

Elektronika za mlade – 13. nastavak

3.3. Osnovno poznavanje funkcija ispravljača, pojačala, detektora i oscilatora

Blok-sheme elektroničkih uređaja

Već smo u uvodu rekli da ovu seriju pišemo prema *Programu za polaganje radioamaterskoga "P" ispita*, koji predviđa tek osnovno poznavanje elektrotehničkih pojmova. Kako se radi samo o *funkciji*, a ne i o električnoj shemi, tu će nam pomoći tzv. *blok-shema* navedenih sklopova. Naime, svaki složeniji elektronički ili radiotehnički uređaj sastoji se od nekoliko *stupnjeva* koji su međusobno funkcionalno povezani. Kod složenijih uređaja, npr. televizora ili SSB-odašiljača, često se služimo blok-shemom koja ima nekoliko povezanih pravokutnika koji označuju pojedine stupnjeve i njihove međusobne veze. U svakome stupnju ostvaruje se odgovarajuća prerada električnog signala, kako bismo na kraju dobili ono što nam treba. Svaki takav stupanj ima svoj ulaz (engl. *input*) i izlaz (*output*). Mi ne moramo znati kako je stupanj spojen, ali moramo znati što on radi. Znači da on može za nas biti i "crna kutija". Npr. ako vidimo da u jednu zgradu ulaze bolesni ljudi, a poslije nekog vremena iz nje izlaze zdravi, znat ćemo da se radi o bolnici, pa makar o medicini ne znali ništa, niti kako ih liječe u toj zgradi.

U radiotehnici ne postoji beskrajn broj mogućih funkcija, već je taj broj ograničen, a njihovom kombinacijom možemo načiniti razne uređaje. U tabl. 1. nabrojali smo šest najčešćih. To su: *modulacija, rezonancija, demodulacija, pojačanje signala, povratna veza i miješanje frekvencija*. U pojedinom stupnju može biti ujedinjeno i više funkcija. No, idemo redom.

Modulacija je postupak kojim u VF noseću frekvenciju "utiskujemo" onaj signal koji želimo bežično prenijeti (zvučni, video, digitalni). Postoje razne vrste modulacije: amplitudna (AM), frekvencijska (FM), impulsna itd. Izvodi se u modulacijskom stupnju odašiljača.

Rezonancija je svojstvo titrajnog kruga (ili piezoelektričkoga kristala) da neku frekvenciju izdiže (ili potiskuje). Time se postiže *selektivnost* prijamnika.

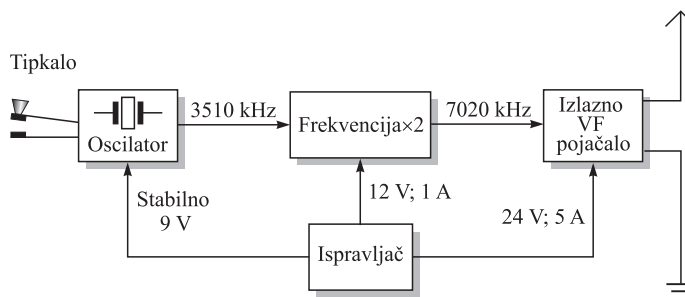
Demodulacija je postupak suprotan modulaciji. Njome u prijamniku "skidamo" modulacijski signal koji nam je bežično donio modulirani signal visoke frekvencije. Demodulacijski stupanj je npr. *detektorski prijamnik*, što ga je u prošlom

broju ovoga časopisa opisao 9A2RQ na 17. stranici (sl. 4.). U tom stupnju imamo dvije funkcije: *rezonanciju* (ostvarenu titrajnim krugu *LC*) i *demodulaciju* (ostvarenu kristalnom diodom KD). Na izlazu imamo signal niske frekvencije, tj. zvuk u slušalicama.

Pojačanje je jedna od najčešćih i najvažnijih funkcija elektroničkih uređaja. Ono može biti *naponsko pojačanje* ili *strujno pojačanje* (npr. u predpojačalima), te ukupno *pojačanje snage* (npr. u izlaznom stupnju odašiljača ili zvučnog pojačala). Osim toga, ta pojačala mogu biti za visoku frekvenciju (VF pojačalo) ili za nisku frekvenciju (NF pojačalo).

osnovnu frekvenciju i za frekvenciju lokalnog oscilatora) i jedan izlaz za međufrekvenciju.

Postoje i druge funkcije, iako rjeđe, npr. ograničavanje razine signala (limiter), namjerno izobličenje signala (električna gitara, množila frekvencije), prilagodba impedancije, opskrba stupnjeva odgovarajućim istosmjernim naponom, itd. To se većinom odnosi na klasičnu, tj. analognu elektroniku, odnosno radiotehniku, jer su uređaji za digitalnu elektroniku drukčije građeni. Na sl. 1. vidimo blok-shemu jednostavnog odašiljača za telegrafiju (CW). Oscilator je kristalni, što znači da je vrlo stabilne



Slika 1.

Povratna veza se ostvaruje tako da se dio signala iz izlaza pojačala vodi nazad na njegov ulaz. Ta veza može biti pozitivna (u fazi) ili negativna (u protufazi). Pozitivna povratna veza omogućuje rad oscilatora, dok negativna povratna veza može stabilizirati rad pojačala, smanjiti njegovo izobličenje ili automatski regulirati njegovo pojačanje. U oscilatoru imamo ujedinjene tri funkcije: rezonanciju, pojačanje i pozitivnu povratnu vezu. Postoje deseci tipova oscilatora, ali svaki od njih mora imati titrajni krug ili piezoelektrički kristal (koji određuju frekvenciju), tranzistor ili elektronsku cijev (koji daju pojačanje) i pozitivnu povratnu vezu iz izlaza na ulaz (koja nadoknađuje gubitke i tako podržava oscilaciju).

Miješanje frekvencija je važna funkcija, jer nam omogućuje izradu superheterodinskog prijamnika, koji je danas gotovo jedini tip prijamnika. Miješanjem dvaju signala različitih frekvencija dobivamo njihov zbroj i razliku, signal međufrekvencije, tzv. *međufrekvenciju*, koji se onda može dalje pojačavati i obrađivati. Stupanj za miješanje ima dva ulaza, za

frekvencije, ali se ona ne može mijenjati. Iza njega je stupanj za udvostručenje frekvencije (množilo frekvencije) kojom pobuđujemo izlazno pojačalo. Ono je spojeno na odgovarajuću rezonantnu antenu. Iz potrošnje izlaznog stupnja možemo zaključiti da se radi o odašiljaču snage reda vrijednosti 100 W.

Ispravljači

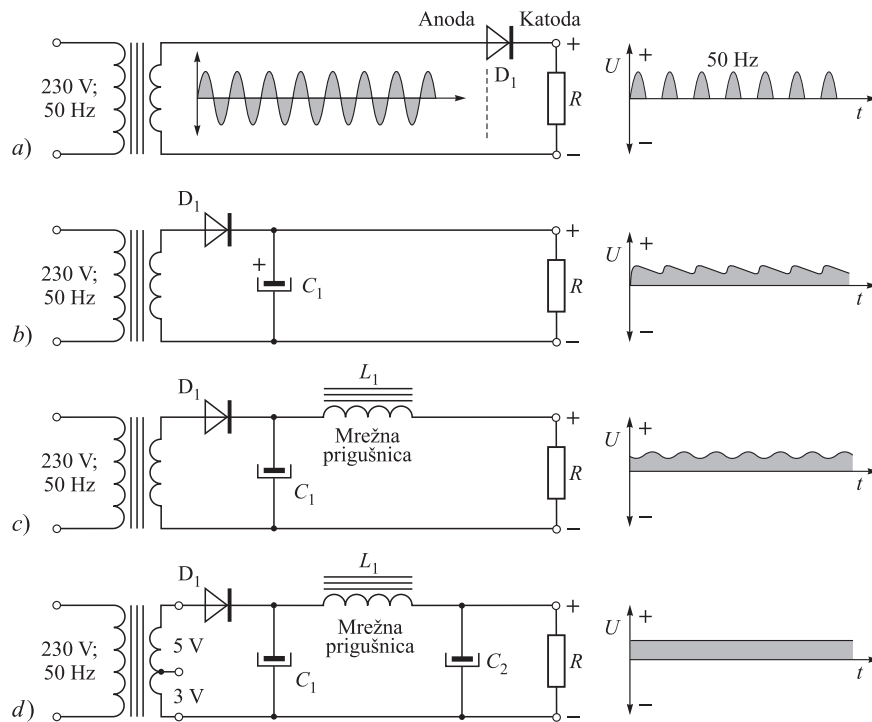
U počecima razvoja radiotehnike električnu energiju za rad prijamnika davale su baterije: u trgovini ste mogli kupiti prilično glomaznu i skupu tzv. "anodnu bateriju" napona 125 V, koja je davala istosmjerni anodni napon za elektronske cijevi. Katode tih cijevi u pravilu su se žarile strujom iz olovnoga akumulatora, napona 4 V, koji ste redovno morali nositi na punjenje. Dolaskom u kuće elektroenergetske mreže s izmjeničnom električnom strujom, pojavili su se ispravljači koji izmjeničnu struju frekvencije 50 Hz pretvaraju u istosmjernu. Kao električni ventil služila je elektronska cijev dioda, zvana "ispravljačica". Danas taj posao obavljaju poluvodičke diode. Izmjeničnu struju nije

dovoljno ispraviti, već ju poslije toga treba i "ispeglati", kako se u zvučniku ne bi čulo brujanje. To čine kondenzatori velikog kapaciteta, najčešće elektrolitski, i mrežne prigušnice koje imaju malen otpor za istosmjernu, a velik otpor za izmjeničnu struju. Tu je još i transformator koji izmjenični napon od 230 V pretvara u odgovarajući napon potreban za rad tog uređaja. Ispravljanje može biti jednostrano (poluvalno) i dvostrano (punovalno). Na sl. 2. vidimo jednostrano ispravljanje. Kod dvostranoga ispravljanja i pozitivni i negativni poluval

izmjenične struje usmjeravaju se u istome smjeru. Tu je onda potreban dvostruki sekundarni namotaj na transformatoru i dvije diode, ili tzv. Graetzov spoj s četiri diode. Današnji ispravljači često imaju i spoj za stabilizaciju napona, što se postiže Zenerovim diodama, ili posebnim elementima za stabilizaciju napona. (Koga to više zanima, naći će potpuno objašnjenje u tek izišloj knjizi *Radiokomunikacije* (Zadro, Štancl, Botica, Marin; str. 114, točka 3.3.)

Danas smo upoznali sljedeće pojmove:
 - blok-shemu elektroničkih uređaja,
 - glavne funkcije elektroničkih sklopova: modulaciju, rezonanciju, demodulaciju, pojačanje, povratnu vezu i miješanje,
 - ispravljač kao najčešći izvor za napajanje elektroničkih uređaja.

U sljedećem nastavku govorit ćemo o osnovnom poznavanju funkcije prijmnika i blok-shemi jednostavnog prijmnika. ■



Slika 2.

Tablica 1. Glavne funkcije radiotehničkih sklopova

Pojam	Funkcija	Čime se ostvaruje
1. MODULACIJA (u odašiljaču)	"utiskivanja" modulacijske frekvencije u val nositelj	elektronske cijevi, tranzistori, diode
2. REZONANCIJA	selektivnost, isticanje ili potiskivanje određene frekvencije	titrajni krugovi, piezoelektrički kristali, keramički ili mehanički filtri
3. DEMODULACIJA (u prijmniku)	"rekonstrukcija" modulacijske frekvencije iz modulirane VF struje	dioda, tranzistori, elektronske cijevi
4. POJAČANJE	naponsko ili strujno pojačanje, pojačanje snage NF ili VF signala	tranzistori, elektronske cijevi
5. POV RATNA VEZA	a) pozitivna povratna veza - nastanak oscilacija b) negativna povratna veza - smanjenje izobličenja, automatska regulacija, stabilniji rad pojačala	zavojnice, kondenzatori, otpornici
6. MIJEŠANJE FREKVENCIJA	interferencija (miješanje signala), dobivanje međufrekvencije	tranzistori, diode, elektronske cijevi

Elektronika za mlade – 14. nastavak

Electronics for the Young Ones – Part 14

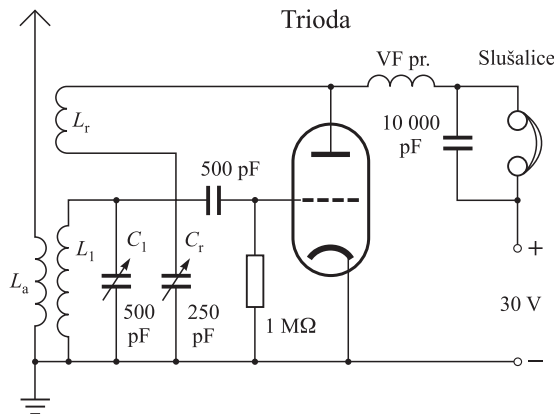
4. Prijamnici

Radioamaterima-operatorima glavni je cilj održavanje bežičnih veza s drugim radioamaterima. Stoga ih najviše zanimaju prijamnici i odašiljači, koje su nekada sami izrađivali, dok se danas u pravilu kupuju tvornički proizvodi. Osnovne funkcije prijamnika upoznali smo uglavnom u prošlom nastavku, a danas ćemo ukratko opisati načelnu strukturu nekoliko vrsta prijamnika.

4.1. Osnovno poznavanje funkcija prijamnika

Prvu elektronsku cijev koja je mogla pojačavati, njen izumitelj Lee de Forest nazvao je *audionom* (lat. *audire*, čuti). Međutim, uskoro je nazvana *triodom*, dok je *audion* poslije toga ostao nazivom vrste radioprijamnika. Audion, kao spoj, obilježio je prvih dvadesetak godina razvoja radiotehnike, kako u radiodifuzijskim (tada se to nazivalo *radifonijom*), tako i u komunikacijskim profesionalnim i radioamaterskim prijamnicima. Odlikuje ga jednostavnost, velika osjetljivost, za ono vrijeme dobra selektivnost, stabilnost frekvencije, kao i mogućnost primanja amplitudne modulacije (AM) i nedomulirane telegrafije (CW). Zato je do 1930-ih godina bio "srce" radiodifuzijskih prijamnika na srednjem i dugom valu, kada ga je počeo zamjenjivati superheterodinski prijamnik.

Shemu klasičnoga audiona vidimo na sl. 1. Trioda pojačava VF signal koji stiže iz antene na njenu prvu rešetku preko titrajnoga kruga L_1C_1 i kondenzatora od 500 pF. Izabrani pojačani VF signal na anodi ne može poći desno, jer ga u tome sprječava VF prigušnica, već kreće lijevo preko zavojnice za povratnu spregu L_r , koja je induktivno spregnuta s titrajnim krugom na ulazu. Tako se VF signal višekратно pojačava "u krug", a ujedno se povećava i selektivnost tog prijamnika. Jakost povratne sprege namješta se promjenljivim kondenzatorom C_r od 250 pF. Ako njegovu osovinu okrenemo previše udesno i tako povećamo kapacitet, cijeli spoj počinje titrati. Pretvorit će se u oscilator, dakle, malen odašiljač na frekvenciji titrajnoga kruga L_1C_1 . Za prijam radiodifuzijskih postaja (AM) kondenzator C_r treba postaviti tik pred osciliranje, a za prijam nedomulirane telegrafije (CW) ga treba namjestiti na sam početak osciliranja. Kombinacija rešetka-katoda u triodi ponaša se kao dioda, pa na tome mjestu dolazi i do



Slika 1. – Povijesni audionski prijamnik s diodom, kakav su radioamateri gradili sve do 1960-ih godina, do pojave tranzistora na tržištu

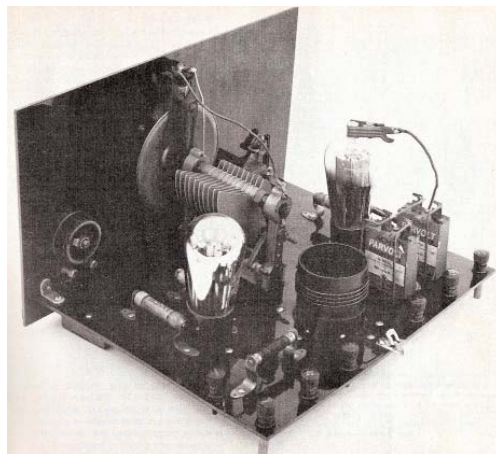
demodulacije VF signala. Pojačana niska frekvencija javlja se zatim na anodi triode, ali ne može poći lijevo jer C_r ima za nju prevelik otpor, već preko VF prigušnice ide desno, na visokoomske slušalice (1 do 4 kΩ). Postoje ozbiljni stručnjaci koji tvrde da tko u životu nije spojio i iskušao audion ne može steći pravi osjećaj za radiotehniku. Danas se audion može načiniti i pomoću tranzistora, osobito FET-a, koji je vrlo sličan triodi. O tome ćemo govoriti nekom drugom prilikom.

4.2. Blok-shema jednostavnih prijamnika

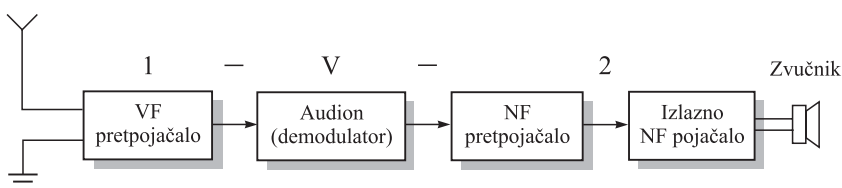
Prijamnici s audionom ili drugom vrstom demodulatora nazivaju se *direktnim prijamnicima* jer su svi titrajni krugovi u njemu namješteni neposredno na frekvenciju koju primamo. Na sl. 2. vidimo blok-shemu takvog prijamnika s četiri stupnja, kojega čine: VF pretpojačalo, audion, NF pretpojačalo i NF izlazno

pojačalo. Nekada se takav prijamnik označavao kao 1-V-2 (prema njem. *Vergleicher*, detektor, demodulator), tj. jedan stupanj VF pretpojačanja, audion i dva stupnja NF pojačanja.

Kratkovalni prijamnik 0-V-1 s dvije cijevi iz tridesetih godina prošloga stoljeća prikazan je na sl. 3.



Slika 3. – Izgled prijamnika s dvjema cijevima, tipa 0-V-1, kakav se rabio 1920-ih i 1930-ih godina, dakle u počecima radiodifuzije u nas

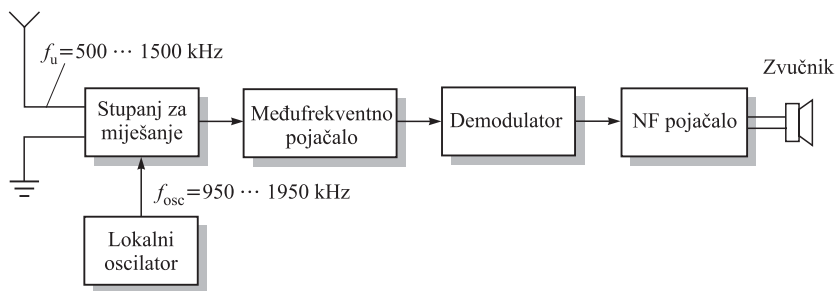


Slika 2. – Blok-shema direktnog prijamnika, tipa 1-V-2

Takvim prijemnikom radioamateri su održavali veze s cijelim svijetom. U to je vrijeme direktne prijavnike počeo zamjenjivati superheterodinski prijmnik, zbog svoje veće selektivnosti i osjetljivosti na slabe signale. Blokshemu takvog jednostavnog superheterodinskoga prijavnika vidimo na sl. 4. Na ulazu ima stupanj za miješanje, u koji ulaze dva signala, ona iz antene (frekvencije f_u), i onaj iz pomoćnog, tzv. lokalnog oscilatora (f_{osc}). Miješanjem tih dvaju signala nastaje signal međufrekvencije (frekvencije jednake razlici tih dviju frekvencija), koji se dalje pojačava i demodulira. Superheterodinski prijmnik riješio je problem selektivnosti. Naime, veća selektivnost postiže se većim brojem titrajnih krugova. Kako u direktnih prijavnika ovi moraju biti promjenljivi, javila se potreba za sve većim brojem promjenljivih kondenzatora na istoj osovini, čije je titrajne krugove bilo sve teže ugađati. (Praktičnu granicu predstavljao je trostruki promjenljivi kondenzator, što još nije bilo dovoljno.) Kako je međufrekvencija kao rezultat miješenja u superheterodinskom prijmniku uvijek ista, broj nepromjenljivih titrajnih krugova u sljedećim stupnjevima mogao je biti mnogo veći. Normirana međufrekvencija radiodifuzijskih prijavnika u pravilu je oko 460 kHz, pa se tako izrađuju i tzv. međufrekvencijski transformatori. Nedostatak superheterodinskoga prijavnika su tzv. *zrcalne* ili *simetrične frekvencije*. Naime, kako je rezultat miješanja i razlika i zbroj dviju frekvencija, uvijek postoje dvije frekvencije na ulazu koje će takav prijmnik primiti. Jednu od njih, onu simetričnu, treba ukloniti, što se postiže kvalitetnim titrajnim krugovima na ulazu u prijmnik, a i odabranom višom međufrekvencijom.

Krajem tridesetih godina dvadesetoga stoljeća počeli su se javljati tvornički prijavnici namijenjeni radioamaterima, osobito u Americi, dok se poslije Drugog svjetskog rata njihov broj naglo povećao. Komunikacijski superheterodinski prijmnik SX-100, nekada čuvene tvrtke *Hallicrafters*, tada san mnogih radioamatera, prikazan je na sl. 5.

Postoji i treća vrsta prijavnika, a izmislili su je radioamateri prije tridesetak godina. To su tzv. DCR-prijavnici (prema engl. *Direct Conversion Receivers*, prijavnici s neposrednim miješanjem). Kod njih kao rezultat miješanja odmah nastaje niskofrekvencijski signal u području čujnih frekvencija. Pogodni su za prijam nedomulirane telegrafije (CW), te SSB i DSB signala (sl. 6.). Kod takvog prijavnika lokalni oscilator radi vrlo blizu ulazne frekvencije. Npr., ako je ulazna frekvencija 7 000 kHz, lokalni oscilator radi na 6 999 kHz, tako da je rezultat miješanja signal frekvencije 1 kHz. To je niska frek-



Slika 4. – Blok-shema superheterodinskoga prijavnika za srednji val

ncija, koja se dalje pojačava i vodi u slušalice. Najpoznatiji spoj takvog prijavnika je onaj s dvjema antiparalelno spojenim diodama ruskoga amatera Vladimira Polyakova. Takav je prijmnik vrlo otporan na prejake signale, a i lokalni oscilator mu radi na dvostruko nižoj frekvenciji, što daje veću stabilnost frekvencije. Može ga lako načiniti i početnik.

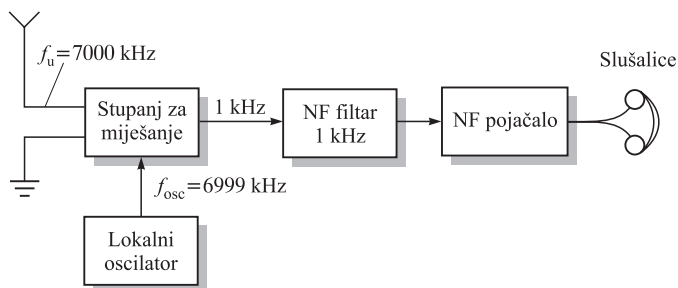
Danas smo upoznali sljedeće pojmove:

- audion s pozitivnom povratnom spregom,
- blok-shemu direktnog prijavnika,
- blok-shemu superheterodinskoga prijavnika,
- međufrekvenciju,
- simetrične ili zrcalne frekvencije,
- blok-shemu prijavnika s neposrednim miješanjem (DCR).

U sljedećem nastavku govorit ćemo o osnovnim funkcijama i blok-shemama odašiljača.



Slika 5. – Telekomunikacijski prijmnik SX-100 američke tvrtke Hallicrafters iz 1960-ih godina



Slika 6. – Blok-shema prijavnika s neposrednim miješanjem

Elektronika za mlade – 15. nastavak

Electronics for the Young Ones – Part 15

5. Odašiljači

5.1. Osnovno poznavanje funkcija odašiljača

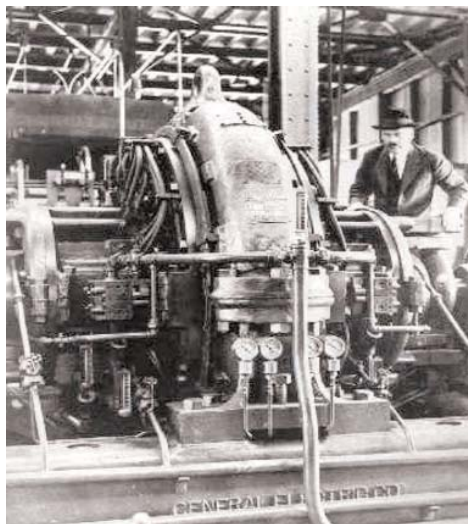
5.2. Blok-sheme odašiljača

Kada je njemački fizičar Heinrich Hertz 1888. godine pokusom dokazao Maxwellovu teorijsku pretpostavku da radiovalovi zaista postoje, ubrzo se postavilo pitanje kako ih proizvoditi, koji im je domet i kako ih iskoristiti. Prvi upotrebljiv izvor radiovalova bilo je iskrište visokonaponskog induktora spojeno neposredno na antenu i uzemljenje. Ono što je taj izvor proizvodilo bio je, prema današnjim mjerilima, golem oblak smetnji, a u ono vrijeme bežični način komunikacije Morseovim znakovima.

Nepriugušeni val – CW

Kanađanin Reginald Fessenden inzistirao na tome da bi trebalo proizvesti nepriugušeni val (CW, prema engl. *continuous wave*), tj. jednu jedinu nepriugušenu frekvenciju koju treba odvesti u antenu. Veliki Gulielmo Marconi ga je javno ismijao tvrdeći da to neće raditi, jer je za stvaranje radiovalova navodno bitan tzv. učinak pljuska (engl. *splash effect*), kao kada dlanom pljesnemo po vodi, što može učiniti samo električna iskra. Ipak se pokazalo da je u pravu bio Fessenden, a ne Marconi, i da antena lijepo pretvara sinusoidalnu struju jedne jedine frekvencije u radiovalove. Štoviše, Fessenden je tu VF struju modulirao stavivši poveći ugljeni mikrofon u antenski vod, pa je na Badnjak 1906. god. ostvario prvi radiodifuzijski program u povijesti – svirajući na violini, otpjevavši *Svetu noć* i čestitavši slušateljima Božić – na veliko zaprepaštenje radiotelegrafista na obližnjim brodovima koji još nisu u slušalicama čuli ljudski glas, već samo zujanje Morseovih znakova. Naprava snage 1 kW kojom je proizvodio nepriugušeni val zvala se magnetski alternator, jer elektronska cijev trioda tada još nije bila izumljena. U tome mu je veliku pomoć pružio švedski inženjer Ernst Alexanderson, zaposlenik poduzeća *General Electric* koje je izradilo alternator (sl. 1.).

Izumom elektronske cijevi triode (Lee de Forest, 1907. god.) tehnologija bežičnih veza potpuno se promijenila. Edwin Armstrong uvodi 1912. pozitivnu povra-

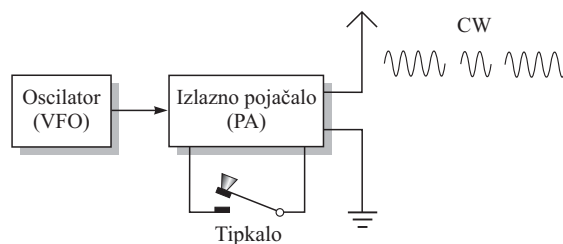


Slika 1. – Konstruktor Ernst Alexanderson 1906. godine promatra svoj najveći alternator, težak nekoliko tona, u radu. Željezni disk imao je u sebi nekoliko stotina rupa za presijecanje magnetskih silnica i vrtio se brzinom od 150 okretaja u sekundi. Snaga stroja bila je 200 kW, što je omogućavalo prekooceanske veze telegrafijom na vrlo dugim valovima za vrijeme I poslije Prvog svjetskog rata.

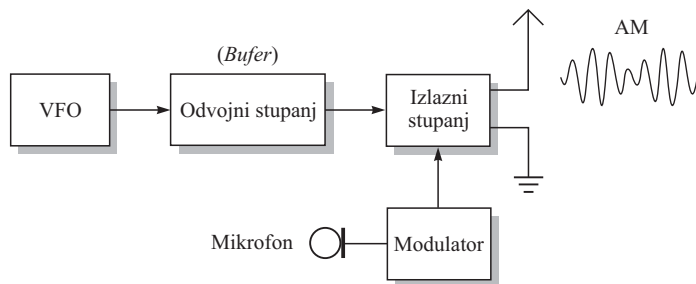
tnu spregu i ubrzo primjećuje, ako je ona malo jača, da se trioda pretvara u oscilator koji proizvodi jednu jedinu frekvenciju, i to dosta stabilnu, dakle onaj CW o kojemu je govorio Fessenden.

Oscilator je srce svakog odašiljača jer on određuje na kojoj će frekvenciji raditi. Kako su te oscilacije u pravilu slabašne, one se još pojačavaju u izlaznom stupnju odašiljača, koji tako određuje njegovu snagu. Poslije 1953. godine kada su dobili dozvole za rad, hrvatski su radioamateri često izrađivali telegrafске odašiljače od svega dvije cijevi – **oscilatora** (VFO, *variable frequency oscillator*, oscilator promjenjive frekvencije) i **izlaznog pojačala** (PA – *power amplifier*, pojačalo snage). Snaga im je bila oko trideset vata VF energije u anteni. Blok-shemu vidimo na slici 2.

Za rad *fonijom* (FONE), tj. govornom, trebao je još i modulator, a to je NF pojačalo s mikrofonom radi postizanja amplitudne modulacije (AM); slika 3.



Slika 2. – Blok-shema telegrafskog (CW) odašiljača s dva stupnja – promjenjivim oscilatorom (VFO) i izlaznim pojačalom (PA). Tipkalo se nalazi u izlaznom stupnju kako bi se sačuvala stabilnost oscilatora.



Slika 3. – Za amplitudnu modulaciju (AM) potrebno je modulatorsko pojačalo s mikrofonom. Najčešće se modulira VF signal u izlaznom stupnju (PA). Kako bi se izbjegao povratni utjecaj izlaznog stupnja na oscilator, dobro je između njih umetnuti i odjelni stupanj (buffer).

Poznato je da je stabilnost oscilatora veća kada radi na nižoj frekvenciji. Zato je dobro da on radi npr. na 3,5 MHz, a za rad na 7 MHz ta frekvencija se udvostručuje. Stoga se između oscilatora i izlaznog stupnja ubacuje još jedan stupanj – **množilo frekvencije** – a može ih biti i više (sl. 4.). Na taj način jednim pažljivo izrađenim oscilatorom možemo pokriti nekoliko amaterskih područja.

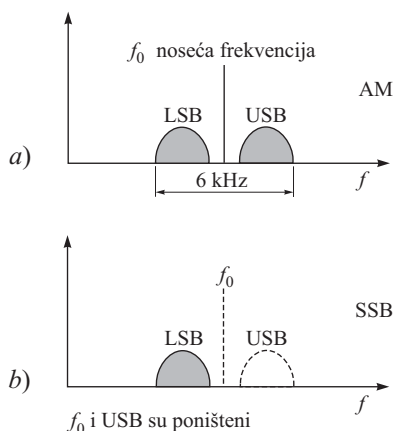
Godine 1927. radioamateri su dobili nov element za postizanje veće stabilnosti frekvencije oscilatora. To je bio kristal kremena (kvarca) i još nekih minerala. Prikladno izrezan i izbrušen, on se ponaša kao vrlo kvalitetan serijski titrajni krug, pa također omogućuje i izradu vrlo selektivnih filtara za prijarnike. Poslije 1927. godine većina amaterskih odašiljača imala je oscilatore s kristalom, koji je davao kristalno čist i stabilan ton telegrafskog signala. U ono vrijeme bila je velika čast primiti *raport* T9X u amaterskoj vezi. Nažalost, frekvencija kristala ne može se mijenjati.

Amplitudna modulacija – AM

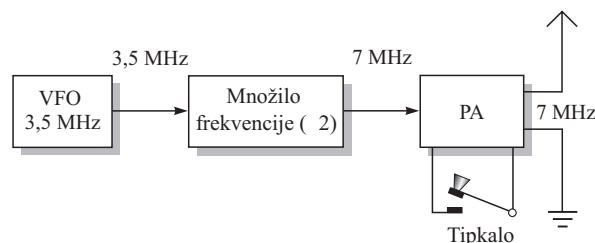
Kada su održavali veze govorom (FONE), radioamateri su se prije Drugoga svjetskog rata služili isključivo amplitudnom modulacijom, kao i radiodifuzijske postaje. Tehnologija amplitudne modulacije nije bila previše složena, pa su amateri mogli izrađivati svoje vlastite amplitudno modulirane odašiljače.

Godine 1914. bilo je matematički dokazano da amplitudno modulirani VF signal, osim tzv. *noseće frekvencije* u sredini, ima sa svake strane po jedan bočni pojas. Oni su zrcalno jednaki (sl. 5.).

Od ukupne VF snage u anteni u pravilu 50% otpada na noseću frekvenciju, a 25% na "donji" i 25% na "gornji" bočni pojas. Prema dogovoru, za potrebe radiodifuzije prenose se niske frekvenci-



Slika 5. – Amplitudno modulirani signal uznoseću frekvenciju ima i dva bočna pojasa: "donji" (LSB) i "gornji" (USB). Kod SSB modulacije noseća frekvencija i jedan bočni pojas su poništeni, što znači uštedu od 75% ukupne snage odašiljača i za polovicu užji pojas.



Slika 4. – Kako bi oscilator radio što stabilnije, on treba raditi na što nižoj frekvenciji. Za dobivanje viših frekvencija umeće se množilo frekvencije (FD, frequency doubler) koje udvostručuje frekvenciju.

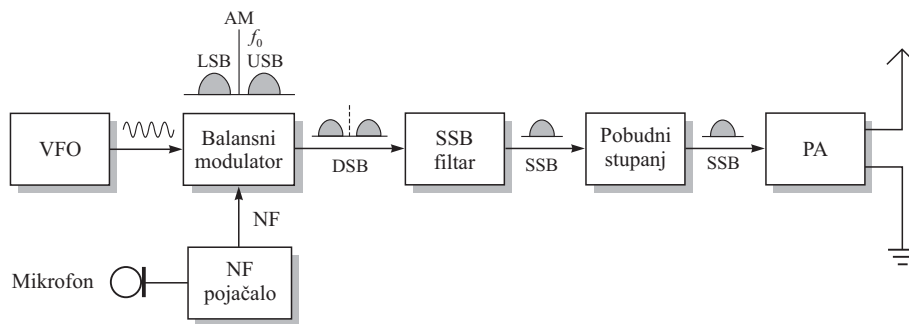
je samo do visine od 4,5 kHz, što nije "hi-fi", ali zadovoljava. Za oba bočna pojasa to iznosi 9 kHz. Stoga svaka radiodifuzijska postaja na srednjem valu zauzima pojas širine od 9 kHz, pa na cijelome srednjovalnom području, koje je danas široko 1 100 kHz, ima mjesta za svega 122 postaje. Na uskim amaterskim područjima, gdje se prenosi samo govor, može se "proći" i s tri kiloherca, što znači pojas od 6 kHz AM signala, ali nikako i manje od toga, jer tada glas zvuči "kao iz bačve". Tako je na fonijskim dijelovima amaterskih područja dolazilo do velikih gužvi i interferentnih zvižduka, što je jako otežavalo rad amplitudnom modulacijom.

Modulacija jednim bočnim pojasom – SSB

S druge strane, teorija je govorila da je za prijenos razumljive informacije dovoljan jedan bočni pojas, tako da su noseća frekvencija i drugi bočni pojas zapravo suvišni i mogu se ukinuti. To bi značilo da se s 25% VF energije može postići isti rezultat kao i s punom snagom AM-signala, a zauzeti pojas je za pola užji. Otuda i naziv SSB (*single side band*, jedan bočni pojas). Još 1915. godine John Carson zatražio je patentno pravo na tu ideju. Poslije mnogih natezanja, taj patent je i dobio 1923. godine. Ideja je bila dobra, ali ispred svoga vremena,

jer tada još nije postojala elektronička tehnologija koja bi ju mogla uspješno ostvariti. Za SSB je posebno bila zainteresirana poštanska služba, kako bi time mogla povećati broj govornih kanala, pa su mnogi pokusi bili učinjeni u *Bellovim laboratorijima*. Tako je 1927. godine bila uspostavljena prva SSB radiotelefonska veza preko Atlantika, na nosećoj frekvenciji od 52 kHz. Tako su elegantno riješili problem nedovoljne snage odašiljača i uske rezonantne karakteristike odašiljačke antene. Provjereno pravilo kaže: "Pri istoj snazi SSB signal čuje se tri puta dalje od AM signala."

SSB je sporo ulazio u amaterske komunikacije. Tek u rujnu 1933. godine u radioamaterskom časopisu *R/9*, koji je izlazio u Los Angelesu, M. Moore, W6DEI, počeo je objavljivati članak u tri nastavka *SSB odašiljač za radioamaterske veze*. Članak nije pobudio veću pozornost, jer je SSB odašiljač mnogo složeniji od AM odašiljača, a i prijarnik treba donekle preraditi. Trebalo je pričekati sve do 1947. kada su se stvari konačno pokrenule. Danas je SSB modulacija isključiv način rada *fonijom* na amaterskim kratkovalnim područjima, kao i djelomice na UKV-u (uz FM, frekvencijsku modulaciju). Kod SSB modulacije možemo birati između donjeg bočnog pojasa (LSB, *lower side band*) i gornjeg bočnog pojasa (USB,

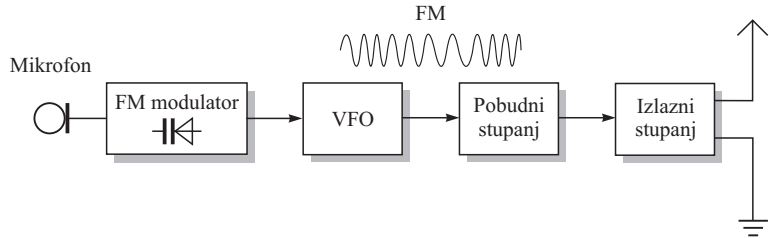


Slika 6. – Blok-shema SSB odašiljača: VF napon iz VFO-a vodi se u balansni modulator gdje se najprije ostvaruje klasična amplitudna modulacija, a zatim se uklanja noseća frekvencija. Takav signal zatim prolazi kroz oštar SSB filter s kristalima koji uklanja jedan od dva bočna pojasa. Preostali bočni pojas se zatim pojačava u pobudnom stupnju (driveru) i vodi u izlazni stupanj. SSB modulacija je podvrsta amplitudne modulacije. (Osim filterne postoji i fazna metoda dobivanja SSB signala.) DSB (double side band) su dva bočna pojasa bez nosećega signala.

upper side band). Prema dogovoru, LSB se upotrebljava na područjima od 3,5 i 7 MHz, a USB na preostalim višim amaterskim područjima. Granica je 10 MHz. Osim toga, pri radu s prijemnikom potrebno je vrlo precizno ugoditi lokalni oscilator (BFO koji obnavlja noseću frekvenciju) jer u suprotnom glas zvuči izobličeno. Zato SSB modulacija nije naročito pogodna za prijenos glazbe, već samo govora. Blok shemu SSB odašiljača vidimo na sl. 6.

Frekvencijska modulacija – FM

Još jedna vrsta modulacije koju danas rabe radioamateri je frekvencijska modulacija (FM). Kod te modulacije NF signalom mijenjamo frekvenciju oscilatora lijevo i desno oko neke srednje vrijednosti. Rabi se na UKV području i za radiodifuzne FM postaje (88 do 108 MHz), kao i za prijenos zvuka na televizijskim kanalima. Njezina značajka je velika kvaliteta reprodukcije zvuka. Njezinim tvorcem je isti onaj Edmund Armstrong koji je 1933. godine izumio povratnu spregu i superheterodinski prijamnik (sl. 7.).



Slika 7. – Kod frekvencijske modulacije (FM) frekvencija vala nositelja mijenja se u ritmu niske frekvencije oko neke srednje vrijednosti. Modulira se oscilator, a kao modulator najčešće služi varikap dioda (dioda koja mijenja svoj kapacitet pod utjecajem NF napona).

Budući da financijski kapital uloženi u AM radiodifuziju nije tada bio osobito zainteresiran za FM, Armstrong je razočaran (i napušten od supruge) 1954. u 64. godini života počinio samoubojstvo skočivši s 13. kata. Veliki izumitelji u pravilu nisu sretni ljudi.

Danas smo upoznali sljedeće pojmove:

- oscilator u prijmaniku ili odašiljaču (VFO),
- piezoelektrični kristal kremenata,

- množilo frekvencije (FD),
- odjelni stupanj (*buffer*),
- pobudni stupanj (*driver*),
- izlazni stupanj odašiljača (PA),
- neprigušeni VF signal (CW),
- amplitudnu modulaciju (AM),
- SSB modulaciju,
- donji bočni pojas (LSB),
- gornji bočni pojas (USB),
- frekvencijsku modulaciju (FM).

U sljedećem nastavku govorit ćemo o antenama. ■

Elektronika za mlade – 16. nastavak

Electronics for the Young Ones – Part 16

6. Antene

6.1. Poluvalni dipol

Ako pogledamo u latinski rječnik, vidjet ćemo da riječ "antena" znači "jedrenica". To je dugačka, koso postavljena motka na jarbolu na kojoj visi trokutasto, tzv. *rimsko jedro*. U radiotehnici antena služi da visokofrekventne struje pretvori u radiovalove, ili obratno. U prvome slučaju radi se o odašiljačkoj anteni, a u drugome – o prijamoj. Teoretski i praktično nema razlike između odašiljačke i prijamne antene i svaka antena može obavljati obje funkcije. Ipak, kada se radi o odašiljačkoj anteni, uvjeti za njenu izradu mnogo su stroži, kako bi se postiglo najveće moguće zračenje.

Kod izračuna odašiljačke antene najvažniji podatak je *frekvencija* f , odnosno *valna duljina* λ (označava se grč. slovom *lambda*), na kojoj će ona raditi. Te su dvije veličine povezane preko brzine rasprostiranja radiovalova (brzine svjetlosti) u praznini,

$$c_0 \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 300\,000 \text{ km/s,}$$

jednadžbom

$$f \cdot \lambda = c_0.$$

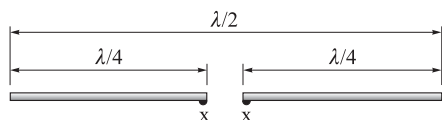
Prema tome, viša frekvencija znači kraću valnu duljinu, i obratno. Prilagođena jednadžba za izračunavanje valne duljine u metrima iz frekvencije u megahercima glasi

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

Npr., ako ćemo raditi na srednjoj frekvenciji od 145 MHz, valna duljina je

$$\lambda = \frac{300}{145} \text{ m} = 2,07 \text{ m} = 207 \text{ cm.}$$

Osnovni tip antene u radiotehnici je *poluvalni dipol* (sl. 1.), dakle, zračilo duljine jednake polovici valne duljine. To znači da će u ovom slučaju njegova duljina biti približno $207 \text{ cm} : 2 = 103,5 \text{ cm}$. Kažemo približno zato što ta duljina

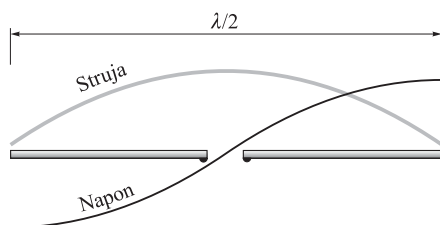


Slika 1. – Poluvalni dipol napajan u sredini; x-x su točke napajanja

dipola donekle ovisi i o debljini žice ili cijevi, o visini iznad zemlje, o kapacitetu njegovih krajeva, kao i o okolnome sredstvu. Osim toga, struja u dipolu putuje nešto sporije nego radioval u praznini (praktički i u zraku), pa ćemo dobivenu duljinu "popraviti" množenjem s tzv. *faktorom skraćivanja*, koji je za tanke vodiče oko 0,95. Dakle, za izradu dipola trebat će nam bakrena ili aluminijska cijev duljine $L = 103,5 \text{ cm} \times 0,95 \approx 98,3 \text{ cm}$.

Dipol (prema lat., *dvopol*) ima dva kraka, lijevi i desni. Priključci za dipol nalaze se većinom u sredini. U našem slučaju svaki krak je dugačak $98,3 \text{ cm} : 2 = 49,15 \text{ cm}$. To je tzv. *rezonantni dipol* za srednju frekvenciju od 145 MHz. "Srednju" znači da u radu možemo malo odstupati prema gore ili dolje (npr. od 144 MHz do 146 MHz).

Kada je dipol rezonantan, tj. ugođen na određenu frekvenciju, u anteni nastaju *stojni valovi* i ona najbolje zrači. Raspored je napona i struje u anteni grafički prikazan na slici 2. Vidimo da je napon najviši na njezinim krajevima, dok je struja najjača u sredini. Kako u rezonanciji



Slika 2. – Raspored napona i struje uzduž poluvalnoga dipola

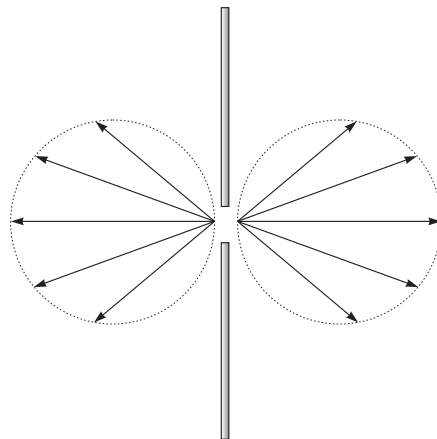
antena pokazuje čisti radni ("omski") otpor, napon i struja su u fazi, a priključni otpor (ulaznu impedanciju) dipola izračunat ćemo prema Ohmovu zakonu: (napon na priključcima x-x), podijeljen sa strujom kroz te priključke. Priključni otpor poluvalnog dipola je 50...75 Ω , pa su i sve sastavnice za antene (kablovi, priključnice i dr.) danas normirani na 50 Ω .

Iz elektrotehnike znamo da najveću snagu iz nekog trošila dobivamo kada je otpor trošila jednak unutrašnjem otporu izvora. Zato danas svi tvornički odašiljači za radioamatere na izlaznoj antenskoj priključnici imaju unutrašnji otpor od 50 Ω , dok se i svi koaksijalni kabeli za priključak do antene izrađuju s kara-

kterističnim otporom također od 50 Ω . Takvom se *prilagodnom impedancije* postiže najbolji prijenos energije u antenu. On se izražava omjerom napona stojnih valova u dovodu, tzv. SWR-faktorom (prema engl. *standing wave ratio*). Onaj dio energije koji nije izračen, reflektira se nazad u antenu i stvara stojne valove u dovodu, što uzrokuje gubitke. Idealni SWR je 1:1, što znači da je sva energija poslana u antenu ujedno i izračena. Prilagodba je slabija što je lijeva znamenka veća. U praksi se tolerira SWR do 3:1 (što znači da će se izračiti samo 75% poslana snage), poslije čega moramo bolje prilagoditi antenu. Instrument za mjerenje omjera stojnih valova naziva se *SWR-metrom*, a uključuje se serijski u antenski dovod između odašiljača i antene, većinom na izlazu odašiljača.

Sljedeći podatci o anteni su njena *polarizacija* i *dijagram zračenja*. Ako je dipol položen vodoravno, kažemo da su njegovi radiovalovi horizontalno polarizirani (promatra se polarizacija električnog polja E). Ako ih pokušamo primati drugim dipolom koji stoji okomito, vidjet ćemo da to ne ide, jer je taj dipol vertikalno polariziran. (Ta je razlika na UHF području toliko oštra, da kod satelitskih prijavnika dvije TV postaje rade na istoj frekvenciji, ali međusobno ne smetaju. Jedan signal je horizontalno (H), dok je drugi vertikalno (V) polariziran.)

Ne zrače sve antene jednako u svim smjerovima. Poluvalni dipol najbolje zrači u smjeru okomito na dipol, dok uzduž dipola uopće ne zrači (sl. 3.).



Slika 3. – Dijagram zračenja poluvalnoga dipola u njegovoj ravnini

Vidimo da kod poluvalnog dipola taj dijagram zračenja u ravni zračila ima oblik osmice: zračenje je najjače naprijed i nazad okomito na dipol. Radioamateri to znaju, pa paze kako će okrenuti i pričvrstiti dipol na krovu.

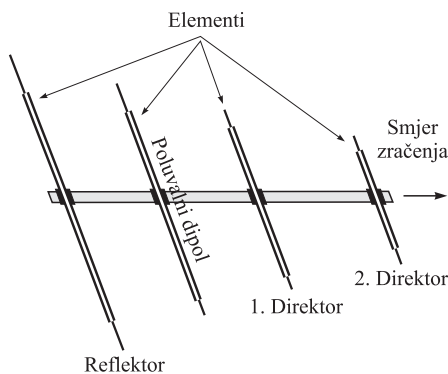
6.2. Yagi-Udina antena

Vjerojatno nema radioamatera koji ne poznaje Yagijevu antenu. Služi i za prijam televizijskog programa, pa je ona danas valjda najpoznatiji tip usmjerene antene na svijetu. To je zapravo dipol s nekoliko dodatnih, tzv. parazitskih elemenata koji nisu međusobno električno povezani, osim preko elektromagnetskog polja. Pojačanje antene ovisi o broju parazitskih elemenata, pa kod 20 elemenata može dosegnuti i 20 decibela (tj. 100 puta) u odnosu na obični dipol – uz vrlo uzak kut zračenja.

Idući ispred svog vremena, izumili su je 1926. godine japanski sveučilišni profesor Hidetsugu Yagi (sl. 4.) i njegov pomoćnik Shintaro Uda, pa bismo je



Slika 4. – Profesor Hidetsugu Yagi (1886 – 1976.), konstruktor po njemu nazvane Yagijeve antene



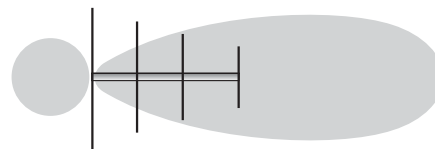
Slika 5. – Izgled Yagijeve antene

zapravo trebali nazivati *Yagi-Udinom antenom*, iako se obično naziva samo *Yagijevom antenom* (engl. *Yagi antenne*). Istraživanja su provodili na valnoj duljini od 4,4 m (tj. frekvenciji oko 68 MHz) i na 2,6 m (tj. 115 MHz). U ono vrijeme ta antena nije izazvala veću pozornost, ali su je Amerikanci, na veliko iznenađenje Japanaca, primjenjivali kao radarsku antenu za vrijeme Drugoga svjetskog rata na Pacifiku. Poslije rata, zahvaljujući njezinoj sve većoj popularnosti zbog širenja televizije, počeli su je upotrebljavati i radioamateri na ultrakratkom, kao i na kratkom valu (za 14 MHz, 21 MHz i 28 MHz), i nazvali ju i *beam* (engl., snop). Stup na kojemu je učvršćen po potrebi se okreće, ručno ili elektromotorom, pa se može usmjeriti prema bilo kojoj strani svijeta. Dobivši mnoga priznanja, i prof. Yagi i Uda umrli su iste, 1976. godine – Yagi u 90-oj, a Uda u 80-oj godini života.

Yagijeva antena ima poluvalni dipol koji služi kao aktivni element, *zračilo* ili *radijator*, a s njegove stražnje strane ima pasivni dipol, tzv. *reflektor*,

a s prednje jedan ili više *direktora* (sl. 5.). Reflektor je oko 5% dulji od radijatora i djeluje induktivno, dok je direktor 5% kraći od radijatora, pa djeluje kapacitivno. Dijagram zračenja Yagijeve antene od četiri elementa prikazan je na sl. 6. S tim u vezi moramo spomenuti i *dobit* antene (engl. *gain*). Ne radi se o apsolutnom pojačanju zračenja, već o relativnom pojačanju zračenja u najpovoljnijem smjeru na račun onih smjerova prema kojima antena slabije zrači. Za usporedbu služi poluvalni dipol za kojega se smatra da ima dobit od 0 dB (tj. pojačanje *jedan*). To se označava, istina neispravno, malim slovom *d* iza znaka decibela. Na primjer, Yagijeva antena s četiri elementa ima tipičnu dobit od 6 dBd, tj. četiri puta više u odnosu na poluvalni dipol. Za rad Yagijeve antene važan je i razmak između elemenata, pa se tu treba pridržavati provjerenih podataka.

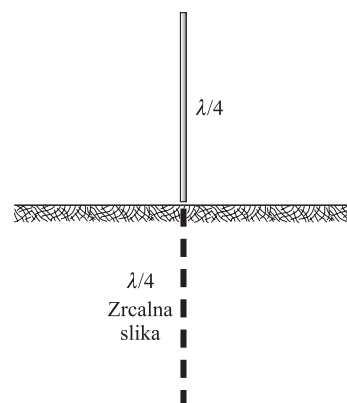
Zbog parazitskih elemenata priključni otpor Yagijeve antene je znatno manji od



Slika 6. – Dijagram zračenja Yagijeve antene u ravni njezinih elemenata

6.3. Vertikalna antena

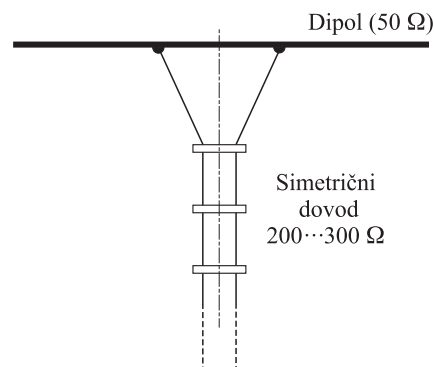
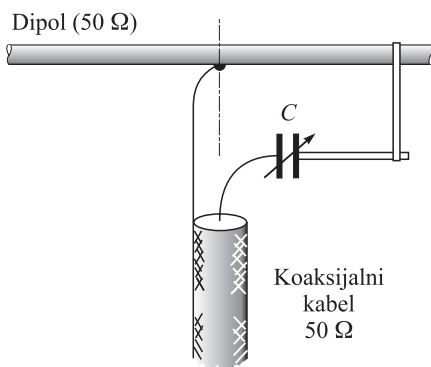
U praksi je vertikalna (ili štapna) antena najčešće četvrtvalna. Nastala je od vertikalnog dipola, kojemu je donji krak zamijenjen uzemljenjem, pa je taj električna zrcalna slika gornjega kraka (sl. 8.). Kako bi se smanjili gubici, uzemljenje mora biti savršeno (što nije lako postići). Mnogi srednjovalni odašiljači imaju četvrtvalne antene koje vidimo kao



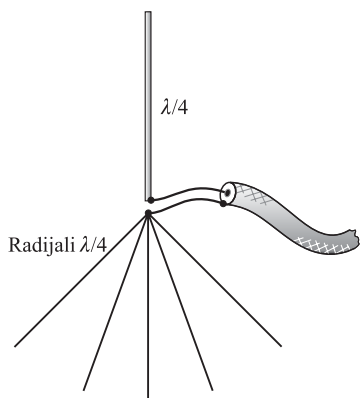
Slika 8. – Četvrtvalna vertikalna antena iznad dobro vodljive podloge

visoke metalne stupove koji na dnu leže na čvrstom izolatoru. Zbog što boljeg uzemljenja, u zemlju oko antene plitko se ukopava veći broj (16, 32 itd.) radijalnih četvrtvalnih bakrenih vodiča, koji djeluju kao tzv. *protuteg*.

Na višim frekvencijama (u radioamaterskoj praksi su to frekvencije više od 14 MHz) dobro je rješenje i tzv. *antena s*



Slika 7. – Prilagodba dovoda na dipol: a) prilagodba nesimetričnoga dovoda na simetrični dipol, tzv. gama-transformatorom, b) različitim impedancijama tzv. delta-transformatorom



Slika 9. Četvrtvalna vertikalna antena s radijalima koji nadomještaju podlogu

ravnom podlogom (engl. *ground plane*, pa je kratica GP) koja kao *protuteg* ima na dnu vodljivu ravninu (npr. tlo, metalnu ploču, krov automobila ili sl.) Ta se ravni- na često ostvaruje pomoću nekoliko četvrtvalnih štapova ili žica. Njihovim se nagibom prema zračilu prilagođuje impedancija antene, pa se nastoji postići približno 50Ω (sl. 9.).

Važno je svojstvo vertikalne antene da zrači kružno, tj. jednako u svim smje- rovima u vodoravnoj ravnini. Iz tog razlo- ga je prikladna za repetitore, vozila u pokretu, na brodovima i za amaterski rad na kratkim valovima (ako se već nismo odlučili za *beam*).

Danas smo upoznali sljedeće pojmove:

- poluvalni dipol,
- rezonantnu antenu,
- faktor skraćanja,

- stojne valove,
- prilagodbu impedancije,
- polarizaciju antene,
- dijagram zračenja,
- Yagijevu antenu (reflektor, radijator, direktor),
- dobit antene,
- prilagodni transformator,
- protuteg,
- vertikalnu GP antenu.

Sljedeći put govorit ćemo o rasprostiranju radiovalova. ■

Ispravak: Molimo čitatelje da isprave u prošlom nastavku, str. 16 posljednju rečenicu u 1. stupcu, koja treba glasiti: Edvin Armstrong izumio je povratnu vezu 1912., superheterodinski prijamnik 1918., a frekvencijsku modulaciju 1933. godine.

Elektronika za mlade – 17. nastavak

Electronics for the Young Ones - Part 17

7. Rasprostiranje radiovalova

Pri kraju 19. stoljeća radijske su se veze održavale na dugim valovima, koje su proizvodili odašiljači s iskrištem. Znajući da se radi o elektromagnetskim valovima, stručnjaci su smatrali da se ovi šire isključivo pravocrtno. Domet radijskih veza u ono vrijeme bio je 40-ak kilometara, što se uglavnom podudaralo s tom teoretskim predviđanjima. G. Marconi je 1901. god. uspio preko Atlantika, iz Engleske u Ameriku, bežično prenijeti telegrafski znak slova "S" na udaljenosti od 3 400 km, iako nije mogao objasniti kako su radiovalovi svladali zaobljenost Zemlje. Postalo je jasno da za to treba potražiti i teoretsko tumačenje. Ponudio ga je već 1902. god. američki elektroinženjer Arthur Kennelly (sl. 1.), koji je pretpostavio da se u Zemljinoj atmosferi na visini od oko 100 km nalazi sloj ioniziranih plinova, koji poput zrcala odbija radiovalove nazad prema površini Zemlje. Taj je ionizirani dio Zemljine atmosfere nazvan *ionosferom*.



Slika 1. – Arthur Kennelly (1861 - 1949.)

Neovisno od Kennellyja, svega dva mjeseca poslije, jednako je teoretsko tumačenje objavio je i engleski fizičar i matematičar Oliver Heaviside (sl. 2.). Po njima je taj atmosferski sloj i nazvan *Kennelly-Heavisideovim slojem*. Danas taj sloj nazivamo ionosferskim *E-slojem*.

Kennelly je još bitan jer je prvi primijenio kompleksni račun za proračun pojava u krugu izmjeničnih struja, i to objavio u radu *Impedancija*. Time je otvorio novo poglavlje u analizi izmjeničnih struja. Heaviside je pak zaslužan

što je Maxwellove jednadžbe za cjelovito tumačenje elektromagnetskih pojava, nakon nekoliko godina naporna rada sveo na četiri osnovne. Tih je jednadžbi izvorno bilo dvadesetak, izraženih teškim matematičkim "jezikom", pa ih gotovo nitko nije razumio. Dakle, Maxwellove jednadžbe kakve se danas uče i primjenjuju u elektromagnetizmu, zapravo su Heavisideove jednadžbe. Zaslužan je i za druge matematičke metode koje je uveo u teoriju izmjeničnih struja.

U tumačenju rasprostiranja (*propagacije*) radiovalova postoji i treća osoba, koja se rijetko spominje. To je engleski fizičar Edward Appleton (sl. 3.), dobitnik Nobelove nagrade za fiziku 1947. god. On je 1924. god. počeo usmjerenim antenama sustavno mjeriti jakost pristiglih radiovalova iz raznih smjerova ionosfere, te je tako dokazao točnost Kennellyjeve i Heavisideove teorije. Za to mu je poslužila BBC-ova radijska postaja *Bournemouth*, a mjerenja je izvodio u Cambridgeu i Oxfordu, pa čak i u Norveškoj. Ubrzo je ustanovio da je, osim Kennelly-Heavisideova sloja, koji je na visini od oko 100 km, iznad njega na visini od oko 250 km postoji još jedan sloj koji odbija kratke valove nazad prema Zemljinoj površini. To je tzv. *Appletonov sloj*, koji danas nazivamo ionosferskim *F-slojem*. Appleton se služio zapravo radarskim postupcima (iako radar tada još nije postojao), šaljući radiovalove u impulsima i ritmički mijenjajući njihovu frekvenciju. Odbijene signale je u slijedećim godinama promatrao i na osciloskopu. Tako je usput ubrzao konstrukciju radara u Drugom svjetskom ratu.



Slika 2. – Oliver Heaviside (1850 - 1925.)

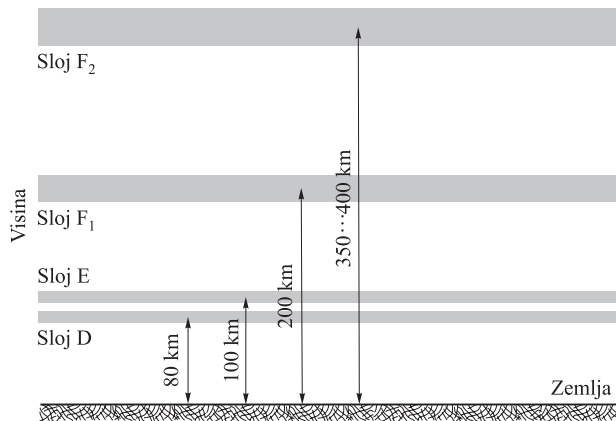


Slika 3. – Edward Appleton (1892 - 1965.)

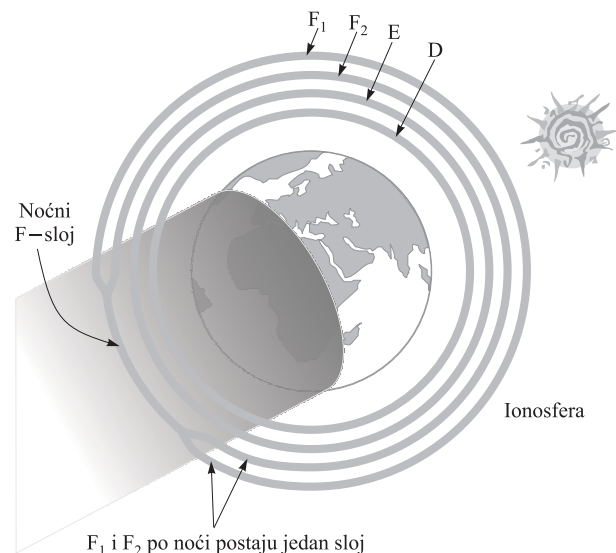
Appleton je ubrzo ustanovio da je ionosfera složen i promjenjiv sustav, i da je njezino ponašanje vrlo teško svesti na neka jednostavna pravila. Kada je 29. lipnja 1927. bila potpuna pomrčina Sunca, primijetio je da je F-sloj naglo oslabio. Mogao je zaključiti da Sunčeva zračenja ioniziraju sloj i da odbijanje radiovalova uzrokuju slobodni elektroni. Proučavajući polarnu svjetlost dokazao je da Zemljino magnetsko polje također utječe na odbijajuća svojstva ionosfere. Prvi je objasnio pojavu koja je nazvana *feedingom* (engl. *fading*, slabljenje, izbljeđivanje), pojavu da kratkovalni signal na mjestu prijama stalno mijenja svoju jakost. Radi se o tome da on stiže dva puta putovima, pa se signali povremeno zbrajaju, a povremeno međusobno oslabljuju. Appleton je inače bio nećak Charlesa Wheatstonea, konstruktora mjernoga mosta za mjerenje otpora, nazvanoga *Wheatstoneovim mostom*.

7.1. Ionosferski slojevi

Zahvaljujući uglavnom Appletonu, danas imamo prilično jasnu sliku ionosfere i njena ponašanja (sl. 4.). Ionosfera se sastoji od nekoliko ioniziranih, tj. električno nabijenih slojeva u gornjim dijelovima Zemljine atmosfere. Donja joj je granica na visini od 50 km, a gornja i do 500 km, gdje se već miješa s *magnetosferom* i *Van Alenovim pojasevima* vrlo jakoga ionizirajućeg zračenja. Stupanj ionizacije i visina ioniziranih slojeva mijenjaju se ovisno o dobu dana ili noći te o godišnjim dobima. Na njih utječu



Slika 4. – Ionosfera i njezina četiri sloja: D-sloj, E-sloj, F₁-sloj i F₂-sloj, čija debljina i gustoća ionizacije ovise o dobu dana i noći, o godišnjim dobima i broju pjega na Suncu



Slika 5. – Po noći se F₁-sloj i F₂-sloj spajaju u jedinstven F-sloj, dok D-sloj po noći nestaje

ultraljubičasta i druga zračenja sa Sunca, kao i broj pjega na Suncu. Što je veći broj pjega, to su i uvjeti širenja radiovalova povoljniji. Maksimum pjega redovno se javlja svakih jedanaest godina, iako se danas još ne zna zašto. To je tzv. *jedanaestogodišnji ciklus Sunčeve aktivnosti*.

D-sloj je najniži, nalazi se na visini između 50 km i 90 km. Nastaje odmah po izlasku Sunca i nestaje po njegovu zalasku. Po danu upija frekvencije niže od 7 MHz, pa tako srednjovalne postaje po danu primamo isključivo posredstvom površinskih valova. Zato po danu amatersko 160-metarsko i 80-metarsko područje možemo rabiti samo za bliske veze. Po noći D-sloj nestaje, pa se srednji valovi mogu odbijati od E-sloja koji je na visini od oko 100 km.

E-sloj se nalazi odmah iznad D-sloja, na visini 90 km do 150 km. Može odbijati frekvencije samo niže od 5 MHz. Zato navečer čujemo mnoge srednjovalne postaje, koje po danu nismo mogli čuti. Poslije zalaza Sunca E-sloj se polako gubi, a pred jutro potpuno nestaje. Povremeno se u E-sloju javljaju jaki i kratkotrajni oblaci elektrona koji omogućuju iznenadne daleke veze na metarskim valovima, koje se dugo nisu mogle objasniti. Takav iznenadni podsloj naziva se *sporadičnim E-slojem* ili *E_s-slojem* (prema engl. *sporadic*, povremen) i najčešće se javlja ljeti, ujutro ili navečer.

F-slojevi se nalaze iznad E-sloja, na visinama iznad 200 km. To su dva sloja: F₁-sloj na visini iznad oko 200 km, i F₂-sloj na visini iznad oko 300 km. F₁-sloj je najaktivniji po danu. Oba sloja omogućuju kratkovalne veze na velikim udaljenostima, praktično oko cijele Zemaljske kugle. Viši, F₂-sloj, djeluje snažnije od F₁-sloja i najvažniji je sloj za radioamatere. On može odbijati frekvencije i do 50 MHz za vrijeme maksimuma Sunčevih pjega. Po noći se ta dva sloja

ujedinjuju u jedinstveni F-sloj, koji je najzaslužniji za radioamaterske DX-veze, na udaljenostima većim od 3 000 km (sl. 5.).

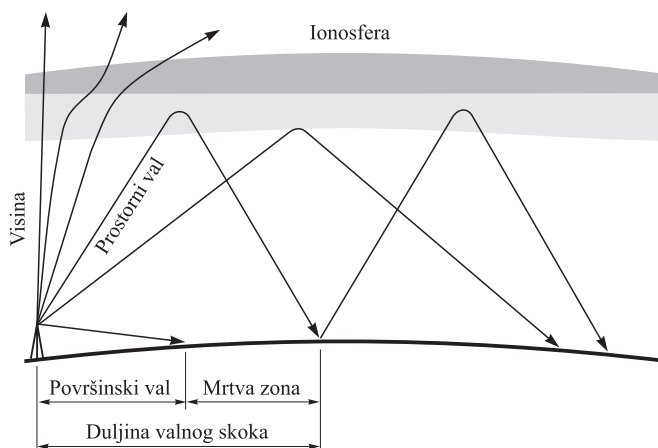
U pravilu, ionosfera ne odbija ultrakratke valove frekvencija viših od 30 MHz, i oni odlaze u svemir. Zato se veze sa svemirskim sondama održavaju na vrlo visokim frekvencijama.

7.2. Površinski i prostorni valovi

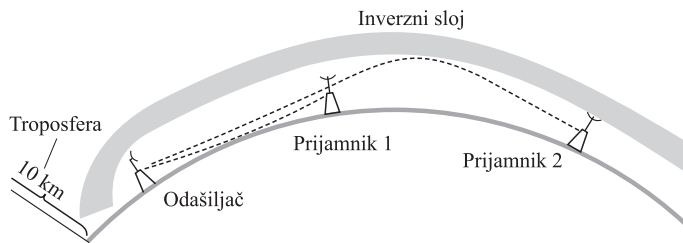
Svaka antena zrači površinski i prostorni val (sl. 6.). Valovi koje smo dosad opisali bili su isključivo *prostorni*. Analogijom sa svjetlosnim valovima, u počecima radiotehnike stručnjaci nisu mogli zamisliti mogućnost da elektromagnetski val slijedi zakrivljenost Zemlje. Ipak to se zaista događa, zahvaljujući vodljivosti tla. Takav val se naziva *površinskim valom*. Kako tlo najčešće nije kvalitetan vodič, površinski val dosta brzo oslabi. Najbolji vodič je morska voda, a najslabiji pustinjski pijesak. Osim

toga, što je frekvencija niža, to su i gubici manji, što je bio jedan od razloga da su u početku radiotehnike primjenjivali isključivo duge valove. Valove kraćih valnih duljina od 200 metara smatrali beskorisnima, pa su ih prepustili za obuku radiotelegrafista i radioamaterima.

Slabljenje dugih valova ovisi i o njihovoj polarizaciji. Najmanje slabe vertikalno polarizirani valovi. Zato dugovalni i srednjovalni odašiljači u pravilu imaju vertikalne antene, koje odašilju pretežno vertikalno polarizirane valove. Radiodifuzijski odašiljač na dugome valu prikladan je za pokrivanje bliže ili dalje okoline, ovisno o snazi, a ima i prednost da se podjednako rasprostire i danju i noću. (Danas taj posao bolje obavljaju FM-postaje na UKV području.) Na dugovalnom području i danas još rade neki odašiljači velikih snaga. Osim velike uložene snage i iznimno dugačke antene, nedo-



Slika 6. – Površinski i prostorni val, i preskočeno područje, koje se razgovorno naziva mrtvom zonom



Slika 7. – Troposfersko rasprostiranje na frekvencijama višim od 30 MHz. Pojava traje kratko, od desetak minuta do nekoliko sati, a omogućava veze na udaljenostima nekoliko tisuća kilometara.

statak su dugovalnih veza velike atmosferske i industrijske smetnje na tim frekvencijama. Engleska dugovalna postaja *Droitwich* na 200 kHz dugo je služila u Europi i kao svima dostupna norma točne frekvencije.

Postoji još jedna pojava vezana uz površinski val, a to je *mrtva zona* (sl. 6.). To je ono kružno oko odašiljačke antene, u kojemu se površinski val više ne čuje, dok prostorni val (odbijen od ionosfere) stiže na Zemlju tek na većoj udaljenosti. Zato se događa da se na amaterskom području 14 MHz ne čuje postaju udaljenu samo dvadesetak kilometara, dok se ona odlično čuje na udaljenosti od 1 000 km. U tablici 1. navedeni su načini rasprostiranja radiovalova različitih frekvencija.

Na frekvencijama višim od 30 MHz postoji još jedna mogućnost rasprostiranja radiovalova, a to je putem *temperaturnoga obrata* ili *temperaturne inverzije*. Naime,

u normalnom stanju u donjem dijelu atmosfere, tzv. *troposferi*, temperatura opada s visinom, pa su viši slojevi atmosfere hladniji od nižih. Međutim, postoje stanja kada je to obratno, tj. kada su viši slojevi topliji od nižih. To je stanje temperaturnoga obrata, kada nastaje atmosferski sloj, tzv. *valovod* ili *tunel* koji vodi valove određenih valnih duljina. To se osobito događa ljeti, kada su temperature visoke, i to rano ujutro ili kasno popodne. Takav se način rasprostiranja radiovalova naziva *troposferskim*

rasprostiranjem (sl. 7.). Takvim su rasprostiranjem moguće i daleke veze na frekvencijama 30...300 MHz.

Radioamateri tijekom održavanja veza brzo nauče u koje doba dana ili noći, i u koje godišnje doba, mogu ostvariti veze na željenim udaljenostima. Npr., frekvencijsko područje od 3,5 MHz prikladno je noću za veze unutar Europe, dok je područje od 14 MHz pravo DX-područje za veze s cijelim svijetom.

U ovome poglavlju upoznali smo sljedeće pojmove:

- ionosferu,
- ionosferske slojeve: D-sloj, E-sloj, F₁-sloj i F₂-sloj,
- sporadični E_s-sloj,
- površinski val i prostorni val,
- *feeding*,
- mrtvu zonu,
- temperaturni obrat (temperaturnu inverziju).

U sljedećem nastavku govorit ćemo o mjerenju. ■

Tablica 1. – Rasprostiranje radiovalova

Valna duljina	Frekvencija	Način rasprostiranja
vrlo dugi valovi	3...30 kHz	površinski val
dugi valovi	30...300 kHz	površinski val
srednji valovi	300...3 000 kHz	površinski val i noću E-sloj
kratki valovi	3...30 MHz	E-sloj, F-sloj
vrlo kratki valovi	30...300 MHz	do granice vidljivosti, E _s -sloj, troposferom
ultrakratki valovi	300...3 000 MHz	do granice vidljivosti