertikální vyzařovací diagram. Elektromagnetická vlna se pak šíří do poloprostoru $+x$.



NÁVRH ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ ANTÉNNÍCH ŘAD

- Dle zadané frekvence a rozlišovací schopnosti v úhlu se vypočítají předběžné rozměry antény podle vztahu

$$D_{\phi} = \frac{k\lambda}{\Delta\phi}$$

kde: k – konstanta nabývající hodnot 60 - 70, volí se dle zvoleného amplitudového rozložení,
 λ – vlnová délka,
 $\Delta\phi$ – rozlišovací schopnost v azimutu (ve stupních).

- Ze znalosti maximálního úhlu vychýlení osy svazku a frekvence se určí předběžná rozteč mezi jednotlivými elementy d podle

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{1 + \sin \phi_{max} + \sin 2\phi_{3dB}}$$

kde: ϕ_{max} – maximální úhel elektronického vychýlení svazku,
 ϕ_{3dB} – tří decibelová šířka svazku, násobena 2x kvůli rezervě,
 d – rozteč mezi zářiči.

NÁVRH ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ ANTÉNNÍCH ŘAD

- Takto vypočítaná rozteč zaručí, že ani při elektronickém vychýlení svazku do krajních poloh nebudou vyzařovány difrakční laloky.
- Prostým vydělením velikosti antény $D\phi$ roztečí d se určí předběžný počet prvků řady.
- Jakmile jsou popsány parametry známy, lze provést návrh amplitudových a fázových koeficientů pro jednotlivé zářiče podle požadovaného anténního diagramu.
- Při konstantní vzdálenosti mezi elementy závisí šířka svazku, vyzařovaného kolmo k apertuře na počtu elementů, ale šířka svazku závisí i na jeho vychýlení od této kolmice.
- Kromě toho metody návrhu realizují anténní diagram jen přibližně a proto je většinou potřeba počet elementů řady, rozteče elementů i amplitudové a fázové rozložení signálu na apertuře doladit.
- Tím se samozřejmě mohou změnit i původně odhadnuté rozměry antény.



ČINITEL LINEÁRNÍ ANTÉNNÍ ŘADY

- Lineární anténní řada se skládá z N stejných anténních elementů, které jsou od sebe rozmístěny s konstantní roztečí d . Lineární anténní řady umožňují dosahovat požadovaného tvaru anténního diagramu pomocí vhodného rozložení amplitud a fází signálu přiváděného na jednotlivé anténní elementy.
- Výpočet rozložení amplitud a fází signálu v apertuře antény se nazývá syntézou anténní řady.
- Naopak pokud známe parametry signálu na jednotlivých anténních elementech a rozteč mezi nimi, jsme schopni vypočítat tvar anténního diagramu.
- Za předpokladu, že je každý anténní element buzen vysokofrekvenčním signálem s konstantním kmitočtem f a s komplexní amplitudou danou následujícím vztahem

$$A_n e^{-j\Psi_n}$$

Kde: $n = 1, 2, \dots, N$ – index jednotlivých anténních prvků
 A_n – amplituda signálu na n -tém anténním prvku
 Ψ_n – fáze signálu na n -tém anténním prvku

ČINITEL LINEÁRNÍ ANTÉNNÍ ŘADY

- Lze určit příspěvek n -tého elementu k celkovému poli v určitém bodu a ve velké vzdálenosti R od lineární anténní řady dle vztahu:

$$A_n e^{-j\Psi_n} \frac{e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}R}}{R} e^{j\frac{2\pi}{\lambda}x_n \sin \Theta} f_0(\Theta, \Phi)$$

Kde: $f_0(\Theta, \Phi)$ – směrová charakteristika jednoho anténního prvku

λ – vlnová délka

$x_n = n \cdot d$ (poloha fázového středu n -tého anténního prvku při konstantní rozteči d mezi jednotlivými anténními prvky)

R – vzdálenost v prostoru od anténní soustavy

Θ, Φ – úhly azimutu a elevace

- Zlomek $\frac{e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}R}}{R}$ je konstanta, která závisí pouze na vzdálenosti, nikoli na směru či na parametrech budícího signálu, proto jej můžeme vynechat. Dále rovnici můžeme upravit a rozdělit ji na součin směrové charakteristiky jednotlivých zářičů s tzv. činitelem anténní řady

$$f_0(\Theta, \Phi) = f_0(\Theta, \Phi) \cdot f_{\check{R}}(\Theta)$$

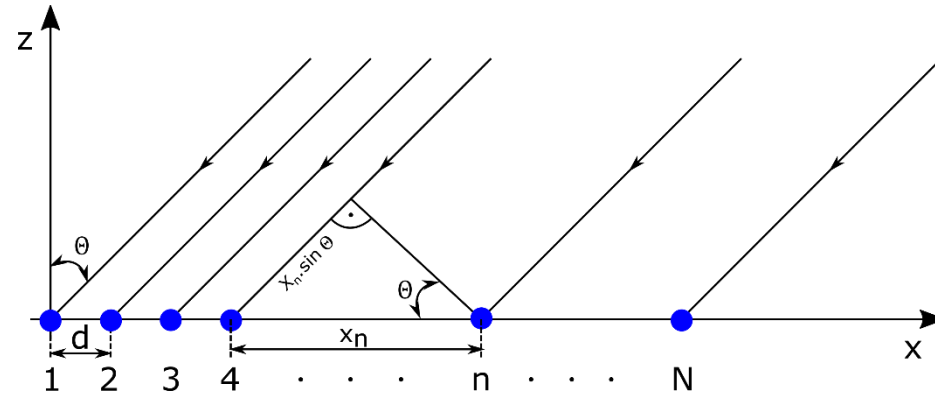
Kde: $f_{\check{R}}(\Theta)$ – činitel anténní řady, pro který platí vztah:

$$f_{\check{R}}(\Theta) = \frac{1}{C} \sum_{n=1}^N A_n e^{-j\Psi_n} e^{j\frac{2\pi}{\lambda}n \cdot d \cdot \sin \Theta}$$

Kde: C – normalizační konstanta, sloužící k normování výsledného činitele anténní řady v maximu k 1.

ČINITEL LINEÁRNÍ ANTÉNNÍ ŘADY

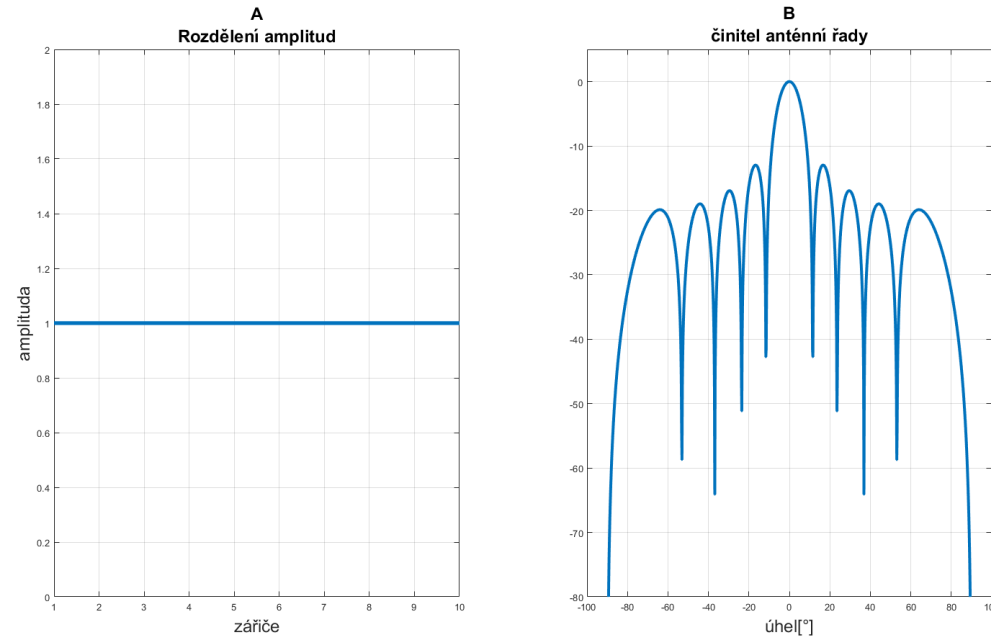
- Uspořádání lineární anténní řady pro výpočet činitele řady ukazuje následující obrázek



- Jak již bylo výše řečeno, cílem syntézy anténní řady je určit rozložení amplitud a fází signálu na jednotlivých anténních prvcích za účelem dosažení požadovaného tvaru anténního diagramu.
- Existuje velké množství metod pro syntézy anténních řad. Obecně je lze rozdělit na metody, které optimalizují pouze velikosti amplitud na jednotlivých anténních prvcích, přičemž fáze signálu jsou na všech anténních elementech shodné, dále na metody, které naopak optimalizují pouze fáze signálu na jednotlivých elementech anténní řady, přičemž amplitudy jsou shodné a na metody, které optimalizují jak amplitudové, tak fázové rozložení signálu na jednotlivých anténních prvcích.
- Volba vhodné metody syntézy závisí na požadavcích, které klademe na tvar anténního diagramu a na celkové koncepci radarového systému.
- Pokud je hlavním kritériem šířka hlavního laloku antény a velký odstup postranních laloků využíváme metody syntézy anténní řady, které jsou založeny pouze na optimalizaci amplitud signálu na jednotlivých anténních prvcích.

ROVNOMĚRNÉ ROZLOŽENÍ

- Nejjednodušší rozložením je tzv. rovnoměrné rozložení. Toto rozložení spočívá v tom, že všechny signály na anténních prvcích mají stejnou amplitudu i fázi.



- Na obrázku je vidět příklad rovnoměrného rozdělení lineární anténní řady o 10 prvcích mezi nimiž je mezielementová vzdálenost $d = 0,5\lambda$.
- Levý obrázek dokládá, že všechny anténní prvky mají stejnou amplitudu. Na obrázku vpravo je vykreslen činitel anténní řady.

TROJÚHELNÍKOVÉ ROZLOŽENÍ

- Trojúhelníkové rozdělení je pojmenováno podle toho, jak vypadají koeficienty amplitud jednotlivých anténních prvků, ty totiž symetricky lineárně klesají směrem od středu a výsledek připomíná trojúhelník nebo „střechu“.
- Aby na krajních anténních zářičích nebyla nulová amplituda a nebyly tak nevyužity volí se minimum, kterého mohou amplitudy dosáhnout.
- Výpočet je rozdělen na dvě části podle toho, zda je index anténního prvku menší nebo větší než polovina z celkového počtu prvků.

- Výpočet pro $n < N/2$

$$A_i = \frac{i}{N/2}$$

- Výpočet pro $n > N/2$

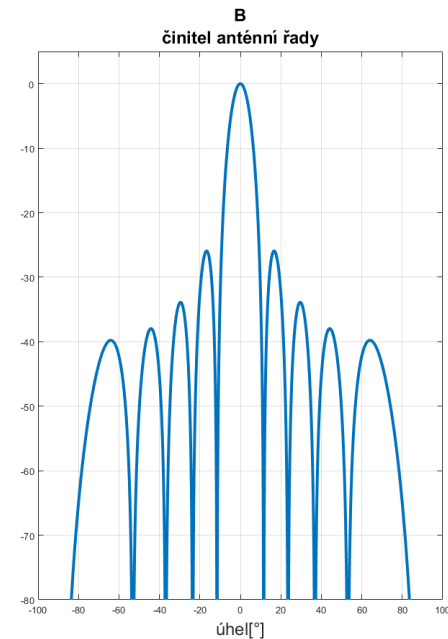
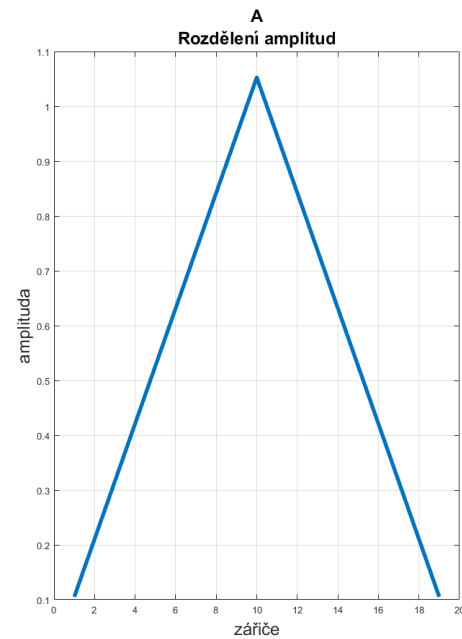
$$A_i = \frac{(N + 1) - i}{N/2}$$

Kde: i - je index anténního prvku,

N - je celkový počet anténních prvků.

TROJÚHELNÍKOVÉ ROZLOŽENÍ

- Příklad trojúhelníkového rozdělení lineární anténní řady o 19 prvcích mezi nimiž je mezielementová vzdálenost $d = 0,5\lambda$.
- Na obrázku je vidět rozložení amplitud, které připomíná trojúhelník.
- Na obrázku vpravo je vykreslen činitel anténní řady, na němž je vidět, že postranní laloky jsou potlačeny přibližně o 27 dB.



DOLPH-CHEBYSHEVOVA SYNTÉZA

- Jednou z hojně využívaných metod syntézy lineárních anténních řad je metoda Dolph-Chebyshevova. Vstupními údaji pro tuto metodu jsou požadovaný odstup postranních laloků označovaný SLL (Side Lobe Level) a počet elementů lineární anténní řady N .
- Amplitudy signálu na jednotlivých anténních prvcích, které jsou potřebné pro získání požadovaného tvaru anténního diagramu lze vypočítat dle vztahu 1 (pro sudý počet N) nebo dle vztahu 2 (pro lichý počet N).

$$A_n = (2K - 1) \cdot x_0^{2n-1} \cdot \sum_{m=0}^{K-n} (-1)^{K-n-m} \cdot x_0^{2m} \cdot \frac{(K + n + m - 2)!}{m! (2n + m - 1)! (K - n - m)!}$$

$$A_n = 2K \cdot x_0^{2n-1} \cdot \sum_{m=0}^{K-n} (-1)^{K-n-m} \cdot x_0^{2m} \cdot \frac{(K + n + m - 1)!}{m! (2n + m)! (K - n - m)!}$$

Kde:

n – index anténního prvku

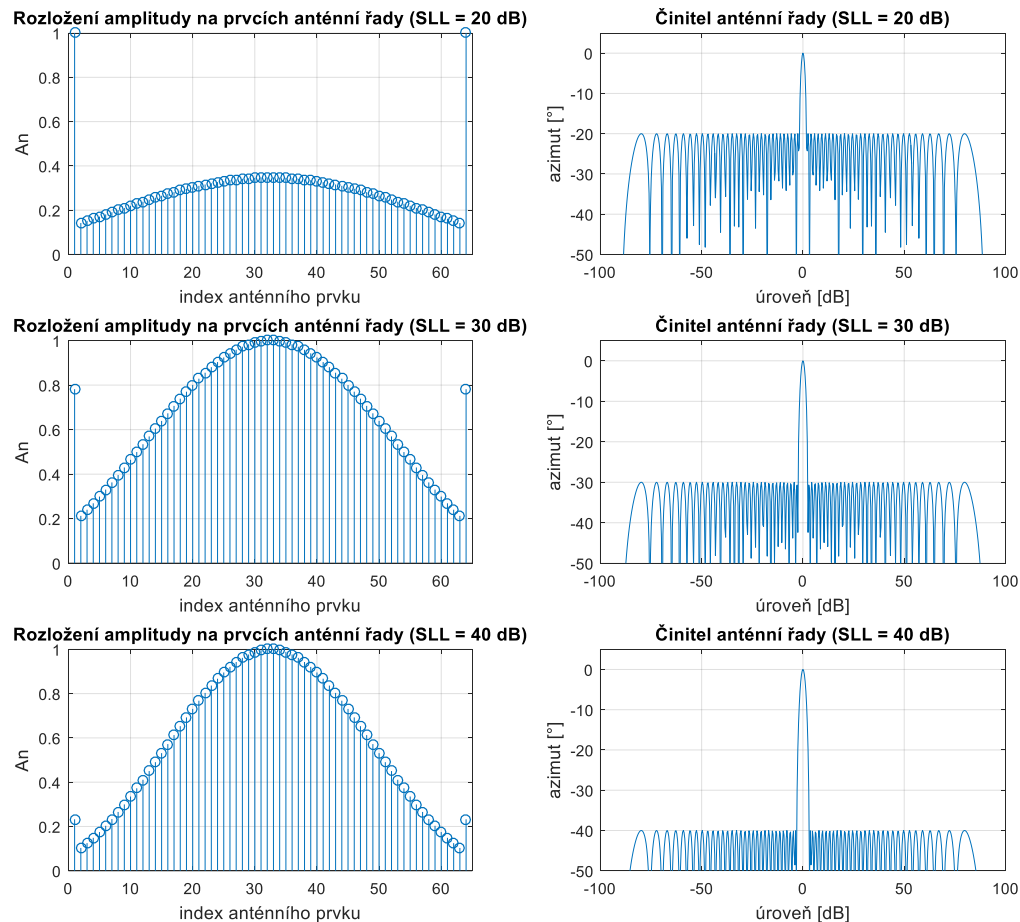
$K = N/2$ pro sudý počet anténních prvků N a $K = (N-1)/2$ pro lichý počet prvků N

m – řád Chebyshevova polynomu

$$x_0 = \frac{1}{2} \left[\left(SLL + \sqrt{SLL^2 - 1} \right)^{\frac{1}{N-1}} + \left(SLL - \sqrt{SLL^2 - 1} \right)^{\frac{1}{N-1}} \right]$$

DOLPH-CHEBYSHEVOVA SYNTÉZA

- Pro simulaci Dolph-Chebyshevovy syntézy lze využít simulační nástroj Matlab. V tomto softwaru je funkce pro tuto syntézu již naprogramována a jmenuje se chebwin a dosahuje naprosto totožných výsledků jako při aplikaci vztahů 1 nebo 2



- Je patrné, že tato metoda syntézy dokáže velice dobře dosáhnout požadovaných hodnot odstupu postranních laloků.
- Je zde též zřejmé, že se zvyšující se hodnotou odstupu postranních laloků se zvyšuje i 3dB šířka hlavního laloků (SLL 20 dB – 3dB šířka svazku 1,6°, SLL 30 dB – 3dB šířka svazku 1,92°, SLL 40 dB – 3dB šířka svazku 2,18°).
- Charakteristickým rysem této syntézy jsou ovšem vyšší hodnoty amplitud na krajních prvcích anténní řady. Tento jev, může představovat výrazný problém při návrhu signálových rozvodů takovéto anténní řady. Tento nepříznivý efekt je potlačen při použití Taylorovy syntézy lineární anténní řady.

TAYLOROVA SYNTÉZA

- Tato syntéza potřebuje tři vstupní údaje, kterými jsou opět počet prvků lineární anténní řady N a požadovaný odstup postranních laloků SLL, ale také vyžaduje zadání řádu Taylorova polynomu.
- Velikosti amplitud na jednotlivých prvcích lineární anténní řady lze určit dle následujícího postupu:

$$A_n = 2 \sum_{m=1}^M F_m \cos \left(2\pi m \frac{k_n - \frac{1}{2}N + \frac{1}{2}}{N} \right)$$

Kde: M – řád Taylorova polynomu
 N – počet prvků řady
 $k \in \langle 0, N-1 \rangle$

- Přičemž člen F_m se vypočítá následovně:
$$F_m = \frac{(-1)^{m+1} a_m}{2b_m}$$

Kde:
$$a_m = \text{prod} \left(\frac{1 - \frac{m^2}{\tau}}{A^2 + \left(x - \frac{1}{2}\right)^2} \right); \quad b_m = \text{prod} \left(\frac{1 - m^2}{y^2} \right)$$

$$\tau = \frac{M^2}{A^2 + \left(M - \frac{1}{2}\right)^2}; \quad A = \frac{\cosh \left(10^{-\frac{SLL}{20}} \right)}{\pi}$$

$$x = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ m-1 \\ m+1 \\ m+2 \\ m+3 \\ \vdots \\ M \end{pmatrix}; \quad y = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ M-1 \end{pmatrix}$$

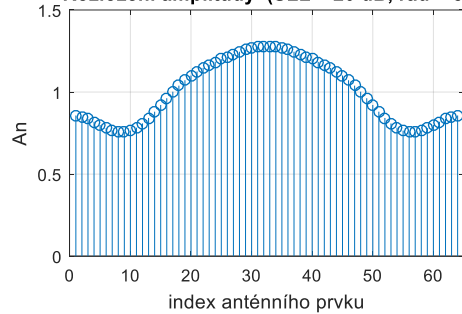
prod – značí matematickou operaci součinu prvků sloupcového vektoru

TAYLOROVA SYNTÉZA

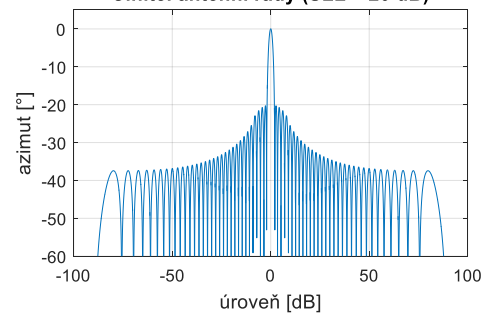
- Program Matlab má již přednastavenou funkci `taylorwin`, ve které jsou aplikovány výše uvedené vztahy. Pokud zadáme řád Taylorova polynomu $M = 1$, obdržíme výsledek, který je shodný s rovnoměrným rozložením amplitud, s čímž souvisí i nedostatečný odstup postranních laloků 13,7 dB.
- Zvyšujeme-li řád Taylorova polynomu začne se nám měnit tvar amplitudového obložení anténní řady a zlepšovat odstup postranních laloků. Požadované hodnoty odstupů postranních laloků obdržíme při použití 4-tého či vyšších řádů Taylorova polynomu.
- Další zvyšování řádu již nepřináší výrazné změny. Proto jsou na následujícím obrázku vyneseny průběhy rozložení amplitud na lineární anténní řadě pro řád $M=5$, pro požadované hodnoty odstupů postranních laloků $SLL = 20, 30$ a 40 dB, při $N = 64$ anténních prvcích, které mezi sebou mají konstantní rozestup $d = 0,5 \lambda$.

TAYLOROVA SYNTÉZA

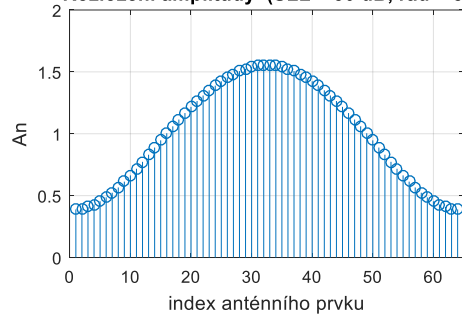
Rozložení amplitudy (SLL = 20 dB, řád = 5)



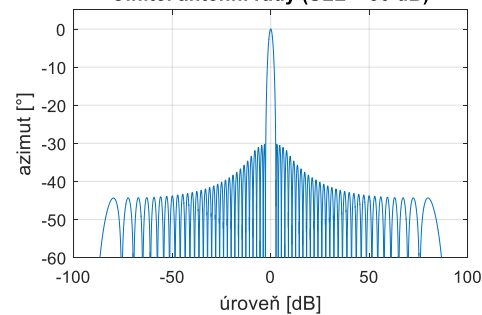
Činitel anténní řady (SLL = 20 dB)



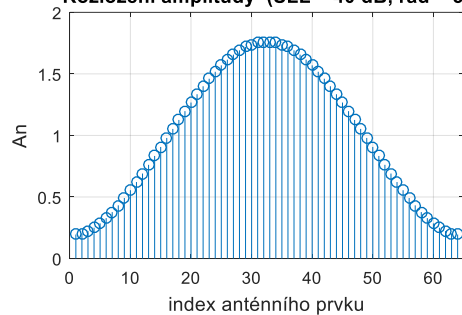
Rozložení amplitudy (SLL = 30 dB, řád = 5)



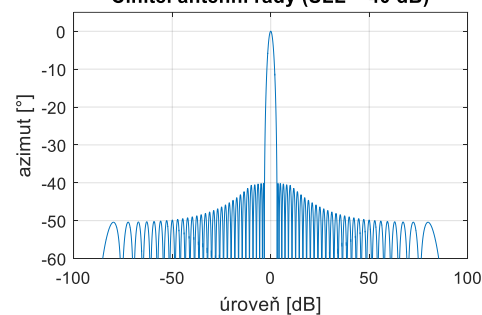
Činitel anténní řady (SLL = 30 dB)



Rozložení amplitudy (SLL = 40 dB, řád = 5)



Činitel anténní řady (SLL = 40 dB)



- Je patrné, že v tomto případě nedochází k výraznému zvýšení amplitud postranních anténních elementů při nižších hodnotách požadovaného odstupu postranních laloků jako v případě Dolph-Chebyshevovy syntézy.
- I v tomto případě je patrné, že se zvyšující se hodnotou odstupu postranních laloků se zvyšuje i 3dB šířka hlavního laloků (SLL 20 dB – 3dB šířka svazku $1,72^\circ$, SLL 30 dB – 3dB šířka svazku 2° , SLL 40 dB – 3dB šířka svazku $2,2^\circ$).

FOURIEROVA SYNTÉZA

- Na rozdíl od syntéz z přechází přednášky Fourierova syntéza neovlivňuje pouze amplitudu na jednotlivých vyzařovacích prvcích, ale umožňuje měnit i fázi. Díky tomu je možné vytvarovat činitel řady do požadovaného průběhu.
- Princip Fourierovy syntézy spočívá v rozkladu do Fourierovy řady, z níž se následně získají komplexní koeficienty. Amplitudy na jednotlivých zářičích se rovnají absolutním hodnotám komplexních koeficientů a fáze argumentům komplexních čísel.

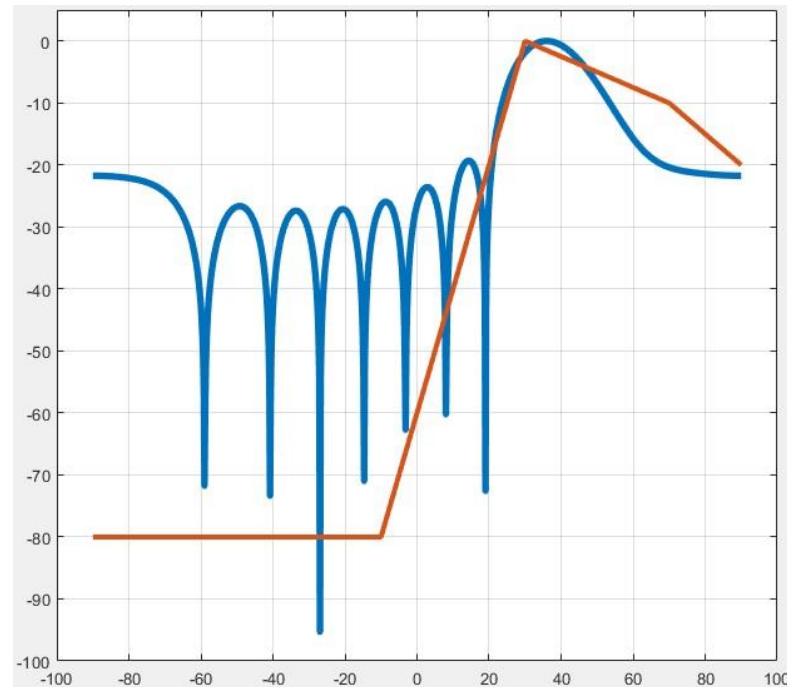
$$f_d(\omega) = K \sum_{-\infty}^{\infty} A_n e^{(j2\pi n(\frac{d}{\lambda})\omega)}$$

Kde: K je normalizační konstanta,
n je index vyzařovacího prvku,
d je vzdálenost mezi vyzařovacími prvky,
 $\omega = \cos(\theta)$
 A_n jsou Fourierovy koeficienty.

$$A_n = \frac{d}{\lambda} \int_{-d/\lambda}^{d/\lambda} f_d(\omega) e^{(j2\pi n(\frac{d}{\lambda})\omega)} d\omega$$

FOURIEROVA SYNTÉZA

- Na první pohled je vidět, že se Fourierova syntéza od předešlých výrazně liší. Červeně je vykreslen požadovaný průběh činitele anténní řady a modře pak výsledný průběh dosažený Fourierovou syntézou.
- Je vidět, že Fourierova syntéza zcela nevystihuje požadovaný průběh, ale snaží se mu co nejvíce přiblížit.
- Také je vidět, že maximum vyzařování není na 0° jak je tomu u amplitudových metod syntéz, ale může se posouvat do daného směru vyzařování dle zadání.



VYCHYLOVÁNÍ HLAVNÍHO SVAZKU

- Pokud je rozestup mezi jednotlivými prvky anténní řady d stejný, lze pomocí progresivního fázového posuvu signálu přiváděného na tyto anténní elementy měnit pozici hlavního laloku.
- Vektor, který popisuje fázový posuv signálu na jednotlivých prvcích anténní řady, označujeme jako „Vychylovací vektor“ (v anglické literatuře označovaný jako „Steering vector“) a matematicky jej lze zapsat v podobě vztahu:

$$a(\theta) = [1 \quad e^{j\alpha} \quad \dots \quad e^{j\alpha(N-1)}]$$

Kde: α je fázový posun signálu mezi jednotlivými anténními prvky

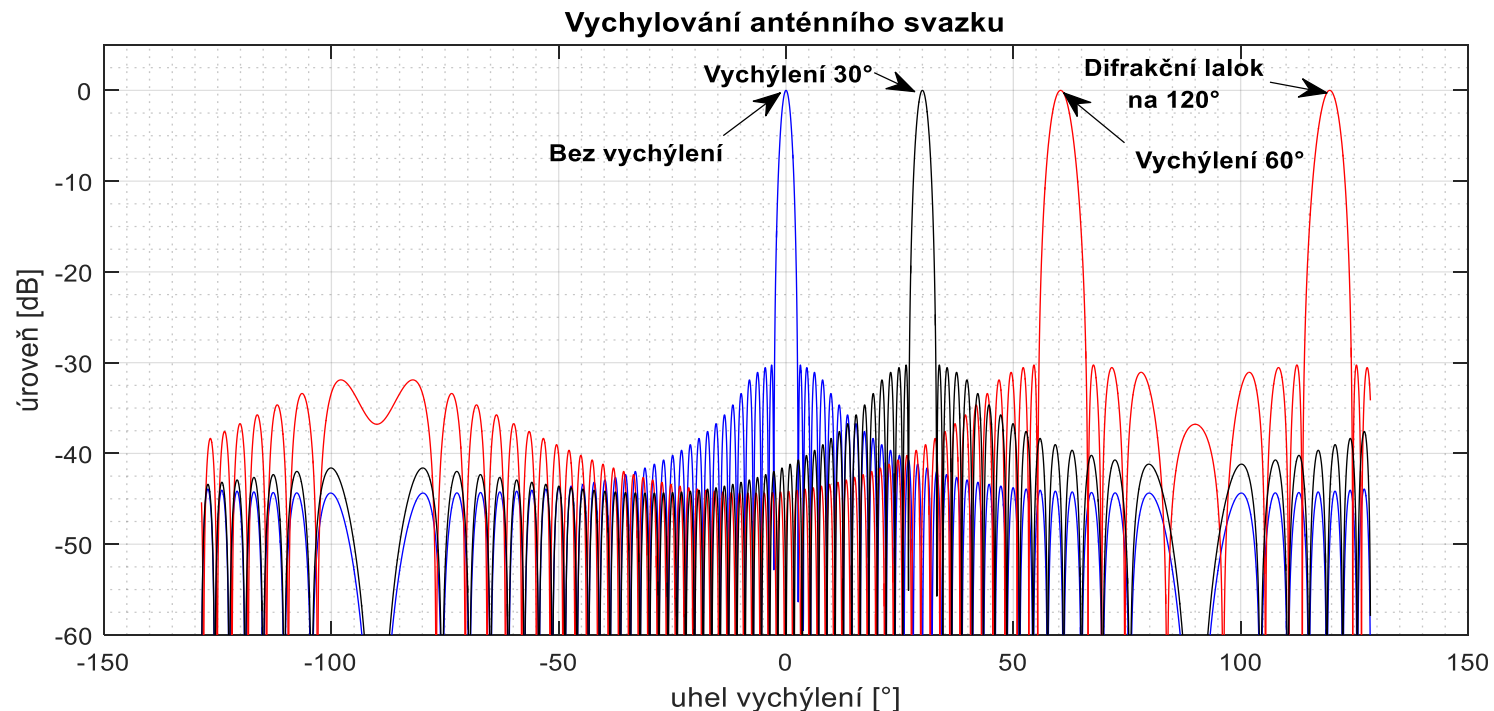
- Aplikací tohoto vychylovacího vektoru na signály na jednotlivých anténních prvcích dosáhneme natočení vyzářovacího diagramu do požadovaného směru.
- Tento proces se označuje jako „Tvarování paprsku“ v anglické literatuře označované jako „Beamforming“.
- Nežádoucím jevem, který se při vychylování hlavního anténního svazku objevuje je výskyt difrakčních anténních laloků.
- Pro omezení výskytu difrakčních laloků v požadovaném rozmezí vychylování hlavního svazku je nutné dodržet následující podmínku:

$$\frac{d}{\lambda} \leq \frac{1}{1 + \sin \Theta_{max}}$$

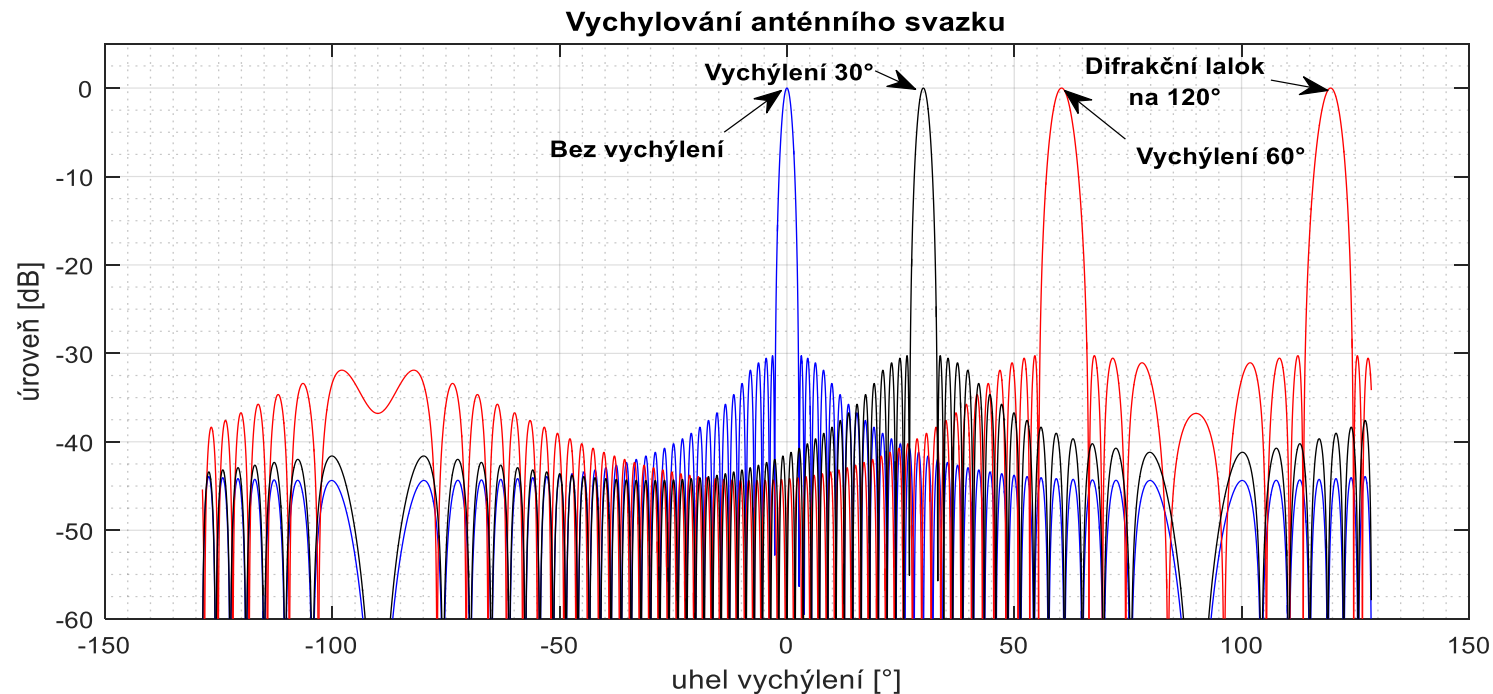
Kde: Θ_{max} je maximální požadovaný úhel vychýlení svazku

VYCHYLOVÁNÍ HLAVNÍHO SVAZKU

- Z výše uvedeného vztahu je zřejmé, že, aby nedošlo k výskytu difrakčních laloků v plném zorném poli senzoru $\pm 90^\circ$ nesmí vzdálenost mezi prvky anténní řady překročit hodnotu $d = \lambda/2$.
- V běžných aplikacích jsme ovšem často limitováni vyzařovacím diagramem jednotlivého prvku např. na zorné pole v rozsahu do $\pm 60^\circ$, tedy vzdálenost mezi jednotlivými prvky anténní řady by neměla být větší než $0,54\lambda$.
- Následující obrázek, ukazuje vychylování hlavního svazku pomocí vhodného nastavení konstanty α ve vychylovacím vektoru. Jedná se o vychylování anténního svazku, který vytváří 64 anténních prvků vzdálených od sebe $d = 0,5\lambda$, přičemž rozložení amplitud vychází z Taylorovy syntézy při odstupu postranních laloků SLL = 30 dB.



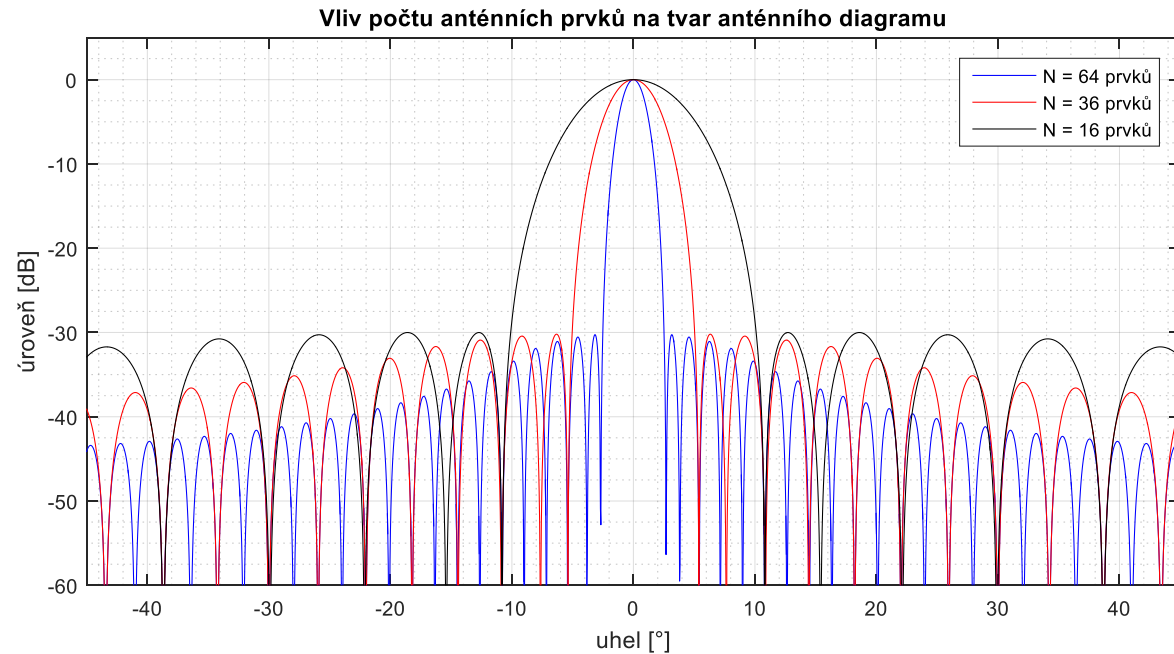
VYCHYLOVÁNÍ HLAVNÍHO SVAZKU



- Z obrázku je též velice dobře patrný další efekt, který se při vychylování svazku projevuje a tím je rozšiřování hlavního svazku, které je tím větší, čím více hlavní svazek vychýlíme a je úměrné hodnotě $\frac{1}{\cos\theta}$.
- V příkladu uvedeném na obrázku výše má hlavní svazek bez vychýlení 3dB šířku 2°, při vychýlení o 30° se tato 3dB šířka hlavního svazku zvětší na 2,34° a při vychýlení o 60° na hodnotu 4,05°.
- Tento efekt vede ke snížení rozlišovací schopnosti a zisku antény při větších hodnotách vychýlení, což je další důvod, proč se v praxi využívá vychylování hlavního anténního svazku pouze v rozsahu $\pm 60^\circ$.

VLIV POČTU PRVKŮ LINEÁRNÍ ANTÉNNÍ ŘADY NA TVAR ANTÉNNÍHO DIAGRAMU

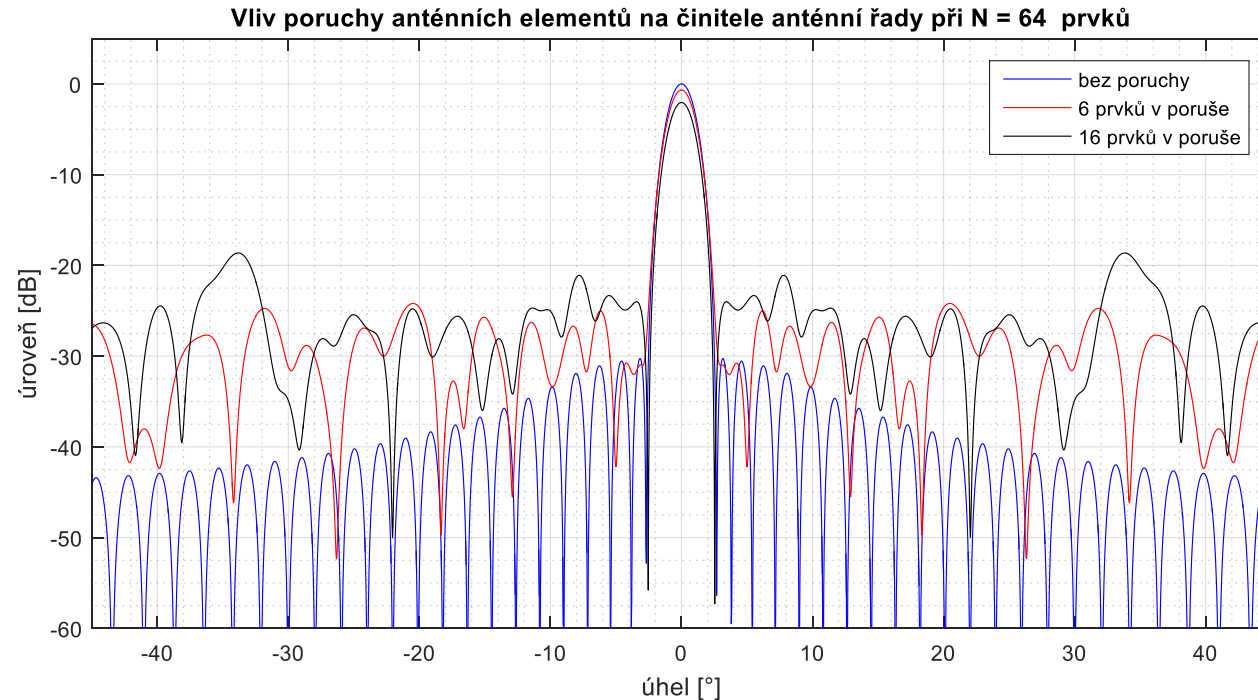
- Velice výrazný vliv na šířku hlavního anténního svazku a tím i na rozlišovací schopnost a zisk lineární anténní řady má počet prvků této anténní řady.
- Ukázka vypočtených činitelů anténní řady pro $N = 64$, 32 a 16 anténních prvků s využitím Taylorovy syntézy s odstupem postranních laloku $SLL = 30$ dB je na následujícím obrázku:



- Z obrázku je dobře patrné, výrazné rozšiřování 3dB šířky hlavního anténního svazku, která pro $N = 64$ prvků má hodnotu 2° , pro $N = 32$ prvků je 3dB šířka svazku 4° a pro $N = 16$ prvků je 3 dB šířka svazku 8° .

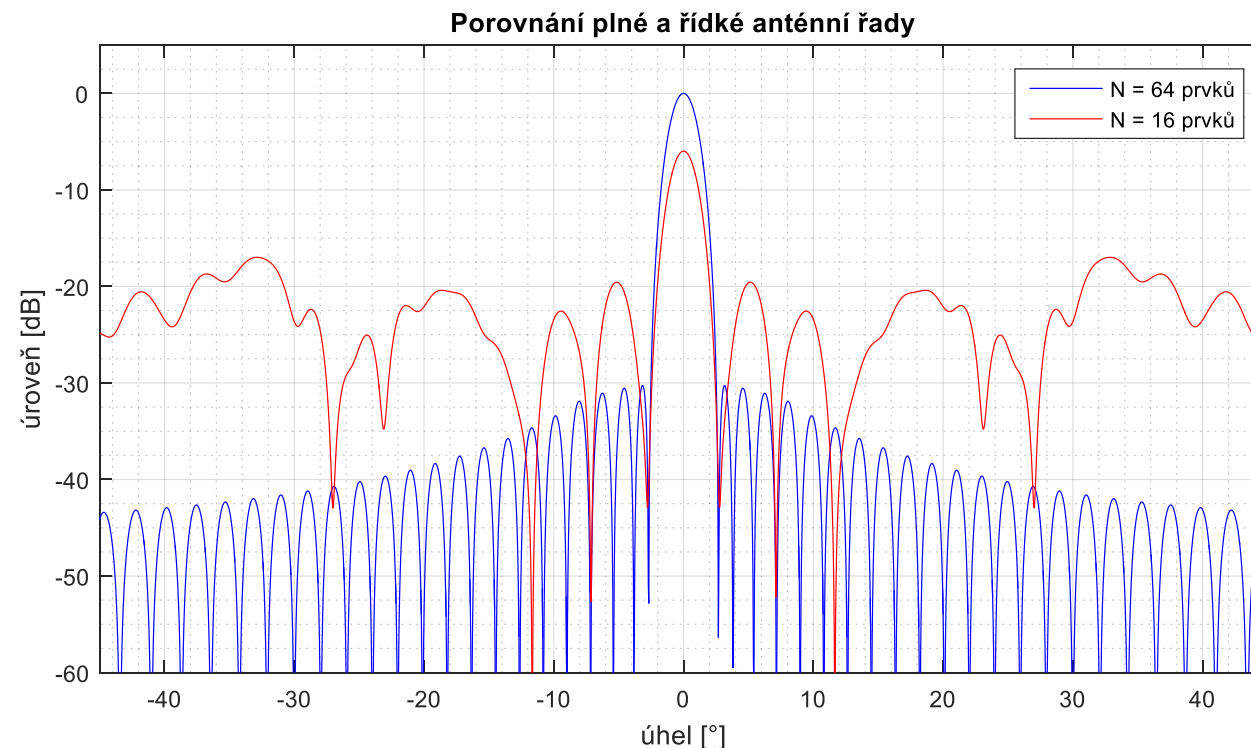
VLIV POČTU PRVKŮ LINEÁRNÍ ANTÉNNÍ ŘADY NA TVAR ANTÉNNÍHO DIAGRAMU

- Zásadní vliv na zisk antény a tvar a odstup jejich postranních laloků má i porucha některých prvků lineární anténní řady.
- Tento efekt je zobrazen na dalším obrázku, kde byly simulovány výpadky několika náhodně zvolených prvků lineární anténní řady.
- Je zde velice dobře patrné výrazné zvýšení odstupů postranních laloků, což může způsobovat problémy při určování polohy cílů, jelikož cíle s velkou efektivní odraznou plochou ležící ve směrech těchto postranních laloků se mohou jevit podobně jako cíle s menší efektivní odraznou plochou ležící ve směru hlavního anténního svazku.



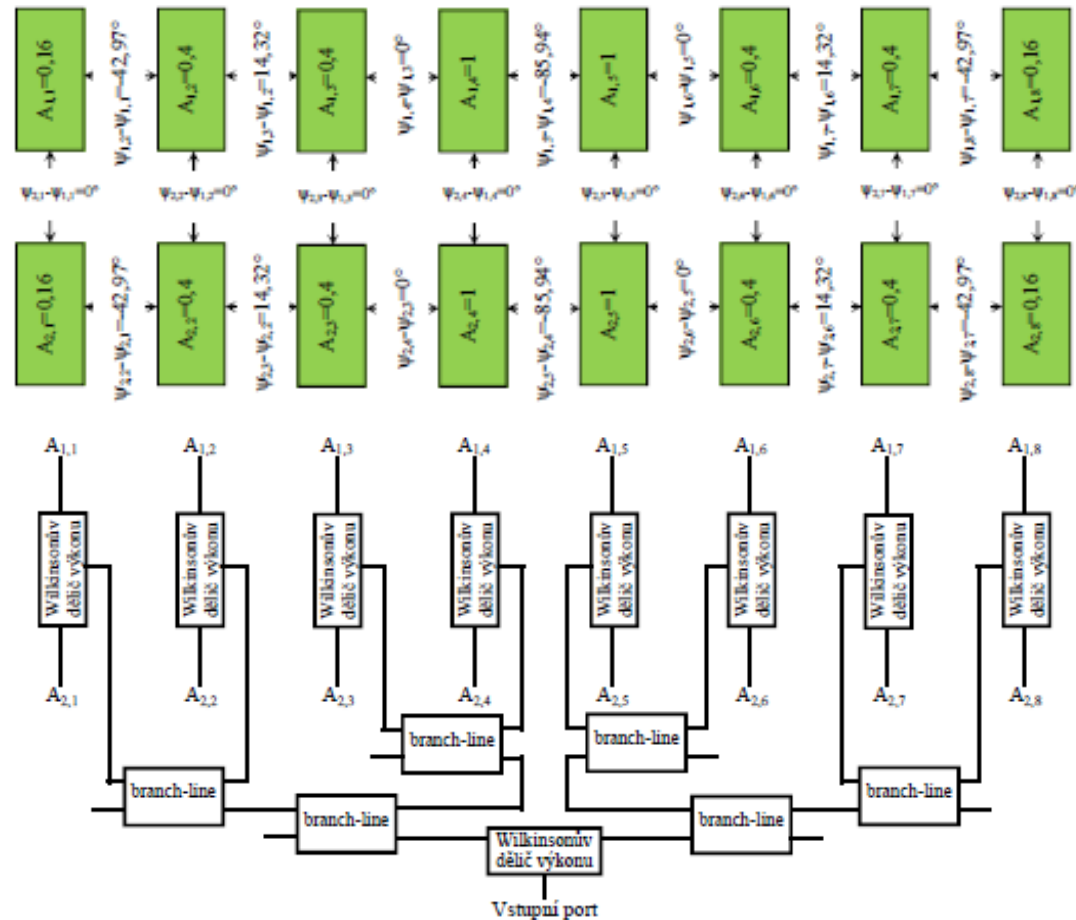
VLIV POČTU PRVKŮ LINEÁRNÍ ANTÉNNÍ ŘADY NA TVAR ANTÉNNÍHO DIAGRAMU

- V případě, že z anténní řady vynecháme více než dvě třetiny jejich původních prvků a zároveň zachováme pozice krajních prvků, můžeme již hovořit o řídkých anténních řadách.
- Ukázka vyzařovacího činitele anténní řady takovéto řídké antény je na dalším obrázku, kde z původního počtu $N = 64$ anténních elementů bylo náhodně vynecháno 48 prvků, tedy zbývá pouze 16 prvků, přičemž byly zachovány krajní prvky, tedy celkový rozměr anténní řady D zůstal nezměněn.

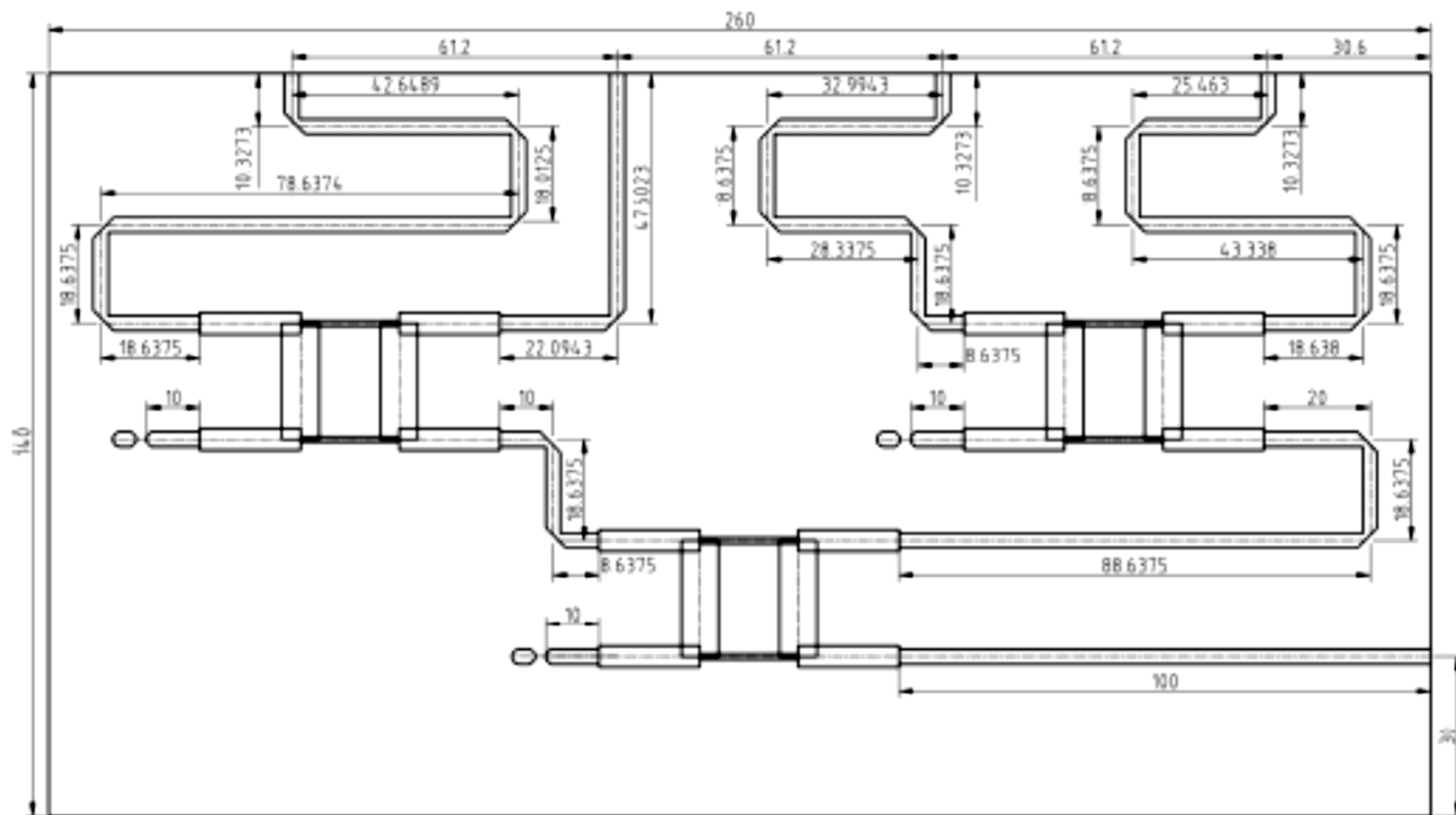


SIGNÁLOVÉ ROZVODY

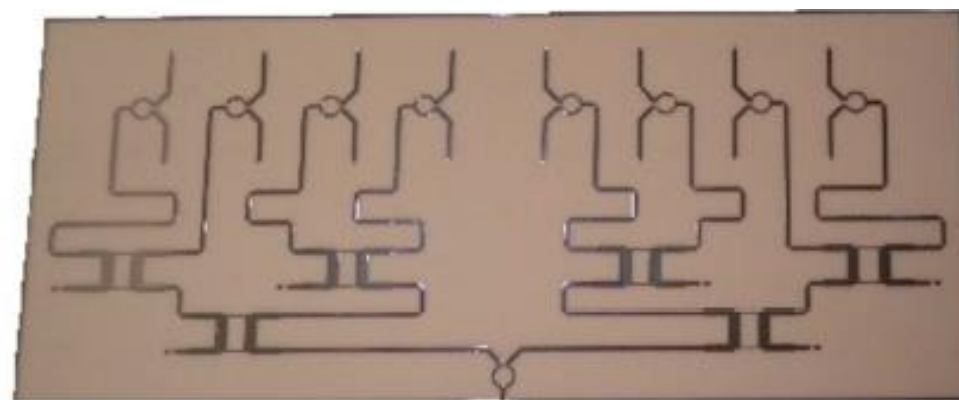
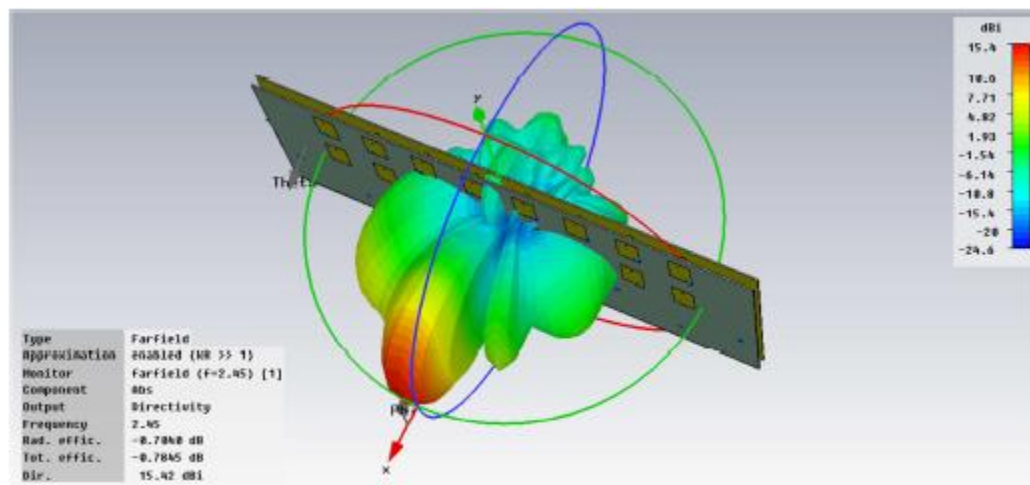
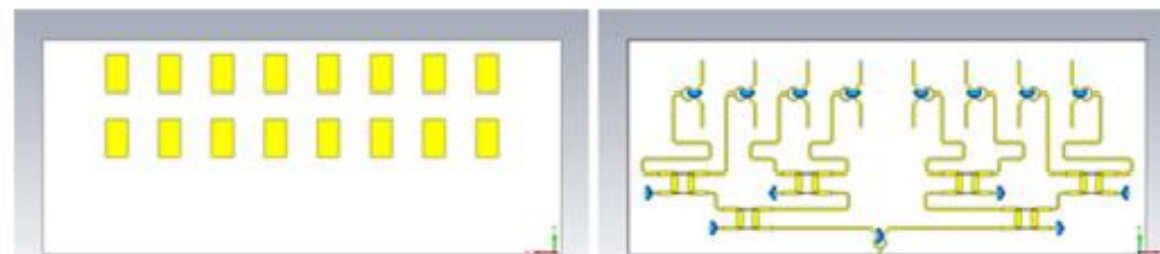
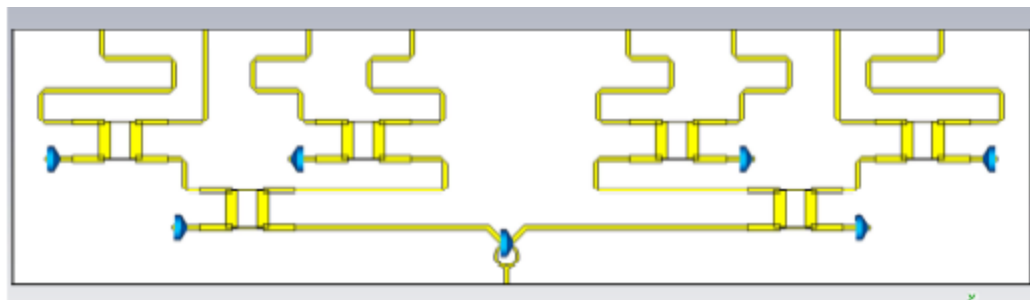
- Požadované rozložení amplitud a fází signálů na jednotlivých prvcích lineární řady zajišťují tzv. rozvody signálů. Signálové rozvody se skládají z děličů výkonu, propojených úseky homogenního vedení.



SIGNÁLOVÉ ROZVODY



SIGNÁLOVÉ ROZVODY

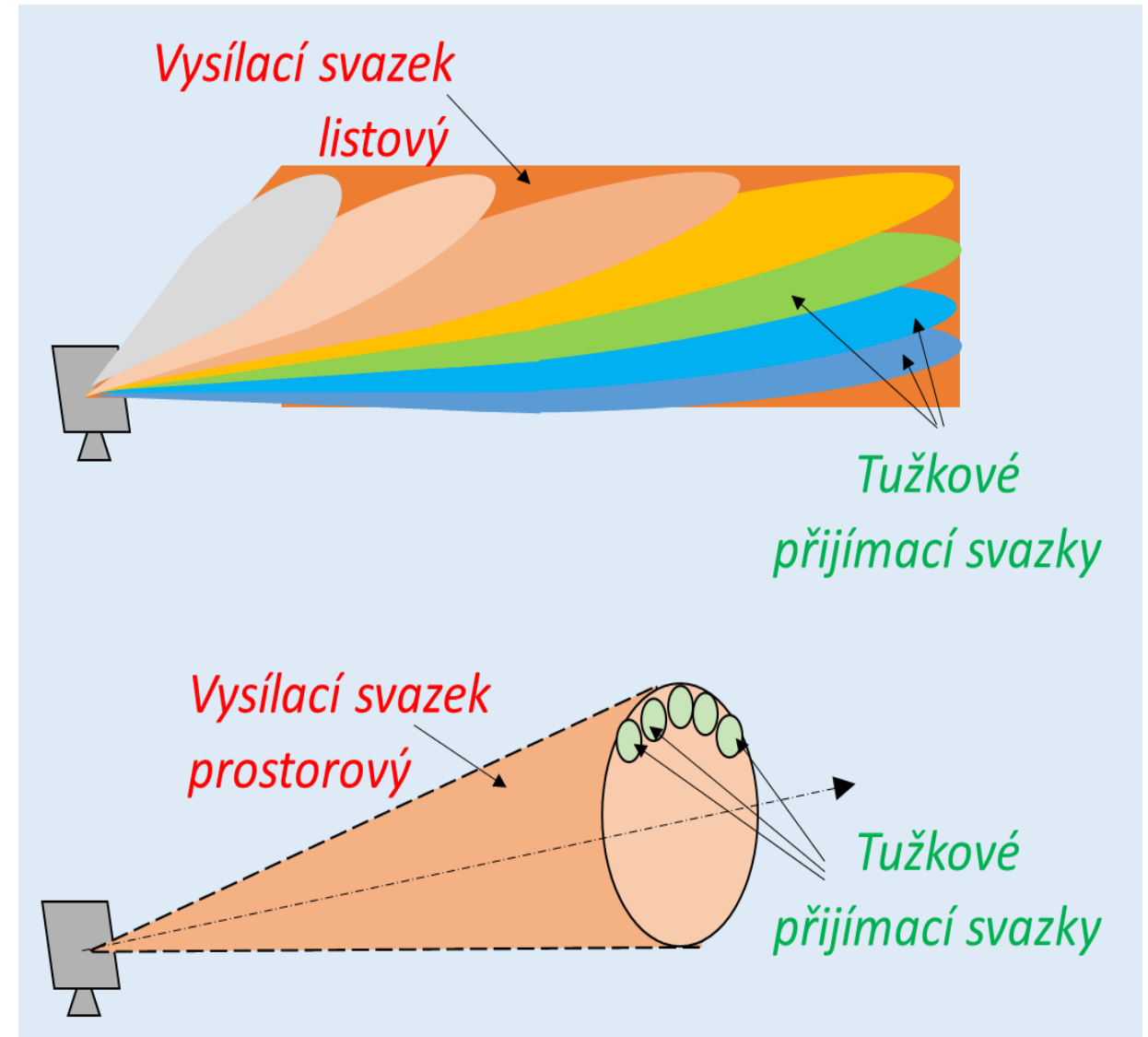


ŘÍZENÍ SVAZKŮ

- Technologie vychylování svazku
 - Vychylování mechanickým pohybem antén
 - málo adaptivní
 - trvale se pohybující součásti
 - Kombinace mechanického a elektronického vychylování
 - Elektronické vychylování ve dvou rovinách
 - vysoká adaptabilita
 - bez trvale se pohybujících součástí

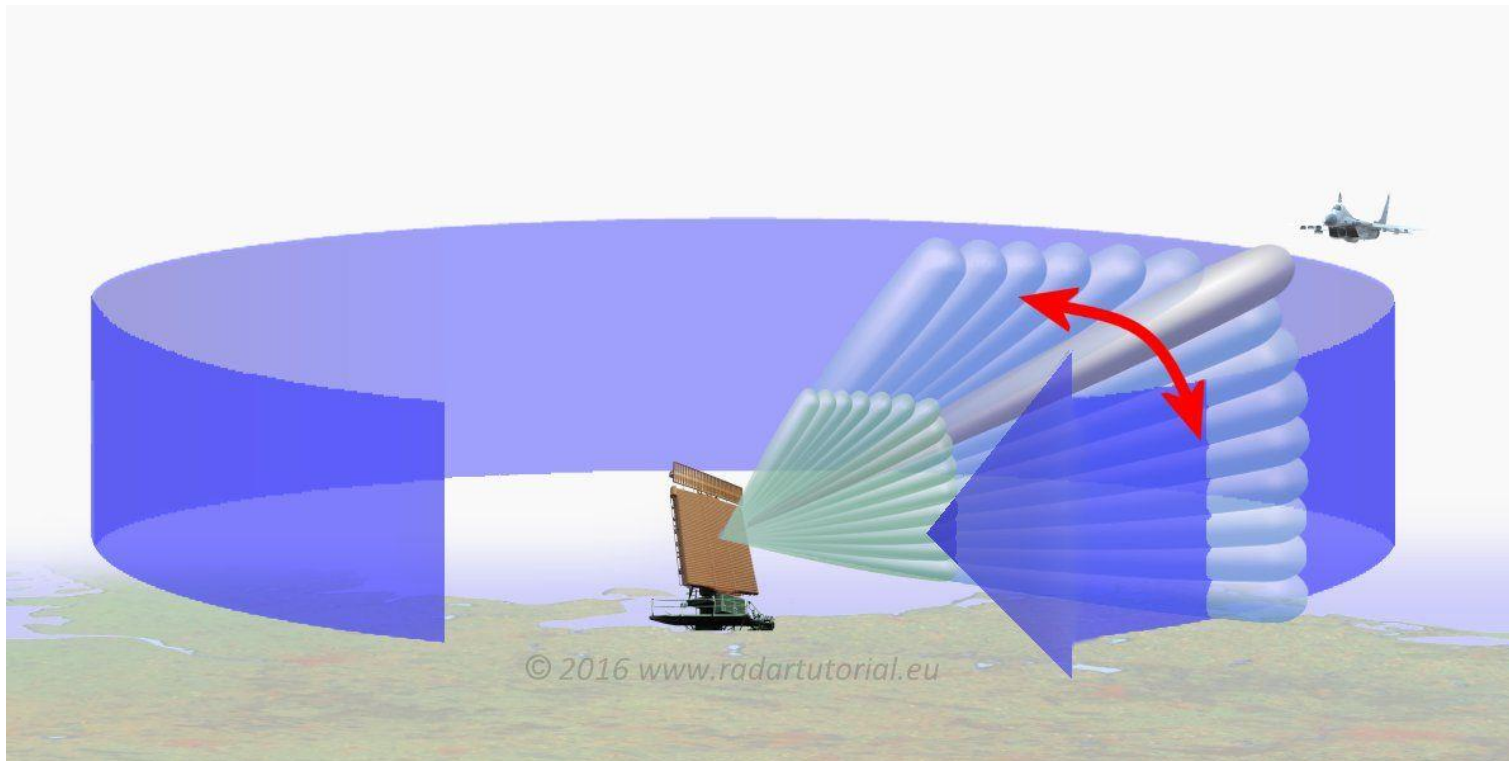
ŘÍZENÍ SVAZKŮ

- Tužkové svazky
 - Přijímací svazky jsou tužkové
 - Vysílací pokrývá celý sektor nebo jeho část
- Společné charakteristiky:
 - Přijímací anténa je vícesvazková
 - Vyšší rychlost obnovy informace, vyšší vysílaný výkon
 - Nižší kvalita ohraničení svazku a postranních laloků
 - Menší adaptivita
- Možnosti organizace snímání:
 - Vysílač postupně vykrývá celý zájmový sektor -> delší doba obnovy informace, nižší vysílaný výkon
 - Vícesvazková vysílací anténa (pouze MIMO) -> rychlá obnova informace, vysoký vysílaný výkon



ŘÍZENÍ SVAZKŮ

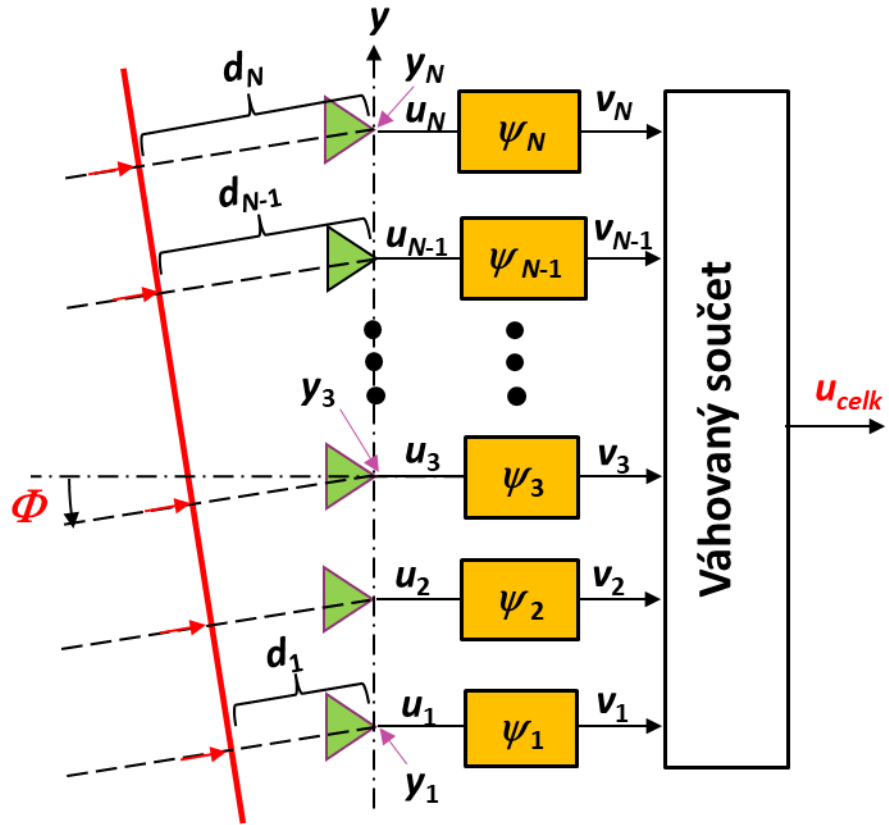
- Kombinace mechanického a elektronického snímání
 - Anténa rotuje v azimutu a svazek je elektronicky ovládaný pouze v elevaci
 - Vysílací i přijímací svazky jsou tužkové
 - Vysílací svazek je listový (kosekanta), přijímací jsou tužkové



ŘÍZENÍ SVAZKŮ

- Kombinace mechanického a elektronického snímání
- Vějířový vysílací svazek (cosec^2) ozařuje celý rozsah elevací, přijímací anténa je vícesvazková s tužkovými svazky, pokrývajícími celý rozsah elevací současně
 - Omezení svazků i potlačení postranních laloků v elevaci je horší
 - Adaptivita zůstává dobrá
 - Rychlejší opakování informace
 - Vysílací anténa má menší zisk -> vyžaduje vyšší vysílaný výkon
- Tužkový vysílací i přijímací svazek, zaměřené stejným směrem prohledávají postupně vybraný rozsah elevací:
 - Velmi kvalitně ohraničený svazek a značné potlačení postranních laloků
 - Dobrá adaptivita
 - Delší doba obnovy informace (pomalejší snímání)
 - Vysoký zisk obou antén -> potřebuje nižší vysílaný výkon

FÁZOVANÉ ANTÉNNÍ ŘADY A PLOCHY



Polohy elementů: $y_n = y_1 + (n-1)L$

Dráhy paprsků: $d_n = d_1 + (n-1)L \cdot \sin(\Phi)$

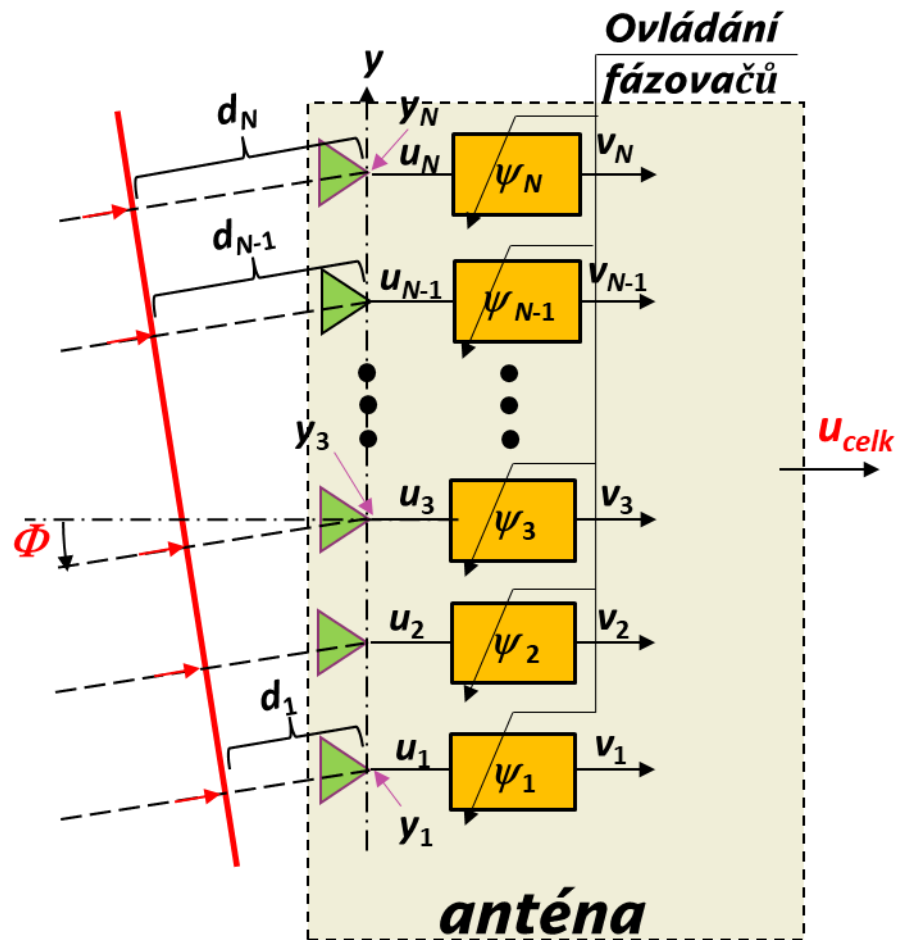
Fázová zpoždění: $\varphi_n = 2\pi(d_1 - d_n)/\lambda$

Napětí na elemen.: $u_n(t) = u_1(t) \cdot \exp(-j\varphi_n)$

$$v_n(t, \Phi) = u_n(t, \Phi) \cdot \exp(-j\psi_n)$$

$$u_{celk}(t, \Phi) = \sum_{n=1}^N w_n \cdot u_n(t, \Phi) \exp(-j\psi_n)$$

FÁZOVANÉ ANTÉNNÍ ŘADY A PLOCHY



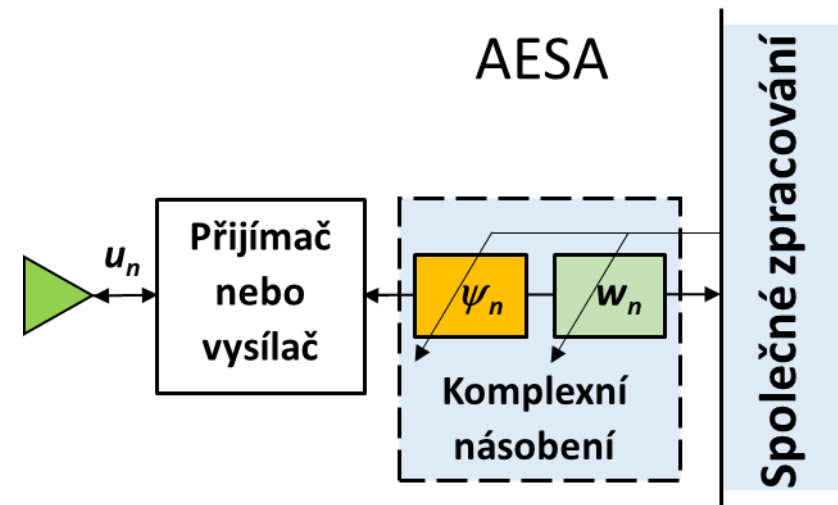
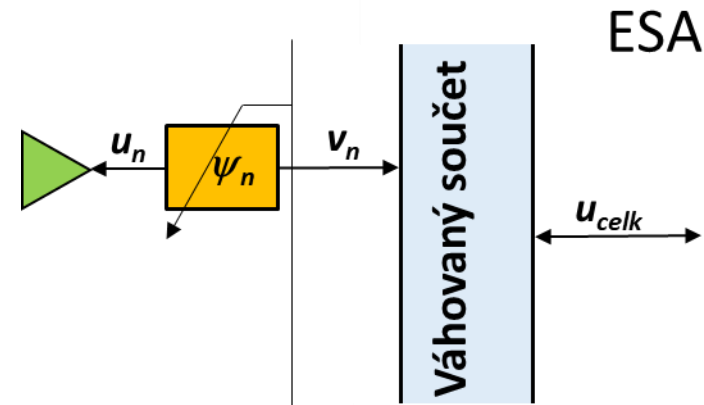
$$u_{\text{celk}}(t, \Phi) == u_1(t, \Phi) \sum_{n=1}^N w_n \cdot \exp\{-j[\psi_n + \varphi_n(\Phi)]\}$$

Pokud nastavíme $\psi_n = -\varphi_n(\Phi_0)$ budou fáze všech signálů, před sumací stejné a amplituda napětí $u_{\text{celk}}(t, \Phi_0)$ bude pro daný úhel Φ_0 dopadu vlny maximální.

V tomto zapojení **je anténa reciproká**

FÁZOVANÉ ANTÉNNÍ ŘADY A PLOCHY

- Možné realizace fázování:
- Fázovače na kmitočtu vysílané vlny
Analogové ->
 - Útlum
 - Omezená šířka pásma
 - Omezení přenášeného výkonu
- Fázovače na mf, nebo na komplexní obálce (IQ)
Digitální ->
 - Vysoká adaptivita
 - Problém: udržet stejný přenos ve všech kanálech
 - Velké možnosti dalšího zpracování



VÍCESVAZKOVÉ ANTÉNY

- Lineární anténní řada:

$$U_k(t) = \sum_{n=1}^N w_n \cdot u_n(t) \exp \left\{ -j2\pi(n-1) \frac{L}{\lambda} \left[\frac{2(k-1)}{K} - 1 \right] \right\}$$

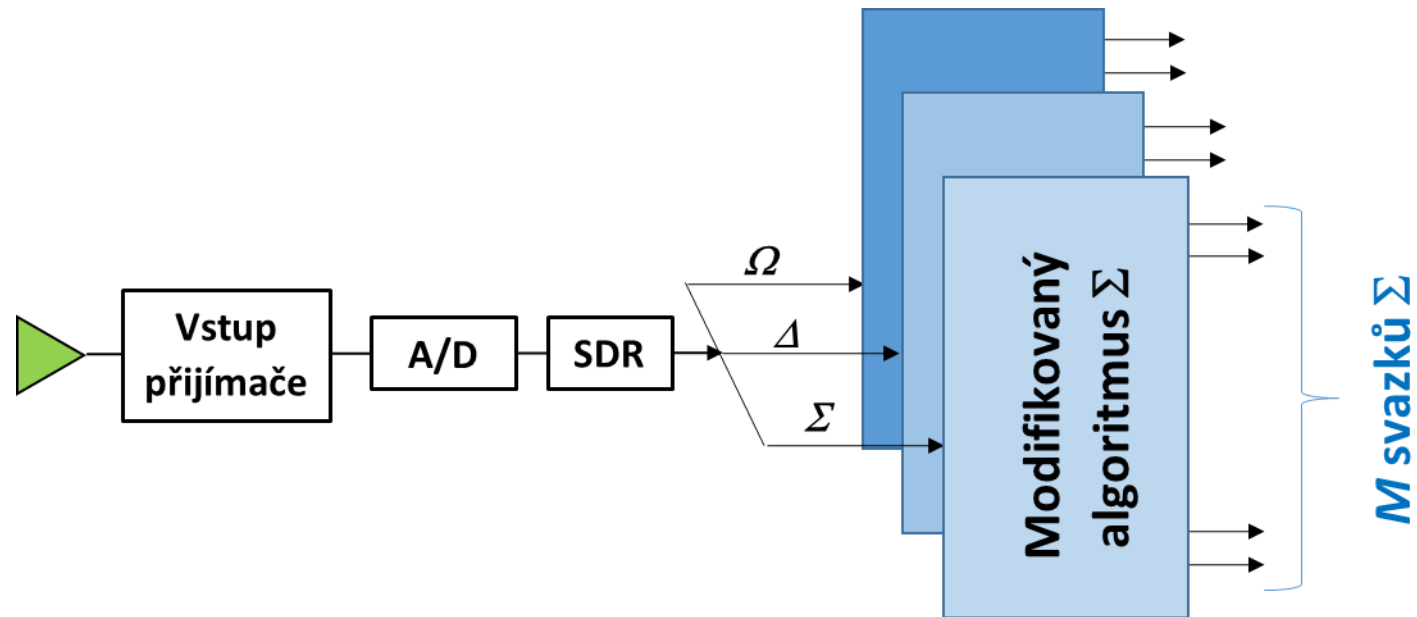
- Pro dané k bude výstupní napětí $U_k(t)$ maximální, pokud signál přichází ze směru Φ_k , který odpovídá rovnici:

$$2\pi L \sin \Phi_k = \lambda \cdot \Delta\psi_k$$

- Na tento vztah lze nahlížet tak, že:
 - buď lze přepínat hodnoty $\Delta\psi_k$ - tedy **přepínat mezi svazky v čase**
 - nebo lze všechny průběhy (svazky) vypočítat najednou – **vícesvazková anténa**

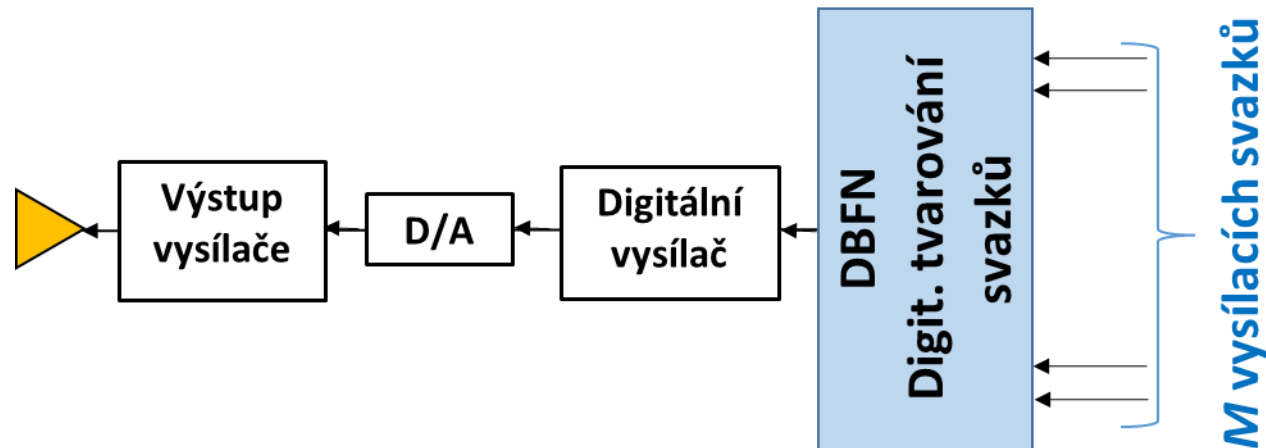
VÍCESVAZKOVÉ ANTÉNY

- Polohy os svazků Φ_k lze nastavit libovolně a odtud vypočítat posloupnost $\Delta\psi_k$
- Svazky lze tvarovat volbou vah $w_n(\Phi_k)$, včetně rozdílových a potlačovacích svazků pro monopulz: $w_{n\Sigma}(\Phi_k)$, $w_{n\Delta}(\Phi_k)$, $w_{n\Omega}(\Phi_k)$.
- Schéma jednoho elementu přijímací M-svazkové lineární řady AESA



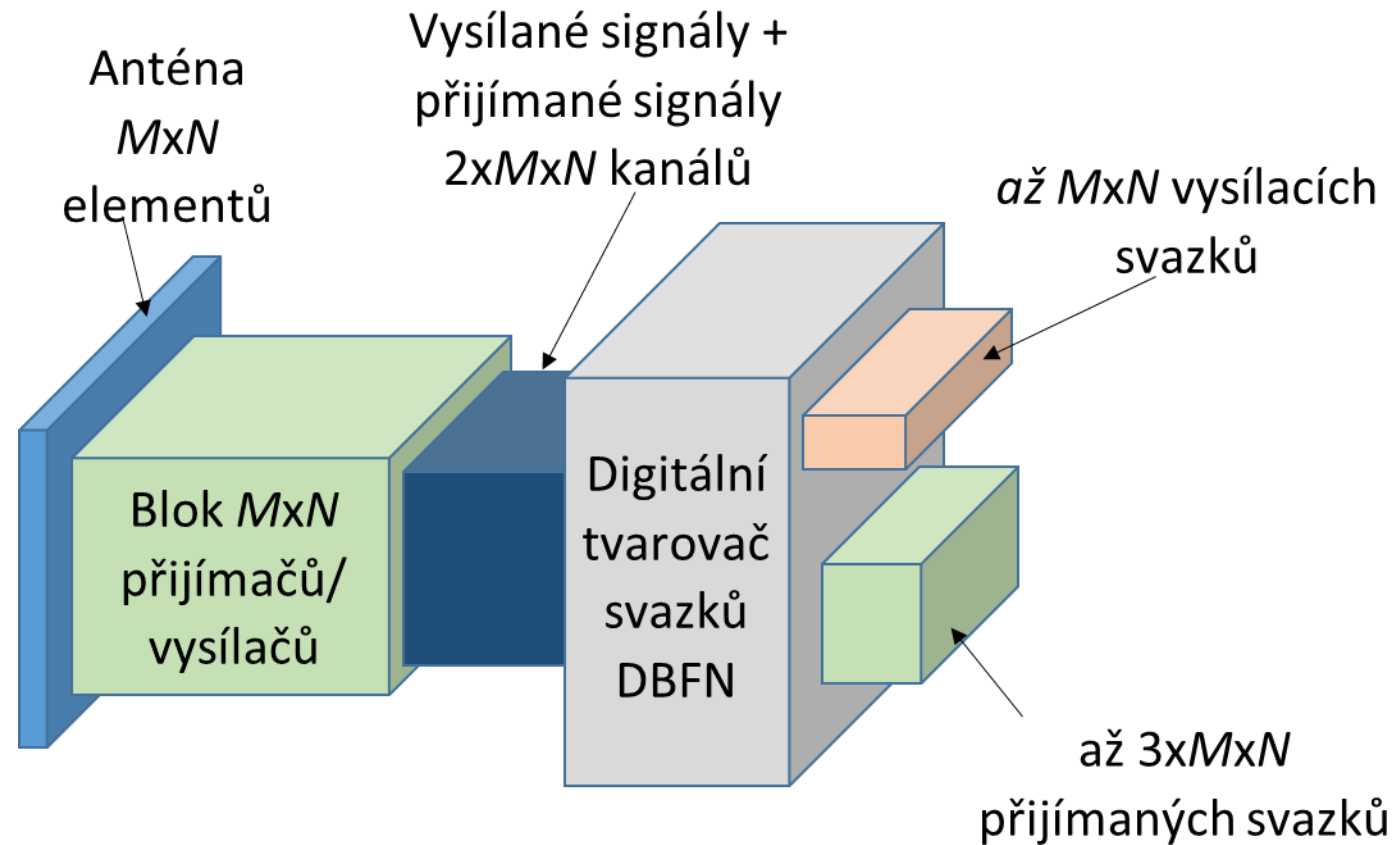
VÍCESVAZKOVÉ ANTÉNY

- Vícesvazkové vysílací antény mají podobnou strukturu jako přijímací
- Signály jednotlivých svazků je nutno v přijímači nějak rozeznat, takže to vyžaduje i jinou strukturu přijímačů.
- Vše závisí na způsobu rozlišení jednotlivých vysílaných signálů
- Příklad vysílače pro jeden element antény



VÍCESVAZKOVÉ ANTÉNY

- Aktivní vícesvazkové anténní pole s bloky P/V a DBFN



PRAKTICKÁ ČÁST – NÁVRH PATCH ANTÉNY

- **Návrh mikropáskové antény v CST**
- **Cíl:** Naučit se navrhnout mikropáskovou anténu pomocí programu CST Studio Suite.
- **Postup:**
 - **Vytvoření nového projektu:**
 - Spusťte CST Studio Suite a vytvořte nový projekt.
 - Zvolte typ simulace (planární antény - patch).
 - **Vytvoření geometrie antény:**
 - Vytvořte obdélníkový patch na dielektrickém substrátu.
 - Definujte rozměry patche (délka a šířka) a substrátu (délka, šířka a tloušťka).
 - **Nastavení materiálů:**
 - Nastavte materiál patche (např. měď) a substrátu (např. FR4).
 - **Napájení antény:**
 - Přidejte napájecí bod (např. koaxiální napájení) a nastavte jeho parametry
 - **Simulace:**
 - Spusťte simulaci a analyzujte výsledky, jako je vyzařovací diagram a impedanční přizpůsobení.

PRAKTICKÁ ČÁST – NÁVRH PATCH ANTÉNY

- **Simulace vlivu dílčích rozměrů na impedanční přizpůsobení antény a vyzařovací diagram**
- **Cíl:** Analyzovat, jak změna rozměrů antény ovlivňuje její impedanční přizpůsobení a vyzařovací diagram.
- **Postup:**
 - **Nastavení parametrů:**
 - Definujte parametry pro délku a šířku patche.
 - **Simulace pro různé rozměry:**
 - Proveďte simulace pro různé hodnoty délky a šířky patche.
 - Zaznamenejte výsledky pro každou variantu.
 - **Analýza výsledků:**
 - Porovnejte impedanční přizpůsobení a vyzařovací diagramy pro různé rozměry.
 - Identifikujte optimální rozměry pro nejlepší přizpůsobení a vyzařovací vlastnosti

PRAKTICKÁ ČÁST – NÁVRH PATCH ANTÉNY

- **Simulace vlivu dílčích rozměrů na impedanční přizpůsobení antény a vyzařovací diagram**
- **Cíl:** Analyzovat, jak změna rozměrů antény ovlivňuje její impedanční přizpůsobení a vyzařovací diagram.
- **Postup:**
 - **Nastavení parametrů:**
 - Definujte parametry pro délku a šířku patche.
 - **Simulace pro různé rozměry:**
 - Proveďte simulace pro různé hodnoty délky a šířky patche.
 - Zaznamenejte výsledky pro každou variantu.
 - **Analýza výsledků:**
 - Porovnejte impedanční přizpůsobení a vyzařovací diagramy pro různé rozměry.
 - Identifikujte optimální rozměry pro nejlepší přizpůsobení a vyzařovací vlastnosti

PRAKTICKÁ ČÁST – NÁVRH PATCH ANTÉNY

- **Simulace vlivu změny permitivity substrátu mikropáskové antény na impedanční přizpůsobení**
- **Cíl:** Analyzovat, jak změna permitivity substrátu ovlivňuje impedanční přizpůsobení antény.
- **Postup:**
 - **Nastavení parametrů permitivity:**
 - Definujte parametry pro permitivitu substrátu.
 - **Simulace pro různé permitivity:**
 - Proveďte simulace pro různé hodnoty permitivity substrátu.
 - Zaznamenejte výsledky pro každou variantu.
 - **Analýza výsledků:**
 - Porovnejte impedanční přizpůsobení pro různé hodnoty permitivity.
 - Identifikujte, jak změna permitivity ovlivňuje impedanční přizpůsobení antény – šířku pásma.

PRAKTICKÁ ČÁST – NÁVRH PATCH ANTÉNY

- **Simulace vlivu tloušťky substrátu na impedanční přizpůsobení**
- **Cíl:** Analyzovat, jak změna tloušťky substrátu ovlivňuje impedanční přizpůsobení antény.
- **Postup:**
 - **Nastavení parametrů tloušťky:**
 - Definujte parametry pro tloušťku substrátu.
 - **Simulace pro různé tloušťky:**
 - Proveďte simulace pro různé hodnoty tloušťky substrátu.
 - Zaznamenejte výsledky pro každou variantu.
 - **Analýza výsledků:**
 - Porovnejte impedanční přizpůsobení pro různé tloušťky substrátu.
 - Identifikujte, jak změna tloušťky ovlivňuje přizpůsobení antény.

PRAKTICKÁ ČÁST – NÁVRH PATCH ANTÉNY

- **Simulace různých typů napájení mikropáskových antény**
- **Cíl:** Analyzovat, jak různé typy napájení ovlivňují vlastnosti mikropáskové antény.
- **Postup:**
 - **Nastavení různých typů napájení:**
 - Definujte různé typy napájení (koaxiální napájení, mikropáskové vedení).
 - **Simulace pro různé typy napájení:**
 - Proveďte simulace pro každý typ napájení.
 - Zaznamenejte výsledky pro každou variantu.
 - **Analýza výsledků:**
 - Porovnejte impedanční přizpůsobení a vyzařovací diagramy pro různé typy napájení.
 - Identifikujte, který typ napájení poskytuje nejlepší výsledky pro danou anténu.

PRAKTICKÁ ČÁST – NÁVRH PATCH ANTÉNNÍHO POLE

- **Návrh anténního pole složeného z patch anténních prvků v CST MW Studiu**
- Cílem této laboratorní úlohy je navrhnout anténní pole složené z patch anténních prvků pomocí CST Microwave Studio (CST MWS). Zaměříme se na tvarování anténního svazku, vychylování hlavního laloku fázováním anténních prvků a vliv počtu prvků na tvar vyzařovacího diagramu.
- **Postup**
- **Vytvoření parametrického modelu patch antény**
- **Cíl:** Naučit se vytvořit parametrický model patch antény v CST MWS.
- **Postup:**
 - Spusťte CST MWS a vytvořte nový projekt.
 - Zvolte typ simulace (patch anténní prvky).
 - Vytvořte obdélníkový patch na dielektrickém substrátu.
 - Definujte rozměry patch antény (délka, šířka) a substrátu (délka, šířka, tloušťka) jako parametry.
 - Nastavte materiál patch antény (např. měď) a substrátu (např. FR4).
 - Přidejte napájecí bod (např. koaxiální napájení) a nastavte jeho parametry (frekvence, amplituda).
 - Spusťte simulaci a analyzujte výsledky, jako je vyzařovací diagram a impedanční přizpůsobení.

PRAKTICKÁ ČÁST – NÁVRH PATCH ANTÉNIHO POLE

- **Simulace vlivu dílčích rozměrů na impedanční přizpůsobení antény a vyzařovací diagram**
- **Cíl:** Analyzovat, jak změna rozměrů patch antény ovlivňuje její impedanční přizpůsobení a vyzařovací diagram.
- **Postup:**
 - Definujte parametry pro délku a šířku patch antény.
 - Proveďte simulace pro různé hodnoty délky a šířky patch antény.
 - Zaznamenejte výsledky pro každou variantu.
 - Porovnejte impedanční přizpůsobení a vyzařovací diagramy pro různé rozměry.
 - Identifikujte optimální rozměry pro nejlepší přizpůsobení a vyzařovací vlastnosti.

PRAKTICKÁ ČÁST – NÁVRH PATCH ANTÉNNÍHO POLE

- **Ukázka spojování mikropáskových antén do anténních řad a polí**
- **Cíl:** Naučit se spojovat mikropáskové antény do anténních řad a polí a analyzovat jejich vyzařovací vlastnosti.
- **Postup:**
 - Vytvořte několik mikropáskových antén a uspořádejte je do anténního pole.
 - Definujte parametry pro vzdálenosti mezi anténami a typ napájení.
 - Proveďte simulaci anténní řady a zaznamenejte vyzařovací diagram.
 - Porovnejte vyzařovací diagramy jednotlivých antén a anténní řady.
 - Identifikujte, jak spojení antén ovlivňuje vyzařovací vlastnosti.

PRAKTICKÁ ČÁST – NÁVRH PATCH ANTÉNNÍHO POLE

- **Tvarování anténního svazku a vychylování hlavního laloku fázováním anténních prvků**
- **Cíl:** Analyzovat možnosti tvarování anténního svazku a vychylování hlavního laloku pomocí fázování anténních prvků.
- **Postup:**
 - Vytvořte anténní pole s definovaným počtem patch antén.
 - Nastavte fázování jednotlivých anténních prvků pro dosažení požadovaného tvaru svazku.
 - Proveďte simulaci a zaznamenejte vyzařovací diagram.
 - Analyzujte, jak změna fáze jednotlivých prvků ovlivňuje směr a tvar hlavního laloku.
 - Experimentujte s různými fázovými posuny a sledujte jejich vliv na vyzařovací charakteristiky.

PRAKTICKÁ ČÁST – NÁVRH PATCH ANTÉNNÍHO POLE

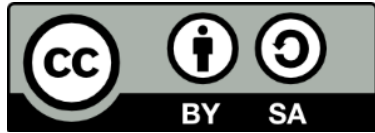
- **Vliv počtu prvků na tvar vyzařovacího diagramu**
- **Cíl:** Analyzovat, jak změna počtu anténních prvků ovlivňuje tvar vyzařovacího diagramu.
- **Postup:**
 - Vytvořte anténní pole s různým počtem patch antén (např. 2x2, 4x4, 8x8).
 - Proveďte simulace pro každou konfiguraci a zaznamenejte vyzařovací diagramy.
 - Porovnejte vyzařovací diagramy pro různé počty anténních prvků.
 - Identifikujte, jak změna počtu prvků ovlivňuje směrovost, šířku svazku a zisk anténního pole.

ZDROJE

- [1] JANEČKA, Radek, 2016. *Rozbor vlastností anténních prvků typu patch*. Pardubice. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.
- [2] HNILIČKA, Tomáš, 2023. *Adaptivní anténní systémy pro pasivní radiolokaci*. Pardubice. Disertační práce. Univerzita Pardubice.

Vytvořeno v rámci projektu: **DANTE**, reg. č. NPO_UPCE_MSMT-16591/2022

Toto dílo podléhá licenci Creative Commons BY-SA 4.0. Pro zobrazení licenčních podmínek navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.



**Financováno
Evropskou unií**
NextGenerationEU