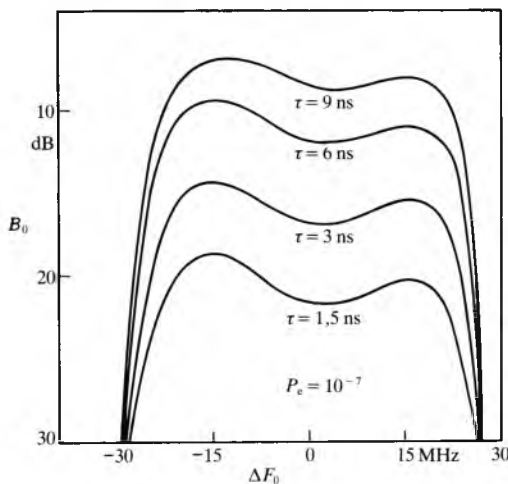


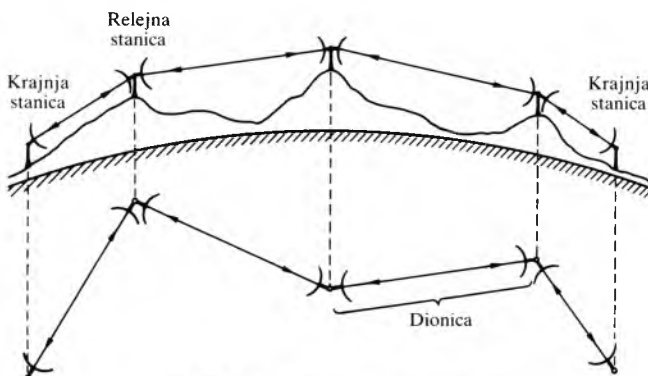
ciju ispravljanjem valnog oblika signala. Djelotvorno se može primijeniti i prostorni diverzitski prijam sa zbrajanjem na razini međufrekvencijskog signala.

Da bi se utvrdila otpornost digitalnog sustava na selektivni feding, mjere se *M-krivulje* (tzv. *signatura*). U laboratorijskim uvjetima proizvede se prijenosna karakteristika prema sl. 36, s time da se kontrolirano mijenja dubina selektivnog fedinga B_0 i razlika ΔF_0 između frekvencije nosioca i frekvencije na kojoj je najdublji selektivni feding. Uza stalno vrijeme kašnjenja τ reflektiranog snopa u odnosu na izravni snop, odaberu se ΔF_0 i B_0 tako što se na izlazu prijmnika izmjeri unaprijed odabrana vjerojatnost pogreške P_e . Zatim se promijeni ΔF_0 i pronađe novi B_0 koji ponovno daje istu vjerojatnost pogreške. Postupak se proizvoljno mnogo puta ponovi, a rezultati se mjerenja u koordinatnom sustavu $\Delta F_0 - B_0$ prikazuju *M-krivuljom* (sl. 37). Za različita kašnjenja, ali nepromijenjenu vjerojatnost pogreške, dobije se niz *M-krivulja*. Na temelju *M-krivulja* dvaju sustava može se, uz istu vjerojatnost pogreške i vrijeme kašnjenja, ocijeniti otpornost sustava na selektivni feding. Sustav je otporniji ako mu je *M-krivulja* niža i uža.



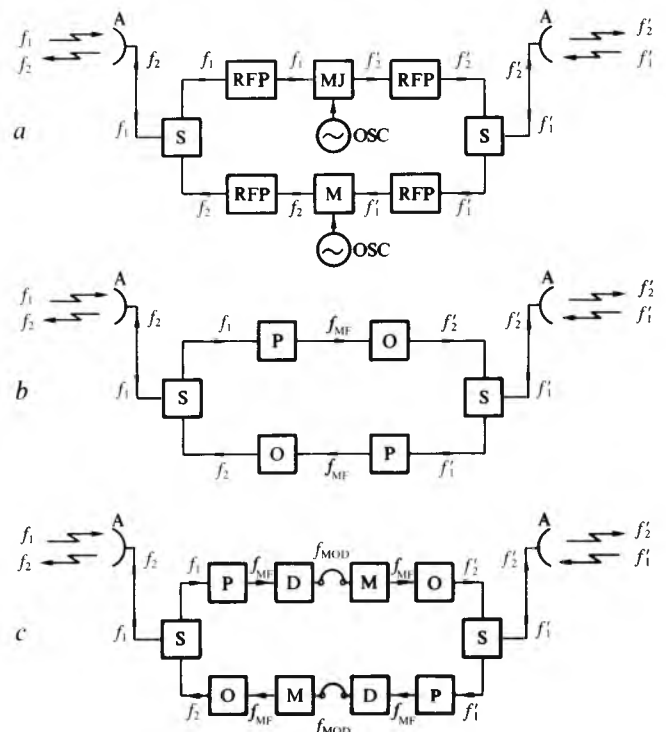
Sl. 37. Primjer *M-krivulja* digitalnog sustava (140 Mb/s, modulacija 16 QAM) uz stalnu vjerojatnost pogreške P_e za različita vremena kašnjenja τ reflektiranoga prema izravnom snopu

Radiorelejni sustavi. Bez obzira na to je li riječ o analognom ili digitalnom prijenosu, radiorelejni se sustavi sastoje od više dionica koje povezuju istaknuta mjesta na reljefu (sl. 38). Na tim su mjestima postavljene ili krajnje, ili posredničke, tzv. relejne stanice. Krajnje su stanice postavljene na mjestima između kojih se želi prenositi poruke, a relejne stanice služe samo za pojačanje signala, i to ako je razmak između krajnjih stanica prevelik, odnosno ako ne postoji izravna vidljivost. Za pojedine dionice radiorelejnog sustava vrijede sve zakonitosti povezivanja kao i za jednostavan sustav koji se sastoji samo od krajnjih stanica. Prosječna je duljina dionica ~ 50 km, dok su dulje dionice izuzeci. U



Sl. 38. Profil i tlocrt radiorelejne trase

radu na višim frekvencijama dionice su još i kraće, ne samo zbog povećana gušenja u slobodnom prostoru (a_0), nego i dodatna gušenja zbog oborina (kiša, snijeg, magla) koje naglo raste u području frekvencija viših od 10 GHz. Kako se na relejnim stanicama ne izdvaja prenesena poruka (modulacijski signal), nego se samo nadoknađuje gubitak razine signala na prethodnoj dionici, povezivanje prijmnika i odašiljača relejne stanice može se provesti na tri načina. Prvi je način da se modulirani signal, primljen na jednom radiokanalu, pomoćnim oscilatorom prebaci na drugi radiokanal (sl. 39a). Naime, na susjednim dionicama dopuštena je upotreba samo različitih radiokanala kako ne bi došlo do međusobnog ometanja u radu. Drugi je način da se primljeni radiosignal normalnim prijmnikom prebaci u međufrekvencijsko područje, da bi se zatim ponovno vratio u radiofrekvencijski opseg na željeni kanal (sl. 39b). Treći je način upotreba običnog prijmnika i odašiljača krajnje stanice koji se međusobno spoje na mjestima gdje izlazi, odnosno ulazi, modulacijski signal (sl. 39c). Taj je način najjednostavniji, jer se isti uređaji mogu upotrijebiti u relejnoj i krajnjoj stanici, ali je zbog mogućeg izobličenja modulacijskog signala najnepovoljniji. Naime, zbog nesavršenosti sklopova za demodulaciju i ponovnu modulaciju, u svakoj relejnoj stanici nakupljaju se izobličenja i vrlo brzo mogu prijeći dopuštenu razinu. U razgranatoj radiorelejnoj mreži, u kojoj se dvije ili više trasa sijeku u jednoj relejnoj stanici, a koja međusobno povezuje više od dvije krajnje stanice, može se primijeniti samo treći način povezivanja krajnjih stanica radiorelejnog sustava.



Sl. 39. Raspored uređaja na radiorelejnoj stanici. *a* izravno prebacivanje radiokanala, *b* prespajanje na razini međufrekvencijskog signala, *c* prespajanje na razini modulacijskog signala. f_1 i f'_1 frekvencije ulaznih, f_2 i f'_2 frekvencije izlaznih radiokanala, f_{MF} međufrekvencija, f_{MOD} frekvencija modulacijskog signala. A antena, S skretnica, RFP radiofrekvencijsko pojačalo, MJ mješalica, OSC oscilator, M modulator, P prijmnik, O odašiljač, D demodulator

RADIOKOMUNIKACIJSKI SUSTAVI S RADIJALNIM ZRAČENJEM

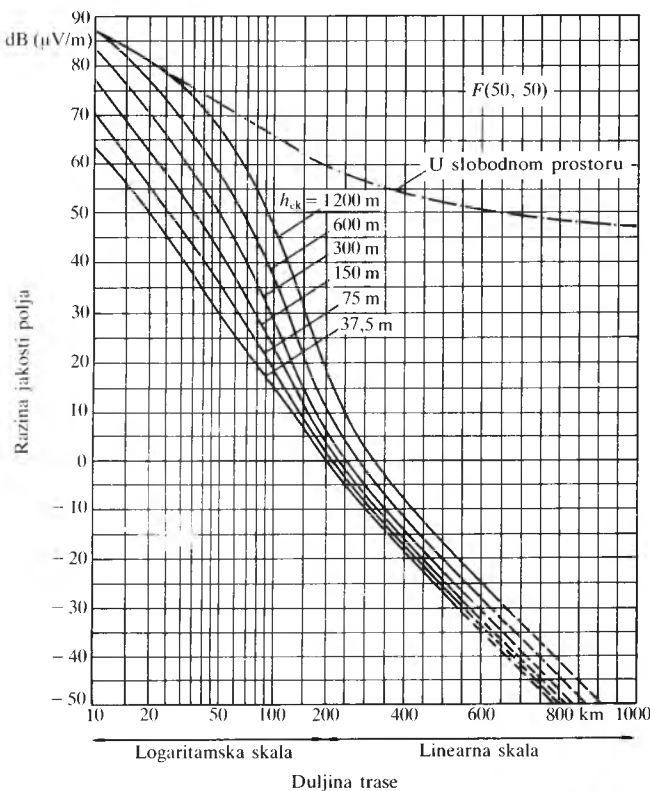
Sustavi s radijalnim zračenjem ostvaruju radiovezu jedne ili nekoliko stalnih stanica s nekoliko prostorno raspoređenih stanica ili s jednom ili više stanica promjenljiva položaja. Da bi se to ostvarilo takvi sustavi trebaju odašiljati radijalno, dakle u svim smjerovima, odnosno primiti iz svih smjerova, ili odašiljati bar u nekim povlaštenim smjerovima, odnosno primiti iz nekih povlaštenih smjerova. Kvaliteta se prijenosa

u takvim sustavima utvrđuje ovisno o jakosti polja na mjestu primanja i o vremenu. Iz mnogih bi razloga bilo nerazumno zahtijevati osiguranje najmanje potrebne jakosti polja F_0 unutar područja pokrivanja svakog odašiljača za sve lokacije i u svako doba. Već prema vrsti mreže odašiljača zahtijeva se da na određenom dijelu područja pokrivanja L i unutar određenog vremena T jakost polja bude jednaka ili veća od F_0 . Zbog toga treba poznavati krivulje vjerojatnosti prekoračenja razine polja $F(L, T)$ u ovisnosti o udaljenosti za različite vrijednosti od L i T . U preporukama CCIR postoje za frekvencijsko područje od 30...1000 MHz krivulje $F(50, 50)$, $F(50, 10)$ i $F(50, 1)$, gdje brojevi u zagradama označuju udjel prostora i vremena u postocima. Na temelju mnogobrojnih mjerenja utvrđeno je da je razdioba polja po lokacijama logaritamska normalna razdioba, pa se iz poznatog medijana po lokacijama može izračunati vjerojatnost prekoračenja za bilo koji postotak po lokacijama. Vjerojatnosti po vremenu prema krivuljama CCIR mogu se proširiti na vrijednosti 90% i 99%, jer su razdiobe po vremenu simetrične oko medijana, pa je

$$F(50, 90) = 2F(50, 50) - F(50, 10), \quad (115a)$$

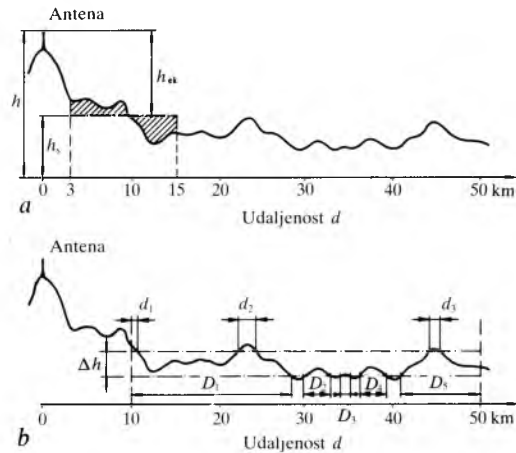
$$F(50, 99) = 2F(50, 50) - F(50, 1). \quad (115b)$$

Tako se mogu odrediti vjerojatnosti prekoračenja po vremenu za ove diskretne vrijednosti: 1, 10, 50, 90 i 99%, što je dovoljno za utvrđivanje kvalitete prijama. Razina polja $F(L, T)$ utvrđuje se iz porodica krivulja, od kojih je jedna $F(50, 50)$ prikazana na sl. 40. Kao parametar naznačena je ekvivalentna visina h_{ek} odašiljačke antene koja se dobiva iz profila trase snimljena od lokacije odašiljača u željenom smjeru. Na dionici od 3. do 15. kilometra određuje se srednja visina h_s zemljišta (sl. 41a), a razlika između stvarne visine antene h i srednje visine zemljišta te dionice predstavlja ekvivalentnu visinu antene $h_{ek} = h - h_s$. Parametar valovitosti Δh uzima u obzir konfiguraciju zemljišta, a dobiva se kao razlika visine koja je prekoračena na 10% i visine koja je prekoračena na 90% duljine dionice od 10. do 50. kilometra (sl. 41b).



Sl. 40. Razina jakosti električnog polja za 50% lokacija i 50% vremena kao funkcija udaljenosti od antene odašiljača za zračenu snagu 1 kW i frekvencije 30...250 MHz (I, II. i III. opseg); ekvivalentna je visina antene h_{ek} , prijammnika 10 m, a parametar je valovitosti 50 m

Visina je 10-postotnog prekoračenja h_{10} na dionici dužoj 40 km ona za koju, prema sl. 41b, vrijedi $d_1 + d_2 + d_3 = 4$ km, a visina je 90-postotnog prekoračenja h_{90} ona za koju vrijedi $D_1 + D_2 + \dots + D_5 = 36$ km, pa je $\Delta h = h_{10} - h_{90}$. Profile kojima se Δh razlikuje od međunarodno prihvaćene prosječne vrijednosti 50 m treba korigirati pomoću krivulja dodatnog gušenja koje su određene preporukama CCIR.



Sl. 41. Određivanje ekvivalentne visine antene h_{ek} (a) i valovitosti (b) pomoću geografskog profila trase

Osim minimalne jakosti polja, potrebno je u mreži s više odašiljača osigurati da se maksimalno dopuštena smetnja pojavljuje samo na malom udjelu lokacija i u malom dijelu vremena. Dominantnu smetnju u mreži čine istokanalni odašiljači, pa treba utvrditi minimalno dopušteni razmak korisnog i istokanalnog smetajućeg odašiljača. Budući da su razine polja i korisnog i smetajućeg odašiljača statističke veličine, i njihova je razlika o kojoj ovisi smetnja statistička veličina. Minimalni omjer korisnog i smetajućeg signala ovisi o vrsti modulacije i sadržaju poruke, a može se odrediti slično kao što se određuje minimalni omjer signala i šuma. Razdioba se razlike $\Delta F(L, T)$ razine korisnog i razine smetajućeg polja dobiva pomoću jakosti polja korisnog $F_k(L, T)$ i smetajućeg $F_s(L, T)$ odašiljača i krivulja razdioba po lokacijama $R(L)$ koje su logaritamski normalne. Razlika je tih razina

$$\Delta F(L, T) = F_k(50, 50) - F_s(50, 100 - T) + \sqrt{2}R(L). \quad (116a)$$

Ta jednadžba vrijedi samo za istokanalnu smetnju kad je smetajući odašiljač mnogo dalji od korisnoga. Za smetnje od odašiljača sa susjednim ili zrcalnim kanalom koji je mnogo bliži od korisnoga razlika je razina

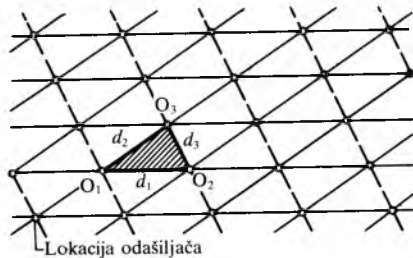
$$\Delta F(L, T) = F_k(50, T) - F_s(50, 50) + \sqrt{2}R(L). \quad (116b)$$

Planiranje mreže odašiljača i radiokanala. Pri planiranju mreže treba riješiti dva bitna problema koji su, doduše, međusobno povezani, ali se ipak uz određene pretpostavke mogu odvojeno promatrati. Najprije treba riješiti problem pokrivanja određenog geografskog područja dovoljnom jakošću polja za kvalitetan prijam. To znači da radi ekonomičnosti treba odabrati najpovoljnije lokacije odašiljača, zračene snage i dijagrame zračenja antena da se pokrije što veći dio željenog područja u što većem dijelu vremena. Drugi je problem da pojedinim odašiljačima treba dodijeliti određene frekvencije, tzv. *radiokanale* ili kraće *kanale*. Kanale unutar raspoloživog frekvencijskog pojasa treba dodijeliti tako da se, uz maksimalno potiskivanje smetnji zbog interferencije, optimalno iskoristi raspoloživi dio radiospektra. Drugim riječima, treba odrediti minimalan broj kanala koji je potreban da se na ograničenu geografskom području svim odašiljačima dodijeli jedan kanal, a da smetnje ne budu veće od predviđenih.

Problem se rješava tako da se najprije pretpostavi pravilan geografski raspored odašiljača uz idealizirane uvjete, tj. da svi odašiljači zrače jednake snage s kružnim horizontalnim dijagramom zračenja i jednakom ekvivalentnom visinom

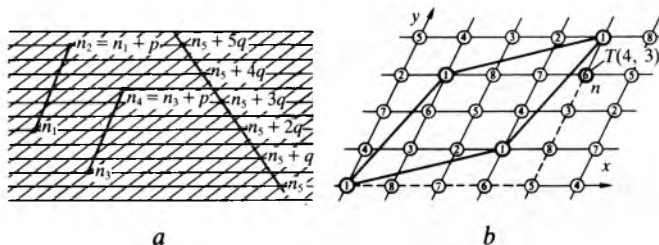
antene, i uz jednake parametre kojima je karakterizirano zemljište. Kad je jednom riješena takva idealizirana mreža, ona se prilagođuje stvarnim uvjetima. Odašiljači se s lokacija u idealiziranoj mreži pomiču na povoljnije geografske lokacije (prilazne ceste, zgrade, dovod električne energije itd.). Zatim se prema stvarnoj ekvivalentnoj visini antena i profila zemljišta korrigira dijagram zračenja zadržavajući pritom približno ista područja pokrivanja.

Konfiguracija je idealizirane mreže takva da su trokuti, što ih čine po tri susjedna odašiljača, međusobno jednaki. Takva trokutna mreža nastaje ako jedna porodica ekvidistantnih paralelnih pravaca siječe drugu porodicu ekvidistantnih paralelnih pravaca, koji su pod bilo kojim kutom prema prvima. Sva sjecišta pravaca označuju lokacije odašiljača. Na sl. 42 vidi se da je geometrijski oblik mreže određen elementarnim trokutom kome su u vrhovima tri susjedna odašiljača O_1 , O_2 i O_3 , a stranice su mu d_1 , d_2 i d_3 .



Sl. 42. Idealizirana mreža odašiljača s ucrtanim elementarnim trokutom sa stranicama d_1 , d_2 i d_3

Zatim treba pojedinim odašiljačima u mreži dodijeliti redni broj kanala, s time da ukupan broj kanala bude što manji. To se postiže tako da se unutar paralelograma, što ga čine četiri susjedna istokanalna odašiljača, moraju samo jednom pojaviti svi redni brojevi kanala. Kad ima više kanala, postoji veoma mnogo mogućih raspodjela kanala unutar paralelograma istokanalnih odašiljača. Ako su prijamnici tako građeni da su im ulazna pojačala selektivna, dakle da pojačavaju samo signal na frekvenciji korisnog kanala (pri jednosmjernom prijenosu kao što je radiodifuzija), najpovoljnije je između svih rasporeda upotrijebiti linearni raspored kanala iz sljedećih razloga. Prvo, u svim točkama mreže, uz linearni raspored, istovrsne smetnje imaju jednake vrijednosti. Ako se, dakle, kontroliraju prilike samo u jednoj točki u mreži i ako se utvrdi da su smetnje istoga, susjednog i zrcalnog kanala u dopuštenim granicama, taj zaključak vrijedi i za sve točke mreže. To znatno olakšava planiranje mreže, jer se kontrola smetnji mora provesti samo u jednoj točki. Drugo, matematičko opisivanje linearnog rasporeda kanala relativno je jednostavno, a broj se mogućih rasporeda znatno smanjuje. Linearni raspored kanala definiran je pravilom: ako je dužina koja spaja dvije točke mreže jednaka i paralelna s dužinom koja spaja druge dvije točke, za svaki je par točaka razlika između rednih brojeva kanala ista. Redne brojeve kanala pritom treba shvatiti kao ciklički sustav brojeva, što znači, ako je N ukupan broj kanala, onda iza N -tog kanala dolazi prvi, pa drugi itd. (sl. 43a). Ako se mreža odašiljača shvati kao kosokutni koordinatni sustav (sl. 43b), redni se broj kanala n bilo koje točke $T(x, y)$ u mreži može na temelju



Sl. 43. Dodjeljivanje rednih brojeva kanala odašiljačima u mreži s linearnim rasporedom kanala. a općenit raspored ($n_1 \dots n_s$ redni brojevi kanala, p i q razlike rednih brojeva kanala), b primjer dodjele osam kanala u koracima: 7 u smjeru x i 3 u smjeru y

spomenutog pravila odrediti iz njenih koordinata pomoću jednadžbe

$$n = n_0 + (t_1 x + t_2 y) - mN \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (117)$$

Vrijednost m treba odabrati tako da bude $n \leq N$. U jednadžbi je n_0 redni broj kanala ishodišta, a t_1 i t_2 su koraci u smjeru x i y , tj. razlike rednih brojeva susjednih odašiljača u tim smjerovima.

Dvije se mreže mogu uspoređivati prema gustoći odašiljača, tj. prema omjeru broja odašiljača i površine, ili prema srednjem razmaku d_0 između odašiljača. Srednji je razmak jednak stranici jednakostraničnog trokuta koji ima jednaku površinu kao elementarni trokut mreže (sl. 42), pa se taj razmak može izračunati pomoću jednadžbe

$$d_0^4 = \frac{1}{3} \left[4d_1^2 d_2^2 - (d_1^2 + d_2^2 - d_3^2)^2 \right] \quad (118)$$

Analogno se definira i srednji razmak D_0 istokanalnih odašiljača, tj. ako tri susjedna istokanalna odašiljača čine trokut sa stranicama D_1 , D_2 i D_3 , onda je D_0^4 dan jednadžbom analognom jednadžbi (118). Kako su uz linearni raspored kanala unutar paralelograma istokanalnih odašiljača svi kanali samo jednom zastupljeni (sl. 30b), to je površina trokuta, odnosno paralelograma, istokanalnih odašiljača jednaka N -strukoj površini elementarnog trokuta (paralelograma). Iz toga slijedi da je

$$d_0 = \frac{D_0}{\sqrt{N}} \quad (119)$$

Ako se na temelju dopuštene istokanalne smetnje odredi minimalni razmak D_0 između istokanalnih odašiljača, onda iz jednadžbe (119) slijedi teorijski minimalni srednji razmak odašiljača d_0 koji se uopće može postići s ukupnim brojem raspoloživih kanala N . Taj se minimalni srednji razmak može teško ostvariti jer se moraju uzeti u obzir i ostale smetnje. Na temelju dosad izloženoga vidi se da je svaka mreža odašiljača određena trima parametrima: ukupnim brojem raspoloživih kanala (N), geometrijskim oblikom mreže (d_1 , d_2 , d_3) i rasporedom kanala (t_1 , t_2). S gledišta pokrivanja određenog geografskog područja, najpovoljnije je kao elementarni trokut odabrati jednakostranični trokut. Tada su odašiljači jednoliko raspodijeljeni po površini pa horizontalni dijagrami zračenja antena mogu biti kružni, jer su i područja svih odašiljača kružna. Geografska je raspodjela jakosti polja tada optimalna. Što se elementarni trokut više razlikuje od jednakostraničnoga, to su odnosi nepovoljniji, jer su područja tada eliptična oblika, pa im se granice u različitim smjerovima veoma razlikuju. Horizontalni dijagrami zračenja tada moraju biti prilagođeni tom obliku područja. Ako se uzme u obzir samo istokanalna smetnja, onda će gustoća mreže biti najveća a potrebni broj kanala najmanji ako i elementarni trokuti i trokuti što ih čine susjedni istokanalni odašiljači budu jednakostranični. Oba zahtjeva ne mogu se istodobno ostvariti za bilo koji broj raspoloživih kanala, nego samo za N koji zadovoljava uvjet

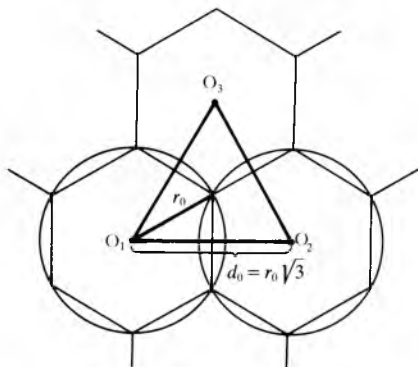
$$N = a^2 + ab + b^2, \quad (120)$$

gdje su a i b pozitivni cijeli brojevi ili nula. Iz jednadžbe (120) slijedi da je $N = 1, 3, 4, 7, 9, 13, 16, 19, 21, \dots$ Pri linearnom rasporedu kanala otpadaju iz tog niza kvadrati cijelih brojeva.

Kad je elementarni trokut jednakostraničan, područja su pojedinih odašiljača krugovi, te se razmak odašiljača d_0 može izraziti njegovim polumjerom r_0 (sl. 44), pa iz jednadžbe (119) slijedi ukupan broj kanala:

$$N = \frac{1}{3} \left(\frac{D_0}{r_0} \right)^2 \quad (121)$$

U dvosmjernom se prijenosu, kad se radi o pokretnim radiokomunikacijama, korisni signal ne odabire odmah na ulazu prijamnika, nego u nekom od sljedećih stupnjeva. Zato je potreban drugačiji pristup dodjeljivanju kanala pojedinim



Sl. 44. Veza između polumjera područja r_0 i stranice d_0 istostraničnog elementarnog trokuta

točkama u mreži. Ulazna pojačala mogu unutar svog pojasa propuštanja istodobno pojačavati signale više kanala ako ti signali stignu na ulaz. Zbog nelinearne karakteristike ulaznog pojačala i mješaća nastaju smetnje zbog intermodulacije. Veza između ulaznog x i izlaznog napona y nelinearnog sklopa može se prikazati redom potencija:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots \quad (122)$$

Ako se na ulazu pojave tri signala s frekvencijama f_1 , f_2 i f_3 , ukupni je signal

$$x = U_1 \cos 2\pi f_1 t + U_2 \cos 2\pi f_2 t + U_3 \cos 2\pi f_3 t, \quad (123)$$

gdje su fazni kutovi izostavljeni, jer ne utječu na spektralnu raspodjelu. Uvrštavanjem jednadžbe (123) u (122) pojavit će se velik broj signala na svim mogućim kombinacijama frekvencija, od kojih su za planiranje radiokanala važne kombinacije frekvencija trećeg reda: $2f_1 - f_2$, $2f_1 - f_3$, $2f_2 - f_1$, $2f_2 - f_3$, $2f_3 - f_1$, $2f_3 - f_2$, $f_1 + f_2 - f_3$, $f_1 + f_3 - f_2$ i $f_2 + f_3 - f_1$. Ako su kombinacije frekvencija jednake frekvenciji korisnog signala f_k , nastat će smetnje zbog intermodulacije. Sve se navedene kombinacije frekvencija trećeg reda mogu obuhvatiti jednom jednadžbom:

$$f_k = f_p + f_q - f_r. \quad (124)$$

Spektralno gledano, kanali su poredani jedan do drugoga, pa je frekvencija kanala s rednim brojem n

$$f_n = f_0 + n \Delta f, \quad (125)$$

gdje je Δf razmak kanala. Iz jednadžbi (124) i (125) slijedi uvjet za nastajanje smetnje zbog intermodulacije:

$$k - p = q - r, \quad (126)$$

gdje su k , p , q i r redni brojevi kanala. Na temelju jednadžbe (126) može se postaviti pravilo prema kojemu bi se unaprijed spriječile smetnje zbog intermodulacije. To pravilo glasi: ako se u skupini radiokanala postave sve moguće razlike rednih brojeva radiokanala i ako se sve razlike međusobno razlikuju, onda u toj skupini radiokanala ne mogu nastati smetnje zbog kombinacije frekvencija trećeg reda. Slična razmatranja mogu se provesti za smetnje zbog intermodulacija višeg reda (petog, sedmog, devetog ...), ali se u praksi one mogu gotovo uvijek zanemariti. Ako se želi načiniti skupina radiokanala slobodna od intermodulacija trećeg reda, a da se pri tome zauzme minimalan broj uzastopnih kanala, upotrebljavaju se sljedeći kanali: za skupinu od 3 kanala 1, 2 i 4, za skupinu od 4 kanala 1, 2, 5 i 7, za skupinu od 5 kanala 1, 2, 5, 10 i 12, za skupinu od 6 kanala 1, 2, 5, 11, 13 i 18, za skupinu od 10 kanala 1, 2, 8, 12, 27, 40, 48, 57, 60 i 62. Vidi se da broj zauzetih uzastopnih kanala mnogo brže raste od broja kanala slobodnih od intermodulacija, što znači da se spektar sve lošije iskorišćuje. Ako se veće geografsko područje pokriva samo iz jednog centra, gdje se zbog velikog prometa zahtijeva više radiokanala, neekonomično je slaganje skupina kanala slobodnih od intermodulacije. Ako se šire geografsko područje pokriva mrežom odašiljača, moguće je na svakoj lokaciji načiniti drugu skupinu kanala slobodnih od intermodulacije, ali tako da se u cijeloj mreži iskoriste svi uzastopni kanali.

Primjer četiriju skupina sa po četiri kanala koji su slobodni od interkanalne modulacije glasi: I. skupina 1, 3, 6 i 10, II. skupina 2, 4, 9 i 12, III. skupina 5, 8, 13 i 15, IV. skupina 7, 11, 14 i 16. Vidi se da je u mreži iskorišteno svih 16 kanala, ali to uvijek nije moguće izvesti, jer to ovisi o broju skupina i broju kanala u skupini.

POKRETNi RADIOKOMUNIKACIJSKI SUSTAVI

Pokretni se radiokomunikacijski sustavi razvrstavaju na kopnene, pomorske i zračne. Kopneni su sustavi funkcionalne radiomreže koje služe određenim službama (vatrogasci, policija, hitna pomoć itd.) ili poduzećima (elektroprivreda, naftna industrija, vodoprivreda itd.), radiotelefonske mreže koje omogućuju izravni priključak na javnu automatsku telefonsku mrežu, te mreže za selektivno pozivanje osoba. Pomorski sustavi služe za vezu među plovilima i plovila s kopnom, te kao interna veza brodarskih društava ili za povećanje sigurnosti brodskog prometa. Zračni sustavi služe za vezu među letjelicama i letjelica s kontrolnim centrima na zemlji koji nadziru zračni promet. Danas postoji tendencija da se omogući zračnim i pomorskim radiovezama izravan priključak na javnu telefonsku mrežu na zahtjev putnika ili posade. Kopneni sustavi danas rade u frekvencijskim opsezima 68...88 MHz, 146...174 MHz, 450...470 MHz i 806...960 MHz. Pomorske veze ostvaruju se Morseovom telegrafijom u frekvencijskom opsegu 415...525 kHz, pri čemu je frekvencija 500 kHz rezervirana za poziv u pomoć. Frekvencijski opseg 1605...3800 kHz služi za govorne veze, a frekvencija 2182 kHz rezervirana je za poziv u pomoć. Kratkovalno područje (4...28 MHz) služi za veze Morseovom telegrafijom, telefonijom, te za teleprinterske veze, prijenos podataka i faksimila. Na obalnom području dopušten je rad u frekvencijskom opsegu 156...174 MHz, s time da je frekvencija 156,8 MHz rezervirana za poziv u pomoć. Civilne zračne veze rade u frekvencijskom opsegu 117,975...136 MHz, a za daleke veze, npr. preko oceana, u kratkovalnom području. U posljednje se vrijeme za pomorske i zračne veze uvodi prijenos preko satelita, a istražuju se i mogućnosti upotrebe satelita i za kopnene mreže (v. *Telekomunikacije, satelitske, i radioastronomija*). Grubu podjelu frekvencija do frekvencije od 1 GHz s obzirom na maksimalne udaljenosti pokretne od bazne radiostanice sadrži tabl. 2.

Tablica 2
NAJPOVOLJNIJI FREKVENCIJSKI OPSEZI ZA POKRETNi VEZE

Udaljenosti između pokretne i bazne radiostanice km	Najpovoljniji frekvencijski opseg MHz
> 160	2...30
do 160	30...50
do 80	50...100
do 50	100...300
do 30	300...500
do 20	500...1000

Posebnosti u rasprostriranju elektromagnetskog vala u pokretnim radiokomunikacijama. Za kopnene je radiokomunikacije teorijski, a zatim i eksperimentalno, utvrđeno da se prostorna raspodjela električnog polja, a to znači vremenska razdioba signala koje primaju antene vozila u pokretu, može matematički vrlo dobro opisati superpozicijom Rayleighove i logaritamske normalne razdiobe. Naime, već prema mikrolokaciji vozila, signal na ulazu prijavnika podložan je u kraćim vremenskim intervalima brzim i velikim fluktuacijama (Rayleighova razdioba) oko srednje vrijednosti, dok je za duže vremenske intervale srednja vrijednost tih kratkotrajnih varijacija podložna logaritamskoj normalnoj razdiobi. Vremenska ovisnost anvelope signala vala nosioca na ulazu prijavnika prikazuje skica na sl. 45, a odnosi se na kraći vremenski interval. Vrijeme na apscisi ovisi o brzini vozila i frekvenciji vala nosioca. Zbog refleksije od Zemljine površine, a i od okolnih objekata, signal se na mjestu prijama sastoji od niza valova koji od odašiljača do prijavnika prijeđu