

4. DOMENII ALE SPECTRULUI ELECTROMAGNETIC

4.1 DOMENIUL DE RADIOFRECVENȚĂ

În radiocomunicații este utilizat un domeniu larg de frecvențe, aproximativ (0;300GHz), sau, echivalent, $\lambda > 1\text{mm}$. Acesta este împărțit în mai multe subdomenii, în funcție de lungimea de undă. Fiecare domeniu se utilizează pentru diferite aplicații și tehnologii de transmisii radio. Spectrul de radiofrecvență (RF) este de obicei supus unor reguli specifice fiecărei țări și în general este vândut sau închiriat unor deținători licențiați de sisteme de transmisii radio (de exemplu, operatori de telefonie mobilă sau stații TV). Spectrul de RF este împărțit în următoarele domenii:

- Extrem de joasă frecvență (ELF): $\lambda = 10000 \div 100000\text{km}$ ($f = 3 \div 30\text{Hz}$). Se folosește pentru comunicațiile cu submarinele la foarte mare adâncime.
- Super joasă frecvență (SLF): $\lambda = 1000 \div 10000\text{km}$ ($f = 30 \div 300\text{Hz}$). Se folosește pentru comunicarea cu submarinele; frecvența c.a. industrial (50/60 Hz).
- Ultra joasă frecvență (ULF): $\lambda = 100 \div 1000\text{km}$ ($f = 300 \div 3000\text{Hz}$). Se folosește pentru comunicații în interiorul minelor.
- Foarte joasă frecvență (VLF): $\lambda = 10 \div 100\text{km}$ ($f = 3 \div 30\text{kHz}$). Se folosește pentru comunicarea cu submarinele aflate în vecinătatea suprafeței apei, avalanche beacons, monitoare cardiace wireless, sau în geofizică.
- Joasă frecvență (JF) sau undele lungi (UL sau LW): $\lambda = 1 \div 10\text{km}$ ($f = 30 \div 300\text{kHz}$). Datorită lungimilor de undă mari, prezintă bune proprietăți de difracție, astfel încât pot “ocoli” practic orice obstacole, putând astfel înconjura suprafața Pământului. Sunt cu precădere unde de suprafață, dar se pot propaga și prin reflexie ionosferică, cu precădere straturile D și E având suficienți ioni pentru a le reflecta. De asemenea, apele mărilor sau solul (eventual umed) constituie medii (conductoare) de reflexie pentru aceste unde, indiferent de unghiul lor de incidență. Rezultă că legăturile realizate sunt stabile (indiferent de anotimp), dar necesită puteri foarte mari la emisie, ceea ce constituie un impediment major în utilizarea lor.
- Medie frecvență (MF) sau undele medii (UM sau MW): $\lambda = 0,1 - 1\text{km}$ ($f = 300 \div 3000\text{kHz}$). Comparativ cu undele lungi, pătrund mai adânc în ionosferă. În timpul zilei, stratul E al ionosferei le atenuează puternic, iar noaptea sunt reflectate, cel puțin parțial. Din acest motiv, UM sunt unde de suprafață în timpul zilei, noaptea fiind atât unde spațiale cât și de suprafață. Din acest motiv, în timpul nopții se pot realiza legături la distanțe foarte mari.
- Înaltă frecvență (HF) sau undele scurte (US sau SW): $\lambda = 10 - 100\text{m}$ ($f = 3 \div 30\text{MHz}$).

Cum atenuarea undelor la suprafața Pământului se mărește odată cu creșterea frecvenței (sau, echivalent, cu micșorarea lungimii de undă), rezultă că US sunt caracterizate de o foarte mică zonă de propagare ca unde de suprafață.

Modul principal de propagare al US îl constituie undele spațiale (rezultate prin reflexie ionosferică), ceea ce asigură posibilitatea stabilirii unor legături la distanțe foarte mari, cu puteri de emisie rezonabile.

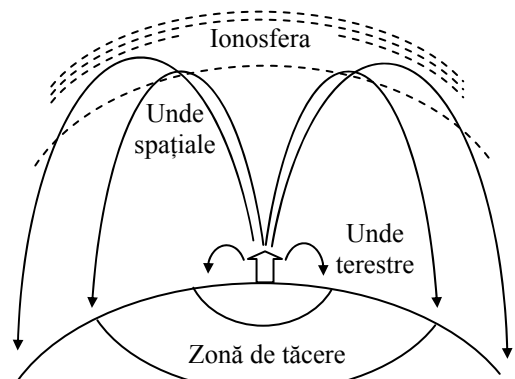


Fig. 4.1

Deoarece structura ionosferei se modifică în permanență, fiecare emițător pe US trebuie să fie capabil să funcționeze pe mai multe frecvențe, diferite care se repartizează folosind grafice speciale și studii de prognoză.

Noaptea se folosește cu precădere partea inferioară a gamei (40 – 75m), iar ziua partea superioară (11 – 41 m). Datorită faptului că la punctul de recepție apar unde ce au urmat trasee diferite, precum și mișcării continue a straturilor ionizate ale ionosferei, apare fenomenul de fading, adică o variație aleatoare a intensității semnalului recepționat. De asemenea, la o anumită distanță de emițător apare o „zonă de tăcere” (silence zone), în care nu se recepționează nici undele de suprafață, nici cele spațiale, așa cum este ilustrat în figura 4.1.

- Foarte înaltă frecvență (VHF) sau undele ultracurte (UUS sau USW): $\lambda = 1 - 10\text{m}$ ($f = 30 \div 300\text{MHz}$). Acestea nu sunt reflectate de ionosferă, pierzându-se astfel în spațiu. Din acest motiv, legăturile pe UUS se realizează prin unde terestre. Există unele asemănări între UUS și undele luminoase (vizibile): se difractă puțin, legături stabile stabilindu-se astfel numai în limita vizibilității directe. Aceasta se determină aproximând Pământul cu o sferă cu raza de 6370km (figura 4.2). Se obține:

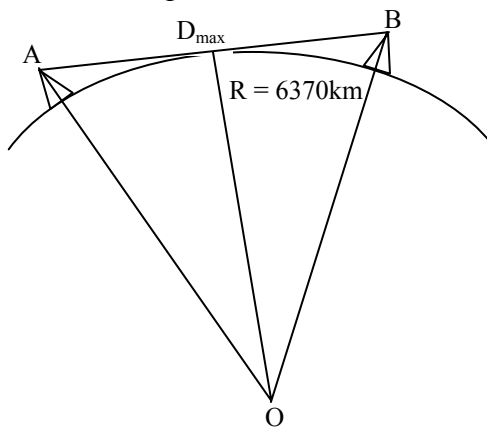


Fig. 4.2

$$D_{\max} = 3,57 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) [\text{km}] \quad (4.1)$$

unde h_1 și h_2 [m] reprezintă înălțimile celor două antene: de emisie și de recepție. În troposfera normală, apare totuși o mică difracție, ceea ce face ca distanța dată de (4.1) să se mărească întrucâtva:

$$D_{\max} = 4,12 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) [\text{km}] \quad (4.2)$$

În unele condiții de presiune, temperatură și umiditate, neuniformitățile din troposferă pot reflecta UUS, astfel încât în acele condiții distanța de propagare poate crește mult, putând ajunge chiar la valori de ordinal miilor de km.

Se folosesc în transmisiuni radio cu modulație de frecvență (FM), transmisiuni TV, PMR (Professional Mobile Radio – la Taxi de exemplu), transmisiuni video digitale terestre, imagistică cu rezonanță magnetică.

- Ultra înaltă frecvență: $\lambda = 10 - 100\text{cm}$ ($f = 300 \div 3000\text{MHz}$). Se folosesc în transmisiuni TV, PMR, cuptoare cu microunde, GPS, comunicații telefonice mobile (GSM, Universal Mobile Telecommunication System 3G, High Speed Downlink Packet Access 3,5G), telefoane cordless (DECT), WLAN (Wi-Fi 802.11 b/g/n), Bluetooth.
- Superînaltă frecvență (SHF): $\lambda = 1 - 10\text{cm}$ ($f = 3 \div 30\text{GHz}$): TV satelit, WLAN (Wi-Fi 802.11 a/n), dispozitive de microunde, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access – un protocol pentru acces fix sau mobil la Internet), radare.
- Extrem de înaltă frecvență (EHF): $\lambda = 1 - 10\text{mm}$ ($f = 30 \div 300\text{GHz}$). Se folosesc la legături inter-satelit, dispozitive de microunde, WiMAX, radare de înaltă rezoluție, arme cu energie direcționată (Sisteme de apărare active, de exemplu sistemele antirachetă), scanere cu unde milimetrice.

La frecvențe mai mari de 300 GHz, absorbția radiației electromagnetice de către atmosfera terestră este atât de pronunțată încât aceasta devine practic opacă, pentru a redeveni transparentă pentru domeniul frecvențelor din spectrele de infraroșu și vizibil.

O bandă este o mică parte a spectrului frecvențelor de radiocomunicații, în care canalele sunt folosite de obicei în același scop.

Pentru a preveni interferențele și în general pentru o utilizare eficientă a spectrului de RF, fiecărui serviciu îi este alocată o bandă. De exemplu, radiocomunicațiilor, radiotelefoanelor sau comunicațiilor folosite la navigație li se alocă domenii de frecvență disjuncte (care nu se suprapun).

Fiecare din aceste domenii (benzi) are un regulament care stabilește cum va fi folosită sau partajată, pentru a se evita interferențele și pentru a se stabili protocoale de compatibilitate între emițătorii și receptorii informațiilor.

4.2 DOMENIUL INFRAROȘU

„Lumina” infraroșie (IR) este o radiație electromagnetică cu lungimea de undă superioară celei a luminii vizibile, începând cu pragul nominal de vizibilitate a culorii roșii ($700\text{nm} = 0,7\mu\text{m}$), și extinzându-se convențional până la $300\mu\text{m}$. Aceste lungimi de undă corespund unui domeniu de frecvență aproximativ între $1\text{...}430\text{THz}$ și include cele mai multe dintre radiațiile termice emise de obiectele aflate la temperatura ambiantă. Microscopic, radiația IR este emisă sau absorbită de molecule atunci când apar modificări în mișcarea lor de rotație/vibrație.

Lumina solară la zenit produce o iradiere de cca. 1 kW/m^2 , din care 527W reprezintă radiație infraroșie, 445W sunt datorati luminii vizibile și 32W reprezintă contribuția radiației ultraviolete.

Corpul omenesc la temperatură normală emite radiații infraroșii cu lungimea de undă în jurul valorii de $12\mu\text{m}$.

La nivel atomic, energia infraroșie provoacă o mișcare de vibrație a moleculelor printr-o schimbare a momentului magnetic al dipolului, ceea ce produce un domeniu de frecvențe extrem de util pentru studiul nivelelor acestor energii moleculare. Spectrografia cu raze IR se bazează pe studiul frecvenței și intensității fluxului de fotoni (absorbiți sau cedați) de corpul supus analizei.

Imagistica în infraroșu este larg utilizată, atât în scopuri civile cât și militare.

Aplicațiile militare sunt în domeniul supravegherii, descoperirii/recunoașterii țintelor, urmării țintelor/ghidării rachetelor către țintă, sau vederii nocturne (“night vision”). Aplicațiile civile includ senzori termici fără contact, comunicații wireless la distanțe mici (telecomenzi), spectroscopie și în previziunile meteorologice. Astronomia IR folosește telescoape echipate cu senzori IR pentru a penetra regiuni neclare (ca de exemplu nori moleculari), sau detectează diverse obiecte în spațiu (chiar și planete), ori vizualizează obiecte (cosmice) datând de la începuturile Universului, având spectrul puternic deplasat față de roșu. Orice obiect emite o radiație infraroșie, dar în general numai o parte a acestui spectru este de interes, deoarece senzorii sesizează radiația numai în interiorul unei anumite zone a benzii. Din acest motiv, spectrul IR este subdivizat în mai multe părți mai mici.

Comisia Internațională a Iluminării (The International Commission on Illumination - CIE) recomandă divizarea spectrului IR în următoarele trei benzi:

- IR-A (IR apropiat): $700\text{nm}\text{...}1400\text{nm}$ ($0,7\mu\text{m}\text{...}1,4\mu\text{m}$).
- IR-B: $1400\text{ nm}\text{--}3000\text{ nm}$ ($1,4\mu\text{ m}\text{ -- }3\mu\text{ m}$)
- IR-C: $3000\text{ nm}\text{--}1\text{ mm}$ ($3\mu\text{ m}\text{ -- }1000\mu\text{ m}$)

Domeniul IR apropiat (NIR – near infrared, IR-A) este definit de absorbția (radiației) în apă și are aplicații cu precădere în domeniul comunicațiilor prin fibre optice (datorită nivelului redus al atenuării în SiO_2 - silica) sau în domeniul unor aplicații în imagistică, ca de exemplu dispozitive “night vision” sau ochelari de acest tip.

Domeniul IR cu lungime mică de undă (SWIR - Short-wavelength infrared, IR-B) are aplicații în domeniul telecomunicațiilor la mare distanță, cu precădere în domeniul 1,53...1,56 μm .

Datorită naturii aplicațiilor sale, domeniul IR-C se subîmparte în mod obișnuit în trei subdomenii:

- Domeniul IR intermediar (MWIR - Mid-wavelength infrared, IR-C): $\lambda = 3...8\mu\text{m}$. În tehnologia rachetelor dirijate, această porțiune a spectrului este „banda atmosferică” în care lucrează capetele de ghidare ale rachetelor IR pasive (passive IR 'heat seeking' missiles). De obicei, aceste rachete se ghidează după jetul de gaze de evacuate de turboreactoare.
- Domeniul IR cu lungime mare de undă (LWIR - Long-wavelength infrared, IR-C): $\lambda = 8...15\mu\text{m}$, este regiunea de termoviziune ("thermal imaging" region), în care lucrează senzorii care pot obține o imagine pasivă completă a unui obiect, bazată exclusiv pe emisiile sale termice, fără a fi nevoie de surse externe de lumină sau căldură (soare sau un alt "iluminator" IR). De asemenea, acesta este și domeniul în care lucrează dispozitivele FLIR (Forward-looking infrared) – camerele de filmare IR sau dispozitivele de termografie.
- Domeniul IR îndepărtat (FIR - Far infrared, IR-C): $\lambda = 15...1000\mu\text{m}$ are aplicații în domeniul laserilor.