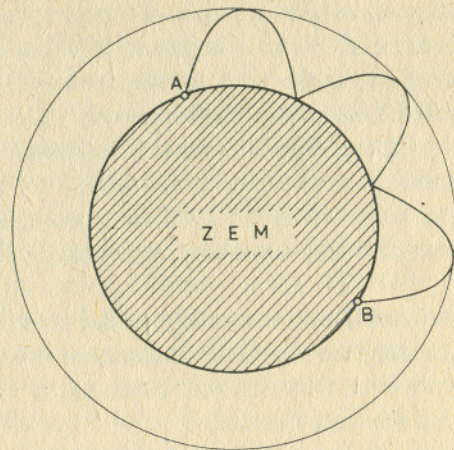
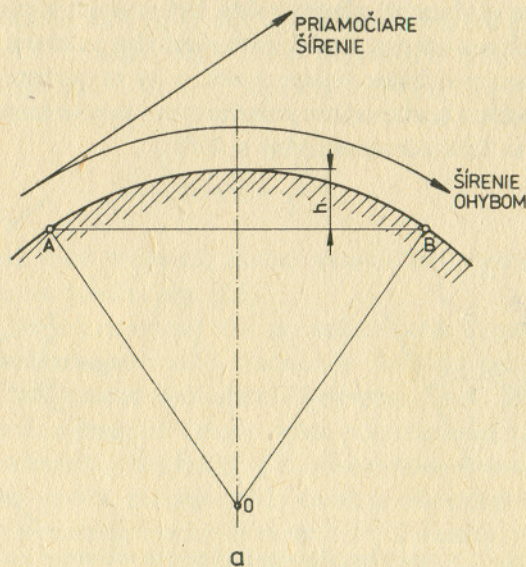


7.3.4 Rôzne spôsoby šírenia elektromagnetického vlnenia okolo Zeme

Prítomnosť povrchu zemského a zvláštnosti zloženia atmosféry pôsobia na šírenie elektromagnetického vlnenia. Prítomnosť polovodivého povrchu zeme skresľuje štruktúru vlny a je príčinou útlmu elektromagnetického vlnenia. Guľový tvar povrchu zeme spôsobuje ohyb (difrakciu) vln, ktoré sa šíria nad zemou. Difrakcia vlny nastane vtedy, keď sú rozmery prekážky rádovo rovnaké ako dĺžka vlny. Pri šírení vlnenia nad zemou za takúto prekážku môžeme považovať výšku h guľovej výseče obmedzenej rovinou preloženou tetivou AB (obr. 7.8a). Elektromagnetické vlny, ktorých vlnová dĺžka je menšia ako výška h , nie sú podrobené ohybu a šíria sa priamočiare. Keď vlnová dĺžka vlnenia je porovnateľná s výškou h , šíria sa tak, že sledujú povrch zeme. Difrakčný spôsob šírenia aj za najpriaznivejších podmienok nepresahuje vzdialenosť 3 až 4 tisíc kilometrov.

Šírenie elektromagnetických vln na väčšie vzdialenosti je ovplyvnené najmä ionizovanými vrstvami atmosféry. Celý proces šírenia vlnenia sa odohráva podľa zákonov odrazu a lomu od ionizovanej oblasti (ionosféry)



b

Obr. 7.8. Šírenie elektromagnetického vlnenia

a — šírenie ohybom — difrakciou, b — šírenie mnohonásobným odrazom od ionosféry

vo výškach 60 až 400 km a od polovodivého povrchu zeme. Následkom mnohonásobného odrazu vln od ionosféry a od zeme, môže vlnenie dosiahnuť veľmi vzdialené body (B) na povrchu zeme, dokonca za priaznivých podmienok obehnúť niekoľkokrát okolo Zeme (obr. 7.8b).

Elektromagnetické vlny, ktoré sa šíria v blízkosti zemského povrchu a ktoré sa jeho vplyvom ohýbajú, nazývajú sa povrchové. Vlny, ktoré sa šíria na veľké vzdialenosti a ohýbajú sa okolo zeme následkom jednoduchého alebo mnohonásobného odrazu od ionosféry alebo touto prenikajú, nazývajú sa priestorové.

7.3.5 Vlastnosti ionosféry a jej vplyv na šírenie elektromagnetického vlnenia

Hlavným zdrojom ionizácie atmosféry je slnko, ktoré má povrchovú teplotu rádovo $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$, a zároveň je zdrojom ultrafialového žiarenia, ktoré má veľkú ionizačnú schopnosť. Ionosféra sa skladá z vrstiev, ktoré nie sú oddelené ostrou čiarou a v ktorých hustota elektrónov sa mení dennou dobou; maximum dosahuje cez deň, minimum v noci, nie však rovnako vo všetkých vrstvách.

Najnižšia ionizovaná vrstva sa nazýva *D* vrstva, vytvára sa vo výške 70 km len v priebehu dňa. Hustota ionizácie je veľmi citlivá na slnečné žiarenie, po západe slnka táto vrstva rýchlo mizne.

Vrstva *E* alebo Kennellyho-Heavisideova vrstva má maximálnu hustotu iónov vo výške 100 km s malými výkyvmi medzi nočnými a dennými obdobiami. V noci sa čiastočne stráca.

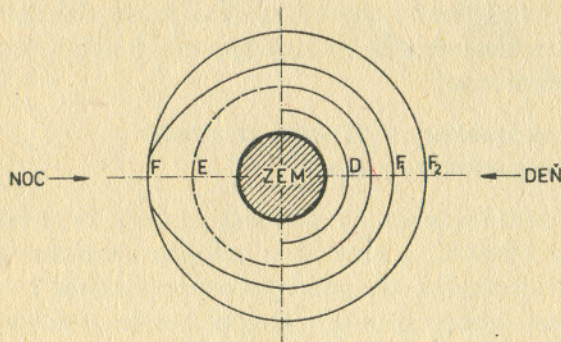
Vrstva *F*₁ sa nachádza vo výške 200 km, v noci splýva s vrstvou *F*₂. Ovplyvňujú ju zmeny slnečnej činnosti a zmeny magnetického zemského poľa.

Vrstva *F*₂ alebo Appletonova vrstva je veľmi nestabilná. Maximálnu výšku dosahuje v mesiaci júni (400 km), minimálnu v decembri (250 km). Možno pri nej pozorovať výbornú koreláciu medzi hustotou ionizácie a 11-ročným cyklom slnečnej činnosti.

Z obr. 7.9 je zrejماً poloha ionosferických vrstiev nad zemským povrchom a ich zmeny cez deň a v noci. Vrstva *F*₁ a *F*₂ vytvára v noci jednu vrstvu *F* vo výške 300 km. I napriek tomu, že ionizácia *F* vrstvy je menšia ako ionizácia vrstvy *F*₂ cez deň, zostáva dostatočne silná cez celú noc.

Uvedené ionosferické vrstvy sú vytvorené nehomogénnym ionizovateľným plynom, ktorý spôsobuje, že elektromagnetické vlnenie sa v týchto podmienkach nešíri priamočiarno, ale krivočiarno. V konečnom dôsledku elektromagnetické vlnenie, podľa frekvencie, sa môže od týchto vrstiev odraziť a vrátiť späť, lomiť alebo preniknúť do medzihviezdneho priestoru.

Na vysvetlenie tejto vlastnosti ionosferických vrstiev je veľmi vhodné



Obr. 7.9. Zmena polohy ionosferických vrstiev vplyvom slnečného žiarenia

použiť analógiu, ktorá prirovnáva ionosféru k situ a elektromagnetické vlnenie ku guľkám. Prechod guľiek cez sito závisí od relatívneho rozmeru sita, rozmeru guľiek a od uhla, pod ktorým tieto guľky narážajú na sito. Guľky malých rozmerov sú ekvivalentné elektromagnetickému vlneniu s vysokou frekvenciou. Sito s malými rozmermi otvorov je ekvivalentné veľkej hustote ionizácie. Rozmery otvorov sa budú v tejto analógii meniť so zmenou hustoty ionosféry a budú väčšie v noci ako počas dňa. Predpokladajme, že guľky rôznych rozmerov sú vystreľované smerom nahor. Väčšie sa vrátia, menšie prejdú cez sito. (Elektromagnetické vlnenie s menšou frekvenciou sa odrazí od ionosféry a vráti na zem, vlnenie s vyššou frekvenciou prenikne do medzihviezdneho priestoru.) Ak guľky rovnakých rozmerov sú vystreľované pod rôznymi uhlami, vzhľadom na povrch zeme, tie, ktoré majú smer bližší ku kolmici, prejdú cez sieť, ale ostatné, ktoré dopadajú pod väčším uhlom od kolmice, sa odrazia. (Elektromagnetické vlnenie prenikne do medzihviezdneho priestoru, keď dopadá takmer kolmo na ionosféru alebo pod malým uhlom od kolmice na ionosféru. Keď sa tento uhol zväčšuje, vlnenie sa odráža späť na zem.)

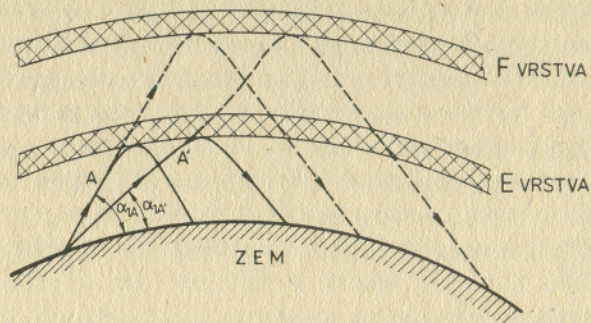
Najvyššia frekvencia, pri ktorej sa vertikálne smerované elektromagnetické vlnenie ešte vráti späť na zem, sa nazýva kritickou frekvenciou f_{kr} .

Kritické frekvencie: vrstva *E* — 3 MHz, *F*₁ — 4 MHz a *F*₂ — 8 MHz. Tieto hodnoty však podliehajú zmenám podľa hustoty ionizácie vrstvy. Elektromagnetické vlnenie s vyššou frekvenciou ako je kritická sa môže odraziť od vrstiev ionosféry, keď sa vyžiari pod určitým uhlom. Najvyššia frekvencia, ktorá sa môže použiť za týchto okolností na vysielanie, sa nazýva maximálna použiteľná frekvencia. Optimálna pracovná frekvencia musí byť ešte menšia ako je maximálne použiteľná frekvencia vzhľadom na zmeny, ktoré nastávajú v ionosfére.

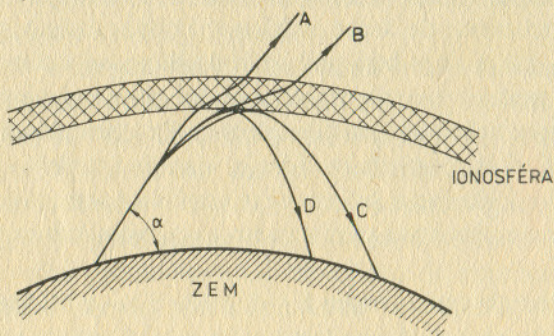
Vplyv ionosféry na šírenie elektromagnetického vlnenia si opíšeme pomocou niekoľkých obrázkov.

Dve vlny *A* a *B* (obr. 7.10) majú rovnakú frekvenciu, ale vstupujú do ionosféry pod rôznymi uhlami. Cez deň má vrstva *E* dostatočnú hustotu na odrazenie vln. V noci vlny prechádzajú cez vrstvu *E* v dôsledku zriedenej elektrónovej hustoty a odrážajú sa od vrstvy *F*. Dosah priestorovej vlny sa predlžuje s výškou odraznej vrstvy.

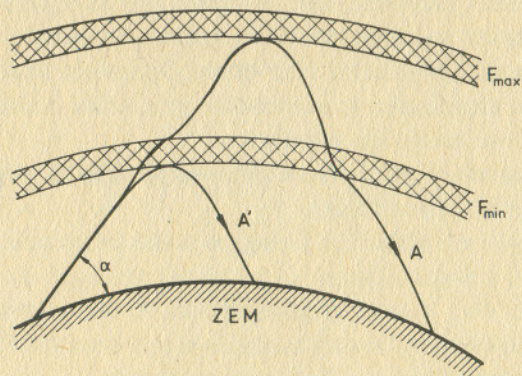
Vplyv frekvencie na odraz vlnenia od ionosféry je znázornený na obr.



Obr. 7.10. Vplyv vrstiev ionosféry na šírenie elektromagnetického vlnenia



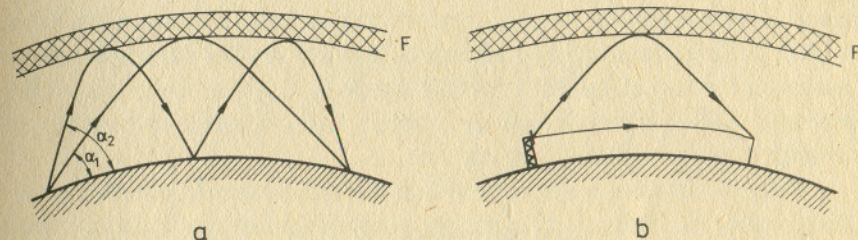
Obr. 7.11. Vplyv frekvencie na odraz



Obr. 7.12. Vplyv zvýšenej slnečnej aktivity na polohu vrstvy F, a tým na dosah priestorovej vlny

7.11. Predpokladáme konštantný uhol vyžarovania α . Vlny D, C, B, A predstavujú vlnenie vždy s vyššou frekvenciou $f_D < f_C < f_B < f_A$. Ak vlnenie preniká šikmo do ionosféry, mení sa čiastočne jeho smer a skupinová rýchlosť klesá. Čím je nižšia frekvencia, tým ľahšie sa signál odrazí. Pri zvýšenej ionizácii môžu sa odraziť späť na zem aj vlny A a B.

Vplyv zvýšenej slnečnej aktivity je znázornený na obr. 7.12. V čase maximálnej slnečnej činnosti vrstva F dosiahne maximálnu výšku a hustotu. Pri rovnakej frekvencii je maximálny dosah väčší (A vlna) ako v čase minimálnej slnečnej činnosti, keď je vrstva F položená nižšie (A' vlna).



Obr. 7.13. Vznik úniku

Obr. 7.13 znázorňuje, ako môže vzniknúť únik kombináciou povrchovej a priestorovej vlny. Ak vlnenie z týchto dvoch vln nie je v mieste príjmu vo fáze v danom čase, nastane čiastočné alebo úplné zrušenie signálu, t. j. únik. Únik môže vzniknúť aj ako dôsledok interferencie signálov, ktoré prichádzajú do miesta príjmu odrazom z dvoch rôznych vrstiev ionosféry. Obyčajne v tomto prípade jeden zo signálov je slabší, takže jeho úplné zaniknutie je zriedkavejšie.

7.4 ŠÍRENIE RÁDIOVÝCH VLŇ RÔZNYCH FREKVenciÍ

7.4.1 Šírenie dlhých vln

Elektromagnetické vlny, ktoré sa rozprestierajú v pásme frekvencií 15 až 100 kHz (20 000 až 3000m), sa nazývajú dlhými vlnami (DV). Vlnenie s takouto frekvenciou sa šíri povrchovými vlnami do vzdialenosti

3 až 4 tisíc km difrakciou a priestorovými vlnami, ktoré vznikajú odrazom od dolnej hranice vrstvy D v denných hodinách, príp. vrstvy E v nočných hodinách. Druhý spôsob sa podobá šíreniu vlnenia vo vlnovode, v ktorom hornú stenu predstavuje dolná hranica ionizácie a dolnú vodivý povrch zeme. Pretože vrstva D sa v noci stráca, odraznou vrstvou sa stáva vrstva E , ktorá je vyššie položená, preto sa dlhé vlny v noci šíria na väčšie vzdialenosti.

Následkom zmeny koncentrácie elektrónov a iónov v atmosfére mení sa výška odrazových vrstiev, a teda aj fáza vln, ktoré prichádzajú do miesta príjmu po rôznych dráhach, v dôsledku čoho vzniká kolísanie intenzity poľa v mieste príjmu. Kolísanie intenzity v pásme DV je však také nepatrné a pomalé, že sa sluchom ani nedá postrehnúť. Keď má nastať kolísanie príjmu, musí sa zmeniť fáza jedného z odrazených lúčov o 180° . Takejto zmene fázy zodpovedá dráhový rozdiel daný polovičnou hodnotou vlnovej dĺžky. Pri $\lambda = 10\,000$ m je to $5\,000$ m, čo je taký veľký dráhový rozdiel, ktorý málokedy vzniká. Výkyvy môžu byť väčšie pri menších vlnových dĺžkach dlhých vln.

Pri geofyzikálnej poruche preniknú slnečné častice do zemskej atmosféry, v dôsledku čoho dôjde k vlekkej poruche ionosféry. Takáto porucha sa nazýva ionosferickou búrkou, ktorá spôsobí podstatné zmeny v štruktúre vrstvy F_2 .

Vplyv ionosferických búrok je malý, pretože tieto ovplyvňujú len horné vrstvy atmosféry, ktoré nemajú vplyv na šírenie dlhých vln.

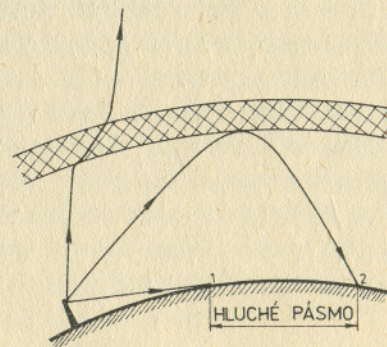
7.4.2 Šírenie stredných vln

Stredné vlny (SV) sa rozprestierajú v pásme 100 kHz až $1,5$ MHz ($3\,000$ až $2\,000$ m). Oproti dlhým vlnám, ktoré sa odrážajú od dolnej vrstvy ionosféry, potrebujú stredné vlny k odrazu väčšiu hodnotu koncentrácie elektrónov, odrážajú sa preto len od vyšších vrstiev (vrstva E a F_1). Vo dne vzniká silné pohlcovanie priestorovej vlny, preto táto zaniká a vlnenie sa šíri len povrchovou vlnou, ktorá je tlmená zemským povrchom. V noci sa útlm vo vrstve E podstatne zmenší, nastáva odraz a stredné vlny sa šíria prízemnou aj priestorovou vlnou. Ich dráhy šírenia sú rôzne, preto môže dôjsť v mieste príjmu k interferencii dvoch signálov z povrchovej a priestorovej vlny, čo má za následok kolísanie príjmu, t. j. únik. Ako opatrenie proti úniku, sa používajú na vysielacej strane

protiúnikové antény. Sú to antény postavené tak, aby intenzívnejšie vyžarovali povrchové vlny na úkor priestorových vln.)

7.4.3 Šírenie krátkych vln

☞ Krátke vlny (KV) sa rozprestierajú v pásme od $1,5$ až 30 MHz (200 až 10 m). Krátke vlny sa môžu šíriť ako povrchové a priestorové. Vplyvom polovodivého povrchu a guľatosti zeme sa povrchové vlny už pri vzdialenostiach niekoľko desiatok km utlmia. Priestorové vlny sú čiastočne



Obr. 7.14. Tvorenie hluchých pásiem

tlmené vrstvou E , cez ktorú preniknú a odrážajú sa od vrstvy F_1 , F_2 . Vlny vyšších frekvencií prenikajú ionosférou a neodrážajú sa, preto ich možno použiť pre rádiové spojenie len po maximálne použiteľnú frekvenciu. Vrstva F_2 je nestála a táto jej vlastnosť má veľký vplyv na šírenie krátkych vln. Je to predovšetkým únik, ktorý je omnoho silnejší ako v pásme stredných vln. Nestálosť vrstvy F_2 spôsobí, že sa mení dĺžka trajektórií a fáza prichádzajúcich elektromagnetických vln, a tým vzniká únik. Šírenie krátkych vln sa vyznačuje niektorými osobitosťami, ku ktorým patrí: vytváranie hluchých pásiem a ozvena. Hluché pásma pri šírení KV sú spôsobené tým, že povrchové vlny, ktoré sú veľmi tlmené, dosiahnu len určitú vzdialenosť 1 od vysielateľa, priestorové vlny umožňujú príjem v oblasti 2 . Priestorom medzi 1 a 2 sa vytvorilo hluché pásmo, v ktorom nie je možný príjem (obr. 7.14). Za priaznivých podmienok môže

vzniknúť ozvena*, ktorá je spôsobená dopadom krátkovlnného signálu šíriaceho sa priestorovou vlnou na miesto príjmu po obehnutí okolo Zeme. Takto vzniká ozvena s oneskorením asi 0,13 s; môže byť i niekoľkonásobná.

7.4.4 Šírenie veľmi krátkych vln

Veľmi krátke vlny (VKV) sa rozprestierajú v pásme nad 30 MHz (pod 10 m). Toto pásmo sa rozdeľuje ešte ďalej na pásmo metrových vln ($\lambda = 10 \text{ m}$ až 1 m), decimetrových vln ($\lambda = 10 \text{ dm}$ až 1 dm) a centimetrových vln ($\lambda = 10 \text{ cm}$ až 1 cm). Veľmi krátke vlny sa šíria len ako povrchové. Od ionosféry sa neodrážajú, ale prenikajú do medzihviezdneho priestoru. Odraz od ionosféry môže nastať len v mimoriadnych prípadoch, v období veľkej slnečnej činnosti. Pretože príjem je možný len v dosahu priamej viditeľnosti, zlepšenie príjmu sa docieli vhodným umiestnením antény vysielača aj prijímača.

Vlny oblasti VKV sa odrážajú od predmetov, ktoré sú im v ceste, a to tým viac, čím majú kratšiu vlnovú dĺžku. Táto ich dôležitá vlastnosť sa využíva v rádiolokačnej technike (radar)

* Ozvena rádiových vln je opakovanie rádiového signálu vplyvom šírenia po niekoľkých rôznych cestách.

8 ANTÉNY

8.1 VYŽAROVANIE ELEMENTÁRNYCH ŽIARIČOV

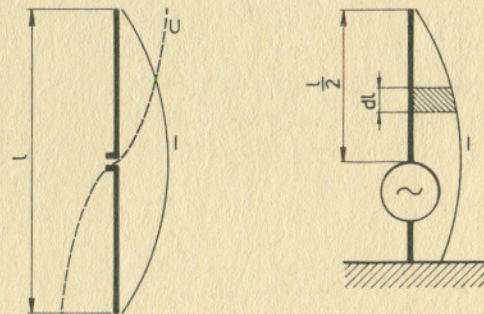
V predchádzajúcej kapitole sme opísali vlastnosti šírenia elektromagnetického vlnenia. V tejto časti sa budeme zaoberať takými časťami vysielačieho zariadenia, príp. prijímačieho zariadenia, ktoré bezprostredne súvisia so vznikom elektromagnetického poľa.

Aby sa vytvorilo v priestore elektromagnetické pole, ktoré by sa ním aj šírilo, musí existovať také zariadenie, v ktorom sa mení elektrický prúd v závislosti od času. Takéto zariadenie nazývame žiaričom elektromagnetickej energie alebo anténou. Najjednoduchšou anténou z hľadiska procesu premeny elektrickej energie na elektromagnetické pole je elementárny žiarič. Takýmto je vodič, ktorého rozmery v porovnaní s vlnovou dĺžkou sú malé a pri ktorom rozloženie prúdu pozdĺž vodiča je v každom okamihu rovnaké. Za elementárne žiariče považujeme:

- elementárny elektrický dipól,
- elementárnu štrbinu.

8.1.1 Elementárny elektrický dipól

Najjednoduchší žiarič vznikne roztvorením vedenia naprázdno s dĺžkou $\lambda/4$ (obr. 8.1). Na takomto vedení, pri napájaní s časovo



Obr. 8.1. Elementárny elektrický dipól