

Kurz celoživotního vzdělávání
**Elektrotechnické systémy
pro environmentálně příznivou dopravu**

Předmět
Pokročilé systémy digitálního řízení a
komunikace v dopravní technice

Studijní materiál
Šíření radiových vln

prof. Ing. Vladimír Schejbal, CSc.
Ing. Vítězslav Krčmář, Ph.D.



Spektrum radiových vln má velmi rozsáhlé aplikace v mnoha různých prostředích. Frekvenční pásma překrývají frekvenčně mnoho řádů (od stovek Hz do stovek GHz). Radiové systémy vyžadují vysílací systémy a přijímače, aby mohly poskytovat komunikační spoje. Pochopení radiových kanálů mezi přijímači a vysílači je kritické při návrhu libovolného radiového systému.

Poskytovatelé služeb jako rozhlasové a televizní vysílání, soukromí uživatelé jako taxikářské firmy, operátoři sítí mobilních telefonů a řada dalších potřebují vědět, jak získat pokrytí pro jejich speciální aplikace. Při plánování podobných služeb potřebují vědět kolik budou potřebovat vysílacích věží, jak je rozmístit, jaké antény užít, kolik budou potřebovat výkonu a jako budou jejich spoje spolehlivé.

Regulátor, který řídí radiové spektrum má zájem o zajištění nejlepšího užití těchto omezených a cenných zdrojů. Musí je regulovat tak, aby se mohlo sdílet co nejvíce radiového spektra, a proto se zajímá o predikci interferencí mezi uživateli. Kde se šíří signály mimo oblast kde by se měly šířit. Také jak jsou které části spektra důležité a jak mnoho výhod získá plátce daní z prodeje těchto práv. Velmi často se zapomíná, jak se důležité šíření vln pro celkovou výkonnost komunikačních sítí. Studie šíření radiových vln nám umožní odhadnout a vyjádřit radiové kanály a tím navrhovat systémy, které pracují co nejlépe. Někteří lidé, zejména ti, co regulují radiové spektrum mají snahu uvažovat, že šíření je jednoduché, ale v praxi je šíření značně komplikované a je nutné velmi dobře rozumět základním principům.

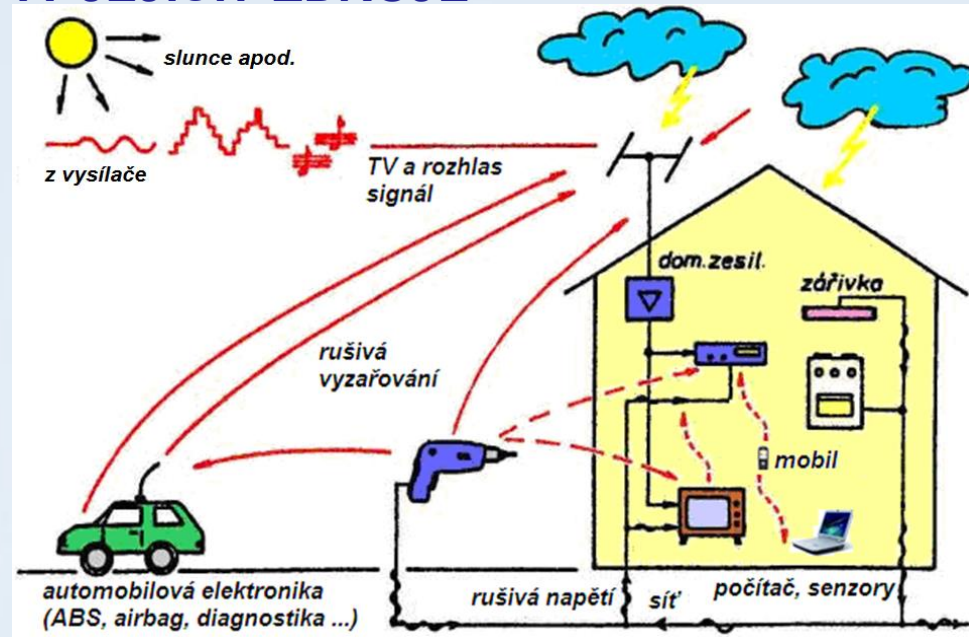
Ve fyzice se studují různé typy vlnění jako např. v akustice či optice. I když se podstatně liší fyzikální podstatou, mají celou řadu vlastností, které se mohou popsat analogickými matematickými rovnicemi. To umožní získat základní představy na základě analogie s akustikou a optikou.

Elektromagnetická kompatibilita (electromagnetic compatibility EMC)

Je schopnost vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů, a současně svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nepřípustně neovlivňovat své okolí, tj. neprodukovat signály, jež by byly nepřípustně *rušivé (electromagnetic interference EMI)* pro jiná zařízení. Existuje řada norem a předpisů, které se stále zpřesňují a jsou určeny jak pro všeobecné použití, tak i pro jednotlivé dopravní prostředky (např. vysokofrekvenční rušení zážehových motorů). Jednotlivá zařízení se ve větší nebo menší míře ovlivňují, ať se jedná o jednostranné či oboustranné ovlivňování. Proto nás zajímá *odolnost proti rušení (electromagnetic susceptibility EMS)* a úroveň rušení uvažovaného zařízení a to nejen pro základní frekvenci, ale i pro vyšší harmonické (obvykle mají z hlediska rušení největší vliv). Kromě neúmyslného rušení, které pouze „znečišťuje“ životní prostředí (špatně odrušené motory, polovodičové a regulační prvky, vysílače atd. - „elektromagnetický smog“) a může se šířit jak po napájecích vedeních tak volným prostorem, existuje úmyslné rušení v rámci elektrického boje (electronic warfare), kdy nepřítel vysílá rušivý signál (jamming), aby znemožnil používání spojovacích, navigačních a výpočetních prostředků. Velkou hrozbou je možnost teroristických útoku pomocí elektromagnetické pumy (E-bomb), která vysílá velmi krátké impulsy (řádově 1 ns) s výkonem řádově jednotek či desítek GW a tím může rušit (popř. zcela zničit) počítače, regulační a telekomunikační zařízení. EMC propojuje nejen všechny oblasti elektrotechniky a elektroniky, ale i techniky. Kromě vysílání rušivých signálů existuje celá řada dalších prostředků rušení (electronic countermeasures ECM) a samozřejmě prostředků proti rušení (electronic counter-counter measures ECCM). Samozřejmě existují i „přírodní“ zdroje rušení (bouřky, výboje typu Eliášův oheň, kulové blesky a pod.).

RUŠIVÉ SIGNÁLY A JEJICH ZDROJE

Přírodní (přirozené)
Umělé (technické), tzv. „man made noise“
Funkční a nefunkční (parazitní, nežádoucí)
Impulsní (mžikové)
Spojité
Kvazi-impulsní
Úzkopásmové
Širokopásmové
Nízkofrekvenční
Vysokofrekvenční (rádiové)



Příklady působení rušivých signálů

Zdroj rušení EMI

EM procesy v atmosféře
elektrostatické výboje
motory, spínače, relé
energetické rozvody
polovodičové měniče
obloukové pece, svářečky
domácí spotřebiče
počítače, číslicové systémy

Přenosové prostředí, vazba

vzdušný prostor
zemnění
energetické kabely
napájecí vedení
stínění
signálové vodiče
datové vodiče
společná napájecí síť

Rušený objekt (přijímač)

číslicová technika
počítače
měřicí přístroje
automatizační prostředky
telekomunikační systémy
systémy přenosu dat
rozhlasové přijímače
televizní přijímače

ZÁKLADNÍ POJMY EMC

S rozvojem techniky a technologie si zejména doprava žádá přechod z 5G na 6G. Tím se problémy EMC podstatně zvětšují.

6G (po roce 2030) vyžaduje výzkum a vývoj v mnoha oblastech (polovodiče, systémy, šíření vln atd.)

Příslušné meze platí vždy pro omezená frekvenční pásma

rezerva návrhu zařízení z hlediska EMS



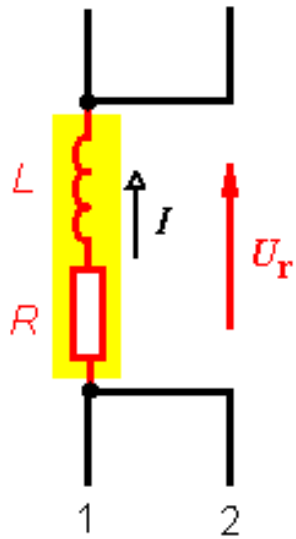
VAZEBNÍ MECHANISMY PŘENOSU RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ

Galvanická vazba

Kapacitní vazba

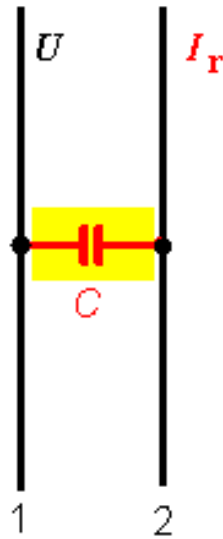
Induktivní vazba

Vazba vyzařováním

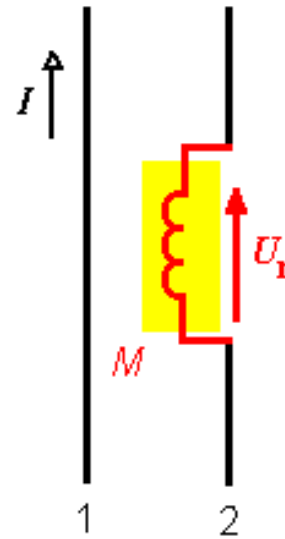


(společná impedance)

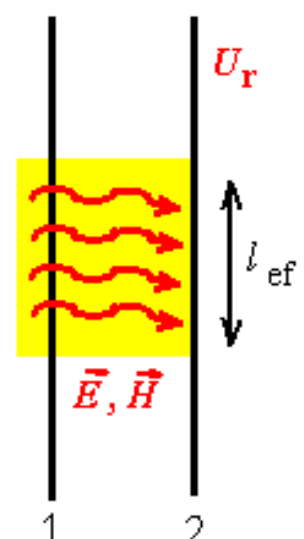
$$U_r = R \cdot I + L \cdot \frac{dI}{dt}$$



$$I_r = C \cdot \frac{dU}{dt}$$



$$U_r = M \cdot \frac{dI}{dt}$$



$$U_r = E \cdot l_{ef}$$

OMEZOVÁNÍ RUŠENÍ

Minimalizace vazeb společnou impedancí

Odrušovací tlumivky a tlumivkové filtry

Odrušovací kondenzátory a kondenzátorové filtry

Pasivní odrušovací filtry LC

Přepětové ochranné prvky

Elektromagnetické, elektrické a magnetické stínění.

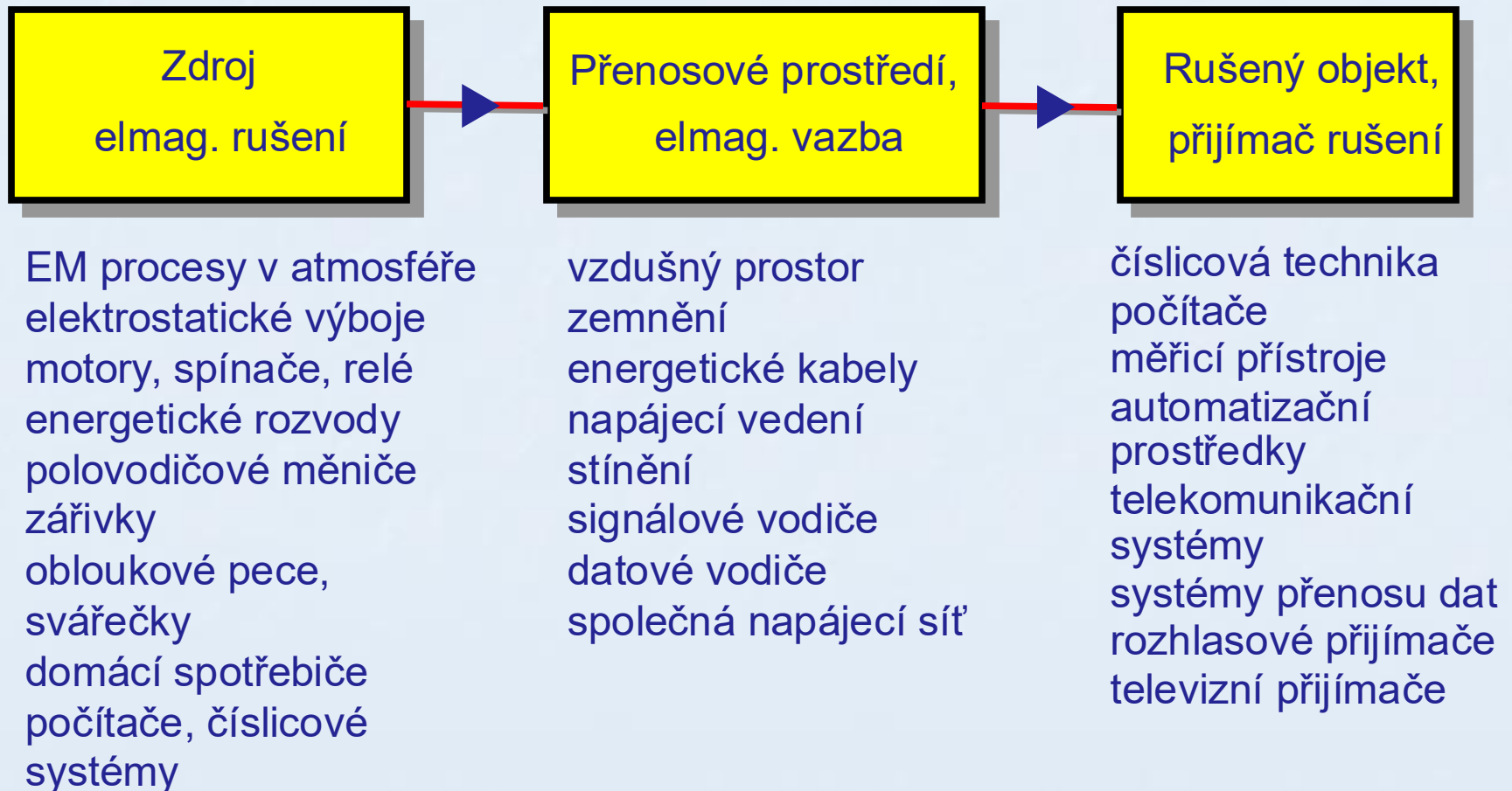
EMC technických systémů

Z teoretického hlediska se EMC řeší pomocí teorie elektromagnetického pole (tzn. Maxwellových rovnic), i když ve velké míře používáme teorii obvodů.

Neméně důležitý je experimentální výzkum a vývoj a testování EMC.

Takže EMC se ověřuje ve všech oblastech elektrotechniky a elektroniky a prakticky se musí testovat ve všech oborech techniky.

Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí



biologických systémů

EM pozadí životního prostředí
vliv EM polí na živé organizmy
přípustné úrovně EM polí
tepelné účinky EM polí
netepelné účinky EM polí



hygienické normy

technických systémů

MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ

Způsoby a metody měření

Přenos vedením (např. napájecím či datovým vedením daného zařízení). Měřenými veličinami jsou rušivé napětí U_r , rušivý proud I_r , příp. výkon P_r rušivého signálu.

Přenos elektrickou či magnetickou vazbou (blízkým elektrickým či magnetickým polem) mezi dvěma blízkými objekty. Parazitní vazbu charakterizujeme intenzitou rušivého elektrického pole E_r nebo intenzitou rušivého magnetického pole H_r .

Přenos vyzařováním elektromagnetických vln (vzdáleným polem) mezi vzdálenými objekty na vyšších kmitočtech. Měřenými veličinami jsou intenzity elektrického či magnetického pole E_r , H_r , příp. hustota vyzářeného výkonu p_r rušivého signálu (velikost Poyntingova vektoru rušivého elektromagnetického pole).

EMC BIOLOGICKÝCH SYSTÉMŮ

EM pozadí životního prostředí
vliv EM polí na živé organismy
přípustné úrovně

HYGIENICKÉ NORMY

tepelné účinky EM polí (akceptované WHO – velice důležité EMC normy, např. ICNIRP)
netepelné účinky EM polí (neakceptované WHO, neboť nebyly jednoznačně potvrzené)

Například: Dle WHO jsou další důkazy stále více proti hypotéze, že používání mobilních telefonů může způsobit mozkové nádory u dospělých.

Různé desinformace (více než 100 let, které vyvracel už Marconi r. 1909)

Příklady:

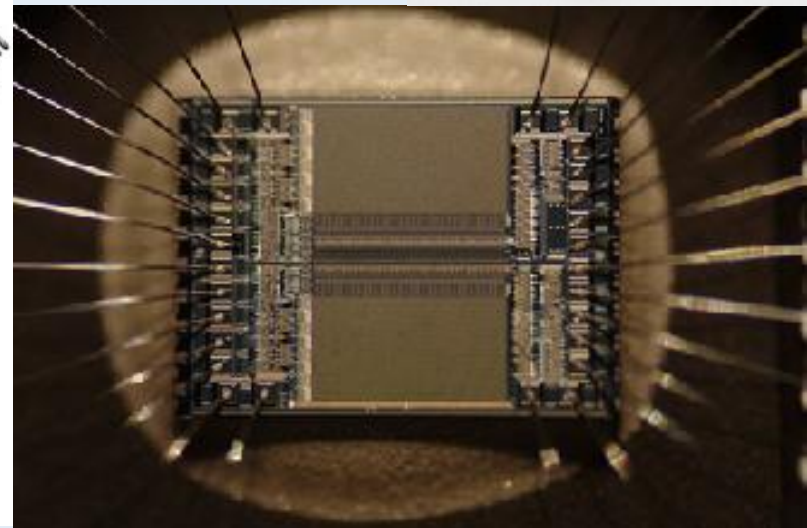
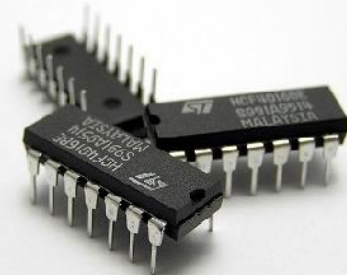
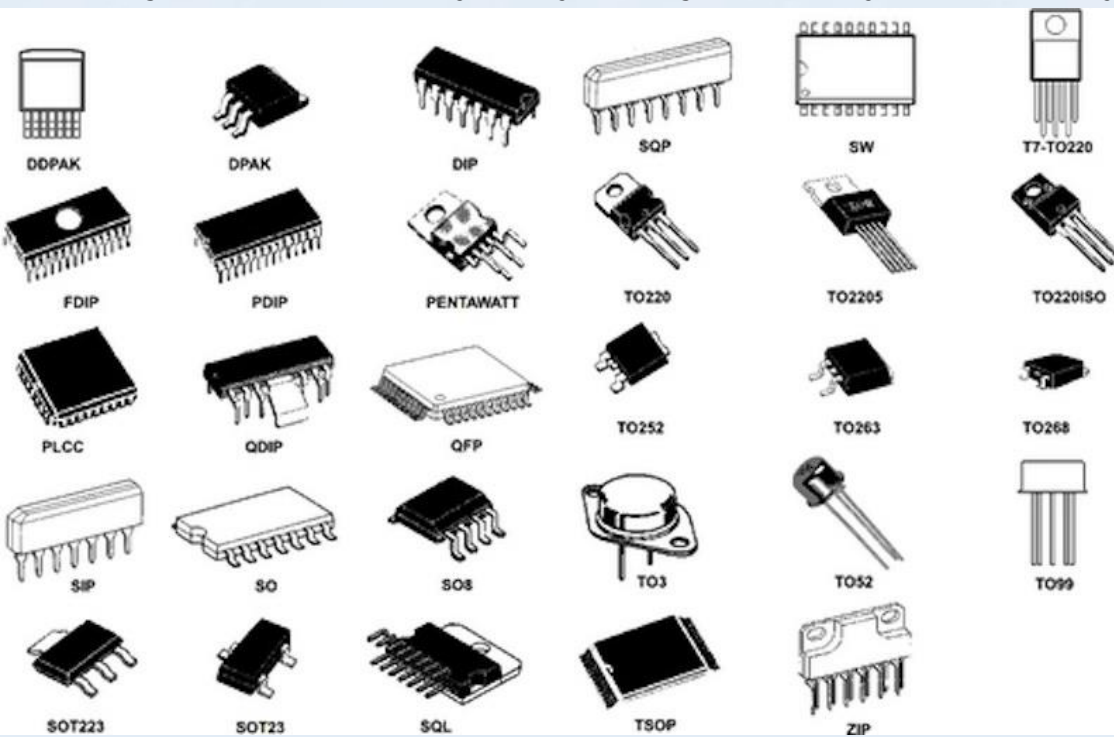
Rodinní příslušníci si stěžovali na kovovou chuť v ústech až po krvácení z nosu vlivem základnové stanice mobilních telefonů. Rodina dokonce zakryla okna hliníkovou fólií a dalšími "ochrannými filtry" pro odvrácení škodlivých účinků. Operátor věže jen prohlásil, že se věž ještě nenainstalovala, a proto nebyla ani aktivní (Francie).

Existuje dokonce několik případů zapálení základnových stanic na budovách (UK).

Kampaň proti umístění amerického radaru (ČR):

Proti odbornému posouzení vlivu EM polí odborníky z ústavu, který se problematikou zabývá desítky let, vystoupili lidé, kteří se nikdy uvedenou problematikou nezabývali a uváděli nejrůznější rafinované „vědecké“ desinformace. Samozřejmě „nezávislá média“ věnovala mnohem větší pozornost odborníkům, kteří „nezvratně“ prokázali, že posudky jsou chybné (překlep Wm^2 , či nepodstatný vliv zanedbání difrakce).

Příklad: Integrovaný obvod IO, nebo monolitický integrovaný obvod (také „šváb“, integrated circuit, IC, mikrochip) je soubor elektronických obvodů na jednom plochém dílku („chip“) polovodičového materiálu (např. křemíku). Integrace velkého množství tranzistorů do malé plošky umožní, že jsou o řády menší a levnější než konstrukce diskrétních elektronických součástek. Schopnost, spolehlivost a stavební bloky masové výroby zaručuje rychlou adaptibilitu standardních IO místo návrhu s diskrétními součástkami. Dnes se IO používají prakticky ve všech elektronických zařízeních a revoltují svět elektroniky (v automobilech jsou stovky chipů). Počítače, mobilní telefony a další domácí vybavení jsou nyní nedílnou součástí moderní civilizace díky malým rozměrům a ceně IO. Vyrábějí se nejen analogové IO (např. operační zesilovače), ale zejména digitální IO - mikroprocesory, paměti, zákaznické obvody ... Existuje mnoho různých typů s jedinečnými rozměry a typy montáže.



ČASOVÉ PRŮBĚHY VELIČIN

VELIČINY STÁLÉ

$$(dI/dt = 0, dU/dt = 0)$$

VELIČINY PROMĚNNÉ

$$(dI/dt \neq 0, dU/dt \neq 0)$$

PERIODICKÉ

$$I(t) = I(t + T_0)$$

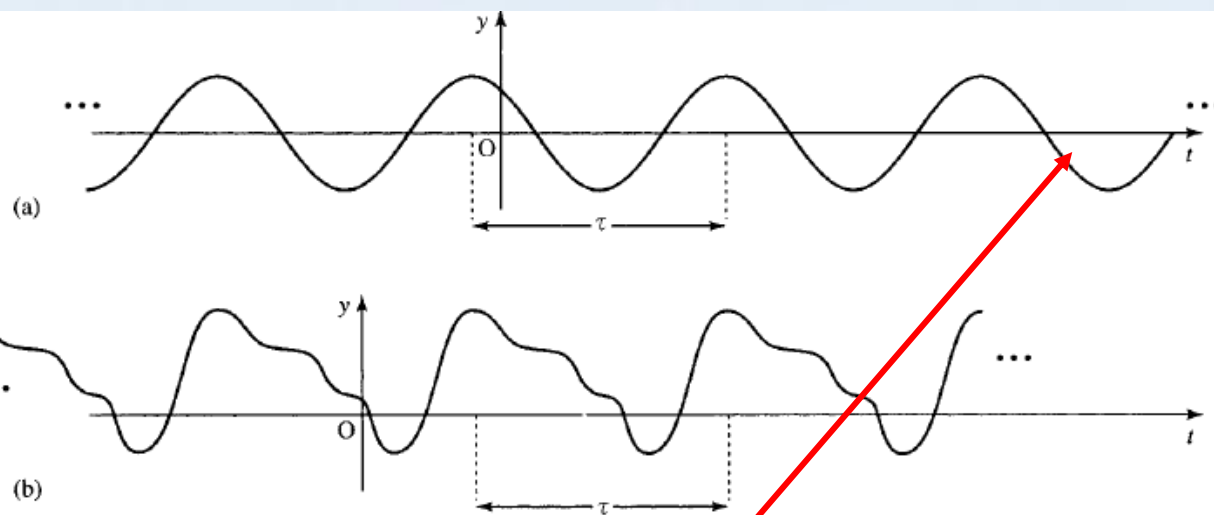
HARMONICKÉ

NEHARMONICKÉ

NEPERIODICKÉ

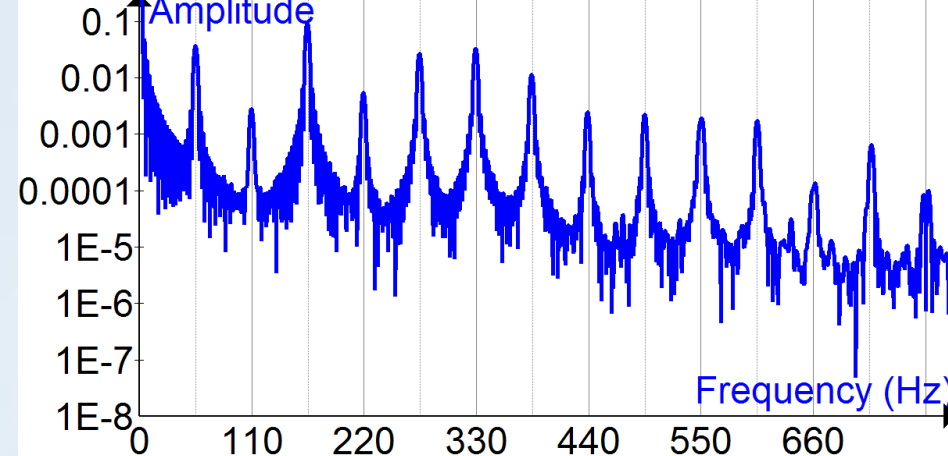
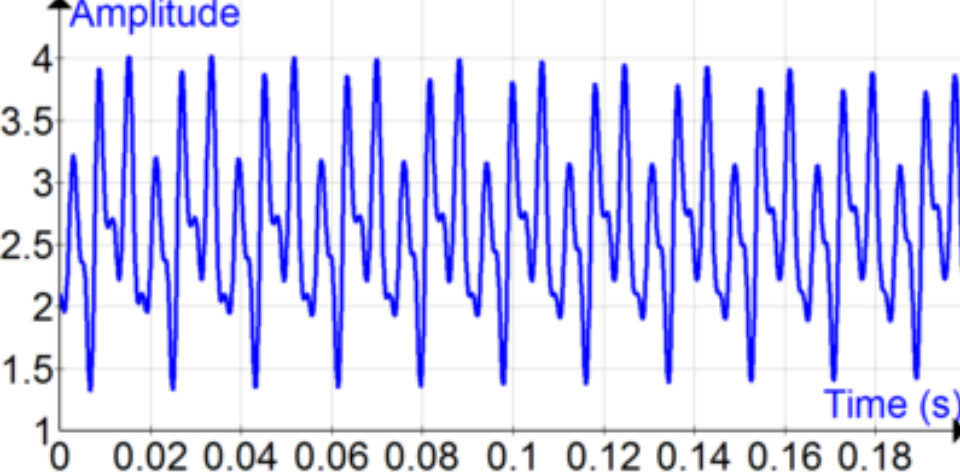
DETERMINOVANÉ

NÁHODNÉ



Pro **periodické funkce** platí $y(t) = y(t + k\tau)$ pro $k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$.
Je-li $y(t) = \sin(t + k\tau)$ popř. $y(t) = \cos(t + k\tau)$,
nazývá se tato funkce **harmonická**.

Osciloskopy a zapisovače zobrazují průběh signálu v závislosti na čase, takže umožňují analýzu v tzv. časové oblasti (nebo časové doméně). V tomto případě je na horizontální osu obrazu vynášen čas. Existuje však ještě další možnost analýzy signálu. Signál může být znázorněn jako funkce frekvence; takovému vyjádření se říká frekvenční spektrum a toto spektrum umožňuje tzv. analýzu ve frekvenční oblasti (frekvenční doméně). V případě periodických signálů je možno frekvenční spektrum vstupního signálu $x(t)$ nalézt pomocí rozvoje funkce do Fourierovy řady.



Příklad: Basová kytara.

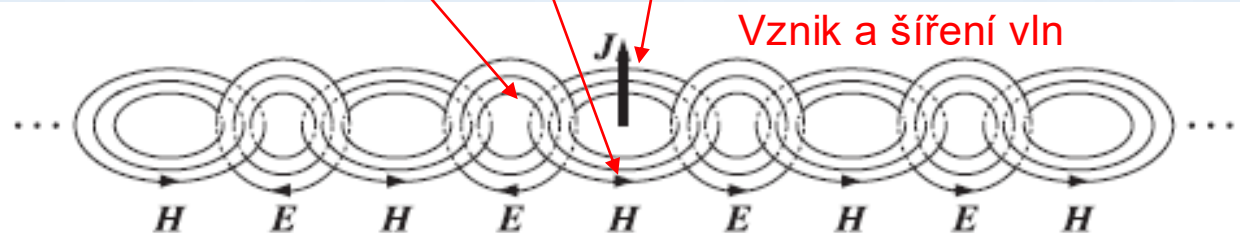
Barva zvuku umožňuje subjektivně rozlišit tóny stejné výšky, které vydávají různé zdroje, např. hudební nástroje. Říkáme, že zvuky hudebních nástrojů i lidské hlasy mají různé zabarvení. Každý zvuk jehož průběh je přibližně sinusový se nazývá tón. Tóny vydávají např. ladičky, flétny nebo tónové generátory. Amplituda vyšších tónů harmonických je různá, ale obvykle podstatně menší než amplituda tónu základního. Výsledný zvuk je vlivem vyšších tónů harmonických pro daný zdroj zvuku zcela charakteristický. Čím více takových harmonických složek daný tón obsahuje a čím výrazněji tyto složky znějí, tím je barva tónu plnější, sytější.

Na levém obrázku je časový průběh amplitudy basové kytary, hrající tón A se základní frekvencí 55 Hz. Průběh osciluje, ale vidíme, že je to mnohem složitější průběh než jednoduchý sinusový průběh, což indikuje přítomnost dalších komponent.

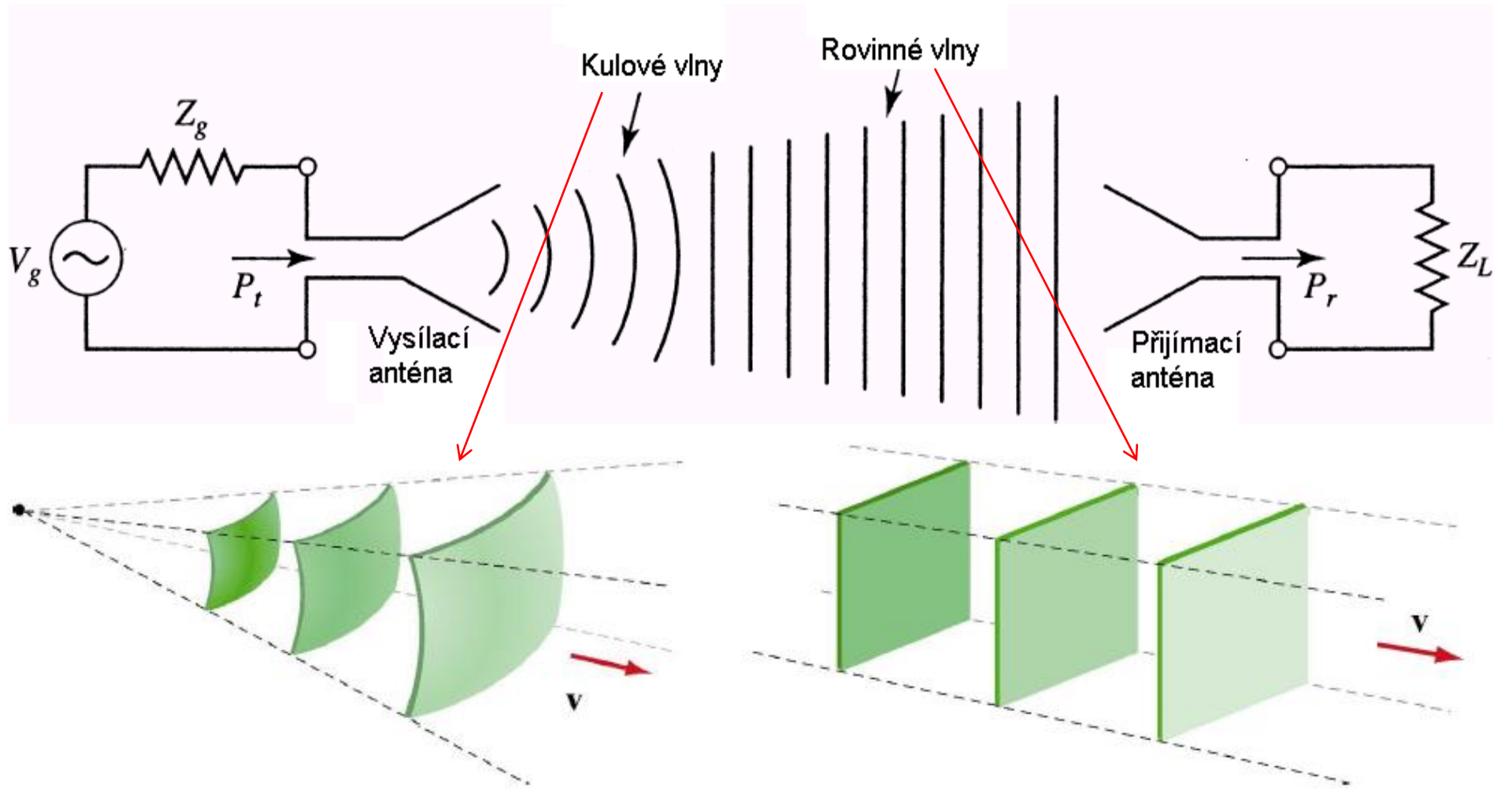
Různé vlnové složky, které přispívají ke zvuku lze objevit **Fourierovou analýzou**, ukázanou pravým obrázkem, kde je dominantní špička se základní frekvencí 55 Hz, ale i další špičky (harmonické složky) pro 110 Hz, 165 Hz a dalších *harmonických složek*, které odpovídají celočíselným násobkům základního tónu 55 Hz.

Příklad: J. C. Maxwell (1831 – 1879) vynikající univerzitní profesor od svých 25 roků a považovaný za největšího britského matematika a fyzika 19. století, předpověděl existenci radiových vln v r. 1864. Jeho teorie jsou 4 Maxwellovy rovnice ze kterých plynou vlnové rovnice pro elektrické a magnetické pole, šířící se rychlostí světla (včetně světelných vln). Rovnice jednoduše vyjadřují, že **proudová hustota J a měnící se elektrické pole E (vytvářející pole D) generuje magnetické pole H v okolí. Naopak proměnný magnetický tok Φ (proměnné H) vytváří proměnné elektrické pole atd.** Proto spojené elektrické a magnetické pole postupuje v prostoru rychlostí světla (ve vakuu zhruba 3×10^8 m/s) a výsledek je elektromagnetická vlna. Význam Maxwellovy teorie pro telekomunikace je, že když nějak generujeme elektromagnetickou vlnu s danými parametry (amplitudou, frekvencí a fází), které se mění synchronně se změnami informace – signálu napětí, lze přenášet informace z jednoho bodu do druhého rychlostí světla bez nutnosti propojení kabelem. To je radiová nebo bezdrátová komunikace. Např. pro použití bezdrátové telegrafie můžeme zapínat a vypínat signál (1 nebo 0 - značka nebo mezera) a v nějaké vzdálenosti obnovit posloupnost značek a mezer. Německý fyzik Heinrich Hertz (1857 – 1894) experimentálně ověřil Maxwellovu vlnovou teorii v r. 1888. Pomocí indukční cívky generoval a malou smyčkou detekoval elektromagnetické vlny. Změřil jejich vlnovou délku a ukázal, že se vlny odrážejí a lámou podobně jako světelné vlny.

Vytváření elektromagnetické vlny. Například. na povrchu Slunce se náhodně pohybují elektrony, na povrchu antény se mění J .



PŘENOS DAT MEZI DVĚMA ANTÉNAMI



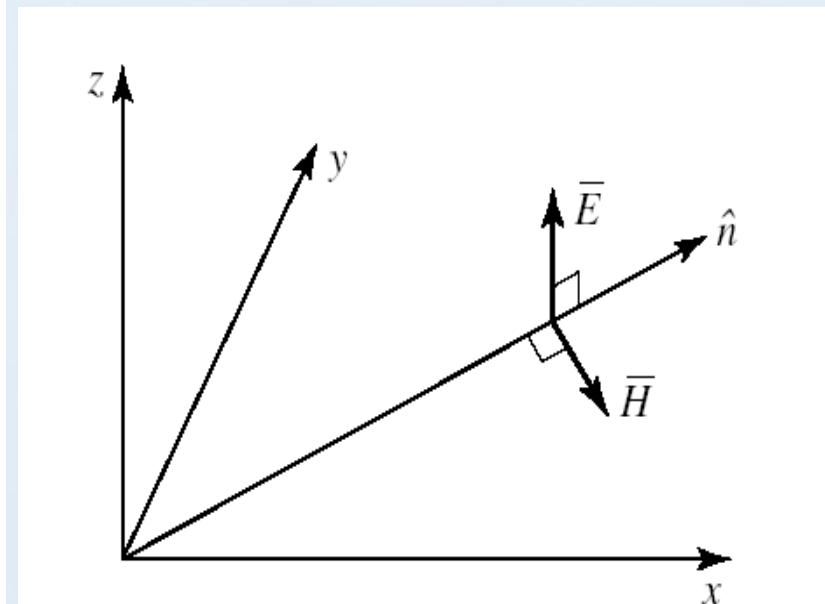
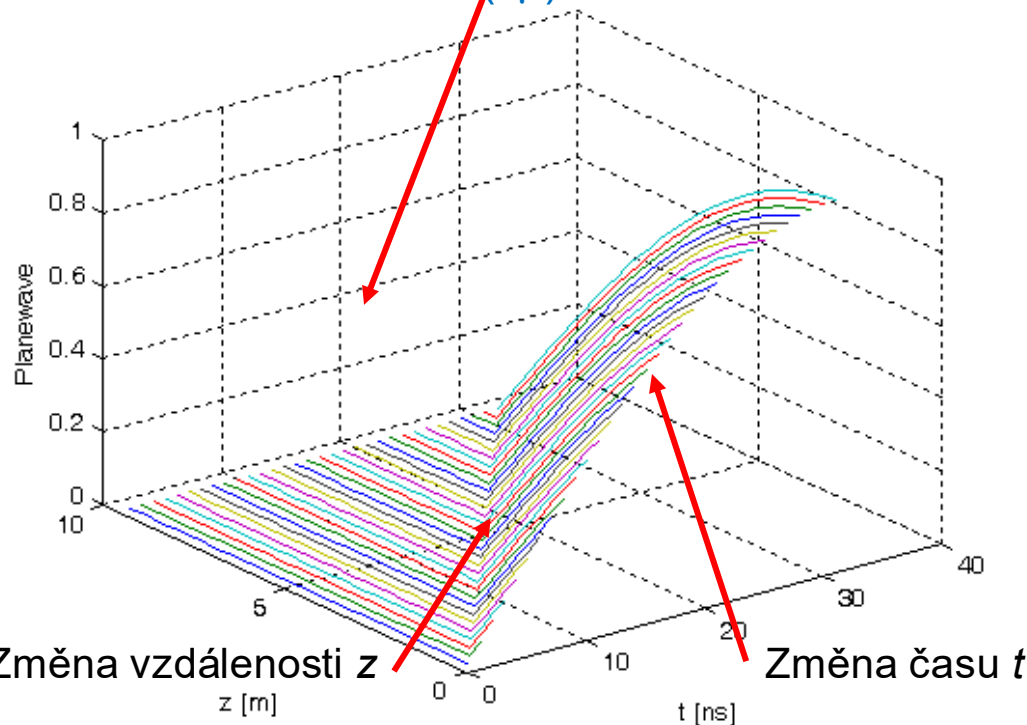
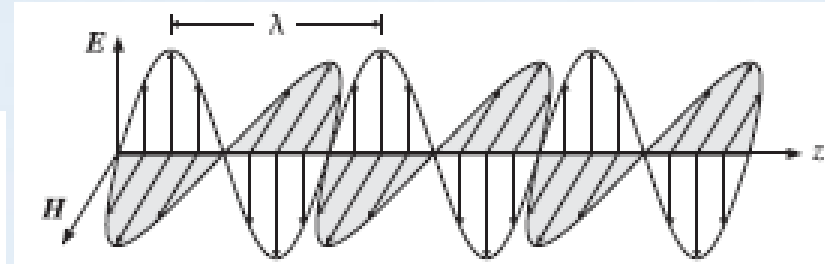
Rovinné vlny představují ve velké vzdálenosti vhodnou aproximaci pro kulové vlny vyzařované vysílací anténou

Pokud bychom uvažovali, že $\mathbf{E}$ nezávisí na x a y , pak dostaneme rovinné vlny, které se šíří ve směru $+z$ nebo $-z$. I když obvykle pro zjednodušení používáme teorii obvodů, musíme mít stále na paměti, že platí Maxwellovy rovnice a musíme zvažovat jak časové, tak i prostorové vztahy. To znamená uvažovat i rychlost šíření, která způsobí zpoždění signálu.

Poyntingův vektor $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$ (vždy kolmý na $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$) udává hustotu výkonu elektromagnetické vlny. Pokud se mění sinusový průběh s frekvencí $f = 1/T$, kde T je perioda, bude zřejmě platit $v = \lambda f$, neboť za 1 s urazí vlna dráhu v což bude f vlnových délek λ .

Rovinné vlny se sinusovým průběhem $\sin \omega t$,
 $\omega = 2\pi f$, které se šíří ve směru $+z$ rychlostí

$$v = (\epsilon\mu)^{-1/2}$$



Příklad: Přenos analogového a digitálního signálu.

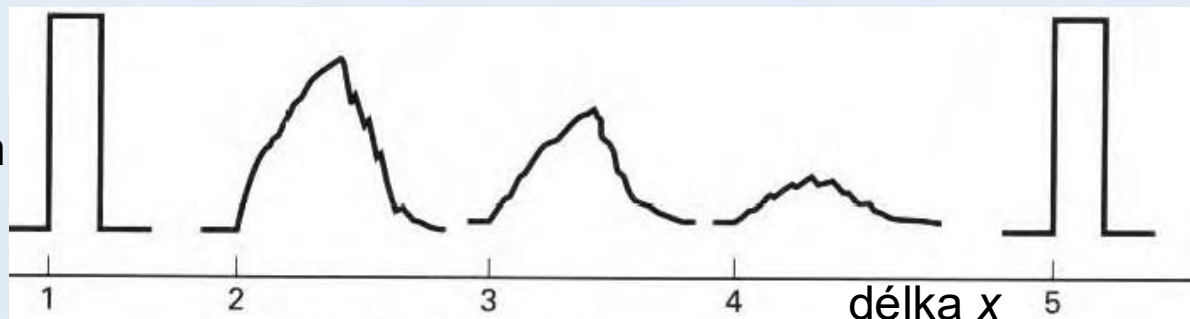
Tvar signálu je pozměněn dvěma mechanismy: a) při šíření vždy existuje zkreslení ideálního impulsu a b) nechtěný elektrický šum dále zkresluje tvar signálu. Na obrázku je původní signál (1), který se postupně zkresluje (2 – 4). Vysílaný signál lze spolehlivě identifikovat a obnovit (regenerative repeater), než vznikne nejednoznačný stav (4).

Digitální signály jsou méně ovlivňované zkreslením než analogové, protože pracují ve dvou stavech. Takže je pochopitelné, že zkreslení musí být dostatečně velké, aby se signál změnil z jednoho stavu do druhého. To ulehčuje regeneraci (5) a zabraňuje šumu a jiným poruchám akumulovaným při přenosu. Extrémně nízké poměry chyb digitální techniky vytváří vysokou věrnost (HiFi) detekcí chyb a korekcí. Podobné procedury nejsou k dispozici pro analogový signál.

Další výhody digitální komunikace jsou vyšší spolehlivost a mnohem nižší cena ve srovnání s analogovými obvody. Implementace digitálního hardware (mikroprocesory, digitální přepínače, vysoká integrace LSI) je flexibilnější a umožní jednodušší zpracování než analogové. Různé typy digitálních signálů (data, telefony, televize atd.) lze ošetřovat jako identické signály a přirozeně umožní digitální zpracování signálů.

Ovšem digitální systémy mají tendenci k tomu, že jsou mnohem více komplikované z hlediska signálního zpracování než analogové. Analogové systémy mají často menší problémy se synchronizací na různých úrovních.

Kvalita analogových systémů se zhoršuje postupně, zatímco digitální systémy obvykle skokem změnou výbornou kvalitu na nepoužitelnou.





Příklad: Zkreslení signálu při průchodu zdi

Vlevo měřící stěna, dole simulace při použití ultra širokopásmového (ultra wide-band UWB) signálu.

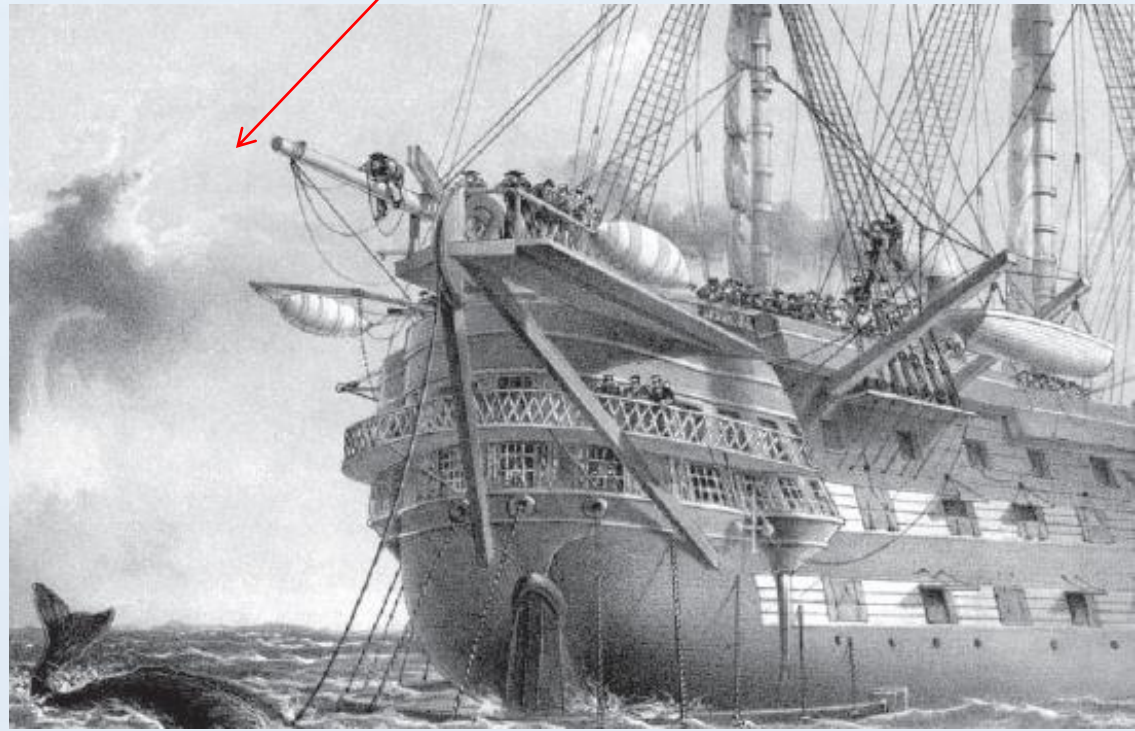
To umožní přenos informace mezi dvěma místnostmi (např. mezi počítačem a tiskárnou), nebo použití podpovrchového radaru.



Příklad

Jednoduchý příklad rozvoje zpracování signálů je výkonnost transatlantických kabelů. První zprovozněný telegrafický kabel z Evropy do Ameriky byl položen v r. 1858. Pracoval měsíc, než byl zničen. Ve skutečnosti měl ekvivalentní obvod vysoké RC , takže to byl dolnofrekvenční filtr s velice nízkou frekvencí, který zcela zkresloval náběžné hrany Morseových značek v časové oblasti. Proto trvalo hodiny přenést spolehlivě jednu větu. V té době nebyl Ohmův zákon prakticky znám, takže bez znalosti teorie operátoři zvyšovali napětí signálu až na 4 000 V, a proto kabel odešel. Potom nové materiály a rozvoj elektrotechniky prudce zvyšoval výkonnost každého dalšího kabelu..

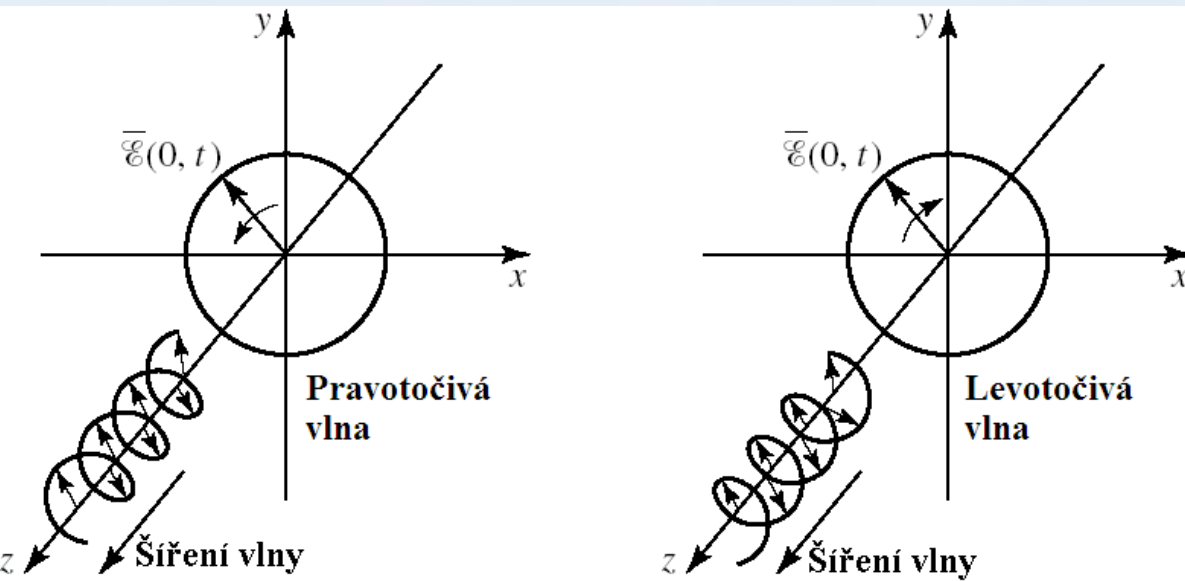
První transatlantický *telefonní* kabel byl položen v r. 1956 (36 hlasových kanálů) a další měly zvýšenou kapacitu vlivem vícežilových kabelů a opakovačů. Digitální telefonie umožnila řádově zvýšit počet hlasových kanálů a optická vlákna umožnila ohromný nárůst přenosové kapacity (např. kabel položený v r. 2000 umožnil přenos dat pro internet rychlostí 640 Gb/s, což odpovídá téměř 10 milionům hlasových kanálů)



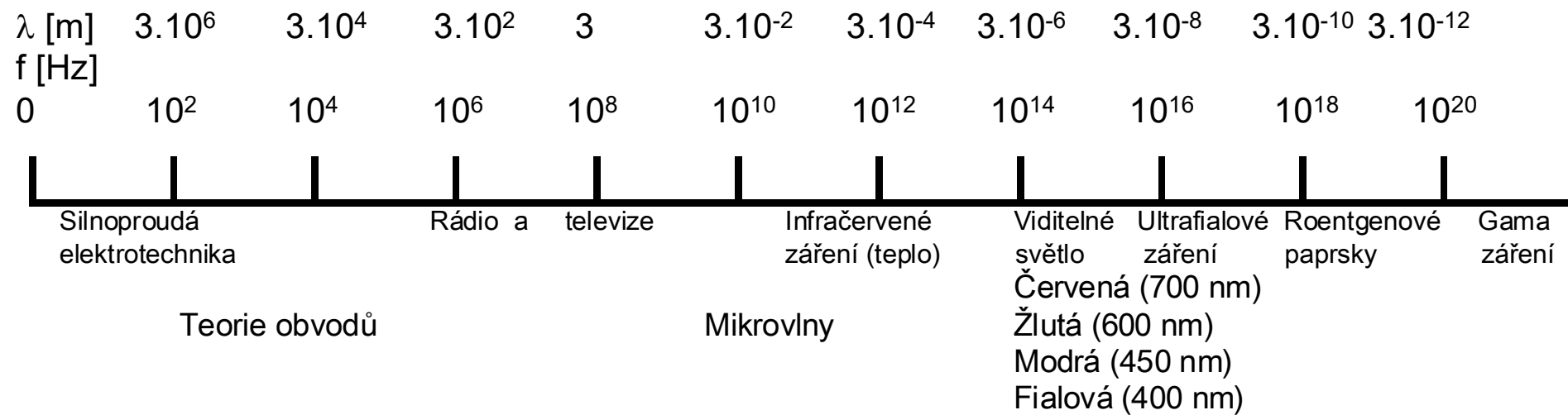
ŠÍŘENÍ ROVINNÝCH VLN V NEOMEZENÉM PROSTORU

Poyntingův vektor $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$ dává výkonovou hustotu a poměr $\mathbf{E}/\mathbf{H}$ dává impedanci. Vlnoplocha je plocha se stejnou fází. Vlnoplochy rovinné vlny jsou roviny. Vlna je *homogenní* (rovnoměrná, uniformní), jestliže vlnoplocha je plochou konstantní amplitudy i fáze.

Homogenní rovinné elektromagnetické vlny v neohraničeném prostředí mají několik obecných vlastností, které platí pro šíření vln v libovolném prostředí. Budeme předpokládat sinusovou vlnu, která se pohybuje v kladném směru osy z . Budeme předpokládat, že vektor $\mathbf{E}$ opisuje elipsu v rovině $z = \text{konst.}$ To znamená, že se jedná o *elipticky polarizovanou vlnu*. Díváme-li se ve směru šíření může být vlna pravotočivá nebo levotočivá. Elipticky (popř. kruhově) polarizované vlny se používají např. v radarech pro potlačení odrazů od deště. Při odrazu od dešťové kapky se změní směr šíření vlny, ale nemění se směr otáčení a proto se odražená energie přijímací anténou nepřijme, neboť anténa přijímá vlnu stejně polarizovanou (s ohledem na směr šíření).



V skutečnosti nemají všechny kapky stejné rozměry a odrazy se potlačí jen částečně. Odrazy od složitých cílů (např. letadla) změní asi z poloviny směr otáčení a tato část se tedy přijme, což zlepší odstup odrazů cíl/děšť.



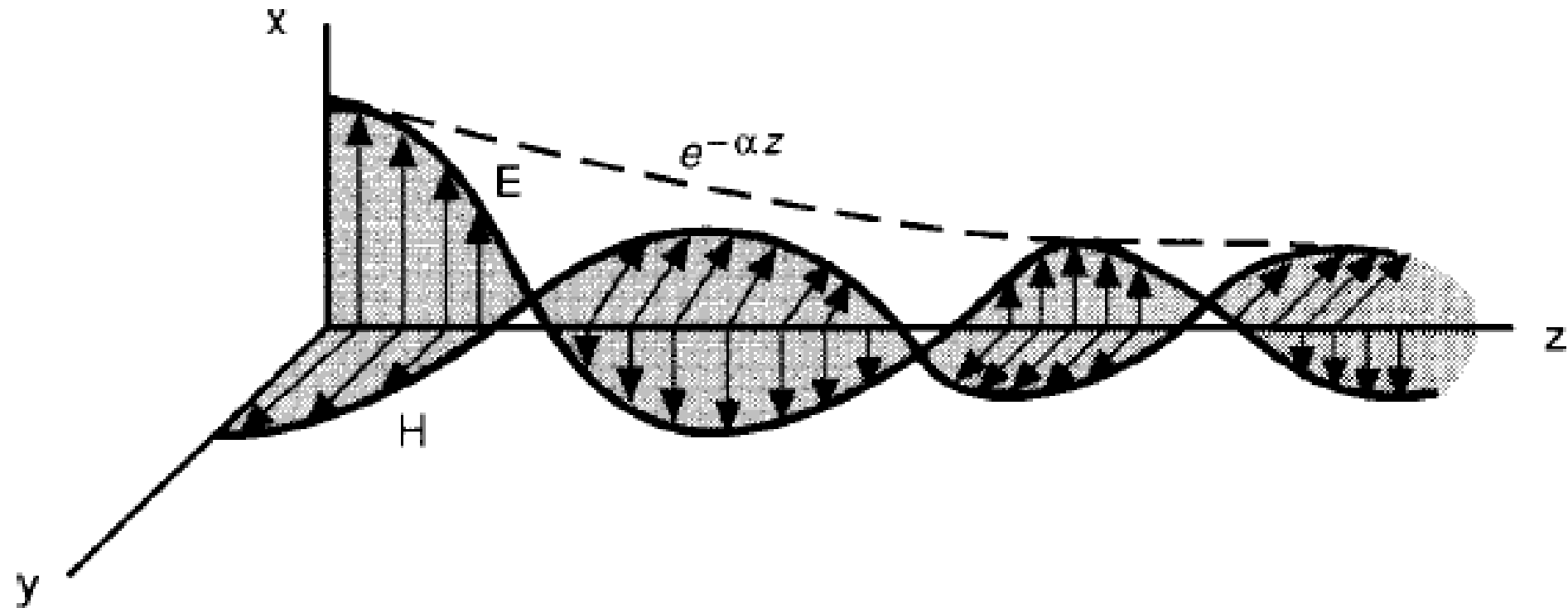
Typické frekvence

AM pásmo	535 – 1605 kHz
Krátké vlny	3 – 30 MHz
FM pásmo	88 – 108 MHz
TV	54 – 890 MHz
GSM	862 – 960 MHz
	1 800 MHz
Mikrovlnné trouby	2 400 MHz
US UWB	3,1 – 10,6 GHz

Ve **volném prostoru** není žádný útlum a rychlost šíření je $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$. Charakteristická impedance volného prostoru je přibližně $377\ \Omega$. Ve volném prostoru $B = \mu_0 H$ a platí $E = Bc$. Vektory $\mathbf{E}$ a $\mathbf{H}$ ve volném prostoru jsou ve fázi (charakteristická impedance volného prostoru je reálná).

V **nevodivém prostředí** je fázová rychlost $v = c/n$, kde n je index lomu, který je frekvenčně závislý.

Ve **vodivém prostředí** je situace odlišná. Hodnota $1/\alpha$ je hloubka vniku δ , pro kterou klesne amplituda na e^{-1} (36,8%), $\mathbf{E}$ a $\mathbf{H}$ nejsou ve fázi a střední hustota elektrické energie je menší než magnetické energie vlivem vodivosti.



Příklad: Mořská voda má α pro různé frekvence

$f = 1 \text{ kHz}$, $\alpha = 0,13 \text{ m}^{-1}$, útlum je 1,09 dB/m

$f = 1 \text{ MHz}$, $\alpha = 3,97 \text{ m}^{-1}$, útlum je 34,5 dB/m

$f = 1 \text{ GHz}$, $\alpha = 77,44 \text{ m}^{-1}$, útlum je 672 dB/m

Tyto extrémně vysoké útlumy například vysvětlují proč komunikace s ponorkou není možná pro vysoké rádiové kmitočty.

Příklad: Šíření vln v mědi (vodivost $5,8 \times 10^7 \text{ S/m}$) pro frekvenci 1 MHz

$\delta = 1/\alpha \approx 66 \text{ } \mu\text{m}$,

ve vzdálenosti δ intenzita pole klesne na hodnotu $\exp(-1)=0,368$.

Vlnová délka v mědi je $\lambda \approx 4 \times 10^{-4} \text{ m}$,

zatímco ve vzduchu je to $\lambda_0 \approx 300 \text{ m}$.

Fázová rychlost v mědi $v \approx 400 \text{ m/s}$,

což je asi 10 krát méně než je rychlost zvuku v mědi (3 600 m/s).

Pochopitelně, rozdíly v šíření zvuku a radiových vln plynou ze zcela jiného charakteru vlnění. To způsobí, že v mědi je rychlost zvuku zhruba 10 krát větší než ve vzduchu a zvuk se nemůže šířit ve volném prostoru.

Naproti tomu elektromagnetické vlny a to jak světlo, tak i rádiové vlny se ve volném prostoru šíří stejnou (nejvyšší) rychlostí c . V různých materiálech se bude rychlost šíření měnit i pro různé frekvence.

Měrná elektrická vodivost σ , relativní permeabilita μ_r a hloubka vniku δ některých látek

LÁTKA	Měrná vodivost σ [S/m]	Relativní permeabilita μ_r	Hloubka vniku δ [mm]		
			$f=$ 50 Hz	$f=$ 1 MHz	$f=$ 3 GHz
Aluminium	$3,54 \times 10^7$	1,00	12,0	0,0846	0,00154
Cín	$0,87 \times 10^7$	1,00	24,1	0,171	0,00362
Grafit	1×10^5	1,00	225	1,6	0,029
Chrom	$3,8 \times 10^7$	1,00	11,5	0,0816	0,00149
Měď	$5,80 \times 10^7$	1,00	9,35	0,0661	0,00121
Mořská voda	~ 5	1,00	32000	200	4*
Mosaz (65,8% Cu, 34,2% Zn)	$1,59 \times 10^7$	1,00	17,8	0,126	0,0023
Nikl	$1,3 \times 10^7$	1×10^2 **	2	0,014	0,00026
Stříbro	$6,15 \times 10^7$	1,00	9,1	0,0642	0,00117
Zinek	$1,86 \times 10^7$	1,00	16,5	0,117	0,00213
Zlato	$4,50 \times 10^7$	1,00	10,6	0,075	0,00137
Železo	$1,0 \times 10^7$	2×10^2 **	1,6	0,011	0,00021

* Pro tuto frekvenci $\epsilon_r \approx 35$, $\sigma / \omega \epsilon \approx 1$ a proto mořská voda už není dobrý vodič

** Pro $B = 0,002$ T

V mnoha případech je užitečné vyšetřovat chování vlny, která dopadá na rozhraní dvou prostředí. Pro zjednodušení budeme uvažovat, že prostředí se rozprostírají do nekonečna na obě strany od rovinného rozhraní. Obvykle se dopadem vlny $\mathbf{E}_I$ s vlnovým vektorem $\mathbf{k}$ ve směru šíření na prostředí vytvoří jak *odražená* $\mathbf{E}_R$ s vektorem $\mathbf{k}_R$, tak i *postupující* $\mathbf{E}_T$ s $\mathbf{k}_T$ vlna.

Jestliže první prostředí není ztrátové je odražená vlna homogenní a

$$\theta_I = \theta_R,$$

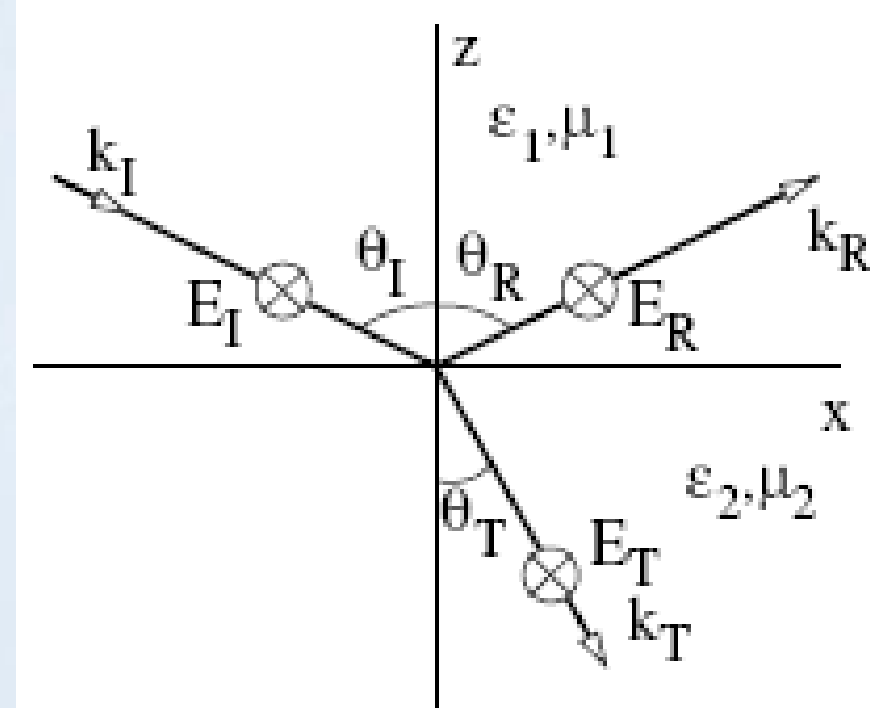
tj. *úhel dopadu se rovná úhlu odrazu*.

To se nazývá *zákon odrazu*.

Pro postupující vlnu $\mathbf{E}_T$ platí *Snellův zákon* $n_1 \sin \theta_I = n_2 \sin \theta_T$.

Pro $\theta_T = 90^\circ$ vyplývá $\sin \theta_{lc} = n_2/n_1$ (θ_{lc} se nazývá *kritický úhel*). Pro $\theta_I > \theta_{lc}$ je k_{Tz}^2 záporné a $\sin \theta_T$ je větší než 1 (tj. θ_T je komplexní). Tento jev nezáleží na polarizaci dopadající vlny.

Pro odražené a postupující vlny bude v prvním případě vektor $\mathbf{E}$ *kolmý k rovině dopadu* (jak je ukázáno na obrázku) a vektor $\mathbf{H}$ je tedy *rovnoběžný*. Z podmínek na rozhraní plynou *Fresnelovy rovnice* pro *činitele odrazu* E_R/E_I popř. *přenosu* E_T/E_I pro *kolmou polarizaci*. V druhém je $\mathbf{E}$ *rovnoběžné k rovině dopadu* a $\mathbf{H}$ *kolmé*. Pak dostaneme *Fresnelovy rovnice* pro *činitele odrazu* E_R/E_I popř. *přenosu* E_T/E_I pro *rovnoběžnou polarizaci*.



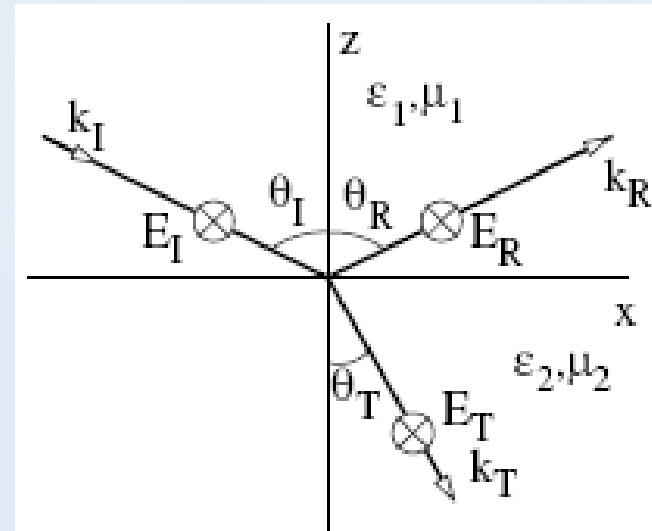
Abychom vyšetřili fyzikální význam komplexních úhlů, musíme uvažovat *nehomogenní rovinnou vlnu*. Vlnoplocha je opět rovinná, ale *amplituda* není homogenní na vlnoploše. Proto se vlna šíří v jednom směru a amplituda ubývá exponenciálně v druhém směru. $\mathbf{E}_m$ a $\mathbf{H}_m$ mohou být komplexní. Ovšem vlnový vektor má tvar $\mathbf{k} = \beta - j\alpha$, kde reálné vektory β a α směřují do různých směrů. Tyto rovnice definují šíření vln v kladném směru vektoru β s *fázovou rychlostí* v a amplitudou, která klesá v kladném směru α exponenciálně.

Lze získat zajímavé závěry:

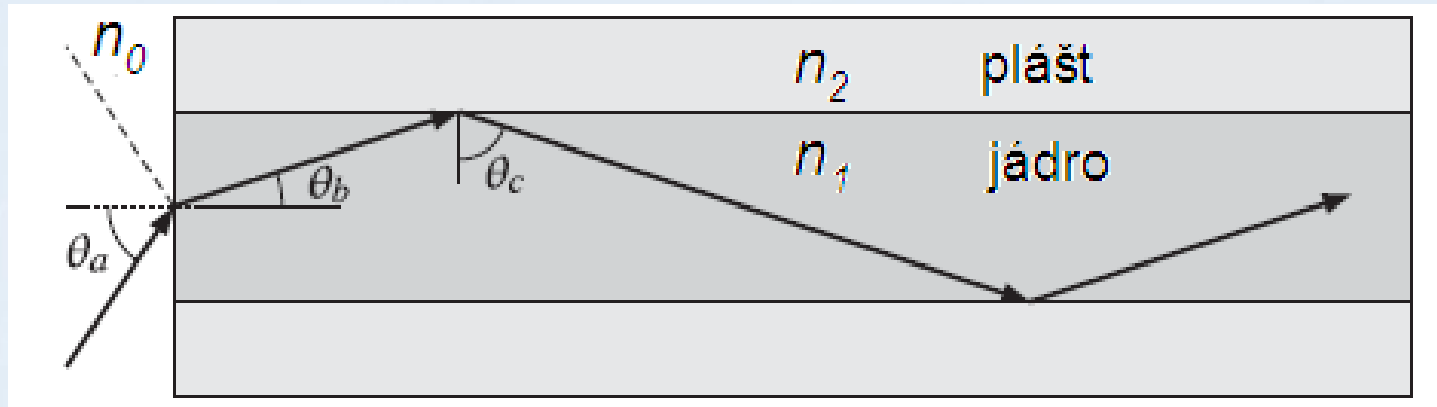
- a) První ukazuje, že $\beta > \alpha$.
- b) Podle druhé $\alpha \cdot \beta \geq 0$ (úhel mezi směry šíření a útlumu je nejvýše 90°).
- c) Ve vodičích $\sigma \neq 0$. Proto $\alpha \neq 0$.
- d) V nevodičích $\sigma = 0$ a proto úhel mezi směry šíření β a ubývání amplitudy α je 90° . Jsou-li obě prostředí dielektrika bez ztrát a je-li k_{Tz}^2 záporné, je $\sin \theta_T > 1$, tj. θ_T je komplexní. Odražené vlny mají stejnou velikost (tzn. nastává *totální* odraz, který je bezztrátový), ale dochází ke změně fáze (pokud nedochází k totálnímu odrazu je odražená vlna buď ve fázi nebo v protifázi).

Protože se změna fáze pro oba případy liší, bude při bezztrátovém totálním odrazu libovolně polarizované vlny vznikat elipticky polarizovaná vlna, která postupuje ve směru kladné osy x .

Druhý případ vodivého prostředí ukazuje, že se vlna tlumí ve směru záporné osy z . Existuje sice postupující vlna, ale střední tok výkonu je nulový.



Příklad: Totální odraz se využívá v řadě aplikací, např. u optických (dielektrických) vlnovodů, které se využívají v infračervené a světelné oblasti (optická vlákna). Nejstarší typ mnohovidového optického vlákna má jádro s indexem lomu n_1 a plášť s indexem n_2 , kde $n_1 > n_2$.



Jestliže je úhel dopadu na rozhraní jádro - plášť θ_c větší než kritický úhel, pak nastává totální odraz. Obrázek ukazuje paprsek posílaný do vlákna ze strany vzduchu. Maximální úhel dopadu θ_a musí být takový, aby to odpovídalo kritickému úhlu θ_c na rozhraní jádro - plášť. Pomocí Snellova zákona

$$\sin \theta_a = \frac{n_1}{n_0} \sin \theta_b, \quad \sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

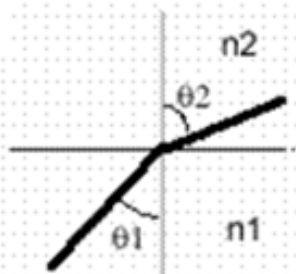
$$\sin \theta_a = \frac{n_1}{n_0} \cos \theta_c = \frac{n_1}{n_0} \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c} = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0}$$

Např. pro $n_1 = 1$, $n_1 = 1,49$ a $n_2 = 1,48$ dostaneme kritický úhel $\theta_c = 83,4^\circ$ a $\theta_a = 9,9^\circ$.

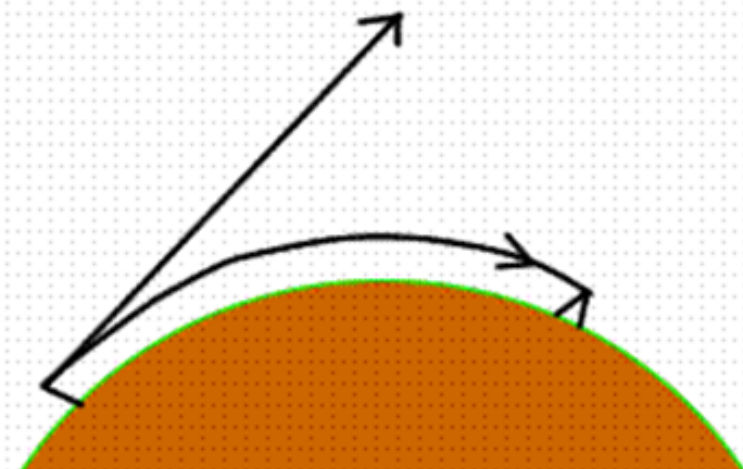
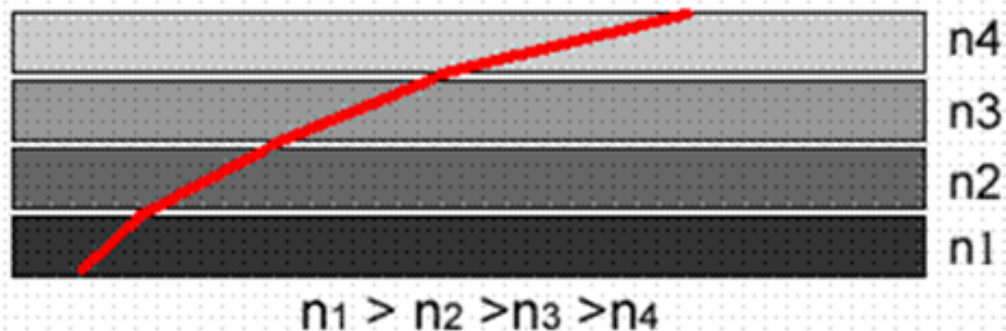
Často se používají gradientní vlákna, obvykle s parabolickým průběhem n . Přesná analýza by byla i pro běžně používaná vlákna velice komplikovaná.

SNELLŮV ZÁKON – ZMĚNA INDEXU LOMU S VÝŠKOU

Pokud se pohybujeme do vyšších výšek od povrchu země, klesá jak tlak, tak i teplota. Výsledkem je, že index lomu klesá s výškou. Proto se rádiové vlny „ohýbají“ směrem k zemi a proto se mohou šířit za geometrický horizont a tím zvětšit rozsah.



$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$



INDEX LOMU TROPOSFÉRY, TRAJEKTORIE ŠÍŘENÍ

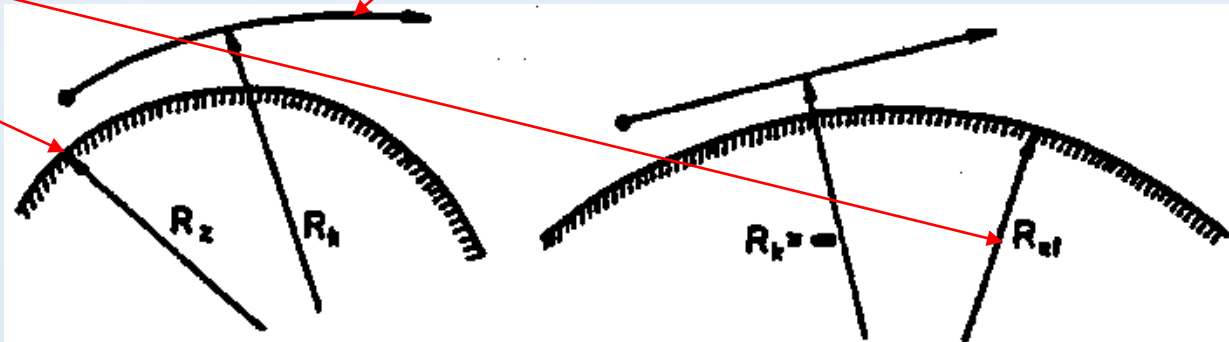
Index lomu troposféry n závisí na tlaku vzduchu p , teplotě T a vlhkosti. Protože se liší jen nepatrně od 1, zavádí se modifikovaný index N

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 = \frac{77,6}{T} \left(p + \frac{4810e}{T} \right)$$

kde p [hPa] je tlak vzduchu, teplota T [K] a tlak e [hPa] vodních par či absolutní vlhkost. Absolutní změny indexu jsou velmi malé, ale přesto se trajektorie paprsků liší od přímky (podle Fermantova principu se šíří po opticky nejkratší dráze, tzn. že do daného místa se dostane v nejkratším čase). Rychlost šíření je dána c/n a vlny se budou zakřivovat podle Snellova zákona. K výraznému odchýlení od přímky dochází zejména u paprsků s malými elevačními úhly.

Ve skutečné atmosféře nad skutečnou Zemí je křivá jak **trajektorie paprsku**, tak i **zemský povrch**. Vyrovnáme-li trajektorie (což odpovídá konstantnímu indexu lomu), musíme k zachování relativní křivosti změnit křivost Země (místo skutečného poloměru Země R uvažujeme **ekvivalentní poloměr Země R_{ef}**)

$$\frac{R_{ef}}{R} = k_{ef} = \frac{1}{1 + R \frac{dN}{dh} 10^{-6}}$$



DRUHÝ TROPOSFÉRICKÝ LOMU



Záporný troposférický lom $dN/dh > 0$, $R_{ef} < R$



Nulový troposférický lom $dN/dh = 0$, $R_{ef} = R$



Standardní troposférický lom $dN/dh = -0,04 \text{ m}^{-1}$, $R_{ef} = 1,34 R$ (pro optické vlny jako standardní troposférický lom uvažujeme $R_{ef} = 7R/6$)



Kritický troposférický lom $dN/dh = -0,157 \text{ m}^{-1}$, $R_{ef} = \infty$. Trajektorie vodorovného paprsku zachovává nezměněnou výšku nad Zemí

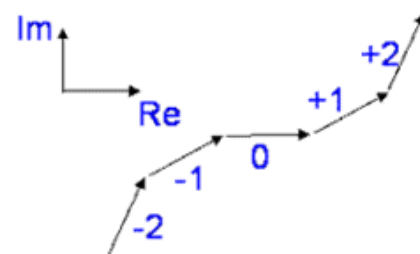
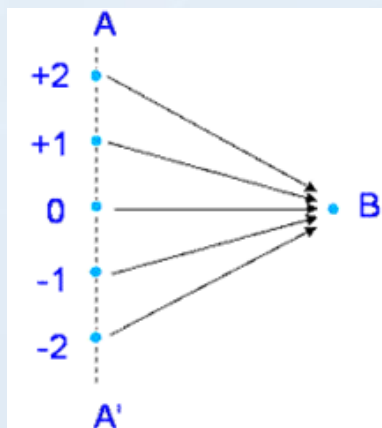
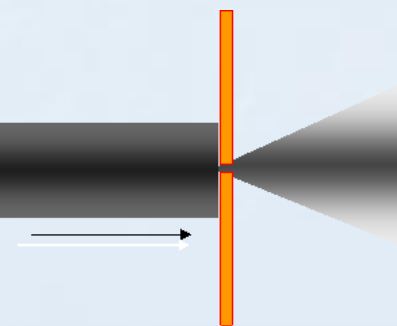
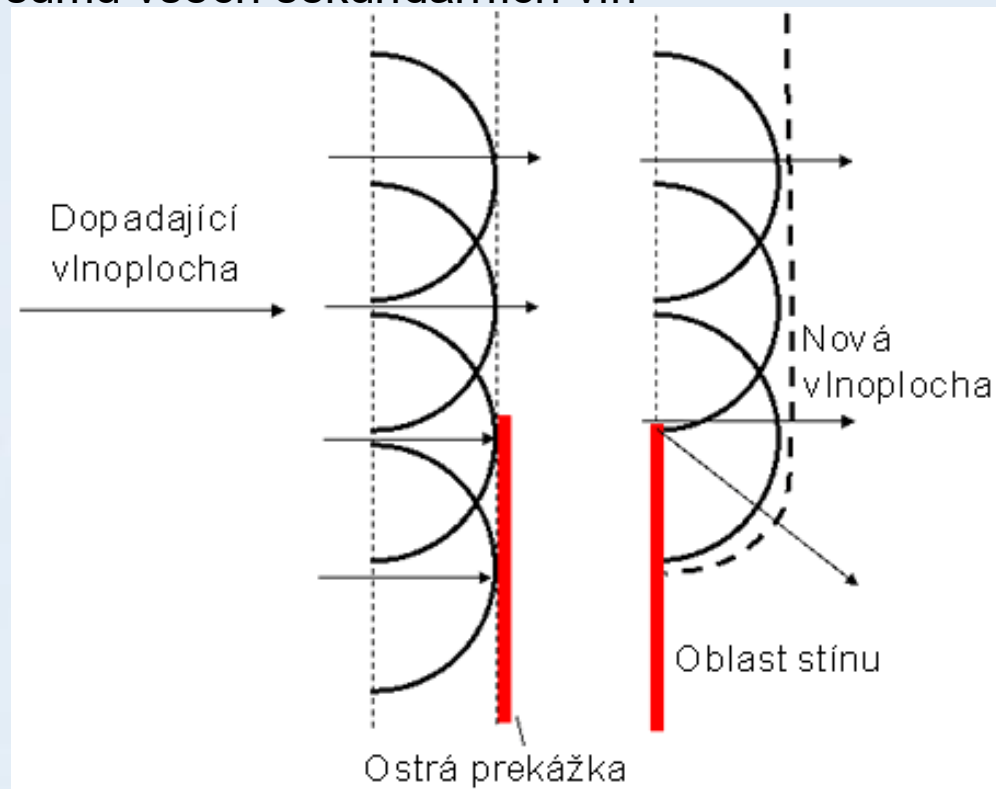
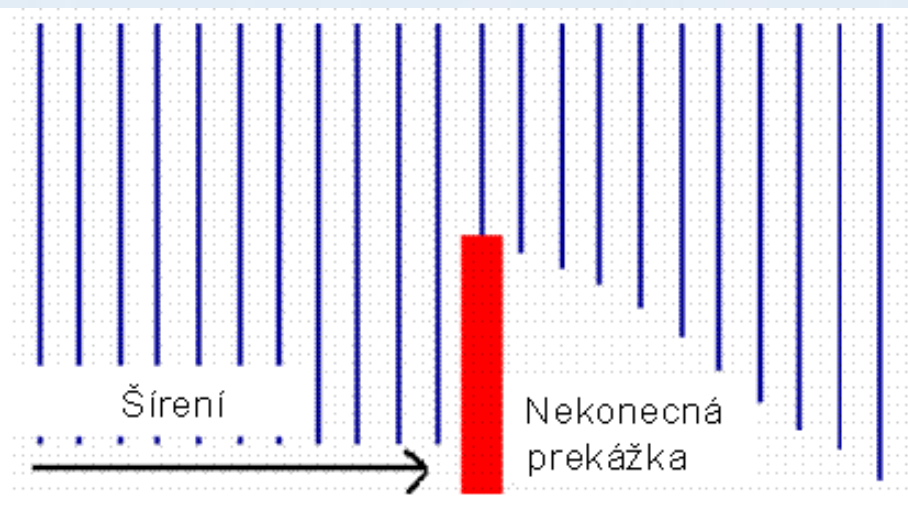


Vlnovodový kanál $dN/dh < -0,157 \text{ m}^{-1}$, $R_{ef} < 0$

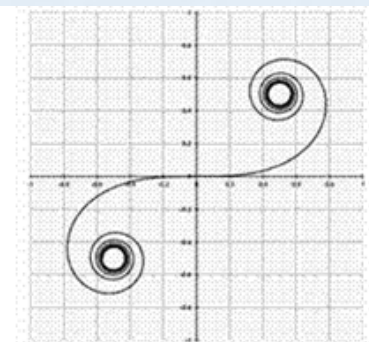
Nad souší zřídka, nad mořem pravidelně

DIFRAKCE VLN

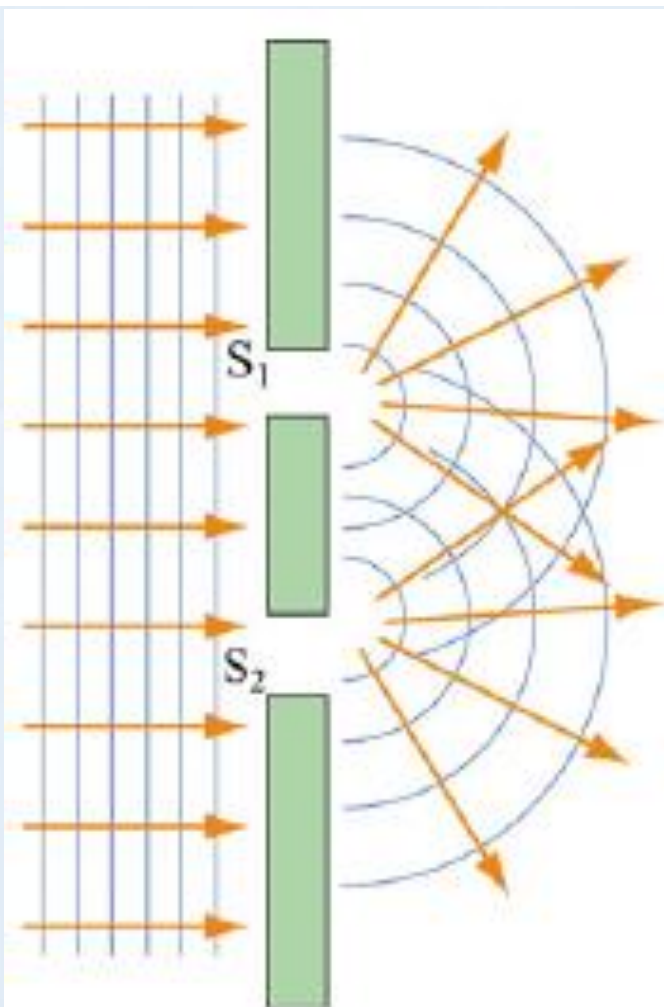
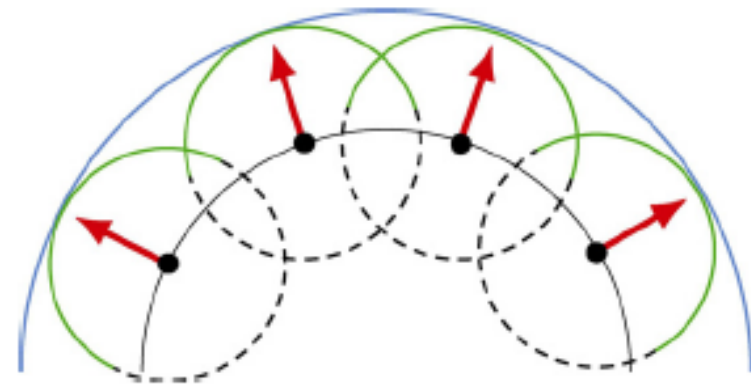
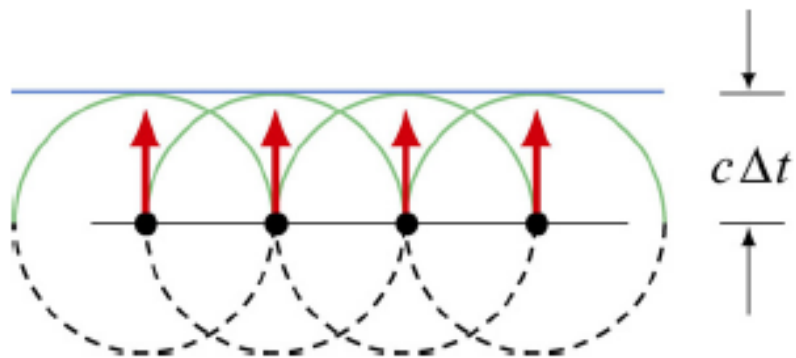
Huygensův princip. Každý bod vlnoplochy můžeme uvažovat jako zdroj nové vlnoplochy, kterou budeme uvažovat jako sumu všech sekundárních vln



Suma fázorů

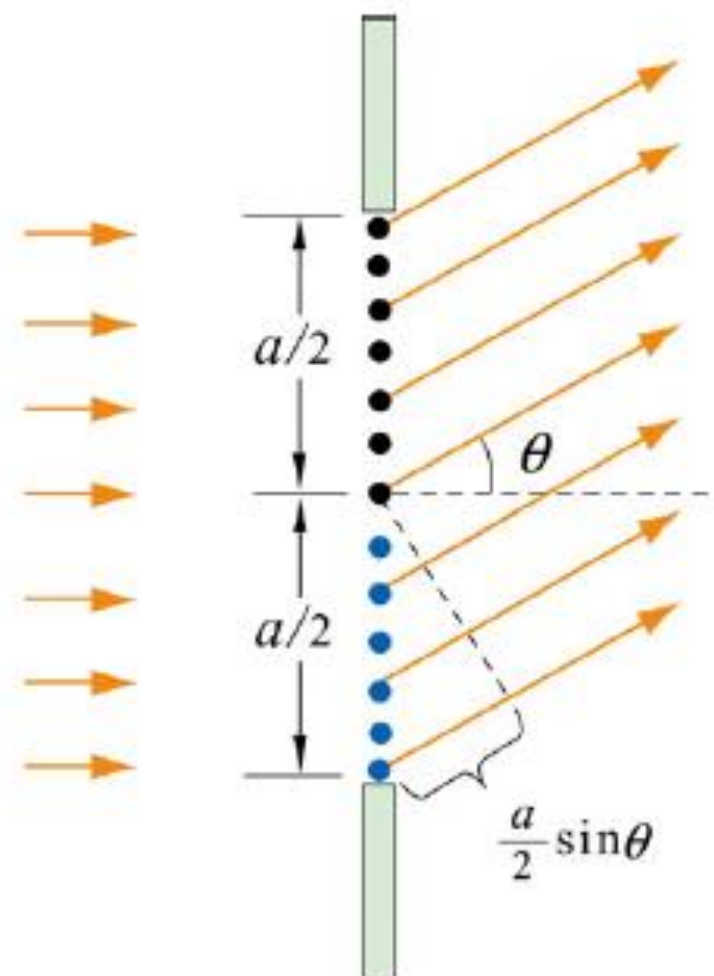


Cornu spirála
Nekonečná suma



Pro vyzařování
lze použít
**Huygensův
princip.**

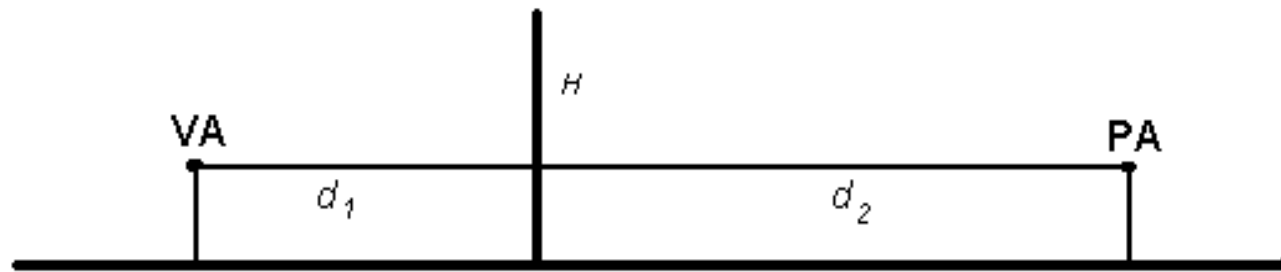
Každý bod
vlnoplochy
můžeme
uvažovat jako
zdroj nové
vlnoplochy,
kterou budeme
uvažovat jako
sumu všech
sekundárních
vln.



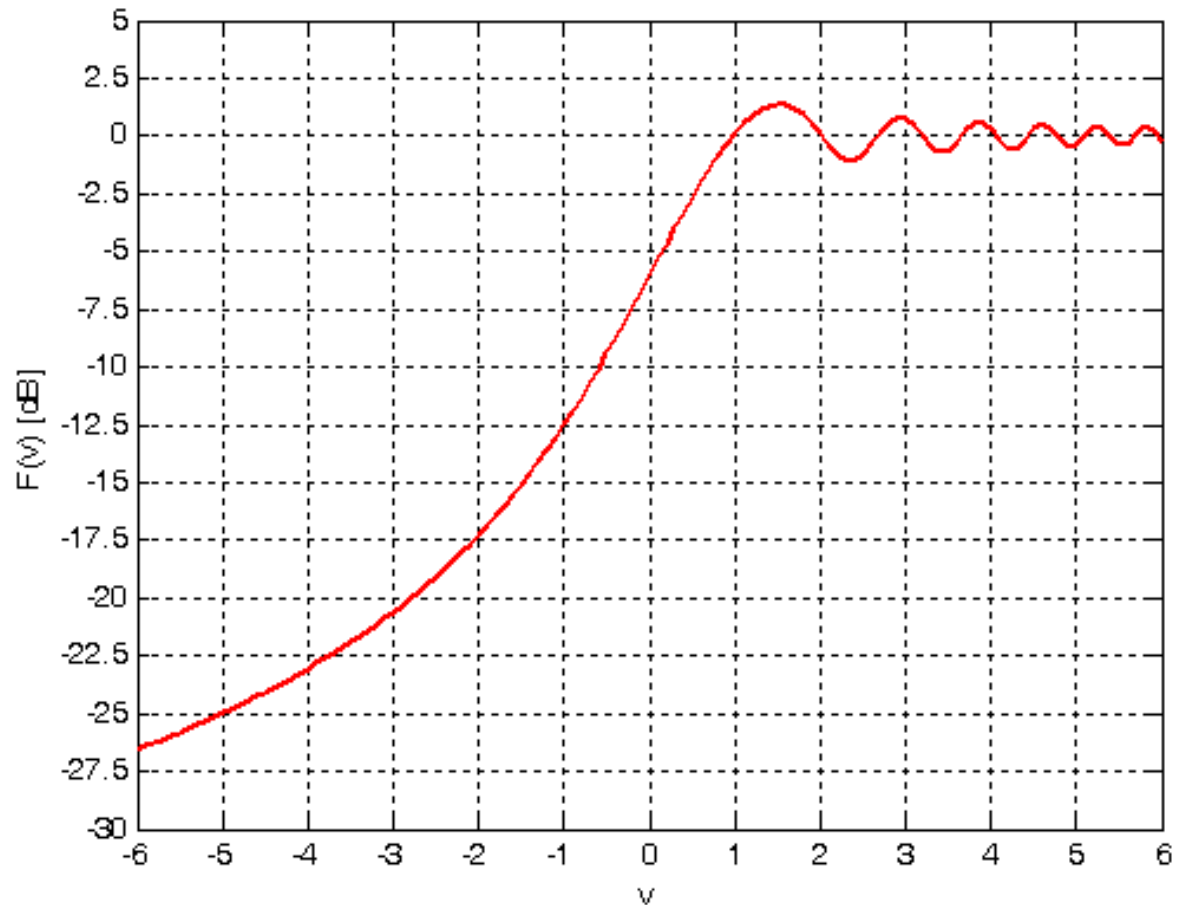
Příklad: Při šíření vln nad vertikální překážkou (např. horským hřebenem) dochází k difrakci vln. Vzdálenost vysílací antény od překážky je d_1 , vzdálenost přijímací antény od překážky je d_2 a výška překážky nad spojnici obou antén je H (pro zastínění je $H < 0$, je-li vrchol překážky pod spojnici obou antén, je $H > 0$). Pro výpočet intenzity elektrického pole platí

$$|E| = |E_0| \cdot |F(v)|,$$

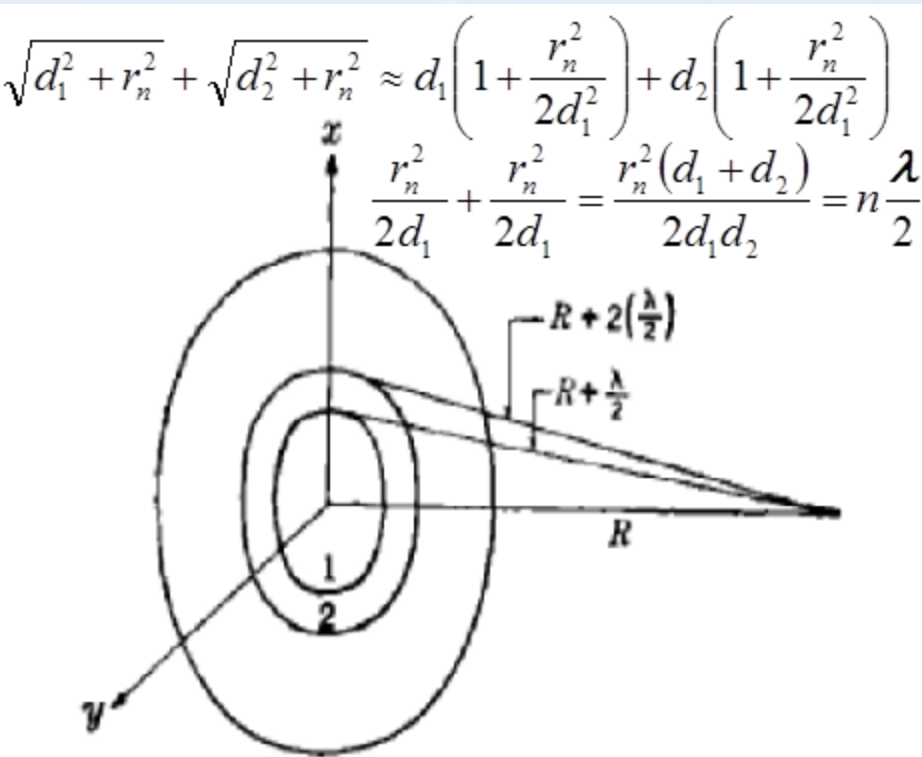
$v = H \{ \pi (1/d_1 + 1/d_2) / \lambda \}^{1/2}$, E_0 je intenzita elektrického pole ve volném prostoru (bez překážky).



$$F(v) = \frac{e^{j\pi/4}}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^v e^{-jt^2} dt$$

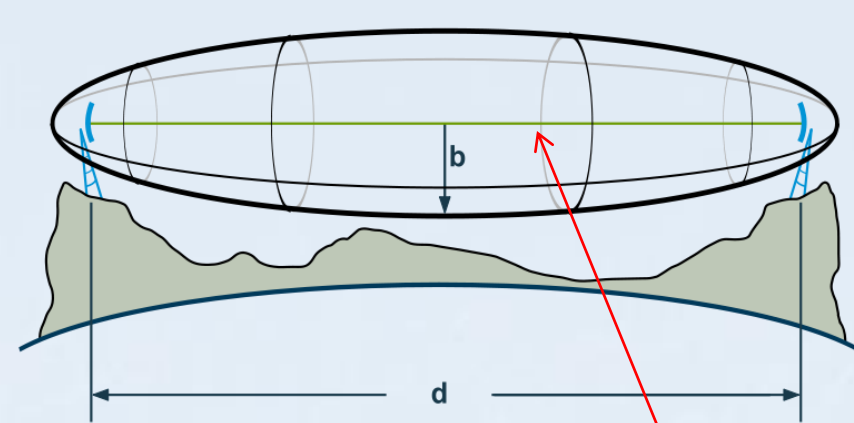


Příklad: Studium šíření elektromagnetických vln mezi vysílačem a přijímačem vede na rozdělení prostoru na (Fresnelovy) elipsoidy, které mají ohniska ve vysílači a přijímači. Je-li střed elipsoidů v rovině xy a přijímač na ose z ve vzdálenosti R , pak pro hranice jednotlivých elipsoidů budou $R + n\lambda/2$. Uvažujeme-li dvě sousední mezikruží, pak příspěvek z jedno mezikruží odpovídá příspěvek z druhého mezikruží s opačnou fází. Výsledné pole od dvojice dvou sousedních mezikruží je prakticky nulové. Bude-li příspěvek v n -té zóně S_n , pak výsledný příspěvek bude $S=S_1-S_2+S_3-\dots$ a proto můžeme obecně přepokládat, že veškerá energie se prakticky šíří uvnitř prvního Fresnelova elipsoidu. Paprsek se tedy šíří stejně jako ve volném prostoru, tzn. se zanedbatelnými difrakčními jevy, pokud nejsou žádné překážky v první Fresnelově zóně.



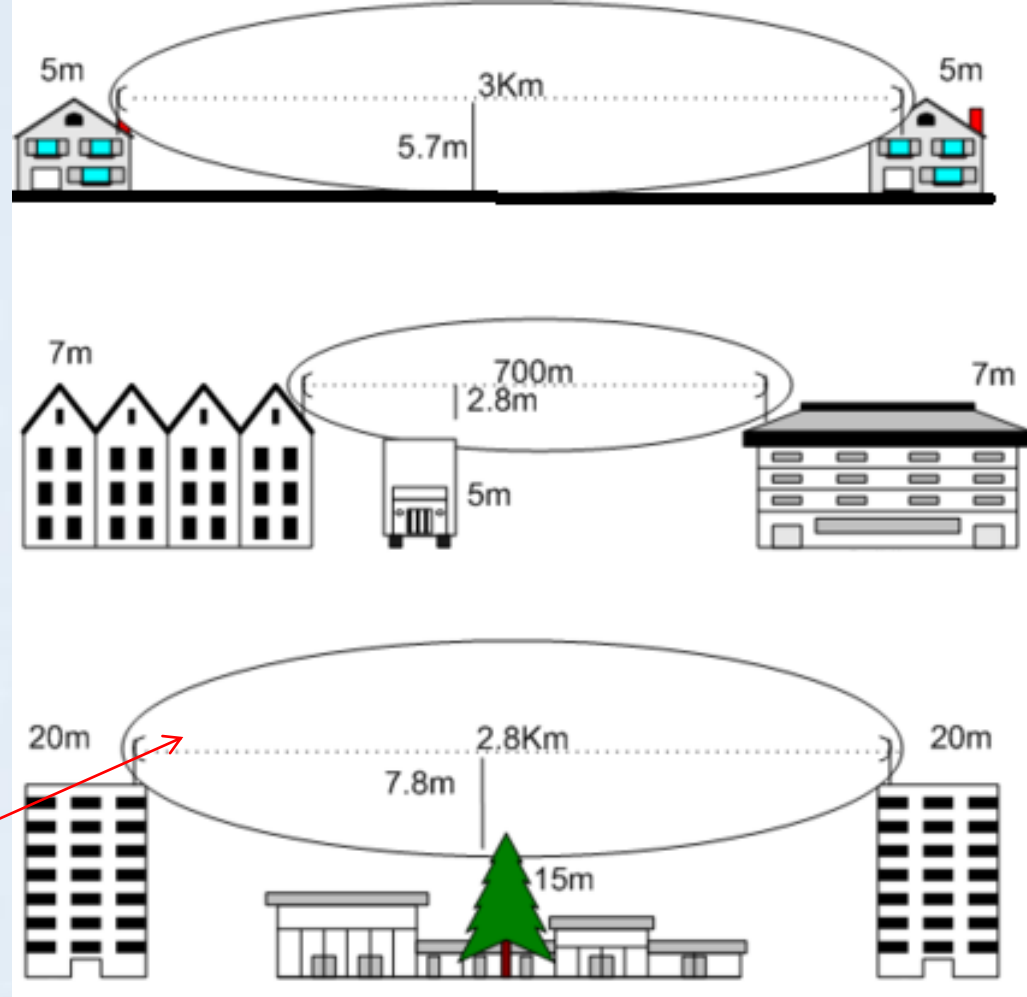
Poloměr n -tého elipsoidu r_n v bodě vzdáleného d_1 od vysílače a d_2 od přijímače (pokud d_1+d_2 bude velké vzhledem k poloměru elipsoidu) bude

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$



Obecně můžeme přepokládat, že veškerá energie se prakticky šíří uvnitř prvního Fresnelova elipsoidu. Paprsek se tedy šíří stejně jako ve *volném prostoru*, tzn. se zanedbatelnými difrakčními jevy, pokud nejsou žádné překážky v první Fresnelově zóně.

VLIV ZEMĚ (PROSTOROVÉ VLNY)



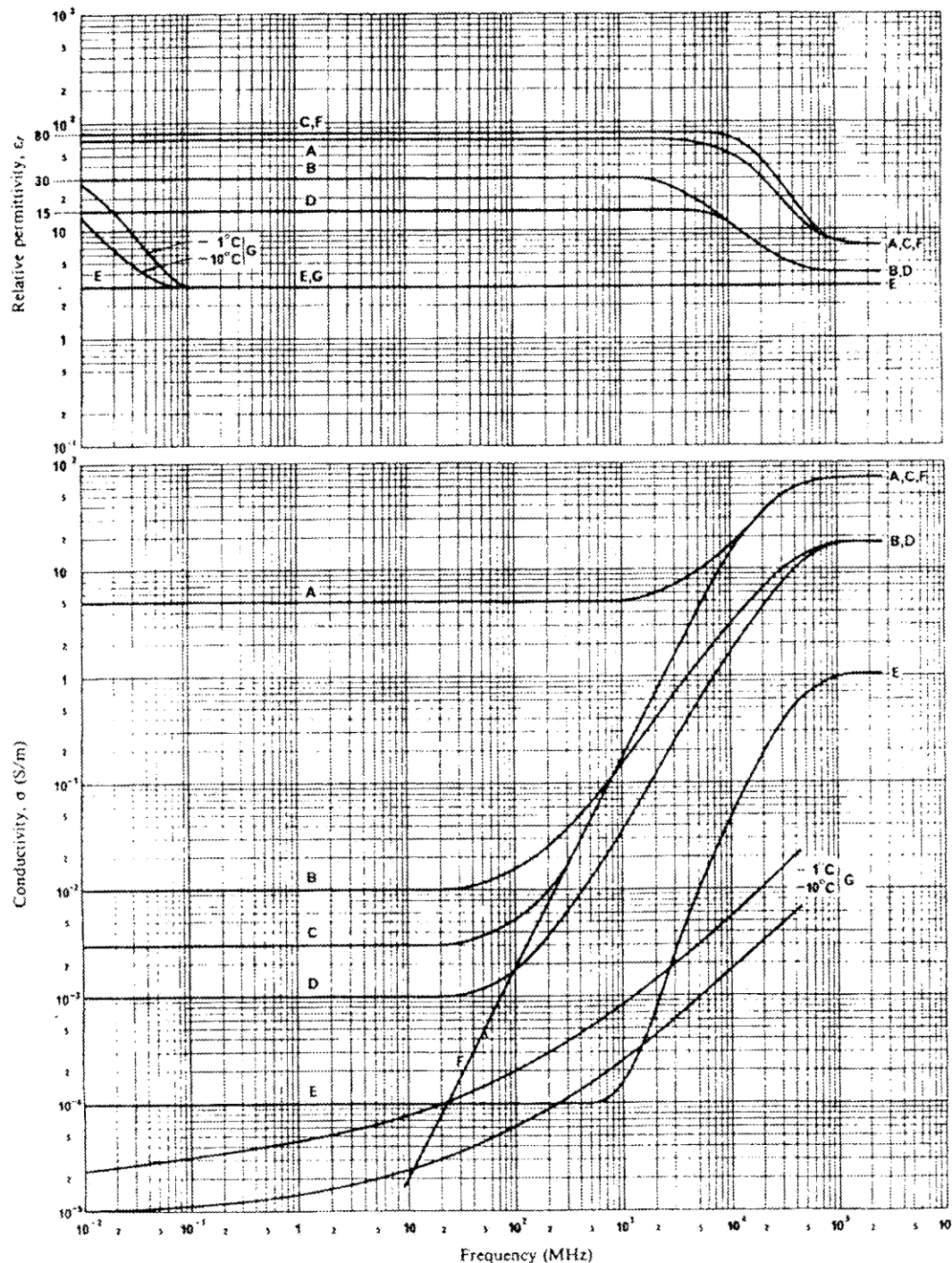
V bodě pozorování P se sčítají (s ohledem na fázi) přímý paprsek a paprsek dopadající na zemský povrch, který se odráží ve směru k P. To vytváří interferenční maxima a minima. Vektor intenzity elektrického pole E v bodě P je

$$E(P) = E_i(P) + E_s(P)$$

kde $E(P)$ je výsledný vektor intenzity elektrického pole, $E_i(P)$ je vektor přímého záření (vlny) z antény A a $E_s(P)$ je vektor vzniklý rozptylem od zemského povrchu.

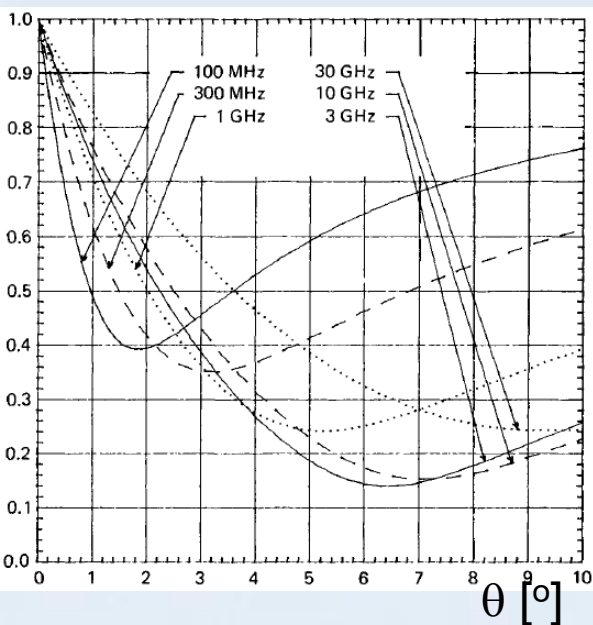
ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI POVRCHU ZEMĚ

Relativní permitivita ϵ_r' a
měrná vodivost σ jako funkce
frekvence. A - mořská voda
(průměrná slanost) 20°C, B -
mokrý půda, C - čerstvá voda
20°C, D - středně suchá
půda, E - velmi suchá půda, F
– čistá voda 20°C, G – led
(čerstvá voda)

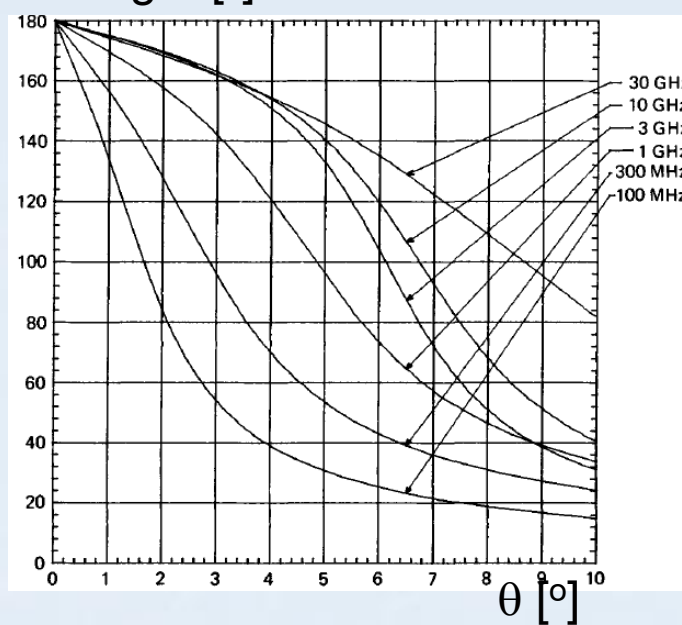


Příklad:

$|\Gamma|$

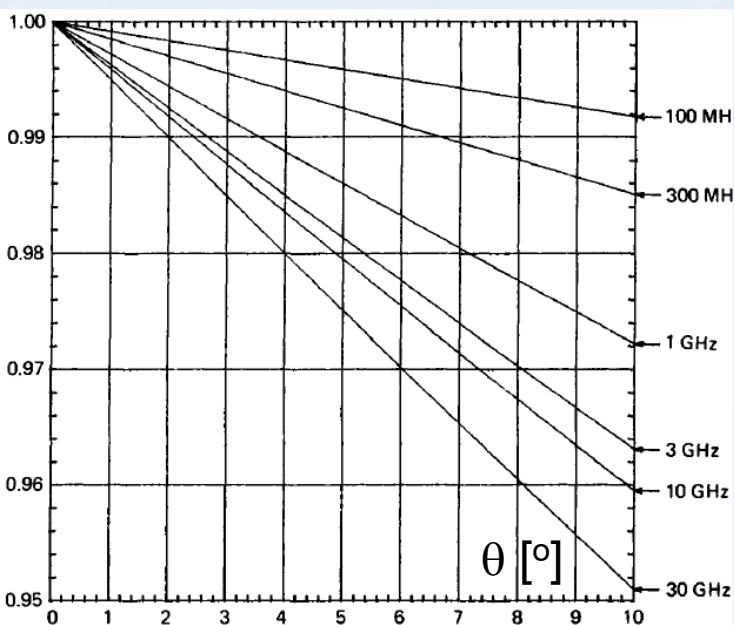


$\arg \Gamma [^\circ]$



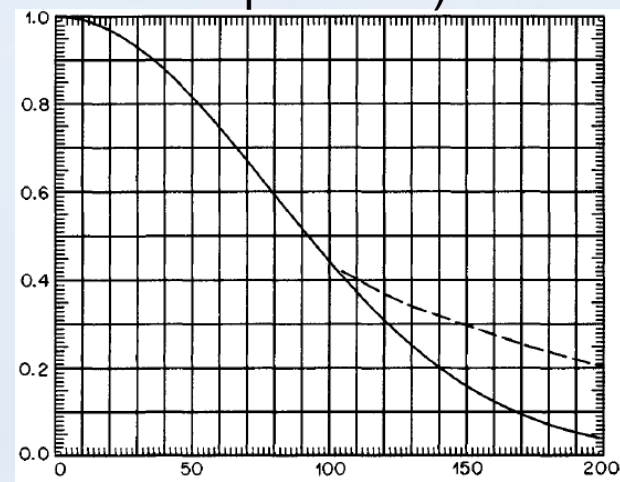
Absolutní hodnota a fáze koeficientu odrazu Γ (určená pomocí Fresnelových rovnic) pro hladkou hladinu moře a vertikální polarizaci (θ je úhel mezi dopadajícím paprskem a tečnou k povrchu)

$|\Gamma|$

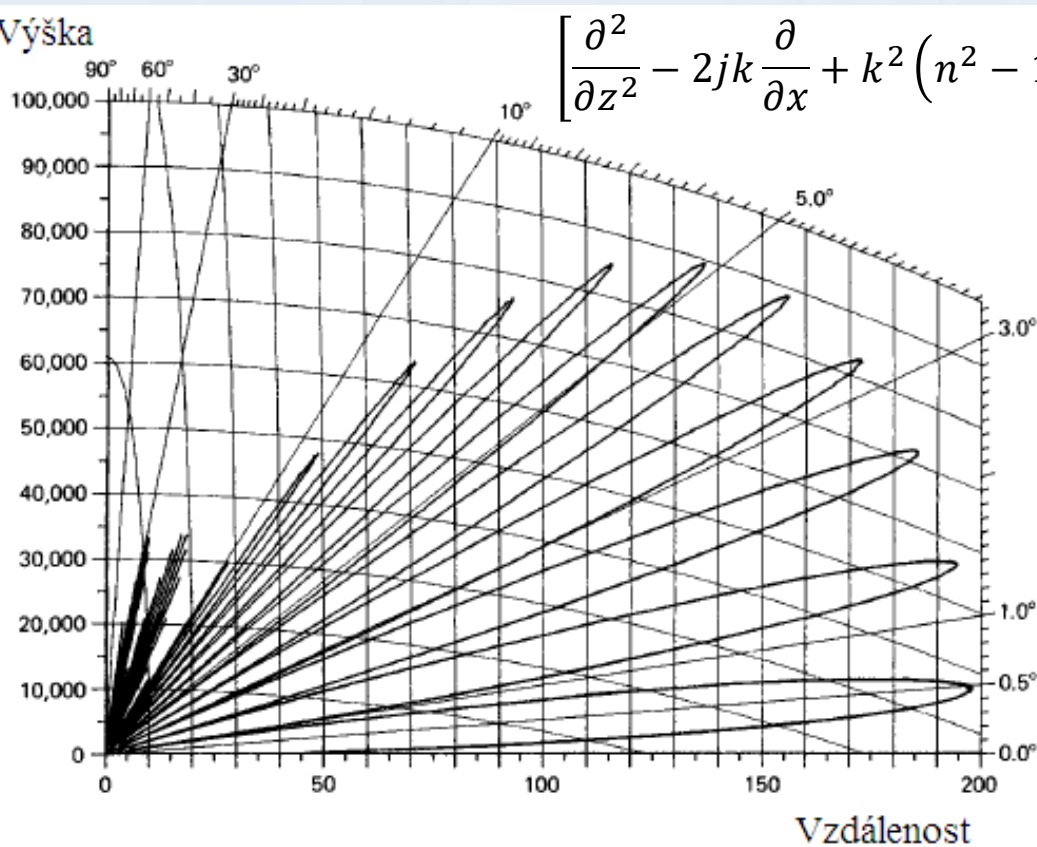


Absolutní hodnota koeficientu odrazu Γ (určená pomocí Fresnelových rovnic) pro hladkou hladinu moře a horizontální polarizaci (θ je úhel mezi dopadajícím paprskem a tečnou k povrchu). Fáze není zobrazena (je prakticky konstantní a rovná se π)

Změna Γ pro zvlněnou mořskou hladinu (teorie a experiment)

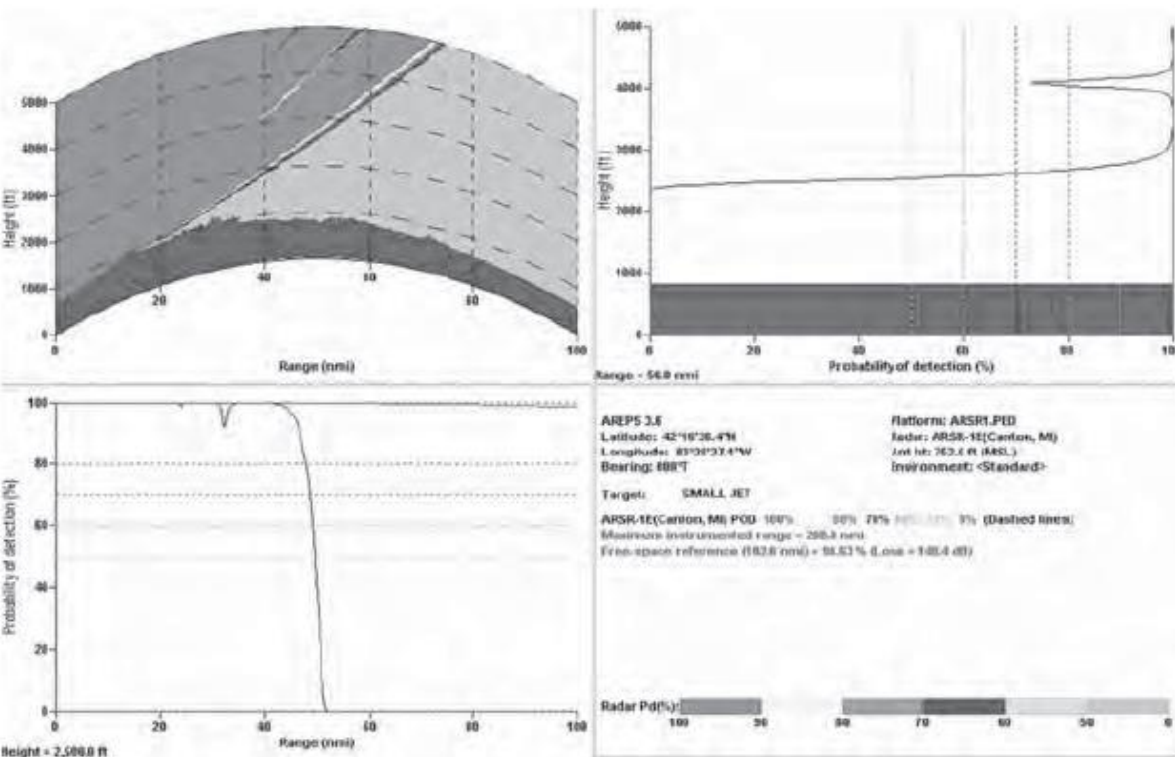
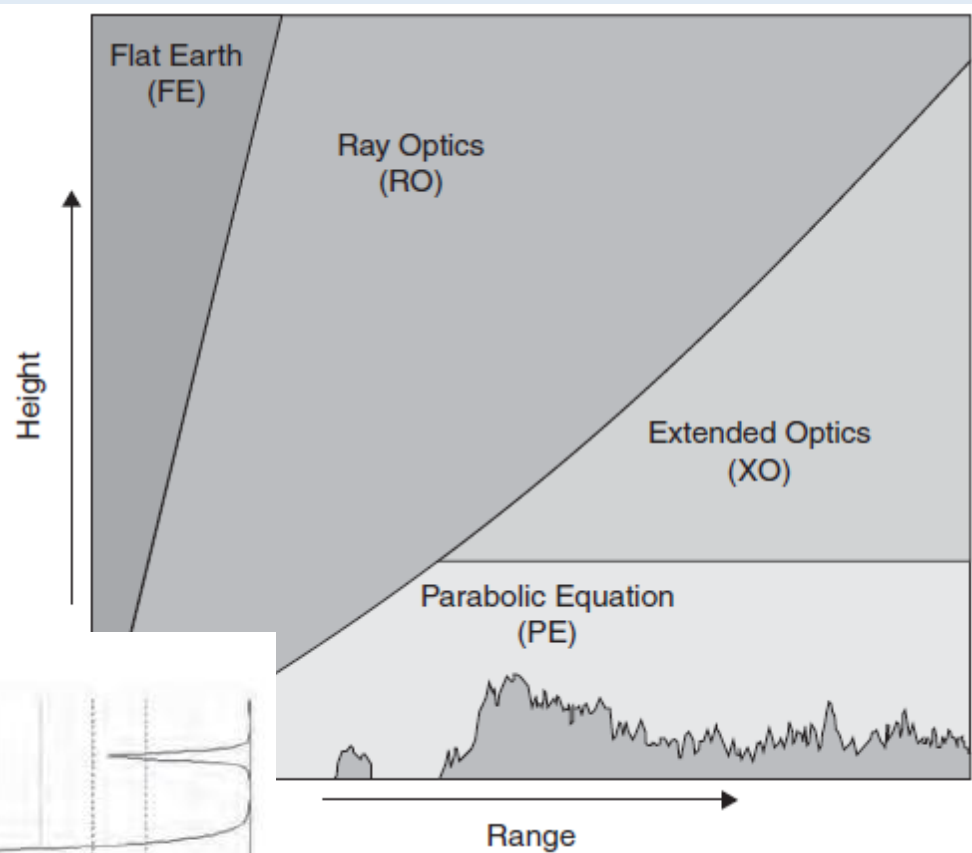


Příklad: Pro řešení šíření v blízkosti země ve směrech, které nejsou příliš vzdálené od horizontu, použijeme metodu parabolické rovnice. Pro uvážení kulového tvaru země se volí kulové souřadnice r, θ, ϕ s počátkem ve středu země a předpokládá se, že je zanedbatelná změna ϕ (kolmá na rovinu šíření). Index lomu v atmosféře se mění mnohem rychleji ve vertikálním směru (z) než v horizontálním směru (θ) a změny podél trajektorie paprsků jsou mnohem rychlejší pro fázový člen než pro amplitudový. Jestliže R je poloměr země, n index lomu, $x=r\theta$ a $z=r-R$, lze odvodit výslednou rovnici která má tvar parciální diferenciální rovnice parabolického typu, neboť se při odvození musí uvažovat, že parametry ε , μ a tedy i index lomu n prostředí jsou funkce souřadnic.



Tuto rovnici, kterou lze řešit pouze numericky, odvodil Fok ve čtyřicátých letech dvacátého století a intenzívně se začala používat až s mohutným rozvojem počítačů od osmdesátých let pro akustické vlny. Pro vektorové elektromagnetické pole se začala používat až kolem roku 2 000.

Příklad: Různé profesionální modely často kombinují několik metod



Příklad: Vyhodnocování možností pokrytí radarem (lze využít pro analýzu umístění vysílače pro komunikace)

Příklad: Koeficient odrazu pro povrch s náhodnými odchylkami je dán

$$\Gamma = \Gamma_0 \exp[-2(2\pi\delta_z \sin \theta / \lambda)^2].$$

Pro pole normované k vektoru E_0 přímé vlny ve směru maxima diagramu ve vzdálenosti R_0 od antény určíme rozptýlené pole $E_s(P)$ pomocí Huyghensova principu pro každý bod povrchu

$$\frac{E_s(P)}{E_0} = \frac{R_0 e^{j\pi/4}}{\sqrt{\lambda}} \int_{-\infty}^{\infty} f(\theta_1) \left[\frac{1 - \Gamma}{2} \sin(\theta_1 - \alpha) + \frac{1 + \Gamma}{2} \sin(\theta_2 - \alpha) \right] \frac{e^{-jk(R_1 + R_2 - R_0)}}{\sqrt{R_1 R_2 (R_1 + R_2)}} \frac{dx}{\cos \alpha}$$

Detaily <https://www.intechopen.com/chapters/68652>.

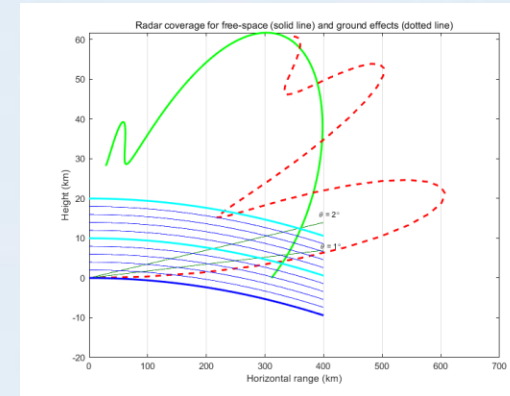
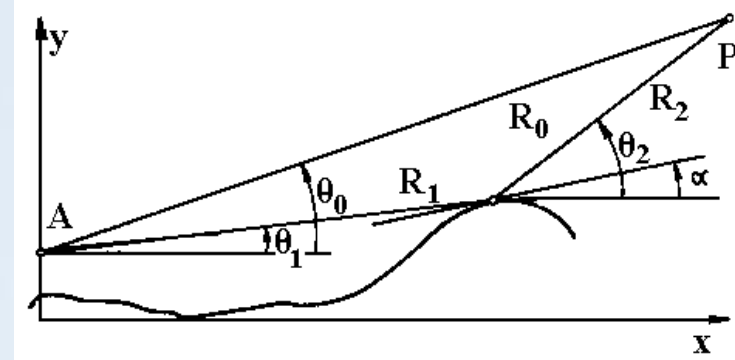
Diagram radarového krytí obsahuje vnitřní objem, ve kterém je pole větší než minimální užitečná hodnota. Obvykle se zobrazují pro vliv volného prostoru (plná čára) a rovinné země (čárkovaně), které berou v úvahu standardní efektivní poloměr $R_e = 8,5 \times 10^6$ m. . Zákazníci obvykle žádají potvrzení radarového krytí testovacími lety.

To závisí na různých podmínkách, jako je lom vzduchu, které jsou extrémně proměnlivé. Díky četným testovacím letům provedeným na různých letištích a důkladným analýzám lze konstatovat, že simulace odpovídají zkušebním letům.

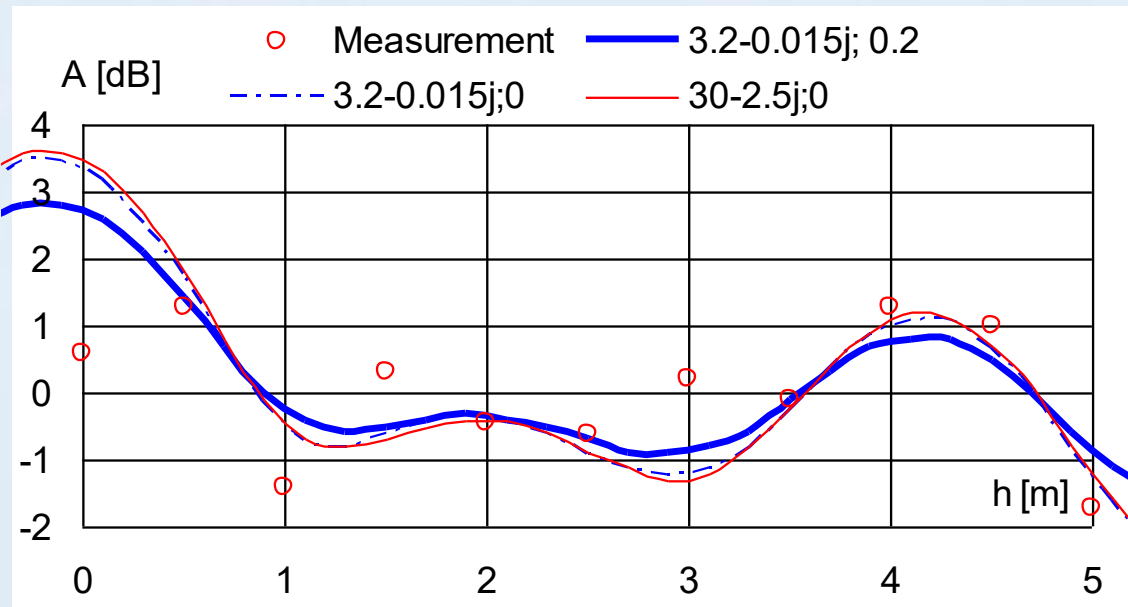
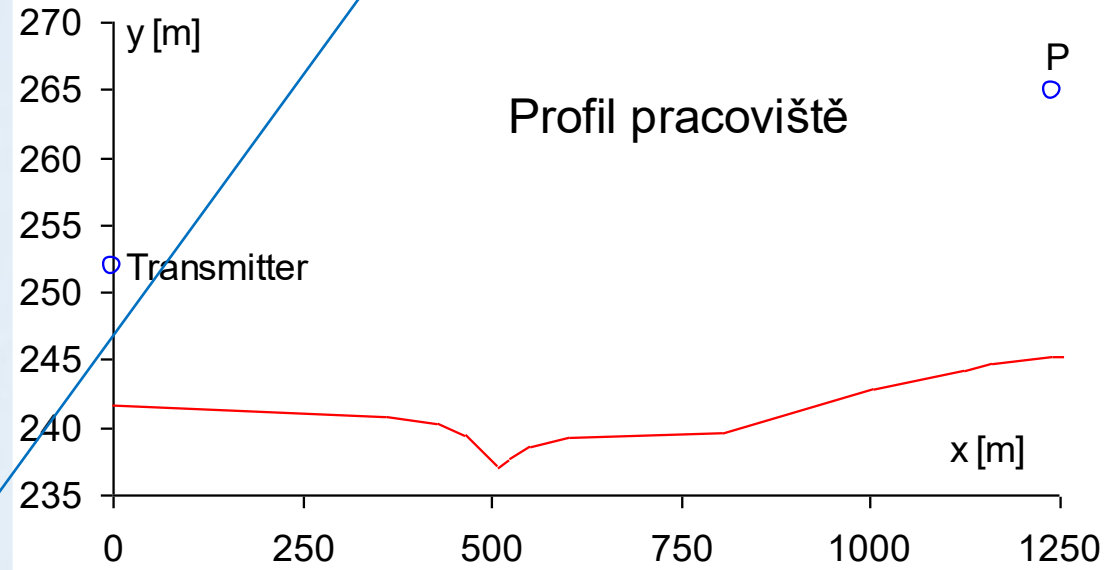
Příklad: Na letišti v Praze postavili věž pro přehledový radar.

Po instalaci radaru zjistili, že cíle (letadla) nejsou vidět při nalétávání na otáčku před přistáváním.

Při reklamačním řízení francouzský výrobce pouze konstatoval, že to je fyzika.

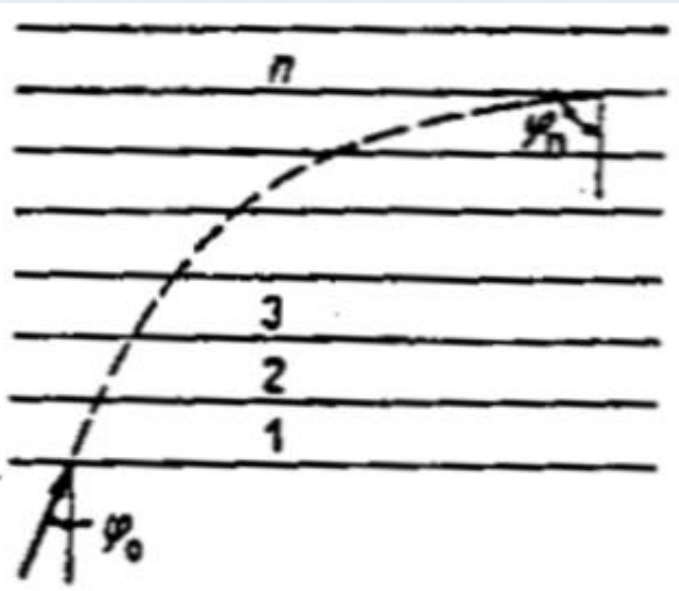


Příklad: Pracoviště pro měření antén (zhruba 1970 a po rekonstrukci). Měření a výpočty (PO) $A = 20 \log |E(P)/E_0|$ hladkým (náhodná odchylka $\sigma = 0$) suchým ($\epsilon_r = 3,2 - 0,015j$) nebo velmi mokřým terénem ($\epsilon_r = 3,2 - 2,5j$) a nerovným, suchým terénem ($\epsilon_r = 3,2 - 0,015j$ a $\sigma = 0,2$ m)

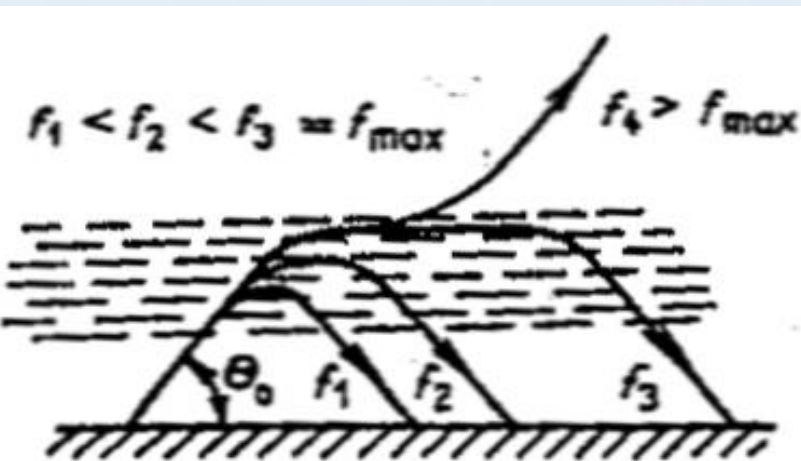
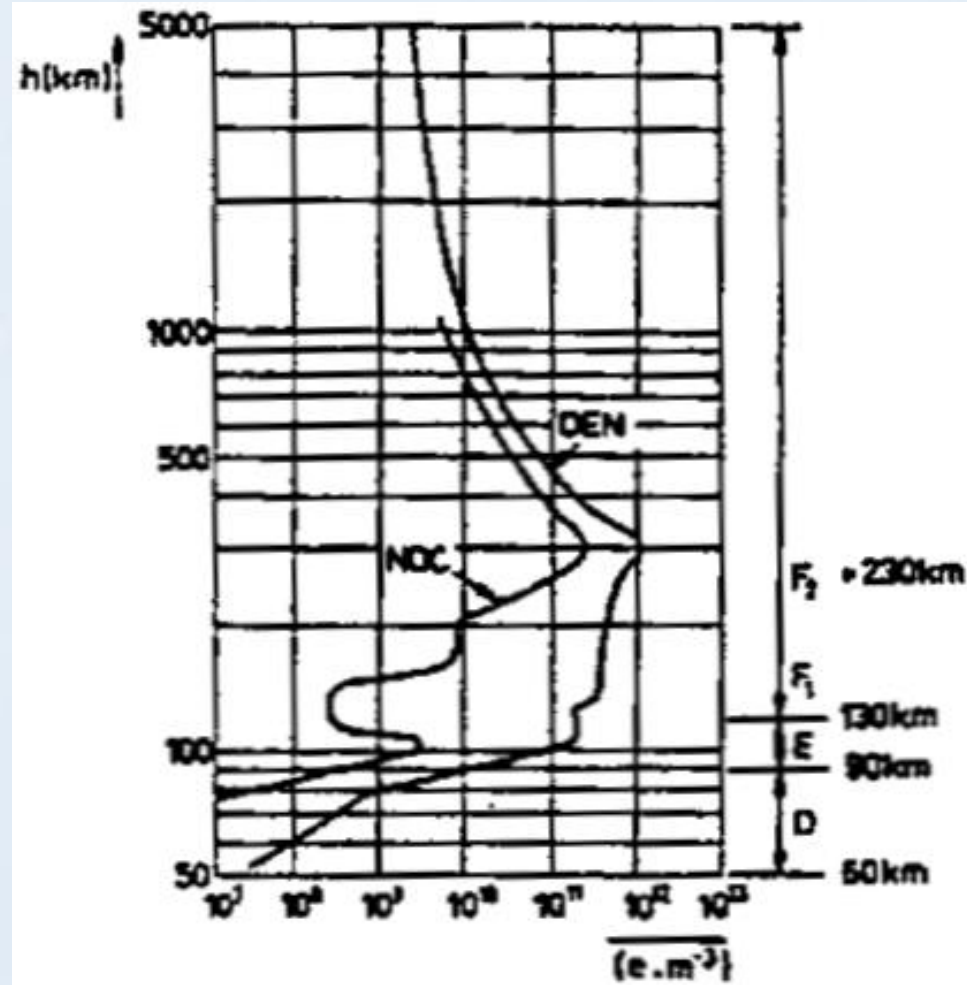


IONOSFÉRICKÉ ŠÍŘENÍ VLN

Předpokládejme model ionosféry tvořené jednotlivými tenkými vrstvami s konstantní koncentrací elektronů ve vrstvičce (koncentrace postupně vzrůstá) a paprsek se postupně ohýbá směrem k zemi (na jednotlivých vrstvách platí $n_1 \sin \varphi_1 = \dots = n_n \sin \varphi_n$. Index lomu závisí na frekvenci. Pro frekvence vyšší než kritická frekvence f_{max} (závisí na koncentraci elektronů v ionosféře) se už nebude vracet k zemi.



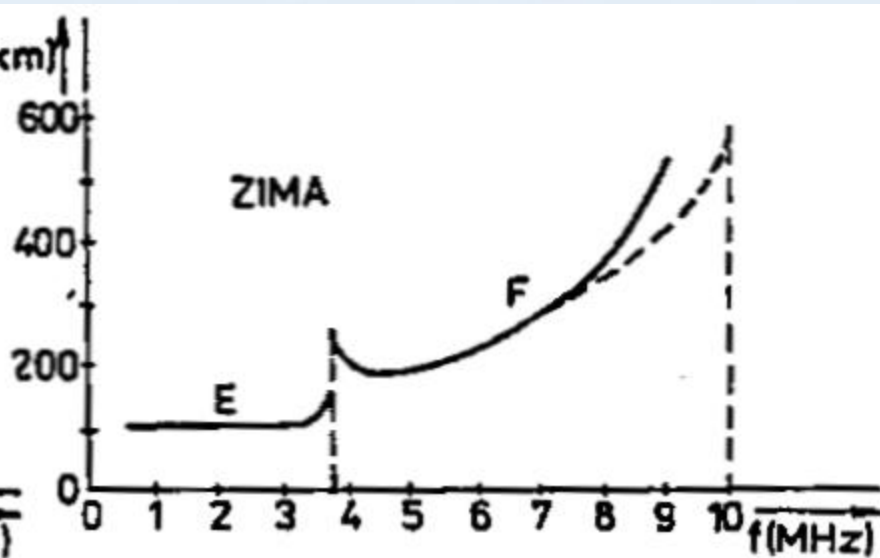
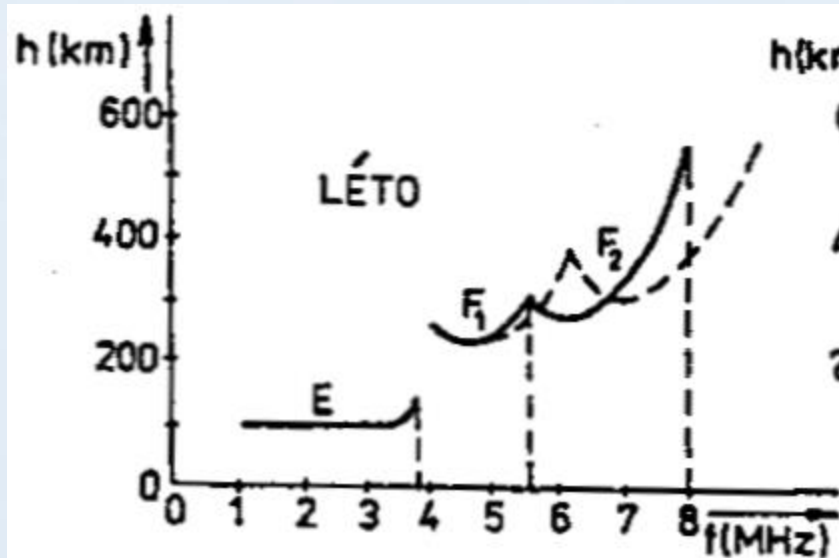
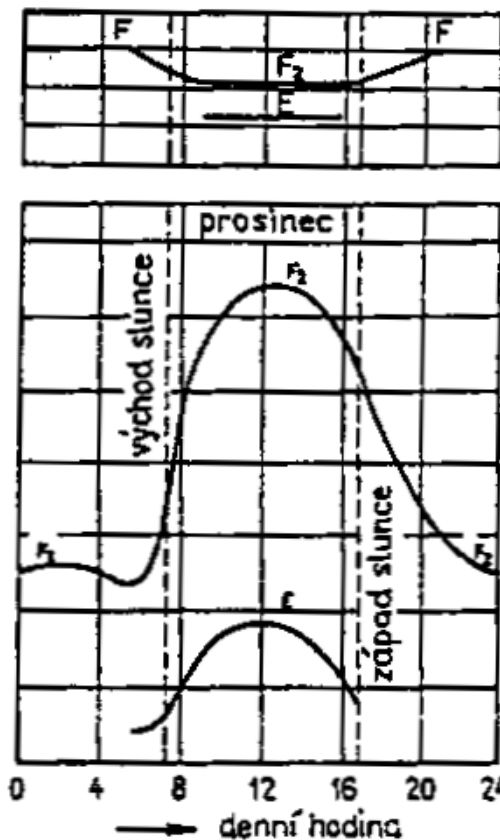
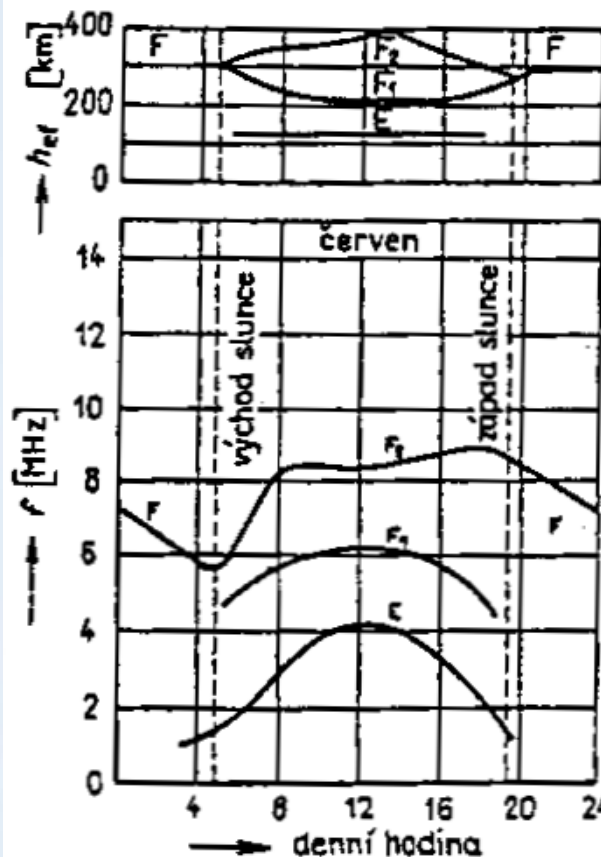
Průběh elektronové koncentrace v ionosféře



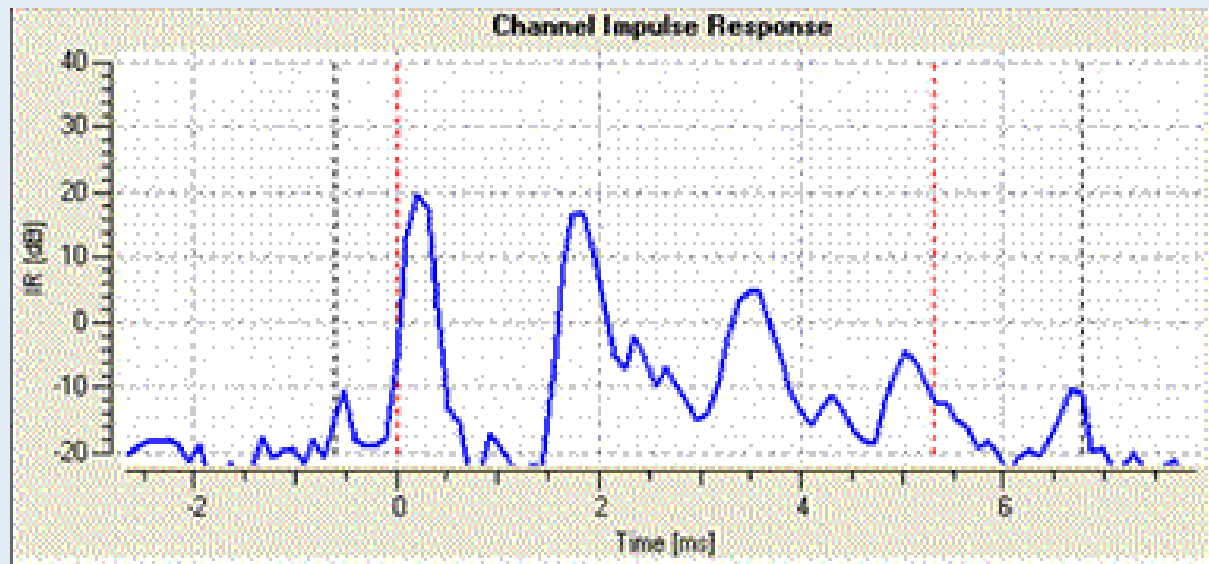
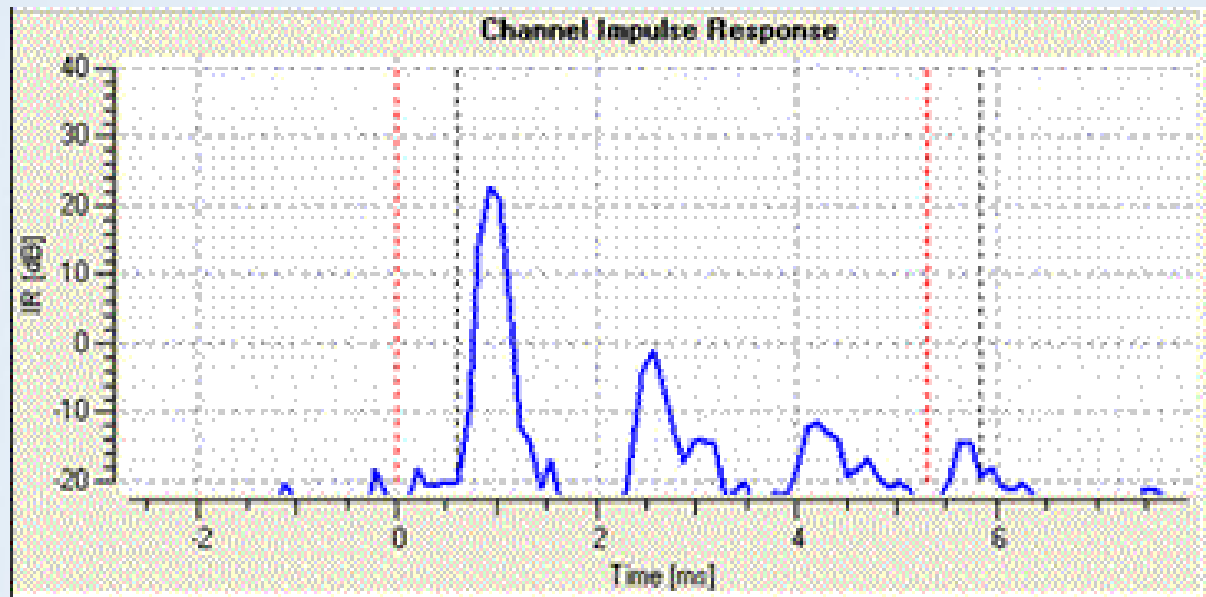
EXPERIMENTÁLNÍ ÚDAJE

Ionosférické stanice zjišťují experimentálně radarovou technikou závislost výšky odrazu pomocí postupně se měnící frekvence vertikálně směřovaného paprsku. Tím lze experimentálně stanovit kritické frekvence jednotlivých ionosférických vrstev.

Průběhy kritických kmitočtů v létě a zimě



Vf systémy s použitím ionosférického šíření mohou mít velmi podstatné zpoždění a změnu kmitočtů v důsledku Dopplerova jevu $\sim 2\text{ms}$ (600 km), patrně vrstva F ve výšce 300 km. Obvykle je jejich používání velmi omezené (kmitočty řádově 1 MHz).

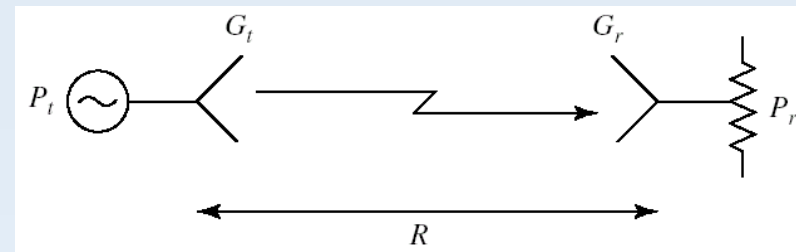


Rovnice přenosu

Výkon P_t , který přijímací anténa ve vzdálenosti R přijímá, bude

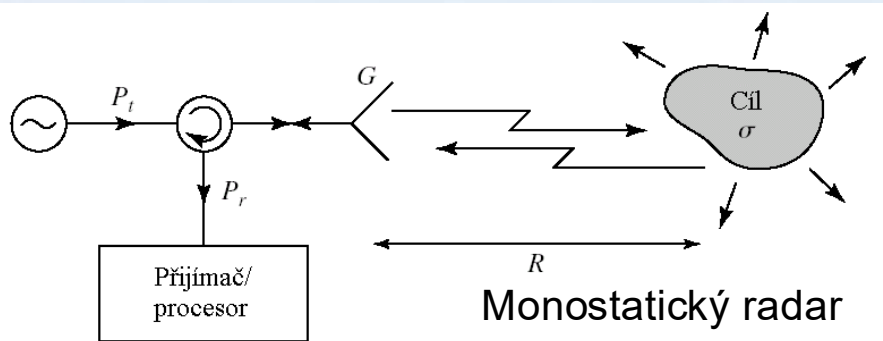
$$P_r = \frac{P_t G_t(\theta)}{4\pi R^2} S_r \eta = P_t G_t(\theta) G_r(\theta) \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

kde P_t je vysílaný výkon libovolného zařízení, G_t je zisk vysílací antény (zařízení), S_r je plocha apertury antény, ale i libovolné zařízení s efektivní přijímací plochou $\eta S_R = G_R \lambda^2 / (4\pi)$, η je využití apertury a G_r je zisk přijímací antény (zařízení).



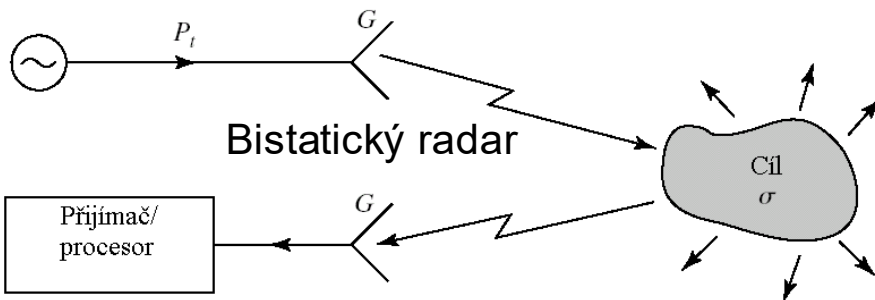
Vazba vyzařováním

Radarová rovnice



(a)

Monostatický radar



(b)

Bistatický radar

Bude-li mít přijímací anténa efektivní přijímací plochu $\eta S_R = G_R \lambda^2 / (4\pi)$, dostaneme pro přijímací výkon P_R následující radarovou rovnici

$$P_R = \frac{P_T G_T}{(4\pi R^2)^2} \sigma S_R \eta = P_T G_T G_R \sigma \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3 R^4}$$

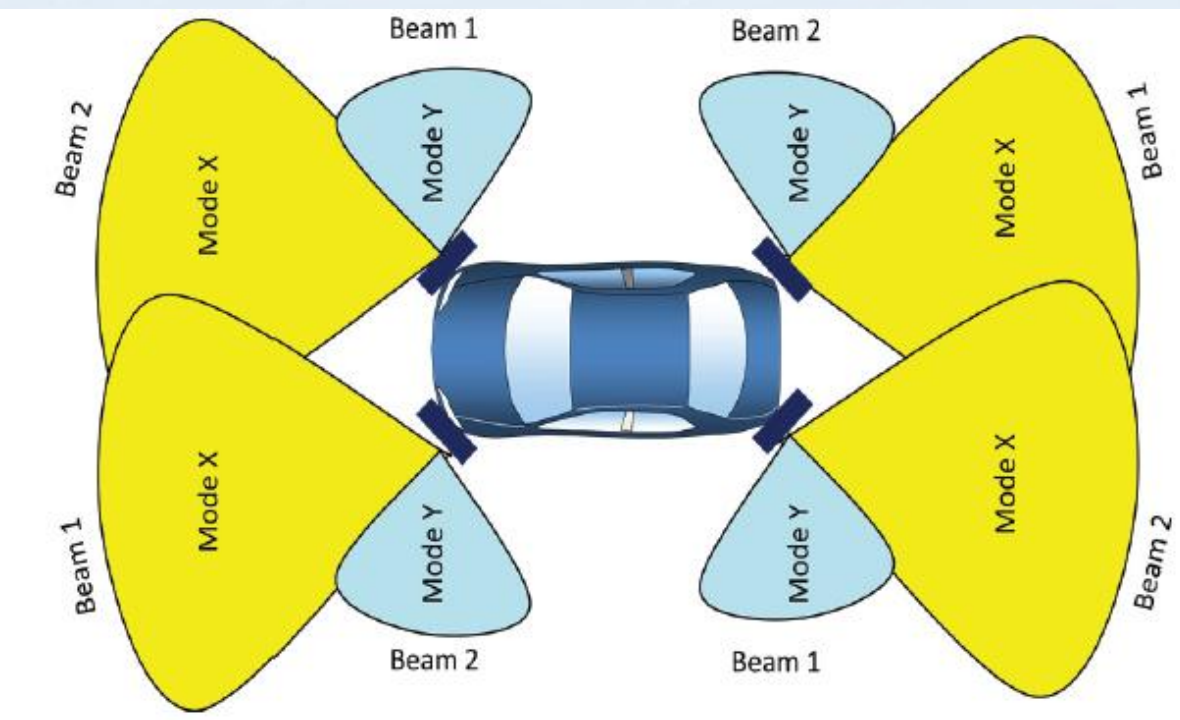
V radarech se obvykle používá stejná anténa pro vysílání i příjem (monostatický radar) a pak se veličina σ nazývá efektivní odrazná plocha (radar cross section RCS).

RADARY

Zjišťují předměty pomocí vln a měří jejich vzdálenosti, případně polohu. První uplatnění našly radary v armádě při ostraze vzdušného prostoru proti nepřátelským letadlům. Dnes zastávají vojenské radary řadu funkcí v letectví, v raketové technice, v lodní navigaci, ochraně vzdušného prostoru atd. V civilní oblasti se používají radary v navigaci (zejména letecké), při přistávacím manévru (přibližovací radary), nebo jsou součástí kontroly a sledování provozu na povrchu letiště. Lodní a automobilové radary výrazně zvyšují bezpečnost provozu. Rozšířilo se uplatnění radarů pro mapování a sledování povrchu Země i atmosféry ze satelitů. Moderními metodami zpracování signálu se dosáhlo vysoké rozlišovací schopnosti a stálosti zobrazení z velké vzdálenosti (např. pohyb terénních útvarů dokonce v rozmezí několika cm za rok).

OPRL – 4

Automobilové radary





Česká republika patří mezi přední světové výrobce radarových měřičů rychlosti. Silniční rychloměry RAMER10 jsou již pátou generací měřičů rychlosti. Mobilní i fixní systémy si získaly přízeň a staly se oblíbenými nástroji mezi uživateli v mnoha zemích po celém světě.



Radarové a bezdrátové inovace v silniční dopravě (automobily a cyklisti)

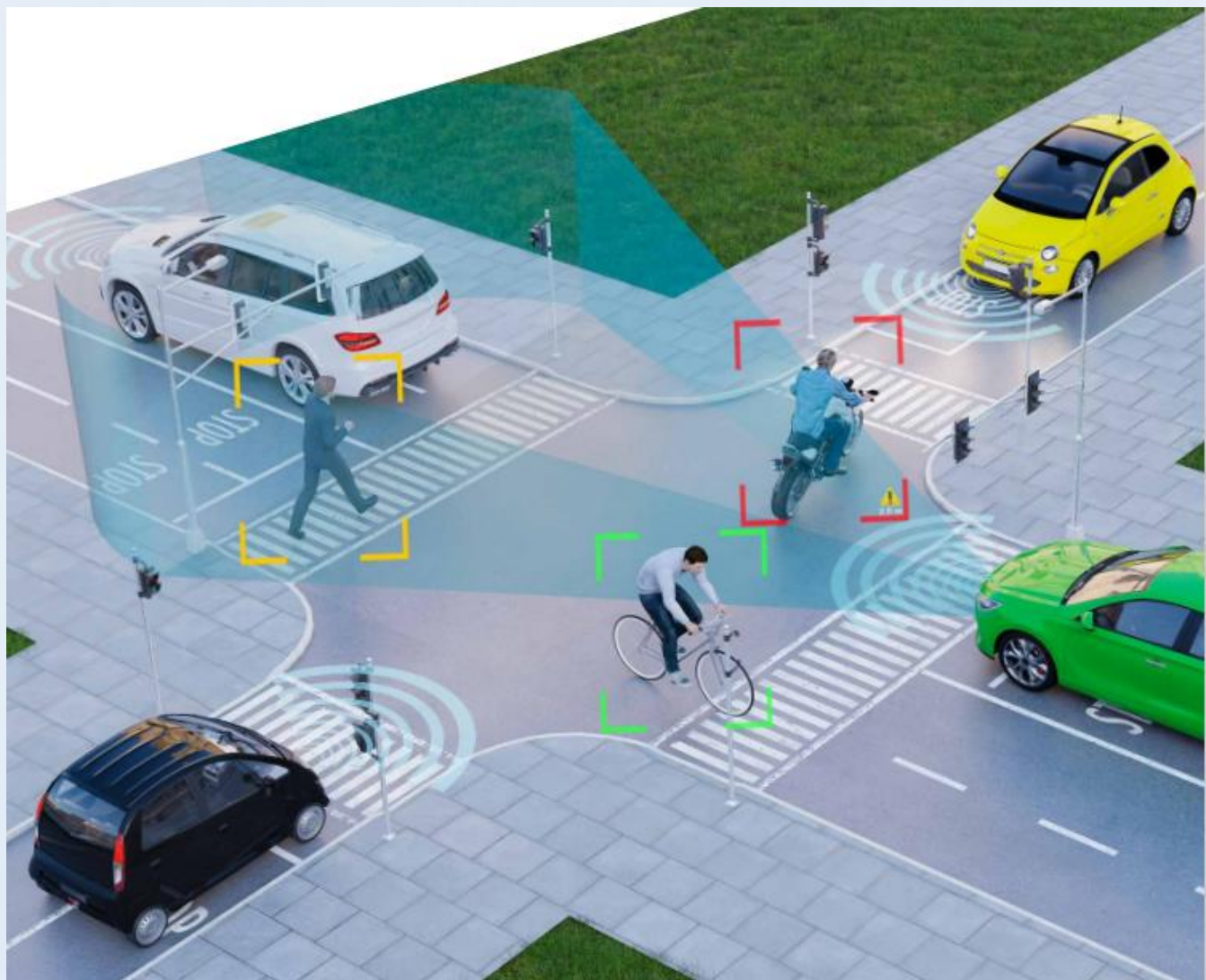
Automobil se vyvinul ze složitého mechanického stroje poháněného spalovacím motorem na to, co se příhodně nazývá počítač na kolech, s motorem na fosilní paliva, který ustupuje energii z baterií. Elektronické systémy v moderním automobilu nejsou jen monitorování, výpočty a řízení tradičních mechanických systémů.

Automobilové radary
(odhaduje se, že **ročně se vyrábí více než 100 miliónů automobilových radarů**)

Bezdrátové systémy zlepšují bezpečnost, udržují konektivitu a zvyšují pohodlí pro pasažéry.

V USA je 40 procent cyklistů zraněných v provozu sraženo zezadu.

Cyklistický radar detekuje blízkost vozidla a zvyšuje jas a intenzitu blikání, takže cyklista je pro řidiče viditelnější.





Stížnosti na selhání výškoměru po nasazení spotřebitelského C-pásma

V lednu 2022 nejméně tři lety nad Tennessee současně zaznamenaly chyby výškoměru, které podle jednoho z pilotů "znemožnily udržet přidělenou nadmořskou výšku". Jedno letadlo ztratilo svého autopilota úplně a při přistání na něj čekaly hasičské vozy.

V únoru osobní letadlo při přiblížení k mezinárodnímu letišti Louise Armstronga v New Orleans zažilo nevyzpytatelná varování v nízké výšce, když letělo pod 1 000 stop. "Tento druh chybných varovných indikací by byl extrémně rušivý v náročnějším prostředí, jako je nízká viditelnost, námraza atd.," napsal pilot později.

V březnu komerční letadlo, které přistálo na autopilota na mezinárodním letišti v Los Angeles, náhle přešlo do agresivního sestupu pouhých 100 stop nad zemí. "Převzal jsem kontrolu nad letadlem, zvedl nos a přistál," hlásil pilot. "Byl to velmi alarmující tlak autopilota. V jiných podmínkách to mohlo způsobit havárii."

Všechny tři incidenty - a mnoho dalších v roce 2022 - byly piloty spojeny s problémy s rádiovými (radarovými) výškoměry letadel, na které se piloti spoléhají při vzletu a přistání, a aby se vyhnuli nárazu do hor. Tato data se také přivádějí do kritických přístrojů - autopilota, automatické škrticí klapky a přistávacích systémů.

Na tyto problémy upozornil IEEE Spectrum (13 Oct 2022). Podle IEEE Spectrum (11 Dec 2024) na rozdíl od studie RTCA, která brala v úvahu pouze šíření v přímé viditelnosti, vícecestná analýza a modelování interakce s terénem a strukturami budov, ukazuje, že nárůst rušení je dostatečný k porušení bezpečnostní rezervy používané RTCA pro starší radarové výškoměry s nízkou výkonnými frekvenčními filtry.



Pro měření EMC (EMI i EMS) se používají **odrazové komory**, které „míchadly“ generují zhruba statisticky homogenní a izotropní EM pole.

Naproti tomu často užívané **bezodrazové komory** s absorpčními jehlany či kužely s grafitovou impregnací realizují impedanční transformátor, který převádí impedanci vzduchu na „špičkách“ jehlanů na nízkou impedanci prostoru zaplněného absorbérem v zadní části jehlanů. Největší pohlcení energie dopadající vlny nastává až v zadní části absorbéru a tím jsou rušivé odražené vlny účinně pohlceny.

Testování EMC nejen v automobilovém průmyslu je stále náročnější s technologickým vývojem autonomního řízení a elektrických vozidel. Kromě stanovených testů a dodržování standardů EMC, zejména pro elektrická vozidla a pokročilé radary, existují také automatizované testy v různých jízdních podmínkách. Rostoucí integrace bezdrátových technologií zvyšuje zranitelnost vůči problémům s kompatibilitou. Dnes existují plně vyhovující zkušební zařízení pro všechny normy EMC.



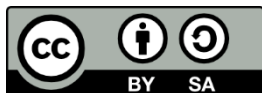
Není zcela jasné, zda je tento test podle nařízení EU
(omlouvám se za špatný vtip)

**Ovšem používání stejných norem EU umožní, že výrobek
otestovaný v jedné zemi lze vyrábět, vystavovat a prodávat ve
všech EU zemích**

Děkuji za pozornost

Vytvořeno v rámci projektu **Green Deal UPCE**, reg. č. NPO_UPCE_MSMT-2142/2024-4.

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