

7. RADIOKOMUNIKACIJE

Sustavi radio-veza predstavljaju drugu veliku grupu profesionalnih telekomunikacija. Spojni put od mjesta predaje informacije do mjesta prijema je slobodan prostor. Sustav radio-veza je na željeznici zastupljen u obliku radio-telegrafije, radio-telefonije, radio-telemehanike, radio-lokacije i interne televizije. Radi automatizacije i odvijanja željezničkog prometa, njegove redovitosti i sigurnosti, u tehnološkom procesu većih željezničkih čvorova i ranžirnih kolodvora uporaba radio-veza je neizostavna potreba. Bez uporabe radio uređaja nezamislivo je povezivanje dispečerskih centara s pokretnim vozilima; održavanja veza s ekipama za otklanjanje kvarova na stabilnim postrojenjima električne vuče, telekomunikacijskim i signalno-sigurnosnim uređajima i kabelima.

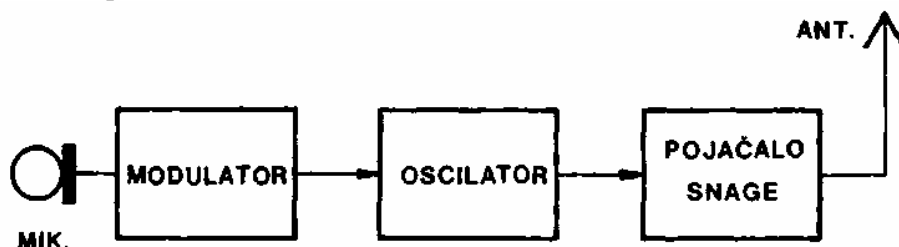
7.1. Fizikalne osnove radioprijenosa

Za ostvarivanje prijenosa informacija putem radioveze, kao medij prijenosa služe elektromagnetski valovi. Kako bi bilo moguće ostvariti radioprijenos potrebni su: radiopredajnik (odašiljač) koji služi za stvaranje napona, odnosno struja visoke frekvencije; odašiljačka antena koja visoko frekvencijsku struju pretvara u elektromagnetski val; širenje elektromagnetskog vala kroz prostor; prijemna antena koja prima elektromagnetske valove i pretvara ih u visokofrekvencijske struje (vrlo slabe s obzirom na veliko prigušenje pri prostiranju elektromagnetskog vala); radioprijemnik koji te struje prima, pojačava i demodulira i tako reproducira odaslani signal govora.

Radiopredajnik, čija je blok shema prikazana na slici 7.1, sastoji se od oscilatora, modulatora, pojačala snage i antenskog dijela. Oscilator je elektronički sklop koji stvara električne titraje tj. struju vrlo stabilne visoke frekvencije. Osnovni elementi oscilatora su titrajni krug, koji se sastoji od kondenzatora kapaciteta C i zavojnice induktiviteta L i aktivni elektronički element (elektronička cijev, tranzistor, integrirani krug). Aktivni element nadoknađuje gubitke u sklopu, dok vrijednosti elemenata titrajnog kruga određuju frekvenciju (broj titraja u jednoj sekundi) signala koji oscilator stvara, a mogli bismo je iskazati izrazom:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}]$$

U radiopredajnicima, kod kojih je potrebna vrlo stabilna frekvencija, umjesto titrajnog kruga kao elementa koji određuje frekvenciju, koristi se kristal kvarca. Kvarcni oscilator radi na principu piezoelektričkog efekta (stvaranje elektriciteta mehaničkim djelovanjem na pločicu kvarca), a za svaku frekvenciju potreban je jedan kvarcni element. Kod suvremenih radioodašiljača, koji trebaju raditi na mnogo različitih frekvencija (radiokanala), umjesto klasičnog oscilatora koristi se sintezator frekvencija. To je kompleksan elektronički sklop koji zamjenjuje veliki broj kvarcnih elemenata uz približno jednaku stabilnost frekvencije



Slika 7.1 - Blok shema radiopredajnika

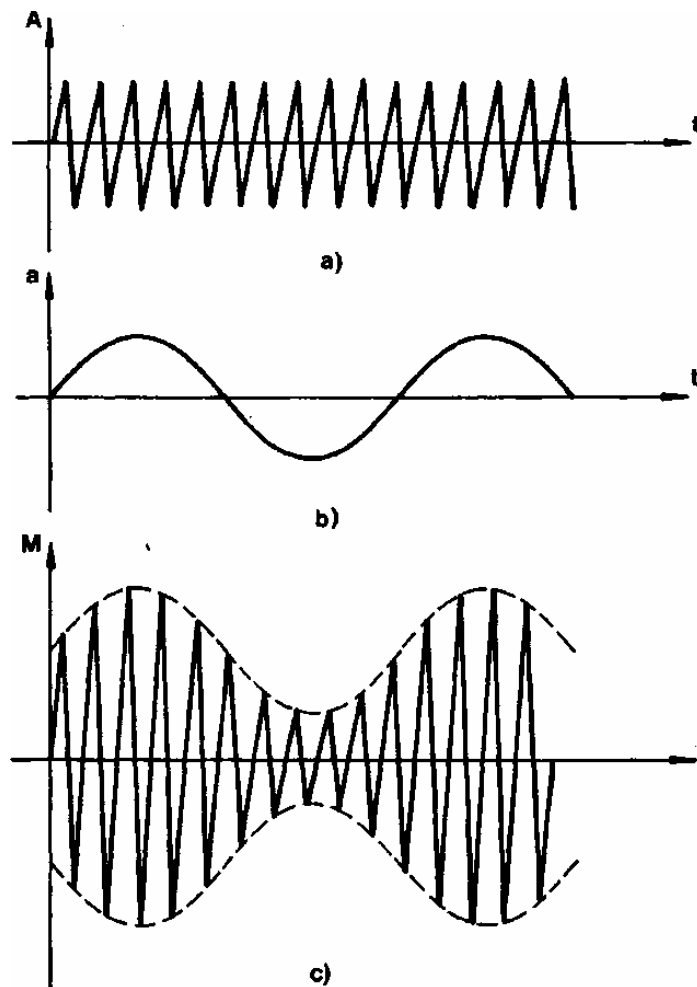
Oscilator stvara titraje jednake frekvencije i konstantne amplitude. To znači da odašiljački signal ne sadrži korisnu informaciju sve dok se postupkom modulacije ona ne utisne u taj signal. Sklop koji to omogućava naziva se modulator. Njime je moguće djelovati na amplitudu, frekvenciju ili fazu signala koji stvara oscilator. Kod amplitudne modulacije mijenja se amplituda titraja u ritmu govornog signala koji nastaje u mikrofona pretvorbom akustičkog vala u električni signal. Svakoju trenutnoj vrijednosti modulacijskog signala (govornog) odgovara određena vrijednost amplitude titraja iz oscilatora. Ovakav tip modulacije ilustriran je oblikom pojedinih signala na slici 7.2.

Pri frekvencijskoj, odnosno faznoj modulaciji, koje su suštinski jako srodne, mijenja se u ritmu govornog signala iz mikrofona frekvencija, odnosno faza titraja iz oscilatora dok njihova amplituda ostaje nepromijenjena. Korisna informacija koju prenosi ovakav signal sadržana je, dakle, u promjeni frekvencije. Na slici 7.3 ilustriran je princip frekvencijske modulacije. Vidi se da pozitivni poluval modulacijskog napona povećava frekvenciju (zgušnjenje titraja na vremenskoj osi), a negativni ju smanjuje (razređenje titraja na vremenskoj osi).

Potrebno je napomenuti da se u sistemu radiofonskih veza HŽ-a primjenjuju isključivo frekvencijska i fazna modulacija zbog niza prednosti u odnosu na ostale tipove modulacije. Isto vrijedi i za većinu profesionalnih službi te za radiodifuziju na UKV području. Prava amplitudna modulacija zadržala se jedino u radiodifuziji na srednjevalnom i kratkovalnom frekvencijskom području.

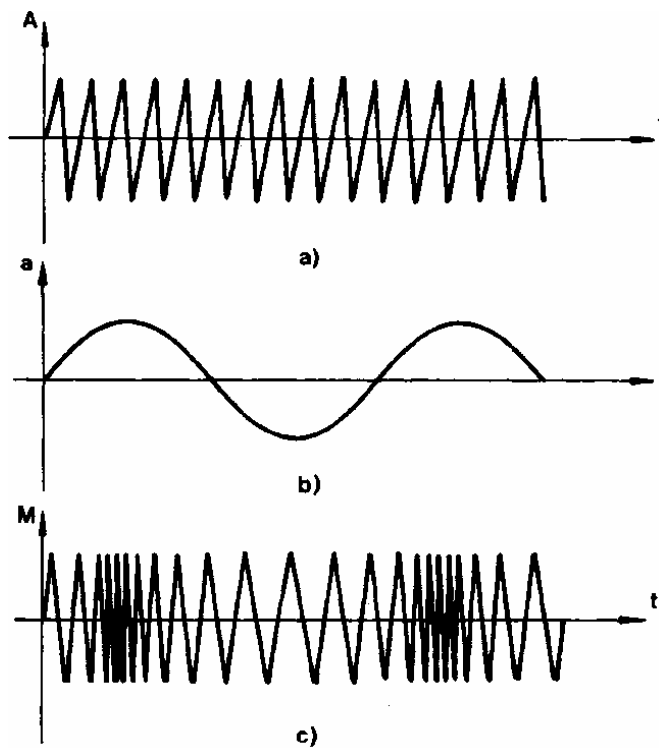
Modulirani signal iz oscilatora obično je vrlo male snage i vrlo nepogodan za odašiljanje. Stoga u radiopredajniku postoji nekoliko stupnjeva za pojačanje snage. Izlazna snaga mora biti takva da omogući određeni domet radiosignala uz zadovoljavajuću kvalitetu na mjestu prijema. Ovako pojačani signal se preko posebnog antenskog kabela dovodi do antene.

Antena je neka vrsta otvorenog titrajnog kruga koji se mora prilagoditi frekvenciji signala koji se odašilje. U tom slučaju antenom teče visokofrekvencijska struja, a u prostoru oko nje stvara se elektromagnetsko polje koje se u obliku elektromagnetskih valova širi u prostor brzinom svjetlosti. Budući da su struje koje prolaze antenom modulirane, isto vrijedi i za elektromagnetske valove. Pomoću njih se, dakle, signal prenosi od predajnika do prijemnika.

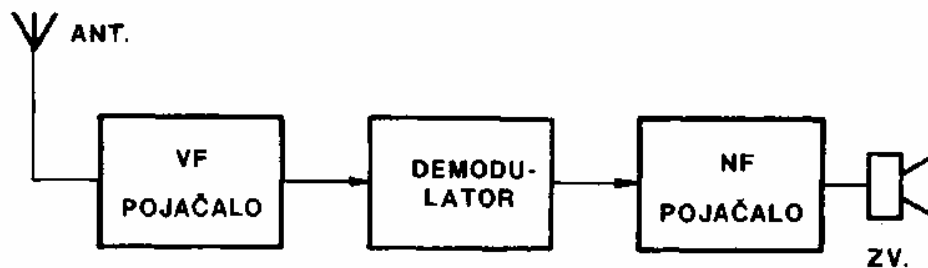


Slika 7.2 - Valni oblici signala kod amplitudne modulacije: a) titraji iz oscilatora; b) modulacijski napon iz mikrofona; c) amplitudno modulirani titraji

Treći element u lancu radioprijenosa, nakon predajnika kao izvora signala i elektromagnetskih valova kao sredstva za prijenos, jest prijemna antena i radioprijemnik. Njegova je uloga da iz mnoštva elektromagnetskih valova različitih predajnika izdvoji upravo onaj koji nam je potreban. Blok shema radioprijemnika prikazana je na slici 7.4.



Slika 7.3 - Valni oblici signala kod frekventijske modulacije: a) titraji iz oscilatora; b) modulacijski napon iz mikrofona; c) frekventijski modulirani titraj!



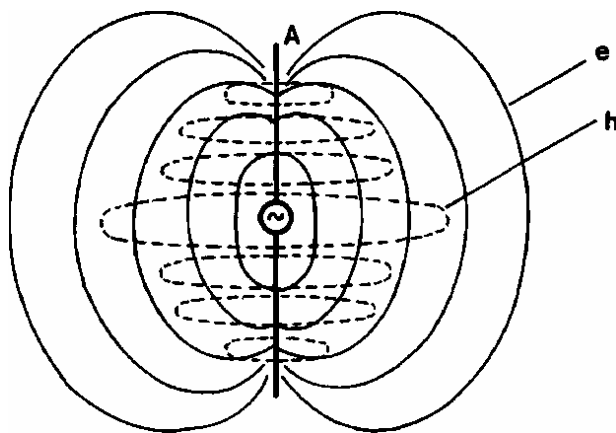
Slika 7.4 - Blok shema radioprijemnika

U anteni prijemnika događa se obrnuti proces od onoga u anteni predajnika. Ovdje elektromagnetski valovi, koje je emitirala predajna antena, induciraju napon koji ima istu frekvenciju i sadrži istu moduliranu informaciju kao i odašiljački signal. Taj napon ima vrlo malu amplitudu jer intenzitet elektromagnetskog vala pada s kvadratom udaljenosti između antena. U stupnjevima visokofrekventijskog pojačavanja taj napon se pojačava, a pomoću titrajnih krugova izdvaja se signal željenog odašiljača iz mnoštva signala ostalih radiopredajnika koji se po frekvenciji razlikuju od željenog. U sklopu demodulatora odvija se proces obrnut od procesa modulacije. Tu se iz moduliranog visokofrekventijskog signala izdvaja polazna informacija u obliku signala govora. Taj signal, obično male amplitude, pojačava se u stupnjevima niskofrekventijskog pojačavanja i privodi se zvučniku. Zvučnik električni signal pretvara u akustični pa iz njega čujemo informaciju koja je odaslana s nekog udaljenog mjesta.

Iz ovog osnovnog fizikalnog principa radioprijenosa razvijen je prijenos slike (televizija), stereofonski prijenos, prijenos digitalnih signala i mnogih danas prisutnih oblika prijenosa informacija pomoću radija.

7.2 Elektromagnetska emisija

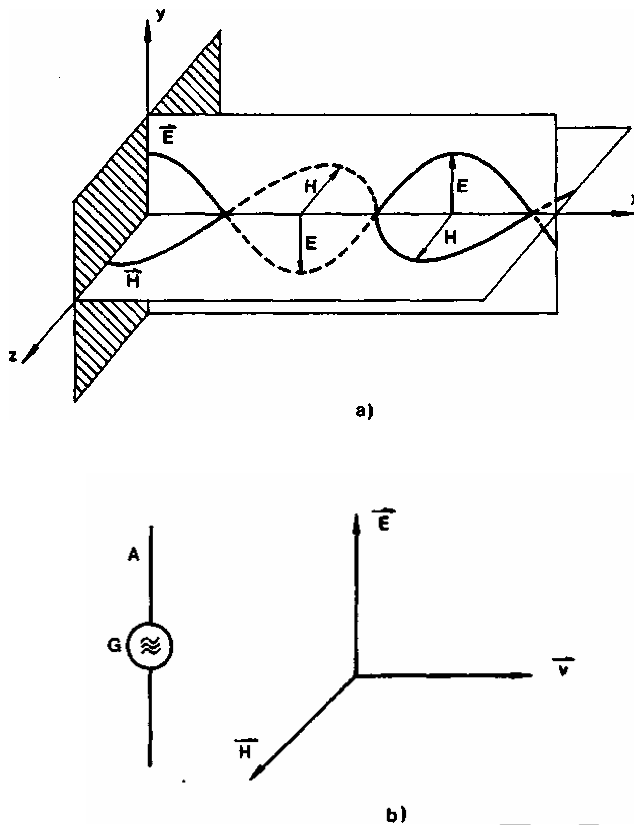
Fizika valnog gibanja poznaje dva osnovna tipa valova: longitudinalni i transverzalni val. Kod longitudinalnih valova titranje se zbiva u smjeru širenja vala. Najbolji primjer je zvučni val. Zgušnjavanja i razrjeđenja sredstva u kojem se val širi događaju se u smjeru širenja vala. Titranje transverznog vala zbiva se okomito na smjer širenja vala (za primjer može poslužiti val koji nastaje na vodenoj površini kada se na nju baci kamen). Čestice titraju gore-dolje, a val se širi od središta prema van. Elektromagnetski val pripada grupi transverzalnih valova.



Slika 7.5 - Silnice električnog polja (e) i magnetskog polja (h) oko antene A

Maxwellova teorija elektromagnetskog polja predviđa da je postojanje elektromagnetskog polja uvjetovano vremenskom promjenljivošću i međusobnim stvaranjem električnog i magnetskog polja. Iz teorije proizlazi da se ova polja u prostoru nalaze jedno oko drugoga. To znači, želimo li ostvariti neki uređaj koji bi trebao zračiti elektromagnetski val, taj bi uređaj trebao stvarati promjenjivu električnu i magnetsku komponentu polja na jednom zajedničkom mjestu. Eksperimentalno i teoretski se našlo da jedan dugački vodič nazvan "antena" može imati svojstva jednog titrajnog kruga. Ovaj vodič ima induktivitet L raspoređen duž žice, a kapacitet C raspoređen između simetričnih dijelova žice. Ako se u ovakvoj strukturi (anteni) održava stalno titranje električne struje pomoću radiopredajnika koji napaja antenu, tada se oko cijele dužine antene stvara promjenljivo magnetsko polje, a ovo opet oko sebe električno polje itd. (slika 7.5)

Jednim imenom nazivamo to elektromagnetskim poljem koje je, dakle, nastalo vremenskim mijenjanjem međusobno nedijeljivog magnetskog i električnog polja. Periodične promjene jakosti elektromagnetskog polja šire se u okolni prostor sve dalje od antene brzinom svjetlosti (ako je antena okružena zrakom). Kažemo da antena zrači (emitira, isijava) elektromagnetski val. Na slici 7.6a prikazan je prostorni dijagram elektromagnetskog vala na kojem se vidi da su električno polje E i magnetsko polje H međusobno okomiti, a ravnine oba polja okomite na smjer širenja vala v . To se vidi na slici 7.6b gdje su prikazane pojedine komponente vektorima.



Slika 7.6 - Prikaz elektromagnetskog vala: a) prostorni i b) vektorski dijagram pojedinih komponenti

Elektromagnetski val između ostalog karakterizira valna dužina (razmak između istofaznih točaka elektromagnetskog vala) koja ovisi o frekvenciji i brzini širenja vala. Veza između ovih veličina (kada se elektromagnetski val širi kroz zrak) možemo iskazati izrazom:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ - valna dužina izražena u metrima.

c - brzina svjetlosti $3 \cdot 10^8$ m/s

f - frekvencija izražena u Hz (hertz).

Budući da je frekvencijsko područje koje je važno za radiofonske veze reda veličine stotinu MHz, gornji izraz se može modificirati u slijedeći oblik:

$$\lambda = \frac{300}{f [\text{MHz}]} [m]$$

Primjera radi, frekvenciji od 150 MHz odgovara valna dužina elektromagnetskog vala od dva metra.

Potrebno je naglasiti da elektromagnetski valovi obuhvaćaju vrlo široko frekvencijsko područje. Pored radiofrekvencijskog područja, jednaku prirodu širenja pokazuju toplinski, infracrveni valovi, vidljivi dio spektra svjetlosti, ultraljubičaste, rentgenske, gama i kozmičke zrake.

7.3. FREKVENCIJSKA PODJELA

Za potrebe radioveza koristi se samo jedan dio spektra elektromagnetskih valova koji nazivamo radio valovima. Radiovalovi su elektromagnetski valovi koji imaju frekvenciju manju od 3000 GHz (gigahertza), što odgovara valnoj dužini većoj od 0,1 mm. Donjom granicom radiospektra smatra se frekvencija od 10 kHz (kilohertza), odnosno valna dužina od 30 km. Uzimajući kao kriterij za podjelu frekvencijskog spektra pojave i svojstva prilikom širenja (prostiranja) radiovalova, predložena je podjela na devet područja. Ova podjela prikazana je u tablici 7.1.

Simboli za pojedina područja frekvencija nastali su kao kratice naziva na engleskom jeziku. Međutim, u svakodnevnom govoru često se područja nazivaju prema valnoj dužini pa se može čuti: dugi val, srednji val, kratki val i slično. Ovaj običaj potječe iz radiodifuzije (emitiranje radioprograma za veliki broj slušalaca) gdje ovakvo označavanje i može imati smisla. Nepogodnost korištenja kratica prema valnoj dužini posebno je izražena u području od vrlo visokih do ekstremno visokih frekvencija. Kod nas često korištena kratica za područje radiodifuzije je "UKV" (ultra kratki valovi). Iz dosljedne primjene tabele 7.1. za ovo područje kratica bi trebala biti "VKV" - vrlo kratki valovi. Nedosljednosti ove vrste mogu se prevladati primjenom kratica koje proizlaze iz "frekvencijske" domene pri raspodjeli. Postoje pokušaji uvođenja kratica za pojedina frekvencijska područja koje slijede iz našeg jezika (najčešće u vojnoj literaturi). Tako, primjerice kratica VVF ima značenje "vrlo visoke frekvencije" (područje VHF) ili UVF - ultra visoke frekvencije (područje UHF).

Tabela 7.1. Frekvencijska podjela spektra radiovalova

Simbol	Naziv	Opseg frekvencija	Valna dužina
VLF	vrlo niske frekvencije	3-30 kHz	100- 10km
LF	niske frekvencije	30-300 kHz	10-1 km
MF	srednje frekvencije	300-3000 kHz	1000- 100 m
HF	visoke frekvencije	3-30 MHz	100-10 m
VHF	vrlo visoke frekvencije	30-300 MHz	10-1 m
UHF	ultra visoke frekvencije	300-3000 MHz	100- 10cm
SHF	super visoke frekvencije	3-30 GHz	10-1 cm
EHF	ekstremno visoke frekvencije	30-300 GHz	10-1 mm
-	-	300-3000 GHz	1-0,1 mm

Razvoj radiokomunikacije uzrokom je široke primjene pojedinih frekvencijskih područja od strane mnogih službi kao što su radiodifuzija, radio-navigacija, pokretna pomorska, kopnena i zrakoplovna služba, fiksne službe, istraživanje svemira, meteorološka služba, satelitske komunikacije i mnoge druge. Kako ne bi bilo ometanja u radu pojedinih službi, potrebno je svakoj dodijeliti određene frekvencije ili frekvencijsko područje u kojem će služba ostvarivati svoju djelatnost.

S obzirom da radiovalovi ne priznaju državne granice i da se umnogome radi o globalnim komunikacijama, postoje međunarodni forumi koji brinu o raspodjeli frekvencija i svim ostalim pitanjima vezanim za radiokomunikacije. Međunarodna unija za telekomunikacije ITU (International Telecommunication Union) je organizacija osnovana 1865. godine, a danas djeluje u okviru Ujedinjenih naroda sa sjedištem u Genevi. Ona donosi konvencije, pravilnike, rezulucije i druge slične dokumente iz područja telekomunikacija uopće. Jedan od najznačajnijih dokumenata ITU-a je Međunarodni pravilnik o radiokomunikacijama. U njemu su definirane sve radioslužbe, raspodjela frekvencija, vrste radioemisija, pozivni znakovi itd.

U našoj zemlji sve poslove vezane na dodjelu frekvencija (radiokanala) i ostalih parametara i dokumenata iz područja radioveza obavlja Ministarstvo prometa i veza u skladu s preporukama ITU-a.

7.4 Osobitosti frekventijskih područja i primjena

Tipovi radiovalova

Prema načinu na koji radio-valovi, šireći se brzinom svjetlosti, stižu od predajnika do prijemnika, razlikuju se tri tipa radiovalova: prostorni, površinski i direktni val. *Površinski val* prostire se uz površinu te slijedi zakrivljenost Zemlje. Zbog toga je izložen apsorpciji površine preko koje se širi. Što je frekvencija veća to je i prigušenje veće pa se na relativno niskim frekvencijama postižu veliki dometi.

Prostorni val širi se prema gornjim slojevima Zemljine atmosfere. Tamo nailazi na ionizirane slojeve od kojih se može reflektirati i vratiti ponovo na Zemlju. Moguće su i višestruke refleksije kojima se ostvaruju globalne radioveze. *Direktni val* širi se pravolinijski poput zrake svjetla (kvazioptičko širenje). Nailaskom na prepreku val biva prigušen i reflektiran te radioveza nije moguća.

Koji od ova tri tipa radiovalova dominira prilikom ostvarivanja radioveze, ovisi u prvom redu o frekvenciji, odnosno valnoj dužini elektromagnetskog vala. Uvažavajući potrebe pojedinih službi, s obzirom na domet koji treba postići, dodijeljen im je odgovarajući frekventijski pojas. Uvjeti prostiranja ovise o mnogim čimbenicima, kao što su: pojava sunčevih pjega, intenzitet gornjih slojeva atmosfere, temperatura, dan i noć, doba godine itd. Svi ovi čimbenici utječu na kvalitetu prijenosa, a što se manifestira u nestabilnosti polja na mjestu prijema ili pojavi smetnji od nekih električnih procesa ili interferenciji od drugih sustava radio-veza. Stoga se zbog ostvarivanja kvalitetne veze unaprijed određuje postotak vremena u kojem odnos signal/šum smije dostići određene vrijednosti. Što se tiče smanjenja smetnji od pojave interferencije od drugih sustava radio-veza, to se postiže podjelom frekvencija ili usmjerenim zračenjem radio-valova pomoću antenskih sustava koji koncentriraju radio-val u obliku jednog snopa koji podsjeća na snop svjetlosti.

Način širenja i primjena

Prema podacima datim u tablici 7.1, moguće je klasificirati korisnike i karakteristike pojedinih frekventijskih područja.

Područje VLF

Elektromagnetski val, klasificiran u ovom frekventijskom području, širi se kao površinski val s vrlo malim prigušenjem. Na širenje vala ne utječe doba dana i doba godine. Pod uvjetom da je emitirana snaga reda 500 kW ili više, postižu se dometi od nekoliko tisuća kilometara. Ovo

frekvencijsko područje koristi se za veze dviju stacionarnih točaka na velikim udaljenostima, za radioveze s podmornicama te za standarde frekvencija i vremena.

Područje LF

U području niskih frekvencija širenje elektromagnetskog vala vrlo je slično širenju vala u području VLF s tim što se opaža da je danju nešto oslabljen u odnosu na noć. U ovom području ostvaruju se vrlo daleke veze uključujući prekooceanske veze uz korištenje odašiljača velike snage, te za sustave za globalnu radionavigaciju.

Područje MF

Širenje elektromagnetskog vala karakterizirano je jakim prigušenjem tijekom dana, a znatno manjim tokom noći. Ostvaruju se radioveze srednje udaljenosti od 800 km do 1500 km, ako je izlazna snaga odašiljača iznad 1 kW. Služba koja koristi ovo frekvencijsko područje je radiodifuzija (emitiranje radioprograma velikom krugu korisnika) popularno zvan "srednji val". Pored toga koristi se za ostvarivanje radioveza u pomorskoj mobilnoj službi (radioveze s brodovima) te pomorskoj fiksnoj službi (lučke radioveze). U ovom frekvencijskom području rade sustavi za globalnu radionavigaciju (određivanje pozicije broda, aviona i sl.) kao što su "LORAN", "LORAN C" i drugi.

Područje HF

U svim dosad spomenutim frekvencijskim područjima dominantan je način prostiranja površinskim valom. Pored površinskog vala, koji ima relativno mali domašaj, u području HF zastupljen je i dominantan prostorni val. Zahvaljujući postojanju ionosfere, prostorni se val odbija od nje te se vraća za Zemlju relativno daleko što osigurava veliki domašaj. Uz višestruke refleksije moguće je ostvariti globalne radioveze. Kvaliteta i karakteristika ionosferskog sloja dominantno ovise o aktivnosti Sunca jer se ionosfera stvara pod djelovanjem ultraljubičastog i korpuskularnog zračenja sa Sunca. Iz tog razloga karakteristike širenja elektromagnetskog vala ovise o dobi dana, godišnjem dobu, ovise o fazi jedanaestogodišnje aktivnosti Sunca, broju Sunčevih pjega i primijenjenoj frekvenciji. Ovo frekvencijsko područje koriste mnoge radioslužbe kao npr: radiodifuzija, navigacija, fiksne i pokretne službe, vojska, pomorstvo, radioamateri itd.

Područje VHF

U ovom frekvencijskom području dominira kvazioptičko širenje elektromagnetskog vala (direktan val). Zbog zakrivljenosti Zemlje i postojanja niza geografskih prepreka (planine, udoline, klanci) dometi koji se mogu ostvariti nisu veći od oko 150 km. S obzirom da na širenje izravno ne utječe aktivnost Sunca, tj. stanje ionosfere, radioveza je vrlo postojana i sigurna. Stoga ovo frekvencijsko područje koriste mnoge radioslužbe: emitiranje radio i TV-programa, radioveze u avijaciji, funkcionalni sustavi radioveza mnogih korisnika (građevinske organizacije, distribucija svih energenata, policija, vatrogasci, hitna pomoć itd.) i slično.

Područje broj UHF

Način širenja elektromagnetskog vala jednak je kao i u području VHF s izraženijim zasjenjenjem iza geografskih prepreka. Većina radioslužbi koje koriste frekvencijsko područje UHF, nalaze svoje mjesto i u ovom području, a najviše su zastupljena poduzeća koja se bave javnim mobilnim komunikacijama. Pored toga koristi se za usmjerene radiorelejne veze, meteorološka istraživanja (razne meteorološke mjerne sonde i si.), radarske sisteme itd.

Područje broj SHF

Ovo frekvencijsko područje se naziva i mikrovalnim područjem u kojem se elektromagnetski val širi kao direktan val (gotovo optički). Svaka prepreka na putu širenja vala praktično onemogućava radiovezu. U ovo frekvencijsko područje smještene su usmjerene radiorelejne veze, radarski sustavi, mnogi vojni sustavi za borbenu podršku (IFF, TACAN), satelitske veze (telefonski interkontinentalni kanali, razmjena TV i radioprograma sa satelita), radioastronomija i drugo.

Područje broj EHF

Ovo područje ekstremno visokih frekvencija danas se koristi uglavnom u vojne svrhe za radarske i satelitske veze, za radioastronomska istraživanja i sl. I u ovom frekvencijskom području jedini način širenja elektromagnetskog vala je kvazi optički.

7.5. Frekvencije i oznake radiokanala u sustavu radiofonskih veza Hrvatskih željeznica

Sustavi profesionalnih radio-veza dijele se u dvije grupe. To su sustavi nepokretnih ili fiksnih veza i sustavi pokretnih ili mobilnih radio-veza.

Sustavi radio-veza u kojima predajne i prijemne stanice imaju fiksni geografski položaj naziva se fiksna ili nepokretna radio-veza. Ovakve veze služe u javnom telefonskom prometu, radio-televiziji, faksimilu, prenosu podataka, ali i u eksploataciji posebnih organizacija kao što su željeznica, vojska, zrakoplovna služba, novinske agencije, meteorološka služba, elektroprivreda, policija i drugi.

Nepokretne radio-veze prema nekim zajedničkim osobinama mogu se podeliti na analogne i digitalne sustave radio-veza.

Sistem radiofonskih veza Hrvatskih željeznica radi na dva frekvencijska područja. To su područja vrlo visokih frekvencija (VHF - područje) i ultra visokih frekvencija (UHF-područje). U svakom od ova dva područja Hrvatskim željeznicama dodijeljeno je frekvencijsko područje određene širine na isključivo korištenje za potrebe ostvarivanja radioveza neophodnih za normalno i efikasno funkcioniranje službe. Oba frekvencijska područja organizirana su i podijeljena na radiokanale i pritom svaki kanal zauzima jedan mali dio frekvencijskog spektra. Svakom radiokanalu, karakteriziranom s centralnom frekvencijom, dodijeljen je određeni naziv (ime) u obliku dvoznamenkastog ili troznamenkastog broja s eventualnim dodatkom jednog slova. Na taj način omogućeno je korisnicima sredstava veze u sistemu radiofonskih veza da se jednostavno dogovaraju i planiraju npr. prelazak na neki drugi kanal, pojednostavljuje se radiofonski imenik, olakšava se rukovanje radiouređajima, jer oni sadrže oznaku radiokanala, a ne frekvenciju itd. Ako, na primjer, razgovaraju dva manevrista preko radiostanice pa iz određenih razloga trebaju promijeniti radni kanal, tada jedan od njih priopćava: "Prijeđi na kanal 28." To je daleko jednostavnije i jednoznačnije, nego da korisnik mora reći: "Prijeđi na frekvenciju 155,725 megaherca."

Oznake radiokanala jedinstveno su definirane za čitavo područje republike Hrvatske, a mogu se naći u "Generalnom planu veza republike Hrvatske".

VHF frekvencijsko područje

U području vrlo visokih frekvencija (VHF - područje broj) organiziraju se regionalne radiomreže namijenjene za ostvarivanje radioveza na širem području - regiji najčešće pomoću radiorepetitora. Patrola koja u vozilu ima ugrađenu radiostanicu, krećući se autoputom koji kontrolira, može

uspostaviti radiovezu s centrom veze te predati važnu informaciju ili od centra primiti kakvu naredbu. U ovom frekvencijskom području postoje dvije grupe radiokanala. To su kanali za simpleksni rad kada se radioveza između dvaju korisnika ostvaruje izravno i kanali za semidupleksni rad kada se radioveza ostvaruje posredstvom radiorepetitora.

Radiokanali namijenjeni za simpleksni način rada imaju oznake: 32, 32A, 33, 33A, ..., 40, 40A, 41, 41A, 42, 42A.

Kod ovih radiokanala predajnik i prijemnik rade na istoj frekvenciji.

Razmak susjednih radiokanala je 25 kHz. Radiokanali namijenjeni za semidupleksni (repetitorski) način rada imaju oznake: 43, 43A, 44, 44A, ..., 88, 88A, 89, 89A i 90.

Postoji razlika u frekvenciji predajnika i prijemnika od 4,5 MHz, stoje neophodno kada se veza uspostavlja posredovanjem repetitora.

UHF frekvencijsko područje

U području ultra visokih frekvencija (UHF - područje) organiziraju se lokalne, kolodvorske radiomreže u urbanim sredinama. One mogu biti simpleksnog ili semidupleksnog tipa. Ovo frekvencijsko područje pogodno je za takve veze jer u gradu postoji niz građevina, zgrada koje reflektiraju radiovalove i time omogućuju efikasno pokrivanje terena radiosignalom. Pored toga, u ovom frekvencijskom području organiziraju se usmjerene linkovske radioveze dupleksnog tipa (prijenos informacija istodobno u oba smjera) za potrebe povezivanja radiorepetitora ili kao zamjena za četverožični telefonski vod.

Radiokanali namijenjeni simpleksnom načinu rada obično imaju slijedeće oznake: 101, 102, 103, 104, 105, 148, 149, 150, 151, 101A, 102A, 103A, 104A, 105A, 149A, 150A i 151A.

Radiokanali namijenjeni za semidupleksni rad obično imaju slijedeće oznake: 106, 107, 108, 109, ..., 143, 144, 145 i 146.

Razlika frekvencija prijemnika i predajnika na ovom frekvencijskom području iznosi 10 MHz što je potrebno za ostvarivanje repetitorskog načina rada.

Radiokanali namijenjeni za linkovske dupleksne radioveze imaju slijedeće oznake: 161, 162, 163, 164, ..., 192, 193, 194 i 195.

Sustavi radio-relejnih veza

Radio-relejne veze uglavnom rade u opsegu metarskih, dekametarskih i centimetarskih valova. Ove veze često se nazivaju i veze na ultrakratkim valovima (UKV). Za talasne dužine manje od 25 cm često se nazivaju mikrovalne veze ili veze na hiperfrekvencijama. U ovim vezama isključivo se koriste direktni valovi, te iz tog razloga predajna i prijemna antena moraju nalaziti na liniji optičke vidljivosti. Kako bi se ostvarile veze na većim udaljenostima koje nisu u granicama optičke vidljivosti, grade se usputno relejne postaje. U njima se signal, primljen od prethodne slanice, pojačava i dalje emitira prema slijedećoj relejnoj postaji. Na sl. 7.7. prikazana je veza između krajnjih postaja A i B koja se ostvaruje u više skokova, posredstvom relejnih postaja C, D i E.

Za ostvarenje radio-relejnih veza koristi se mogućnost usmjerenog prijenosa obzirom na frekventne opsege koji se kreću od 300 MHz do 300 GHz. Usmjerene radioveze korištenjem relejnih postaja prenose sve oblike informacija uz visok stupanj pouzdanosti, kvalitete i ekonomičnosti.

U željezničkoj mreži radio-relejne usmjerene veze se koriste duž željezničkih magistralnih pruga za prijenos visokofrekventnih (VF) i telegrafskih (Tg) kanala. Ove veze je moguće koristiti i za ostvarenje pružnih i dispečerski veza, prijenos telemehaničkih informacija i ostvarenje signalno-sigurnosnih ovisnosti.

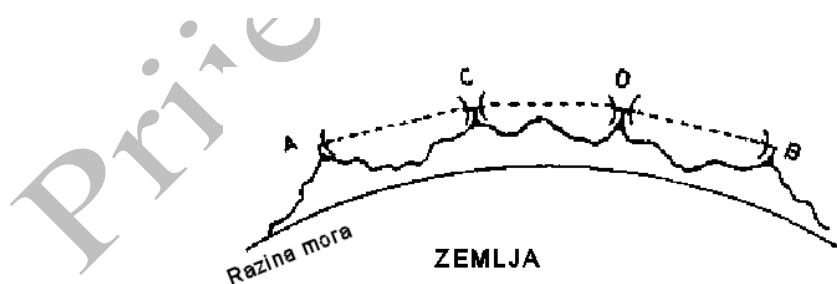
Mobilne radio-relejne veze omogućuju ostvarenje brzih i ekonomičnih rješenja pri izvanrednim uvjetima rada, većih kvarova na žičnim sustavima pružnih veza, kod formiranja centra veze za remontno- operativne potrebe, za preventivno održavanje pružnih i stabilnih postrojenja električne vuče i automatike, za povezivanje rukovodioca radova i nadzornih službi sa odgovarajućim prometnim operativnim centrima i tehničkim bazama.

Kod željezničkih radio-relejnih veza krajnje postaje se postavljaju u objektima željezničkih telekomunikacijskih centara, dok se radio-relejne postaje postavljaju, gdje je to moguće, u zajedničkim objektima vlasnika funkcionalnih sustava veza kao HT, HTV, elektroprivreda. Ovo je razumljivo s obzirom na potrebna ulaganja u objekte za telekomunikacijske i napojne uređaje, antenske tornjeve, puteve, dalekovode, ljudstvo za održavanje.

Radio-relejne veze na HŽ primenjuju se prvenstveno za osiguranje mobilnih sustava kao zamjena za uništene dionice telekomunikacijskih željezničkih sustava, povezivanje pomoćnih i pokretnih centara veze, kao i osiguranje osnovnih ili dopunskih snopova telefonskih i telegrafskih veza.

Otpremno-prijemni radio-relejni uređaji se obično postavljaju neposredno pokraj antenskih tornjeva ili samom tornju kako bi valovodi ili antenski kabeli od radio-relejnih uređaja do antena bili što kraći, čime se izbegavaju nepotrebn gubici.

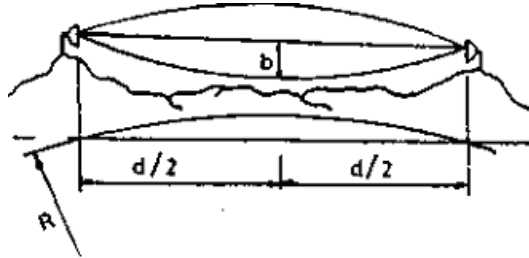
Sami kanalni uređaji, odnosno visokofrekventni kanalni uređaji, smješteni su u telekomunikacijskim centrima, a povezani su s radio- relejnim uređajima preko simetričnih ili koaksijalnih vodova. Na taj način omogućena je komutacija poruka preko postojećih ŽAT centrala.



Slika 7.7. Radio-relejna veza

Za svaku udaljenost između krajnjih i relejnih ili samo relejnih postaja mora biti zadovoljena ne samo optička vidljivost nego i snop radio-valova mora imati u sredini slobodan prostor – tzv. I Frenelovu zonu prikazanu slikom 7.8, pri čemu se za visinu antenskih stupova i I Frenelovu zonu mora treba uzeti u obzir zakrivljenost zemlje. Na sredini Frenelove zone slobodan prostor mora biti najmanje:

$$b = \frac{1}{2} \sqrt{d \cdot \lambda}$$



Slika 7.8. Frenelova zona kod direktne vidljivosti

Primjena UKV radioveza omogućava prijenos vrlo velikog broja telefonskih kanala i televizijskih programa.

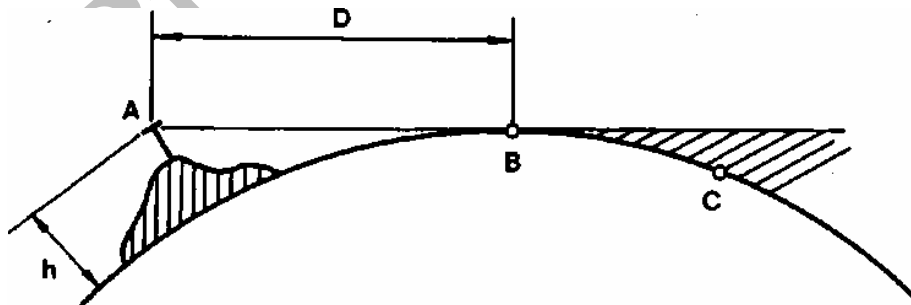
Razmak između relejnih postaja ne bi trebao prelaziti 50 do 70 km. U željezničkim UKV vezama ti razmaci se kreću i do 80 km.

Kod prijenosa ultrakratkim valovima dolazi do varijacija polja na mjestu prijema, odnosno do smanjenja, pa i iščezavanja polja koji nazivamo pojavom fedinga. Feding nastaje zbog promjene uvjeta prostiranja tijekom dana i noći, godišnjeg doba, ali i zbog toga što direktni i reflektirani valovi stižu do mjesta prijema sa različitim faznim kutem. Ova pojava izraženija je u ravničarskim predjelima gdje je veća vjerojatnost pojave reflektiranog vala od vode ili nekog objekta.

7.6. PRIJEM, ODAŠILJANJE, DOMAŠAJ

7.6.1 Domašaj

Za frekvencijska područja, u kojima se ostvaruju radioveze u sistemu radiofonskih veza, dominantan način širenja elektromagnetskog vala je direktan val, odnosno kvazioptičko širenje. To znači da odašlani elektromagnetski val ide pravocrtno od mjesta odašiljanja bez mogućnosti reflektiranja od slojeva ionosfere. Nailaskom vala na prepreku u obliku planine ili visoke građevine, dolazi do njegovog jakog prigušenja iza prepreke pa najčešće radiovezu nije moguće ostvariti. Zakrivljenost Zemlje, u ovom slučaju, predstavlja ograničavajući element za ostvarivanje određenog domašaja radioveze. Teoretski ostvareni domašaj jednak je optičkom horizontu, što je ilustrirano slikom 7.9.



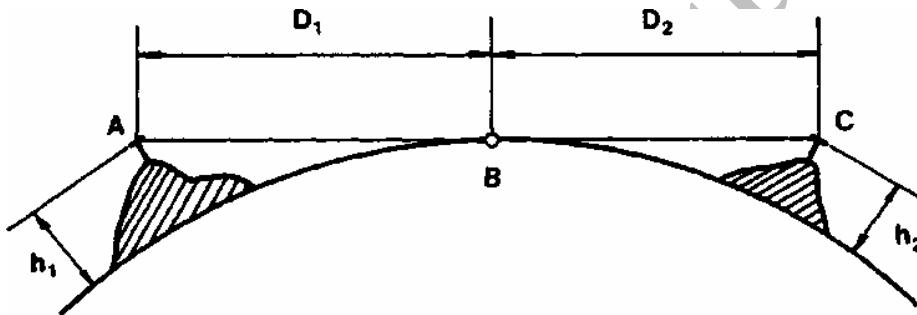
Slika 7.9. - Domašaj D jednak je optičkom horizontu gledanom s točke A u kojoj je antena na visini h

U praksi je primijećeno da su stvarni domašaji, koji se u svako doba mogu ostvariti na VHF i UHF frekvencijskim područjima na glatkom terenu bez prepreka, veći za otprilike 15% od optičkog horizonta. Rezultat istraživanja ovog fenomena kaže da je ovo savijanje elektromagnetskog vala prema Zemlji (što daje veći domašaj od teoretskog) uzrokovano smanjivanjem koeficijenta prelamanja u zraku s porastom visine. Ovaj koeficijent određen je sadržajem vodene pare, tlakom i temperaturom troposfere. Ako se povećanje domašaja uzme kao pravilo, tada se može napisati jednadžba domašaja D koja ne uzima u obzir stvarni srednji radijus Zemlje od 6370 km, već efektivni radijus Zemlje koji je $4/3$ stvarnog. Ovako ostvareni domašaj možemo nazvati radiohorizontom.

$$D = 4,124 \cdot \sqrt{h}$$

gdje je D domašaj do radiohorizonta izražen u kilometrima, a h je visina antene izražene u metrima.

Toliki domašaj ostvario bi se u slučaju da se jedna radiostanica nalazi na visini h u točki A, a druga u točki B (točka dodira s tangentom koja prolazi točkom A gdje se nalazi prva radiostanica). U slučaju da se druga radiostanica nalazi u točki C, radioveza ne bi bila moguća jer je točka C u sjeni iza horizonta. Često se događa da su obje radiostanice na nekoj relativnoj visini u odnosu na tlo što je ilustrirano slikom 7.10.



Slika 7.10. - Primjer maksimalnog domašaja kada su antene radiostanica na visini h_1 i h_2

U tom slučaju maksimalan domašaj D jednak je zbroju pojedinih udaljenosti radiostanica do točke radiohorizonta (točka B).

$$D = D_1 + D_2$$

$$D = 4,124 \cdot \sqrt{h_1} + 4,124 \cdot \sqrt{h_2}$$

U praksi se ovakav idealan slučaj ne susreće često. Između dvije radiostanice postoje prirodne i umjetne prepreke (brda, uzvisine, šuma, zgrade, postrojenja) što uvjetuje da stvarni domašaj bude manji nego što kao rezultat daje sređeni izraz:

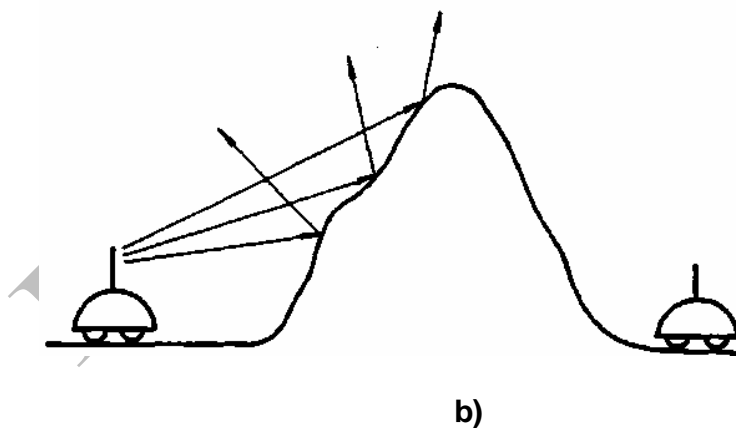
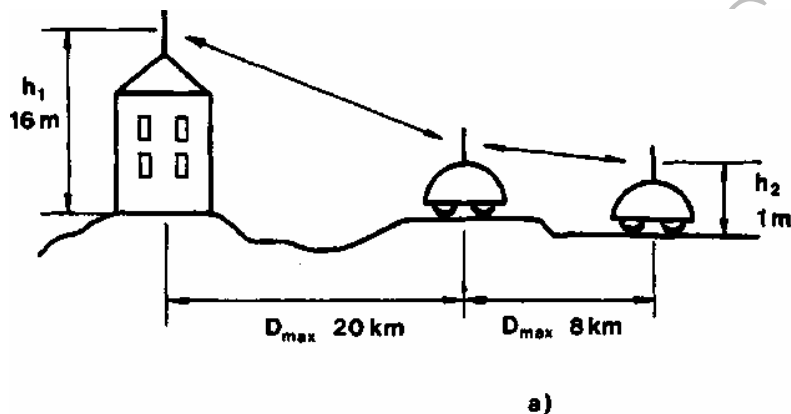
$$D = 4,124 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

7.6.2 Prijem i odašiljanje kod simpleksnog načina rada

Simpleksni način rada prilikom održavanja radioveze nazivamo onaj slučaj kada se prijenos informacije između dvije radiostanice obavlja naizmjenice na radiokanalu na kojem je prijemna i predajna frekvencija identična. To znači da je jedna radiostanica na predaji, a njen korisnik informaciju priopćava korisniku druge radiostanice koja je u tom času na prijemu. U slijedećem trenutku oni

mijenjaju uloge pa korisnik druge radiostanice priopćava odgovor korisniku prve radiostanice koji sada sluša. Kada se kaže da je pritom frekvencija identična, to znači da je prijemnik jedne radiostanice postavljen na frekvenciju na kojoj radi predajnik druge radiostanice i obrnuto.

Radioveza se, dakle, uspostavlja izravno između radiostanica. Kakve su mogućnosti simpleksnog načina rada s obzirom na domašaj koji se može ostvariti? Ako pokretna (mobilna) radiostanica, bila ona u automobilu ili na motorkotaču, ima antenu na visini oko jedan metar iznad tla. Kada se u izraz za domašaj uvrste vrijednosti za h_1 i h_2 od 1 metar dobije se domašaj $D=8,248$ km. Iz ovoga se vidi da je simpleksna radioveza između dviju mobilnih radiostanica moguća na udaljenosti do oko 8 km. S obzirom da je komandni centar veze smješten u zgradi, antena se postavlja na stup na njenom krovu i nalazi se na visini oko 16 metara iznad tla. Uvrštavanjem ove vrijednosti za h_1 i 1 metar za h_2 u izraz za domašaj D dobije se vrijednost 20,62 km. To znači da je moguće uspostaviti simpleksnu radiovezu između upravljačkog centra veze i mobilne stanice na udaljenosti do 20 km. Ova situacija ilustrirana je na slici 7.11a.



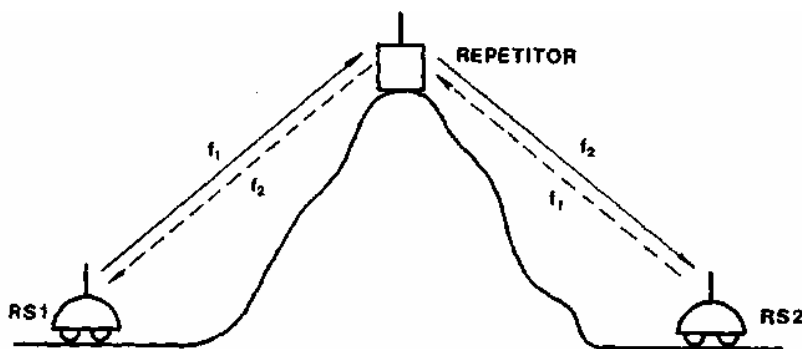
Slika 7.11. - Simpleksna radioveza moguća je između radiostanica ako je između njih radiohorizont čist (a); simpleksna radioveza nije moguća ako je između radiostanica prepreka (b)

Kako je već naglašeno, na frekvencijskom području na kojem se uspostavljaju radioveze u sistemu radiofonskih veza operativnih djelatnika željeznice, postoji kvazioptičko širenje elektromagnetskog vala. Nailaskom vala na prepreku (npr. brdo), dolazi do njegovog odbijanja

(refleksije), a iza prepreke ne postoji elektromagnetski val. Simpleksna radioveza, dakle, nije moguća što ilustrira slika 7.11b.

7.6.3 Prijem i odašiljanje kod semidupleksnog načina rada

S obzirom na relativno mali domašaj i ograničene mogućnosti pokrivanja terena radiosignalom, uvodi se semidupleksni način radapostavljanjem radiorepetitora na istaknutu geografsku kotu. S aspekta krajnjeg korisnika nema razlike u načinu odvijanja razgovora u odnosu na simpleksni način rada. I u ovom slučaju dok jedan korisnik radiostanice govori, drugi ga može samo slušati. Razlika postoji utoliko što frekvencija predajnika nije identična frekvenciji prijemnika te se ovakav način rada ponekad naziva i dvofrekvencijski simpleks.



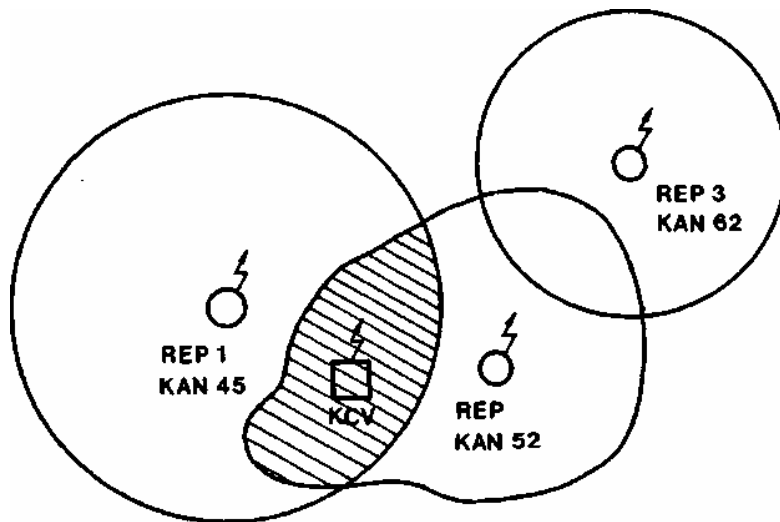
Slika 7.12. - Postavljanjem radiorepetitora na dominantnu planinsku kotu rješava se problem pokrivanja širokog područja radiosignalom

Na slici 7.12 ilustriran je princip semidupleksnog načina rada posredstvom radiorepetitora postavljenog na dominantnu kotu. Kada korisnik radiostanice RS1 želi uspostaviti radiovezu s drugim korisnikom, on prelaskom na predaju odašilje signal na frekvenciji f_1 . To prima radiorepetitor REP jer je njegov prijemnik ugođen na frekvenciju odaslanog signala krajnje stanice. Čim radiorepetitor počne primati signal, automatski prelazi na predaju na frekvenciji f_2 (f_1 je različito od f_2), a govorni signal iz njegovog prijemnika proslijedi se u njegov predajnik. Prijemnik krajnje radiostanice RS2 ugođen je na predajnu frekvenciju repetitora f_2 . Tako korisnik radiostanice RS2 može primiti odašlanu poruku iako između njega i korespondenta postoji prepreka koja onemogućava ostvarivanje izravne (simpleksne) radioveze.

Identičan je slučaj kada korisnik radiostanice RS2 želi priopćiti neku obavijest korisniku radiostanice RS1. Iz gore navedenog vidi se da prijemnik i predajnik radiorepetitora rade istodobno (simultano), ali na dvije različite frekvencije repetitor radi dupleksnim načinom rada. S obzirom da krajnja radiostanica u biti radi simpleksnim načinom rada (ili je na prijemu ili je na predaji), radiovezu u cjelini možemo zvati semidupleksnom ili polidupleksnom.

Kakve je domašaje moguće postići korištenjem ovog principa? Primjer. Radiorepetitor postavljen je na planinski vrh koji se uzdiže 1000 metara iznad okolnog tla. Kao u slučaju simpleksnog načina rada, antena kolske radiostanice nalazi se 1 metar iznad tla. Prema izrazu), domašaj ovakve radioveze bit će $D=134,5$ km što predstavlja radijus zone pokrivanja na ovu visinu postavljenog radiorepetitora. S obzirom na stacionarne radiostanice ili komandne centre veze s antenom na visini 16 metara iznad tla, iznosi $D=146,9$ km.

To znači da je moguća radioveza između npr. prometnog centra veze HŽa i prometnog centra Osijek uz korištenje radiorepetitora postavljenog na planini Psunj (nadmorska visina 989 metara).



Slika 7.13 - Zone pokrivanja radnog repetitora (npr. na kanalu 45) i rezervnog repetitora (npr. na kanalu 52) moraju se preklapati na mjestu komandnog centra veze

Mreža radiorepetitora na VHF frekvencijskom području okosnica je sistema regionalnih radiomreža. Lokalni radiorepetitori, koji rade na UHF frekvencijskom području, potrebni su prilikom formiranja velikih kolodvorskih radiomreža.

7.6.4 Prijem i odašiljanje kod dupleksnog načina rada

Kod dupleksnog načina rada prijenos informacija ostvaruje se istodobno u oba smjera tj. oba korisnika radiostanice mogu istodobno govoriti i slušati. Ovakav način održavanja radioveze identičan je načinu rada u standardnoj telefonskoj vezi. Radiostanice su kod oba korisnika istodobno (simultano) na prijemu i predaji, ali se koriste dvije frekvencije. Predajna frekvencija jedne radiostanice identična je prijemnoj frekvenciji druge radiostanice i obrnuto. U sistemu radiofonskih veza ovakav način rada nema osobitu važnost. Primjenjuje se u slučajevima kada je npr. potrebno dva udaljena mjesta povezati telefonskom vezom, a za to nisu na raspolaganju fizički vodovi (parice). One se tada zamjenjuju (supstituiraju) dupleksnom linkovskom vezom najčešće na UHF frekvencijskom području.

Konačno, željeznički radio uređaji se mogu podijeliti na :

- dispečerski radio - uređaj,
- UHF kolodvorske radio - mreže i
- VHF radio - mreže.