

15. Technické možnosti pre prenos signálov

Cieľ kapitoly: V tejto kapitole sa budeme zaoberať základnými technickými prostriedkami pre prenos správ. Budú to vedenia metalické, optické a komunikačné systémy používajúce rádiové vlny .

15.1 Telekomunikačné metalické vedenia

Pod metalickým telekomunikačným vedením rozumieme vedenie, ktorého súčasťou sú kovové, spravidla medené, vodiče. Pomerne vysoká cena medi a v porovnaní s optickými vláknami horšie prenosové schopnosti, obmedzujú použiteľnosť metalických káblov na dlhých vysokokapacitných spojoch. Na druhej strane už existujúca sieť metalických káblov je veľmi hustá a pokrýva celý civilizovaný svet. Vďaka tomu a vďaka trvanlivosti metalických vedení budú tieto vedenia zrejme ešte dlhú dobu využívané pre prenos správ.

Parametre telekomunikačných vedení

Úlohou telekomunikačného vedenia je preniesť signál z jedného miesta na druhé. Je nutné, aby pri prenose nedochádzalo k nadmernému skresleniu signálu, t.j. aby všetky harmonické zložky signálu boli prenesené s približne rovnakým oneskorením a s približne rovnakým tlmením. Pre zaistenie spoľahlivej funkcie komunikačnej sústavy je nutné, aby na výstupe vedenia bol dostatočný odstup medzi výkonom užitočného signálu a výkonom rušivých signálov.

Na komunikačné vedenie sa môžeme pozerať ako na obvod s rozloženými parametrami. Uvažujme o vedení tvorenom dvoma rovnobežnými vodičmi. Na každý meter vedenia pripadá istá kapacita C medzi vodičmi, jej hodnota je závislá od priemeru vodičov, vzdialenosti medzi vodičmi a od vlastností a priestorovom usporiadaní dielektrika oddeľujúceho obidva vodiče. Podobne na každý meter vodiča pripadá istá pozdĺžna indukčnosť L , pozdĺžny odpor R a priečna vodivosť G . Parametre vedenia sú závislé na kmitočte. Parametre C a L sú kmitočtovo málo závislé. Priečna vodivosť a pozdĺžny odpor s kmitočtom rastú. Príčinou rastu hodnoty pozdĺžneho odporu je povrchový jav. Snaha znižovať materiálovú náročnosť sa v priebehu rokov v mnohých prípadoch prejavila postupným zmešovaním priemeru vodičov a tým aj rastom pozdĺžneho odporu.

Charakteristická impedancia vedenia Z_0 je daná vzťahom:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (15.1)$$

Ďalšou významnou veličinou popisujúcou vedenie budené harmonickým signálom s uhlovým kmitočtom ω je merná miera prenosu

$$\gamma_c = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (15.2)$$

Kde α je merné tlmenie a β je merný fázový posuv

V praxi sa merné tlmenie udáva v dB na kilometer dĺžky vedenia a merný fázový posuv v radiánoch na kilometer. Dĺžka vlny na vedení ja daná vzťahom

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad (15.3)$$

Napätie na vedení má všeobecne dve zložky: hlavnú, resp. postupnú vlnu a odrazenú vlnu. Pri nekonečne dlhom homogénnom vedení odrazená vlna nevzniká, komplexná amplitúda U_x vo vzdialenosti x od začiatku vedenia je daná vzťahom

$$U_x = U_1 \exp[-(\alpha + j\beta)x] \quad (15.4)$$

Kde U_1 je komplexná amplitúda napätia na začiatku vedenia, tj. v mieste, kde $x = 0$. Z uvedeného vzťahu vyplýva, že amplitúda napätia pozdĺž vedenia exponenciálne klesá. Počiatočná fáza sa pozdĺž vedenia mení lineárne. Fázová rýchlosť šírenia v_f je definovaná vzťahom

$$v_f = \frac{\omega}{\beta} \quad (15.5)$$

Je to rýchlosť, s ktorou sa pozdĺž vedenia šíri napr. maximum harmonického napätia. Všeobecne je fázová rýchlosť kmitočtovo závislá.

Pre účely popisu prenosu zpráv pomocou úzkopásmových, tzv. kľúčovaných alebo modulovaných signálov sa zavádza skupinová rýchlosť šírenia v_s . Je to rýchlosť, s ktorou sa po vedení šíria zazneje dvoch harmonických signálov s veľmi blízkymi kmitočtami. Skupinová rýchlosť šírenia je pre uhlový kmitočet $\omega = \omega_c$ definovaná vzťahom

$$v_s = \left. \frac{d\omega}{d\beta} \right|_{\omega=\omega_c} \quad (15.6)$$

Je nutné, aby v rozsahu kmitočtov pokrývajúcich spektrum prenášaného signálu bola skupinová rýchlosť konštantná. Je možné ukázať, že pri nekonečne dlhom homogénnom vedení a pri vedení síce konečnej dĺžky, ale zakončeného impedanciou $Z_2 = Z_0$ je tiež vstupná impedancia vedenia $Z_1 = Z_0$. V oboch prípadoch na vedení nevzniká odrazená vlna. Pokiaľ vedenie nie je zakončené impedanciou Z_0 , potom odrazená vlna vzniká a hodnoty modulu i argumentu vstupnej impedanci vedenia sú závislé na kmitočte. Podobne sa môžu prejavovať i nehomogenity vyskytujúce sa v rôznych miestach vedenia. Môžu vzniknúť napr. pri oprave preseknutím poškodeného káblu.

V prenosovej technike dávame prednosť bezodrazovému zakončeniu vedenia pred výkonovým prispôbením. Za vedenie prakticky nekonečne dlhé považujeme vedenie s veľkým útlmom, napr. 25 dB a viac. Pri tomto vedení sa už odrazená vlna na vstupe vedenia príliš neprejaví ani pri výrazne nesprávnom zakončení vedenia.

Za elektricky krátke vedenie považujeme vedenie s dĺžkou menšou než 0.1λ a tiež vedenie s útlmom menším než asi 1,3 dB. Patrí sem predovšetkým vedenie využívané od najnižších kmitočtov, aby nevznikali veľké odrazy.

Symetrické káble

Komunikačný symetrický kábel má dve základné časti: dušu a obal. Názov symetrický označuje, že prvky káblov majú elektricky symetrické usporiadanie voči zemi. Prvky káblov môžu byť: krútený pár, tieňový pár a krížová štvorka.

Klasický krútený pár (twisted pair) používaný v účastníckych telefónnych prípojkách je tvorený dvoma medenými vodičmi s priemerom od 0,4 do 0,9 mm. Vodiče sú izolované farebnou izoláciou s použitím rôznych farieb a ich kombinácií, aby bolo možné jednotlivé páry od seba ľahšie odlíšiť. Vodiče sú navzájom skrútené, odtiaľ názov prvku.

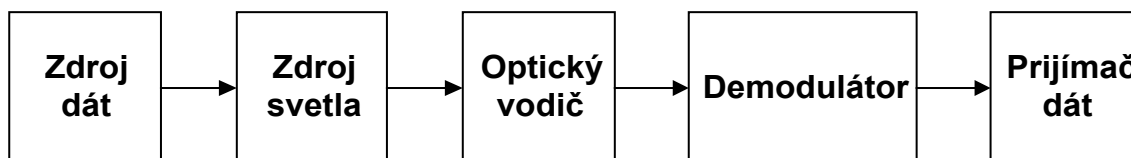
Krížová štvorka je tvorená 4 vodičmi stáčanými so spoločnou dĺžkou zkrutu. Z hľadiska prevedenia i použitia sa dajú symetrické káble rozdeliť na nízkofrekvenčné a vysokofrekvenčné. Zaujímavé je, že snaha využiť obrovské množstvo už položených účastníckych vedení podporuje budovanie systémov pracujúcich so signálom, ktorého horný medzný kmitočet je o niekoľko rádov vyšší oproti hornému medznému kmitočtu signálu telefónneho.

Koaxiálny kábel

Pod koaxiálnymi káblami rozumieme káble, ktorých jadro je tvorené koaxiálnymi vodičmi doplnenými spravidla niekoľkými symetrickými štvorkami a krútenými pármí. V telekomunikačnej technike sa koaxiálnemu vedeniu hovorí koaxiálny pár.

15.2 Optické telekomunikačné systémy

Dvojbodový optický spoj s optickým káblom je nakreslený na obr. 15.1. Zdroj svetla je tu modulovaný elektrickým signálom dodávaným zo zdroja dát. Svetlo sa tak stáva nositeľom informácie. Zdroj svetla je naviazaný na optický vodič, ktorý je súčasťou optického kábla. Optickým káblom sa prenáša svetelná energia do demodulátora. V ňom sa svetelným signálom vedená informácia opäť vyjadří pomocou elektrického signálu a privedie sa potom do prijímača dát.



Obr. 15.1 Bloková schéma optického komunikačného systému

Optické vlákno

Pre telekomunikačné účely sa používajú tzv. jednovidové optické vlákna s malým priemerom jadra. Šírenie svetla v optických vláknach je spojené so stratami. Tie sa dajú popísať vzťahom

$$P(r) = P_0 10^{-0.1\alpha r} \quad (15.7)$$

Kde $P(r)$ je výkon svetla vo vzdialenosti r km od začiatku vlákna,

P_0 je výkon svetla vstupujúceho do optického vlákna

α je koeficient tlmenia v dB/km.

Vzťah hovorí, že ztraty v optickom vlákne sú obmedzujúcim faktorom z hľadiska maximálnej dĺžky optického spoja. Ak poklesne výkon na konci optického vodiča pod prahovú úroveň, bude demodulátor pracovať neuspokojivo. V posledných rokoch bol tento problém pomerne úspešne prekonaný zavedením zosilňovačov svetla (EDFA, erbídium-doped fiber amplifier). Tieto zosilňovače pracujú v rozsahu vlnových dĺžok 1530-1560 nm. Sú extrémne širokopásmové (asi 3 THz), ich zisk je komerčne 20 až 30 dB.

Činiteľ tlmenia je závislý od materiálu vlákna a od vlnovej dĺžky svetla. Pri bežnom vlákne z kremenného skla má koeficient tlmenia lokálne minimum na vlnových dĺžkach 800, 1300 a 1500 nm. Posledné minimum je minimum globálne.

λ [nm]	Činiteľ tlm. [dB/km]	Disperzia [ps/km nm]
870	1,5	-80
1312	0,3	0
1550	0,16	+17

Obr. 15.2 Činiteľ tlmenia a disperzia súčasného optického vlákna

Dĺžka optického spoja spoja môže byť tiež obmedzená tzv. disperziou, rozptylom. Jedná sa o rozptyl dôb priechodov zložiek svetla optickým vodičom. Disperzia sa prejavuje tým, že odozvou optického vodiča na úzky svetelný impulz je v čase rozšírený svetelný impulz. To samozrejme zabraňuje neobmedzenému zvyšovaniu prenosovej rýchlosti.

Cestou k zvýšenej prenosovej rýchlosti je viacnásobné využitie jedného svetelného vlákna na viac (napr. na 40) rôznych vlnových dĺžok. Volia sa dĺžky v oblasti okolo 1550 nm s tým, že všetky čiastkové signály sa môžu zosilňovať jedným zosilňovačom EDFA vďaka jeho širokopásmovosti. V roku 1998 bola komerčne dosiahnuteľná prenosová rýchlosť 100 Gb/s na jednom vlákne. Sú očakávané prenosové rýchlosti nad 1Tb/s. Systém využívajúci viac vlnových dĺžok sa označuje WDM (wavelength-division multiplexing) a je obdobou kmitočtového multiplexu (FDM) známeho z elektrických komunikačných systémov. Vlnový multiplex sa kombinuje s časovým multiplexom TDM.

Zdroje svetla

Parametre zdrojov svetla sú výkon, maximálna použiteľná modulačná rýchlosť, šírka spektrálnej čiary a úroveň vlastného šumu. Laserové diódy poskytujú výkony rádovo desiatky miliwattov a dovoľujú kľúčovanie s prenosovou rýchlosťou rádovo Gb/s. Úzke spektrálne čiary a väčšie prenosové rýchlosti poskytujú špeciálne lasery.

Detekcia

Pre detekciu svetla sa používajú fotodiódy p-i-n a lavínové (APD) fotodiódy. Je tiež možná heterogénna detekcia s pomocou optického zmiešavača a pomocného generátora optického signálu.

15.3 Rádiokomunikačné systémy

Rádiokomunikačný systém sa vyznačuje tým, že sa signál od vysielača k prijímaču šíri ako elektromagnetické vlny. Klasický rádiokomunikačný systém sa skladá z rádiového vysielača, vysielačej antény, prostredia, ktorým sa šíria rádiové vlny, prijímacej antény a rádiového prijímača. Pod vysielačou anténou rozumieme zariadenie, v ktorom sa elektrická energia mení na elektromagnetické vlny. Prijímacia anténa zachytáva elektromagnetické vlny a premieňa ich na elektrické napätie.

Prenos výkonu rádiovým kanálom je vždy spojený so základným tlmením závislým od vzdialenosti medzi vysielačom a prijímačom., presnejšie, medzi vysielačom a prijímacou anténou. Predstavme si bodovú, do všetkých smerov rovnomerne vysielačujúcu anténu. Každou guľovou plochou opísanou okolo antény bude prechádzať rovnaký výkon. Znamená to, že výkon pripadajúci na jednotkovú plochu bude klesať s kvadrátom vzdialenosti od vysielačovej antény. Tento jednoduchý fyzikálny princíp obmedzuje dosah rádiového vysielačania. Má však tiež svoj pozitívny dôsledok. Ak sú dva vysielače dostatočne vzdialené, môžu pracovať na rovnakom kmitočte bez toho, aby sa významne rušili.

Dosah rádiového spoja je závislý od výkonu vysielača, od citlivosti prijímača pri použití modulačnom systéme, od tlmenia spojeného so šírením rádiových vln a od zisku antén. Zisk antén rastie s ich smerovosťou. Smerového účinku môžeme ľahšie dosiahnuť pri kratších vlnových dĺžkach.

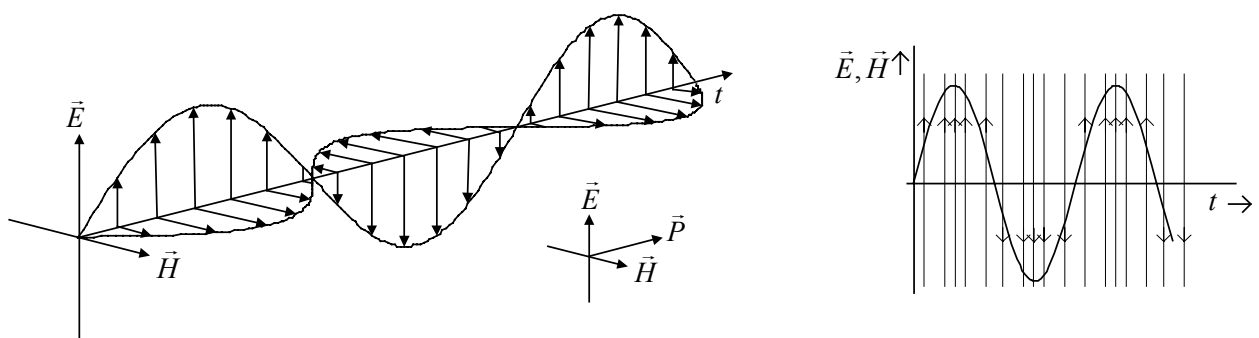
Pre rádiové vysielačenie je dnes k dispozícii obrovský kmitočtový rozsah od jednotiek kHz po stovky GHz. Ukázalo sa však, že ľudstvo je schopné veľmi rýchlo zaplniť všetky prakticky použiteľné kmitočtové rozsahy. Preto je pridelovanie kmitočtových pásiem dôkladne medzinárodne koordinované a riadené. Sú tiež stanovené veľmi prísne požiadavky na stálosť kmitočtov vysielačov a obmedzenosť širok spektrier nimi vyžarovaných signálov. Nedodržanie požiadaviek vedie k vzájomnému rušeniu jednotlivých rádiokomunikačných služieb.

Šírenie rádiových vln

Šírenie rádiových vln z jedného miesta na druhé sa môže niekoľkými základnými mechanizmami:

1. priamočiarym šírením,
2. šírením s odrazom od zeme

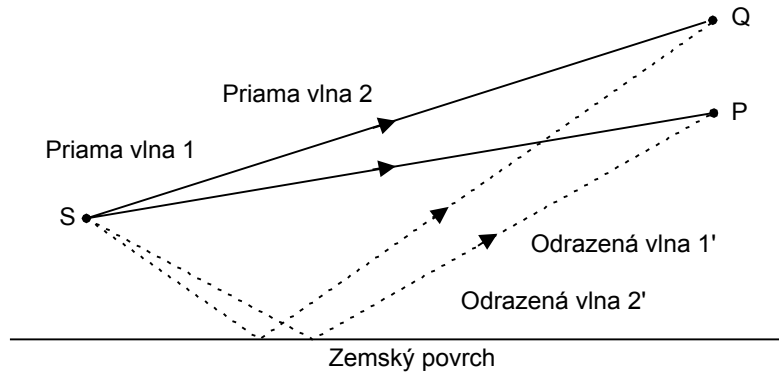
Priamočiare šírenie elektromagnetických vo voľnom priestore a v dostatočnej vzdialenosti od zdroja možno dostatočne presne popísať pomocou tzv. rovinatej vlny v ktorej sú vektory elektrickej a magnetickej intenzity kolmé na smer šírenia. Pre harmonickú vlnu to znázorňuje nasledujúci obrázok.



Obr.15.3 Šírenie priamej harmonickej rovinatej vlny vo voľnom priestore

Idealizovaná rovinná vlna v bezstratovom prostredí nemení pri šírení svoju amplitúdu. V skutočných podmienkach však klesajú amplitúdy elektrickej aj magnetickej zložky podľa zákona $1/r$, kde r predstavuje vzdialenosť od zdroja vlnenia. Tento základný zákon poklesu intenzity v bezstratovom prostredí vyplýva z konštantného celkového výkonu elektromagnetických vln na guľovej ploche s

polomerom r . V prípade stratového prostredia je pokles amplitúd väčší. Podrobnejšie vysvetlenie možno nájsť v každej učebnici o šírení elektromagnetických vln. Ak uvažujeme šírenie elektromagnetickej vlny nad zemským povrchom, dochádza k šíreniu odrazenej vlny od zemského povrchu. Situáciu možno zjednodušene vystihnúť pomocou tzv. lúčov charakterizujúcich smer pohybu čela vlny.



Obr. 15.4 Šírenie priamych a odrazených vln

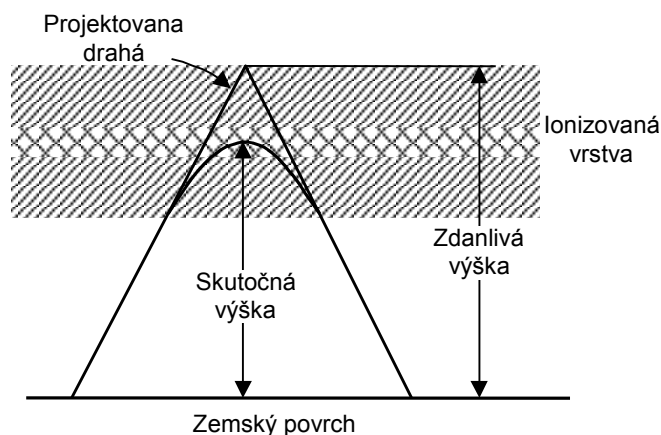
V bodoch P, Q je okamžitá hodnota intenzity E, H dana vektorovým súčtom intenzít E, H priamej a odrazenej vlny. Odrazená vlna môže podporiť, alebo oslabiť priamu vlnu. Je to závislé od polohy bodov P, Q. Oslabenie vlny však môže byť v konkrétnych podmienkach značné. Tento efekt je charakteristický napríklad pri prijíme signálu FM rozhlasu v pohybujúcom sa aute v mestských podmienkach.

3. šírením pozdĺž povrchu zeme

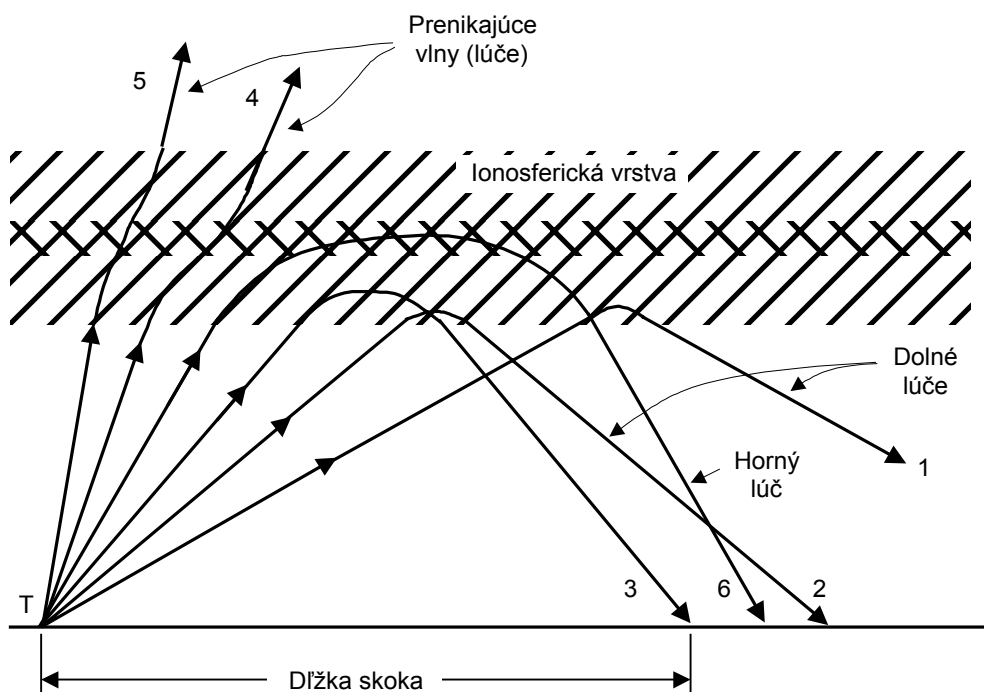
Šírenie pozdĺž zemského povrchu je spojené s vírivými stratami v zemi v dôsledku konečnej vodivosti zeme. Tým sa dá vysvetliť znižovanie dosahu povrchovej vlny pri rastúcom kmitočte.

4. šírením s odrazom od ionosféry

Šírenie s odrazom od ionosféry je typické pre dekametrové vlny. Je to zaujímavý, ale treba povedať, že aj dosť časovo zložitý spôsob šírenia vo frekvenčnom pásme zhruba od 500kHz do 30MHz (typický je tento spôsob pre krátke vlny s frekvenciou 3 až 20MHz). Ionosferická vrstva je oblasťou so zvýšenou koncentráciou elektrónov a iónov, teda so zvýšenou elektrickou vodivosťou. Elektróny a kladné ióny vznikajú rozštiepením neutrálnych atómov v dôsledku pôsobenia ultrafialovej zložky slnečného žiarenia.

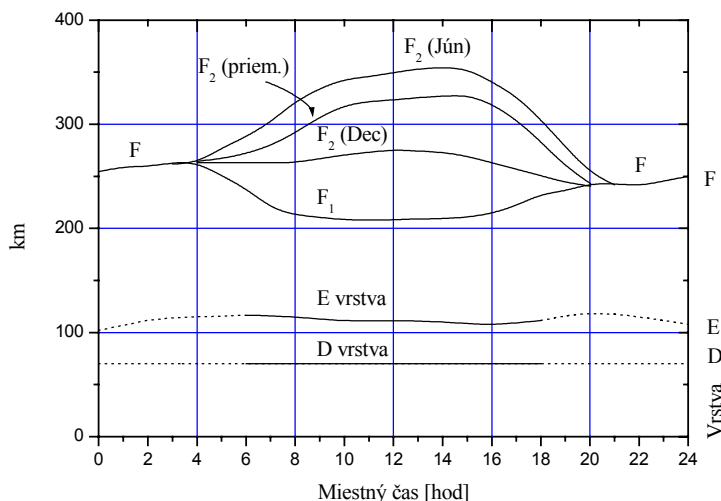


Obr. 15.5 Ionosferická vrstva a základný spôsob odrazu elektromagnetickej vlny od nej.



Obr. 15.6 Charakter odrazu vlny od ionosférickej vrstvy pre rôzne uhly

Stav ionosféry je silne závislý od denného a ročného obdobia a od aktivity Slnka. Ionosferické vrstvy sa objavujú vo výškach od 60 do 400 km. Prehľadne je to znázornené na nasledujúcom obrázku pre základné ionosferické vrstvy D, E, F₁, F₂ objavené dlhodobými meraniami.



Obr.15.7 Parametre základných ionosferických vrstiev v závislosti od dennej aj ročnej doby.

K tomu, aby sa rádiové žiarenie odrazilo od ionosféry ako od vodivej vrstvy, musí byť splnená podmienka

$$f < \frac{f_c}{\cos \alpha} \quad (15.8)$$

kde f je kmitočet rádiového signálu, f_c je kritický kmitočet ionosferickej vrstvy a α je uhol dopadu žiarenia na vrstvu. Kritický kmitočet je hraničný kmitočet, od ktorého sa prestáva pri kolmom dopade na ionosféru signál odrážať späť k zemi a začína prenikať ionosferickou vrstvou smerom do kozmu. Odraz od ionosféry je spojený s tlmením.

Označenie pásma	Frekvenčný rozsah
HF	3-30 MHz
VHF	30-300 MHz
UHF	300-1000 MHz
L	1-2 GHz
S	2-4 GHz
C	4-8 GHz
X	8-12 GHz
Ku	12-18 GHz
K	18-27 GHz
Ka	27-40 GHz
V	40-75 GHz
W	75-110 GHz
	110-300 GHz

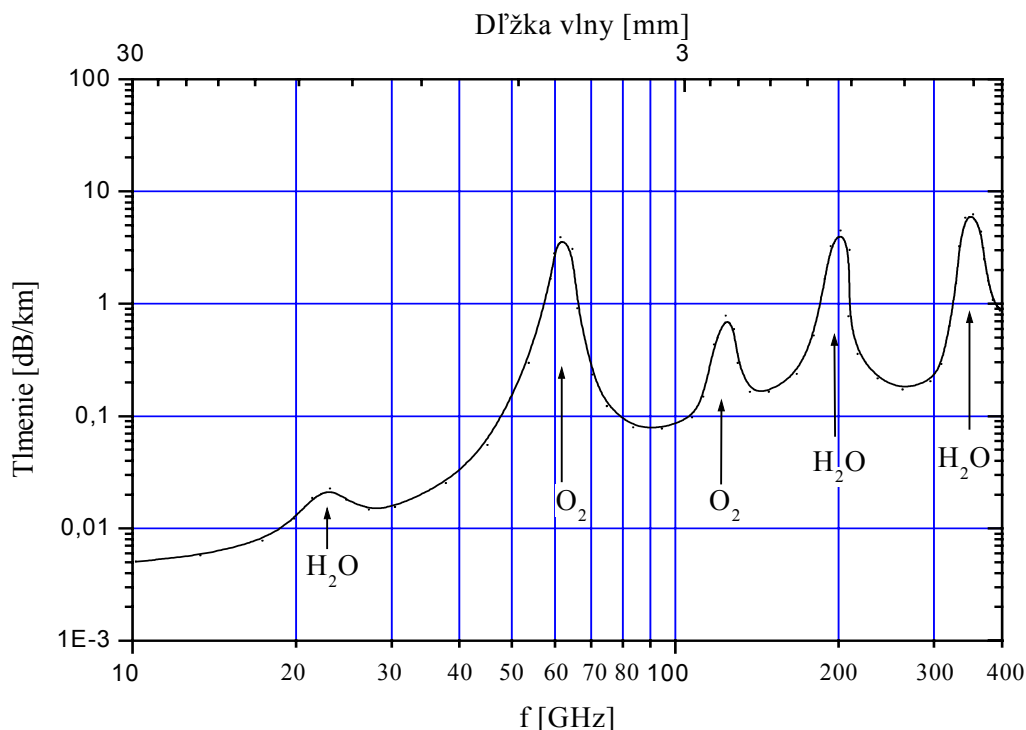
Obr. 15.8 Základné rozdelenie vyšších rádiových pásiem a ich označenie

Spôsoby šírenia elektromagnetických vln

Charakter šírenia rádiových vln je silne závislý od vlnovej dĺžky rádiových vln. V podstate sa dá vychádzať so zjednodušenej predstavy, že rádiové žiarenie s veľmi dlhou vlnovou dĺžkou má vlastnosti blízke vlastnostiam statického elektromagnetického poľa a rádiové žiarenie s veľmi krátkou vlnovou dĺžkou má vlastnosti blízke vlastnostiam svetla.

Kilometrové vlny sa šíria prevažne povrchovou vlnou, ktorá je pomerne málo tlmená. Hektometrové vlny sa šíria cez deň povrchovou vlnou, ktoré je však už viac tlmená. V noci sa šíria na veľké vzdialenosti odrazom od ionosféry. Dekametrové vlny sa pri použití povrchovej vlny môžu používať pre spojenie na pomerne malé vzdialenosti. Pri využití odrazu od ionosféry a prípadne nasledujúceho odrazu od zeme a ďalšieho odrazu od ionosféry sa dá dekametrovými vlnami prekonať veľká vzdialenosť i pri malých výkonoch vysielateľov.

Metrové, decimetrové a kratšie vlny sa už šíria predovšetkým priamočiarno. Ak majú byť v rozsahu decimetrových alebo centimetrových vln prekonané pozemným rádiovým spojom vzdialenosti nad asi 50 km, budujú sa pre spojenie rádioreléové trasy. Trasa je rozdelená na úseky s priamou viditeľnosťou medzi vysielacou a prijímacou anténou. Na styku dvoch úsekov je vybudovaná rádioreléová stanica, v ktorej sa signál zosilní a vyšle ďalej. Pre veľmi krátke vlny s frekvenciou väčšou ako 10GHz (vlnová dĺžka menšia ako 3cm) môže už predstavovať vzdušné prostredie okolo zeme značné tlmenie, ktoré má charakteristické maximá pri frekvenciách pri ktorých dochádza k rezonancii s kmitmi molekúl jednotlivých zložiek atmosféry. Rádiové vlny uvažovaných dĺžok sa tiež môžu rozptyľovať na drobných časticách ovzdušia, napr. na kvapkách dažďa, hmly a čiastočkách prachu.



Obr. 15.6 Charakteristické merné tlmenie vln s krátkou vlnovou dĺžkou v atmosfére. (cca 10 000m nad morom)

Kozmické rádiokomunikačné systémy

Významné možnosti priniesol rádiovým komunikáciám rozvoj kozmickej techniky. Pre spojenie pomocou družíc je najvhodnejšie kmitočtové pásmo od 1 do 10 GHz. Zaplnenie tohto pásma nás ale núti prechádzať aj na kmitočty nad 10 GHz. Prvé telekomunikačné družice lietali po eliptických dráhach. Spojenie s nimi zabezpečovali mohutné parabolické antény s hmotnosťou desiatok ton sledujúce pohyb družíc s vysokou presnosťou. Boli to drahé antény. Prechod na geostacionárne družice na rovníkovej dráhe vo výške (altitude) 35 786 km (GEO, geosynchronous orbit), s dobou obehu 23 hodín 56 minút, umožnil pracovať s pevne mechanicky nastavenými a teda lacnými anténami. V najbližšej budúcnosti budú, predovšetkým pre účely telefónneho spojenia, použité znovu družice na iných dráhach, ako sú geostacionárne. Budú to družice LEO (low earth orbit) a MEO (medium-altitude earth orbit) alebo ICO (intermediate circular orbit). Budú nasadené vo veľkom počte. Zaujímavá je aj ekonomická stránka. Istá štúdia udáva, že zavedenie internetových prípojk s optickými vláknami by stálo asi 9 miliárd dolárov. Možno očakávať, že údržba systému s optickými vláknami by bola lacnejšia.

Pásmo	Uplink [GHz]	Downlink [GHz]
C	6	4
Ku	14	12
Ka	30	20
X	8.2	7.5
S	40	20
Q	44	21
L	1.525-1.559	1.626-1.660

Obr. 15.3 Frekvenčné pásma pre družicovú komunikáciu

Družice ICO majú výšku v rozmedzí 5 000 až 15 000 km. Typická hodnota výšky družice ICO je 10 355 km, doba obehu 5 hodín, 59 minút. Družice LEO majú výšku do 2 000 km. Typická hodnota výšky je 700 km, doba obehu 1 hodina 39 minút.

Výhodami geostacionárnych družíc sú nevýznamnosť prejavov Dopplerovho javu a možnosť pokryť jednou družicou veľkú časť povrchu Zeme. K nevýhodám patrí nutnosť použiť pomerne veľké výkony vysielačov a smerovej antény a pomerne značné oneskorenie spôsobené dlhou dráhou rádiových vln. Možnosť použiť smerovú anténu sa však môže tiež zdať ako výhoda.

Hlavná výhoda družíc LEO je krátka vzdialenosť medzi vysielačmi a prijímačmi a z toho vyplývajúca možnosť pracovať s malými výkonmi a nesmerovými anténami. Tieto vlastnosti sú významné pre mobilné zariadenia. Ďalšia výhoda vyplývajúca z krátkej vzdialenosti je len malé oneskorenie spôsobené šírením rádiových vln. K nevýhodám patrí výrazný Dopplerov jav, pokrytie len malého územia jednou družicou a okolnosť, že jedna družica ostáva pre užívateľov na Zemi viditeľná len niekoľko minút, takže je vysoká pravdepodobnosť potreby prepínať sa medzi viacerými družicami v priebehu jedného spojenia.

Na obr.15.3 sú uvedené niektoré kmitočtové pásma používané v družicových spojkoch. Pre spojenie Zem-družica (uplink) sa vždy používajú vyššie kmitočty, ako pre spojenie družica-Zem (downlink).

Rozdelenie kmitočtového rozsahu 3 MHz až 150 GHz a pridelenie čiastkových pásiem jednotlivým druhom rádiových služieb je dané medzinárodným dokumentom označovaným skratkou WARC-92.

Rušivé signály v komunikačnej sústave.

Rušivé signály sa objavujú alebo vznikajú vo všetkých častiach komunikačnej sústavy. Aby sme si zjednodušili naše úvahy a výpočty, nahradzujeme obvykle všetky zdroje rušenia jedným zdrojom. Navyše budeme spravidla predpokladať, že sa rušivý signál k užitočnému signálu jednoducho pripočíta. Hovoríme potom o aditívnom rušení. Aditívne rušený signál $x(t)$ je opísaný jednoduchou rovnicou

$$x(t) = s(t) + n(t) \quad (15.9)$$

Kde $s(t)$ označuje užitočnú zložku signálu a $n(t)$ označuje rušivú zložku signálu.

Rušivé signály môžu byť pravidelné alebo náhodné. Príkladom prvého typu môže byť brum zdroja, náhodným rušením je šum vznikajúci v obvodoých prvkoch vstupnej časti prijímača alebo vstupujúci do prijímacej antény.

Niektoré rušenia majú pôvod v prírodných javoch, ako sú búrkové výboje, šum Slnka, šum galaxie, kozmického priestoru, vyžarovanie zemského povrchu atď. Iné rušiacie signály sú vyvolané technickou činnosťou človeka. Je to napríklad činnosť silnoprúdových zariadení s vypínačmi, polovodičové výkonové meniče v elektroenergetike pre elektromotory s reguláciou otáčok a podobne. Tieto zariadenia sú navyše obvykle spojené so silnoprúdovými vodičmi, ktoré rušivé signály úspešne rozvádzajú a vyžarujú do širokého okolia. Signály so širokým frekvenčným spektrom sú vyrábané aj najrôznejšími elektronickými zariadeniami.

Šírenie signálu z rušiaceho zariadenia do oznamovacej sústavy môže byť sprostredkované galvanickou väzbou, kapacitnou väzbou, induktívnou väzbou, elektromagnetickými vlnami alebo kombinovane. Proti rušeniu sa bránime ako na strane zdrojov rušenia, tak na strane prijímačov oznamovacích sústav obozretnou konštrukciou, tienením a filtráciou. Používanie veľkých vysielacích výkonov nie je perspektívne. Významná je voľba formy signálu, napr. druhu kľúčovania alebo kódovania. V neposlednom rade je nutné usilovať o optimálne spracovanie prijímaného signálu.