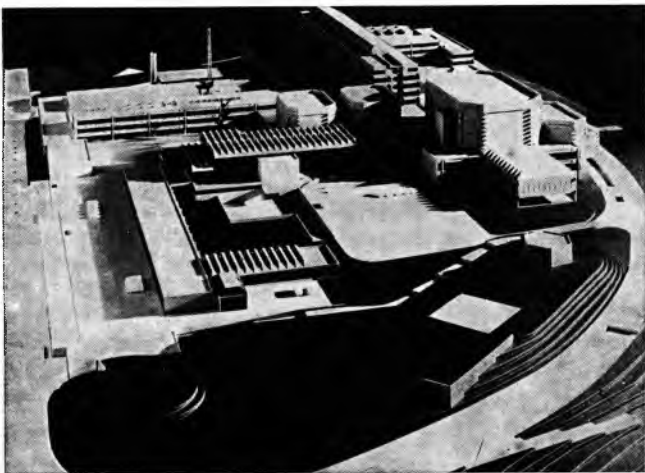


(motor-generatora ili u novije vrijeme statičkih izmjenjivača) priključenih na akumulatorsku bateriju. U slučaju prekida napajanja iz gradske mreže njima je iz akumulatora osiguran stalan pogon od više sati. Na taj sistem napajanja moraju biti priključena i ona računala koja upravljaju pogonom odvijanja programa.

Radio-televizijski dom. U idealnom su slučaju svi prije navedeni pogoni sektora radija i sektora televizije koncentrirani u zajedničkom objektu, zajedno s odgovarajućim programskim redakcijama i upravom. Taj je ideal, međutim, rijetko postignut (primjeri toga su noviji RTV-centri u Moskvi, Varšavi, Napulju, Birminghamu i Tokiju); većinom je radio-dom od televizijskog centra odvojen, npr. u Londonu, Parizu i Rimu. Prednosti zajedničkog objekta su očite: tehničke se službe nadopunjavaju, služba održavanja tehničkih uređaja je jednostavnija, služba prijema vijesti može se centralizirati, a međusobno komuniciranje je brže i lakše.

Na sl. 93 prikazana je maketa novog RTV-centra u Beču (»ÖRF-Zentrum«), koji je već od 1970 djelomice u pogonu, a postepeno se izgrađuje i oprema, a bit će završen do 1974. On sadrži kompletne televizijske pogone, ali od radija su u njemu smješteni samo kapaciteti za tzv. aktualnosti (vijesti, intervjui i tome slično), a veći su studiji radija (za glazbene i dramske izvedbe) i dalje ostali u starom radio-domu u centru grada.



93. Novi radio-televizijski centar u Beču (Küniglberg), snimka makete

U nas je u pogledu koncentracije radija i televizije na jednom mjestu najdalje došla RTV Ljubljana. U Zagrebu tek 1974 počinje stvarna izgradnja novog RTV-centra.

LIT.: H. F. Olson, Musical engineering, New York 1952. — G. Millerson, Television production, London 1967. — J. Weber, Tonstudioteknik, München 1968. — A. Nisbett, Sound studio, London 1970. Vidi također literaturu u članku *Elektroakustika* i ostalim poglavljima ovog članka.

B. Radić

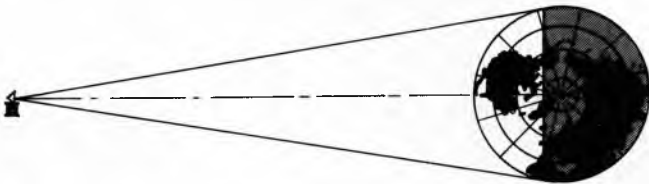
PRIMJENA ELEKTRONIKE U SATELITSKIM KOMUNIKACIJAMA

Komunikacije s pomoću satelita ostvaruju se na taj način što se sateliti, koji kruže oko Zemlje, iskorištavaju bilo kao reflektori, bilo za smještaj radio-ponavljača (prijemnika i predajnika) i time omogućuju mnogokanalni radio-prijenos na velike udaljenosti s pomoću mikrovalova.

Elektromagnetski radio-valovi iskorištavaju se za prijenos informacija već od početka ovog stoljeća. Međutim, kapacitet tih veza ovisan je o raspoloživom broju kanala na upotrijebljenim frekvenčijskim područjima. Radi zadovoljenja suvremenih potreba za što većim brojem istovremenih veza išlo se postepeno od dugih valova prema kraćim valovima, gdje ima više mjesta, i došlo danas već u područje valova frekvencija reda veličine stotina i tisuća megaherca. Jedna je od karakteristika tih radio-valova da se šire uglavnom pravolinijski i da je prenos energije praktički ograničen na područje omeđeno linijom horizonta točke na kojoj se nalazi odašiljač. Te se granice dosoga mogu proširiti bilo stvaranjem lanca prijemnika-odašiljača (relejnih stanica), koje su međusobno vidljive, tj. sistemom tzv. usmjerenih veza, bilo proširenjem horizonta, tj. postavljanjem radijatora na veću visinu.

Uspješno lansiranje prvog satelita (Sputnika I, 4. X 1957) stvorilo je tek realne mogućnosti da se i sateliti, koji kruže oko Zemlje na velikoj udaljenosti, opreme reflektorskim ili prijemno-odašiljačkim uređajima i iskoriste kao neka vrsta relejnih svemirskih stanica za kvalitetan mnogokanalni prijenos informacija na velike udaljenosti, obuhvaćajući pri tome i velike površine Zemlje (sl. 1). Danas, sedam godina nakon lansiranja prvog aktivnog komunikacijskog satelita, postoje na Zemlji već dva razgranata satelitska sistema veza, tzv. Intelsat i Molnija-Orbita. Oni obuhvaćaju već dvije trećine svih međunarodnih veza za prijenos

informacija na velike udaljenosti. U sistemu INTELSTAT (od engl. *IN*ternational *TE*lecommunication *SAT*ellite *Co*nsortium) sudjeluju aktivno do sada 44 zemlje sa 61 centrom i 79 zemaljskih stanica, a u sistemu MOLNIJA-ORBITA Sovjetski Savez i Kuba sa 40 zemaljskih stanica.



Sl. 1. Opskrbno područje satelita (osvijetljeno crtani dio Zemlje)

Opskrbno područje satelita. Geometrijske mogućnosti pokrivanja jednim satelitom vide se iz sl. 2. Ako je 2δ kut pod kojim satelit »vidi« površinu Zemlje (po pravilu je to i kut širine snopa antene satelita), a 2φ centralni kut Zemlje koji tom kutu odgovara, vrijedit će između visine satelita nad površinom Zemlje, h , i ostalih za pokrivanje karakterističnih veličina, koje se vide iz slike, ovi odnosi:

Oplošje područja pokrivanja iznosi:

$$O = 2R^2\pi(1 - \cos\varphi) = 2R^2\pi(1 - \sin\delta) \quad (1)$$

Ovisnost oplošja O opskrbnog područja i kuta δ (polovine kuta pod kojim satelit »vidi« Zemlju) o visini h satelita iznad Zemlje vidi se na dijagramu sl. 3. Najveća je duljina luka l na najvećem krugu:

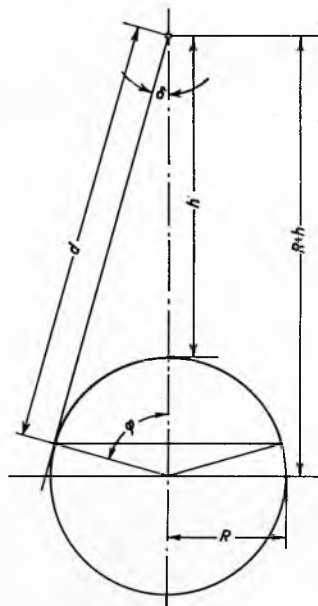
$$l = \frac{2R\pi}{180} \cdot \varphi \quad (2)$$

(φ u stupnjevima).

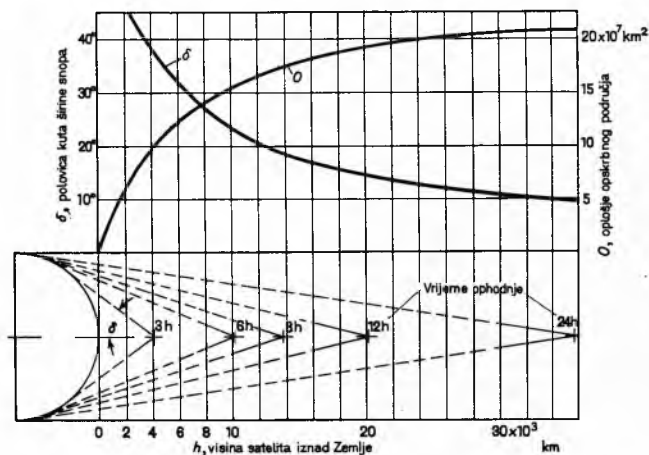
Budući da Zemljina površina nije glatka, da postoji opasnost od povećanja šuma, a i iz drugih razloga, ne počinje se rad sa satelitom kad je on na horizontu opskrbnog područja, već se traži da se on vidi s ruba područja pod kutom elevacije od najmanje $\vartheta = 5 \dots 10^\circ$. Tada je:

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \left[\vartheta + \sin^{-1} \left(\frac{R}{R+h} \cos \vartheta \right) \right].$$

Kružne orbite. U modernim satelitskim komunikacionim sistemima od mogućih orbita posebnu ulogu ima kružna orbita s polu-



Sl. 2. Geometrijski prikaz veličina potrebnih za proračun opskrbnog područja



Sl. 3. Ovisnost oplošja opskrbnog područja i kuta δ (polovine kuta pod kojim satelit »vidi« Zemlju) o visini h satelita iznad Zemlje

mjerom 42 241 km (35 863 km iznad površine Zemlje), koja leži u ekvatorijalnoj ravnini Zemlje. Ako je, naime, smjer ophodnje satelita na toj orbiti zapad—istok, trajanje mu je ophodnje 86 400 s (24 h), tj. jednako je vremenu za koje se Zemlja jednom okrene oko svoje osi, pa satelit relativno miruje iznad odabrane točke na ekvatoru; takav se satelit naziva *geostacionarnim*. Sinhronu orbitu (vrijeme ophodnje 86 400 s) može imati i satelit s nagnutom orbitom. Takav satelit nije geostacionaran, a spojnica satelit—središte Zemlje probada tokom ophodnje površinu Zemlje u nizu točaka koje se nalaze na zatvorenoj krivulji oblika osmice. Kao i ostale satelite koji nisu geostacionarni, i ove bi satelite trebalo pratiti vrlo točnim trajnim zakretanjem antenskog sistema zemaljske stanice (s točnošću reda veličine dijela stupnja).

Na satelit (mase m , na udaljenosti r od središta Zemlje) djeluje s jedne strane, prema zakonu gravitacije (I. Newton, 1687), gravitacijska sila Zemlje (s masom M),

$$F_g = \gamma \frac{mM}{r^2},$$

a s druge strane na nj radijalno djeluje centrifugalna sila $F_c = m\omega^2 r$ koja se pojavljuje zbog kružnog kretanja satelita. Te su dvije sile u dinamičkoj ravnoteži, pa je $F_g = F_c$. Ako se za kutnu brzinu ω satelita uvrsti $\omega = 2\pi/t$ i ako se za udaljenost satelita r stavi (prema sl. 2) $r = R + h$, dobije se jednadžba

$$m \left(\frac{2\pi}{t} \right)^2 (R + h) = \gamma \frac{Mm}{(R + h)^2},$$

iz koje se dobije vrijeme ophodnje satelita

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{(R + h)^3}{\gamma M}} \quad (3)$$

njegova visina iznad Zemlje

$$h = \sqrt[3]{\frac{\gamma M t^2}{4\pi^2}} - R. \quad (4)$$

U prednjim izrazima je m masa satelita, M masa Zemlje ($5,98 \times 10^{24}$ kg), t vrijeme ophodnje satelita, R radijus Zemlje na ekvatoru ($6,378 \cdot 10^6$ m), h visina orbite satelita iznad Zemlje, γ konstanta gravitacije ($6,670 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$).

Pri upotrebi jedn. (3) i (4) za izračunavanje treba numeričke vrijednosti veličina uvrstiti u koherentnim jedinicama, dakle u m, kg i s ako se konstanta γ uvrsti u $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$. Vrijeme ophodnje t i visina h iznad Zemlje dobivaju se u tom slučaju, dakako, u sekundama, odn. metrima.

Uz $h = 35 863$ km i $\vartheta = 0^\circ$ teoretski je područje pokrivanja geostacionarnog satelita ($\varphi = 81^\circ 20'$) prema izrazu (1) $\sim 217 000 000 \text{ km}^2$, a duljina luka na najvećem krugu $\sim 18 000$ km. Za $\vartheta = 5^\circ$ vrijednosti su tih veličina $\sim 190 000 000 \text{ km}^2$ i $\sim 17 000$ km.

Iz navedenih činjenica slijedi i ideja, koju je već 1945 iznio Clarke, da se s pomoću tri geostacionarna satelita, smještena na orbiti u razmacima od 120° , pokrije, uz izvjesno preklapanje, čitava naseljena Zemlja. Ta zamisao predstavlja osnovu satelitskih komunikacija i radiodifuzije u svjetskim razmjerima.

Zemaljske stanice koje se nalaze na području pokrivanja geostacionarnih satelita, postavljene bilo u parovima bilo u nekoj drugoj kombinaciji, mogu biti dio satelitskog komunikacijskog sistema, pri čemu satelit, na određeni način, služi za vezu između njih. Na toj istoj površini moguć je i prijem radiodifuzijskog programa emitiranog sa satelita.

Eliptične orbite. Umjesto u središtu kružne orbite satelita, Zemlja može biti i u jednom fokusu eliptične orbite. Prema drugom Keplerovom zakonu brzina je gibanja satelita u blizini apogeja manja, satelit ostaje sa povoljno odabrane točke na Zemlji dulje vidljiv nego uz kružnu orbitu i jednako trajanje ophodnje. Hilton i Dauncey upozorili su 1960 na važnost izdužene eliptične orbite u ravnini s nagibom $\alpha = 63,4^\circ$ prema ravnini ekvatora. Velika os takve orbite stationarna je u ravnini orbite, a spojnica apogej-perigej probada površinu Zemlje uvijek na istoj geografskoj širini. Uz ophodnju koja traje 12 sati moguće je osigurati korisnu vezu od 20 sati na 24 sata. Za područja na većim geografskim širinama ovakva orbita ima prednost pred kružnom. Sateliti iz programa Molnija iz Sovjetskog Saveza, od prvog (23. IV 1965) pa do posljednjeg, devetnaestog (20. XII 1971),

imaju svi orbite s nagibom $63,4^\circ$, s apogejom od 40 000 km, perigejom od 500 do 900 km i vremenom ophodnje 715...735 minuta.

Problemi satelitskih radio-veza. Nepovoljno se u satelitskim vezama ispoljavaju utjecaji o kojima je riječ u daljem izlaganju.

Vrijeme širenja. Na sl. 2 vidi se da je za satelitske veze pri visini satelita $h = 35 871$ km maksimalna duljina puta elektromagnetskog vala

$$2d = 2(h + R) \sin \varphi = 83 500 \text{ km},$$

a kako je brzina širenja elektromagnetskih valova $c \approx 30 000 \text{ km s}^{-1}$, bit će kašnjenje signala u jednom smjeru

$$t_1 = \frac{2d}{c} = 278,5 \text{ ms}.$$

Kašnjenje signala može svakako izazvati pri telefonskom razgovoru neugodne posljedice već ako vrijeme širenja u oba smjera pređe 150 ms, jer su ljudi u razgovoru navikli na mogućnost upadanja i na neposredno odgovaranje.

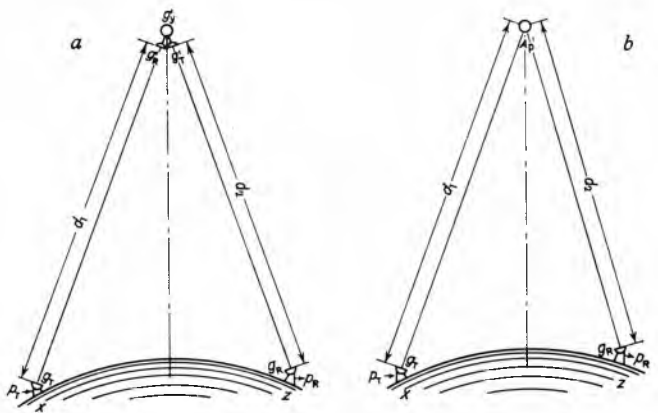
Privremene preporuke prihvaćaju 150 ms bez rezerve, a vrijeme od 150 do 400 ms kao privremeno dozvoljeno.

Telefonske veze preko geostacionarnog satelita bit će prihvatljivije samo ako dodatno kašnjenje na zemaljskim vezama nije preveliko. Zbog različite brzine širenja, udaljenosti $2d = 83 500$ km odgovara na Zemlji kabelska veza od 18 000 km. Tako npr. vrijeme kašnjenja na kabelu London—New York iznosi 35 ms. Veze u jednom smjeru (telex, telegrafija, telefoto) dakako nisu ovim pogođene.

Uz moguću vremensku razliku od 8 sati, program radiodifuzije prenošen satelitom u vrijeme povoljno za jedno područje dolazi na drugo područje u vrijeme kad je tamo neupotrebljiv.

Budući da se na Zemlji govori oko 6 tisuća raznih jezika i govora, programi emitirani s jednog područja nisu bez daljeg razumljivi na drugim područjima. Poteškoće stvara i činjenica da za crno-bijelu televiziju ima 14 različitih standarda, uz što dolaze i 3 sistema za televiziju u boji.

Odnos širine snopa i snage. Antenski sistem na satelitu koji bi imao širinu snopa $17^\circ 30'$ (v. sl. 3) koja je potrebna za pokrivanje maksimalne površine, imao bi relativno mali dobitak (19,34 dB), a to znači da bi se tražila i relativno velika snaga odašiljača na satelitu, što opet znači povećanje mase i geometrijskih dimenzija satelita. Za radiodifuzijske satelite predviđaju se iz gornjih razloga samo širine snopova antene $1,4^\circ$, $2,5^\circ$ i 5° , kojima odgovaraju (na ekvatoru) kružne površine promjera ~ 1000 , 2000 i 3200 km, odnosno odgovarajuće eliptičke površine za druge dijelove Zemlje; oni stoga dolaze u obzir samo za prijenos nacionalnog programa. I komunikacijski sateliti iz serije INTELSAT u najnovijoj izvedbi (INTELSAT IV), imaju osim antena sa širokim snopom i sisteme sa $\sim 14,5$ puta manjim područjem pokrivanja.



Sl. 4. Shematski prikaz radio-prijenosa s pomoću aktivnog (a) i pasivnog satelita (b)

Karakteristične veličine satelitskih veza. Prvi komunikacijski umjetni satelit bio je ECHO 1 (VIII 1960). On je bio pasivni komunikacijski satelit, tj. služio je samo kao reflektor za energiju primljenu sa čitavog područja na kome je bio vidljiv. U daljem razvoju, međutim, primijenjeni su aktivni sateliti s ugrađe-

nim ponavljajkim radio-uređajima, tj. sa jednim ili više prijemnika i odašiljača. Pasivni sateliti imaju prednost da su univerzalni i jednostavni, ali je nasuprot tome prevagnula prednost aktivnih satelita da osiguravaju bolji kvalitet veza.

Snaga primljenog signala. Ako zemaljska stanica X (sl. 4) daje snagu p_T svojoj anteni koja ima dobitak g_T , moći će antena prijemnika koja ima dobitak g_R na satelitu u udaljenosti d_1 predati svom prijemniku prema izrazu (9) snagu

$$p_{RS} = g_R' g_T p_T \left(\frac{\lambda}{4\pi d_1} \right)^2,$$

gdje λ znači valnu duljinu odašiljača zemaljske stanice. (Za dobitak g v. Antene, str. 605.) Član u zagradi predstavlja gušenje propagacije u slobodnom prostoru. Odnos između snage na ulazu u prijemnik i snage na izlazu iz odašiljača aktivnog satelita može se nazvati dobitkom satelita g' . Uz dobitak satelitske odašiljačke antene g_T' i udaljenost d_2 između satelita i druge stanice Z na Zemlji, snaga na ulazu u prijemnik te stanice, ako je dobitak njezine prijemne antene g_R , iznosi

$$p_{RZ} = p_T g_T \left(\frac{\lambda}{4\pi d_1} \right)^2 g_R' g_T' g_T \left(\frac{\lambda_1}{4\pi d_2} \right)^2 g_R,$$

gdje λ_1 znači valnu duljinu odašiljača na satelitu.

Ako je posrijedi pasivni satelit, čija je efektivna površina A , on će uz iste uvjete primati i isijavati snagu

$$p' = A g_T \frac{p_T}{4\pi d_1^2},$$

a primljena će snaga na prijemniku Z na Zemlji biti

$$p_{RZ} = p_T g_T \left(\frac{\lambda}{4\pi d_1} \right)^2 \frac{4\pi A}{\lambda^2} \left(\frac{\lambda_1}{4\pi d_2} \right)^2 g_R.$$

Uz $\lambda_1 = \lambda$ bili bi uvjeti na Zemlji, u prijemu, jednaki u slučaju pasivnog satelita kao u slučaju aktivnog kad bi bilo

$$g_R' g_T' g_T = \frac{4\pi A}{\lambda^2}.$$

Izraz na desnoj strani ove jednadžbe znači dobitak pasivnog satelita, a lijeva strana ukupni dobitak na aktivnom satelitu. Taj dobitak izražen u decibelima ($G = 10 \log g$) ima npr. za satelit tipa INTELSAT III vrijednost $G = (13 + 105,5 + 13) \text{ dB} = 131,5 \text{ dB}$. Toliki dobitak pasivni satelit praktički ne može imati, kako će se vidjeti iz daljeg izlaganja.

U ovoj glavi članka *Elektronika, uređaji i sistemi*, u jednadžbama su po pravilu malim slovima označene veličine (npr. snaga p , dobitak g), a pripadnim velikim slovima (P, G) deseterostruki logaritam omjera između numeričke vrijednosti dotične veličine i njezine numeričke vrijednosti na drugoj, po pravilu referentnoj, razini (tj. dotična veličina izražena u decibelima, v. u članku *Električna mjerenja*, TB 3, str. 635, i *Elektrohustika*, str. 301).

Širina snopa i dobitak antene. Osim širine snopa glavne laticice i dobitka antene (v. Antene, str. 605) važan je i optimalni odnos između ta dva antenska parametra, budući da poboljšanje svakog od njih ide na uštrb drugog. Točan je proračun širine snopa glavne laticice složen jer jakost polja opada od sredine prema rubu reflektora. Tipične vrijednosti za širinu snopa (2δ) u stupnjevima daje za antene s paraboloidnim reflektorom kružnog otvora (aperture) brojčana formula

$$2\delta \approx \frac{65^\circ \lambda}{D}, \quad (5)$$

gdje je D promjer otvora reflektora, a λ valna duljina (u istim jedinicama). Približna vrijednost dobitka takve antene može se dobiti iz brojčane jednadžbe

$$g \approx \frac{27\,000}{(2\delta)^2}. \quad (6)$$

Za određivanja dobitka antene G_A u decibelima često se primjenjuje brojčani izraz

$$G_A \approx (20 \log D + 20 \log f - 41,48) \text{ dB}, \quad (7)$$

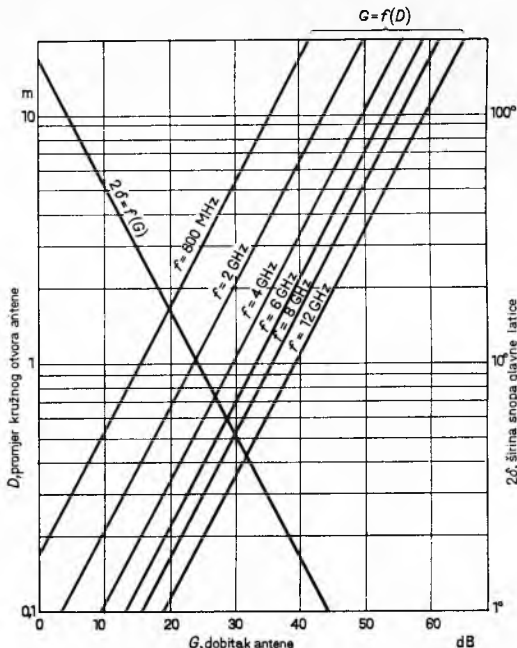
gdje je promjer kružnog otvora antene D dan u metrima, a frekvencija f u megahercima.

Za istu svrhu služi i iz izraza (6) dobivena brojčana jednadžba

$$G_A \approx [44,2 + 20 \log (2\delta)] \text{ dB}. \quad (8)$$

Dobitak G i kut širine snopa 2δ kao funkcija promjera antene D za različite frekvencije f prikazani su grafički na sl. 5. Iz izraza

(7) može se lako izračunati da bi za postizanje naprijed pomenutog dobitka od 131,5 dB (INTELSAT III), uz $f = 4 \text{ GHz}$, promjer kružne refleksione površine pasivnog satelita morao biti 10^5 m .



Sl. 5. Ovisnost dobitka antene G o promjeru D kružnog otvora antene pri različitim frekvencijama f i ovisnost širine snopa 2δ o dobitku antene G

Izbor frekvencija za komunikacije s pomoću satelita.

U rješavanju problema komunikacija putem satelita pitanje frekvencija neobično je važno. To se pokazalo već 1962 kad je lansiran TELSTAR. Pitanje ima dva aspekta: administrativno-juridički i fizikalno-tehnički. Ona su uvjetovana potrebom da se primijene frekvencije koje fizikalno odgovaraju prirodni veze o kojoj se radi, a da se pri tome ne dođe u sukob sa željama i potrebama drugih službi.

Administrativna podjela frekvencija. Administrativna konferencija u lipnju-srpnju 1971 predvidjela je za komunikacije preko satelita u užem smislu područja prikazana u tabl. 1.

Tablica 1
RASPORED FREKVENCIJSKIH PODRUČJA PREDVIĐENIH
ZA RADIO-KOMUNIKACIJE S POMOĆU SATELITA

Donja granica	Gornja granica	Primjedba
Za veze satelit—Zemlja		
3400 MHz 3725 MHz 7250 MHz 10,95 GHz 11,45 GHz 12,50 GHz 17,70 GHz 40,00 GHz 102 GHz 150 GHz	4200 MHz 6450 MHz 7750 MHz 11,20 GHz 11,70 GHz 12,75 GHz 21,20 GHz 41,00 GHz 105 GHz 152 GHz	7250...73000 MHz isključivo za satelitske veze isključivo za satelitske veze 19,70...21,20 GHz isključivo za satelitske veze isključivo za satelitske veze
Za veze Zemlja—satelit		
4400 MHz 5725 MHz 7900 MHz 10,95 GHz 12,50 GHz 14,00 GHz 27,50 GHz 50,00 GHz 140 GHz	4700 MHz 6425 MHz 8400 MHz 11,20 GHz 12,75 GHz 14,50 GHz 31,00 GHz 51,00 GHz 142 GHz	7975...8025 MHz isključivo za satelitske veze isključivo za satelitske veze 29,50...31,00 GHz isključivo za satelitske veze isključivo za satelitske veze
Nedefinirano		
220 GHz 265 GHz	230 GHz 275 GHz	isključivo za satelitske veze

Dodijeljena frekventijska područja ne važe uvijek za cijeli svijet, već su različita za različite regije. Time je riješen tek vrlo mali dio problema. Radio-difuzija putem satelita, od koje se toliko očekuje i traži, dobila je na istoj konferenciji ova frekventijska područja: 2500...2690 MHz, 11,70...12,50 GHz, 41,00...43,00 GHz (isključivo za satelite), 84,00...86,00 GHz (isključivo za satelite). Prvo područje ona dijeli s fiksnim i mobilnim službama na Zemlji, a drugo s radio-difuzijom na Zemlji i s fiksnim i mobilnim službama.

S fizikalnog stanovišta promatrano moraju frekvencije ležati u području koje troposfera i ionosfera zračnog plašta oko Zemlje propuštaju i za koje postoji mogućnost propagacije bez većih zapreka. Granice su tog područja promjenljive u ovisnosti o geografskom položaju satelitske zemaljske stanice, Sunčevoj aktivnosti i godišnjem dobu, a također, osobito kad je riječ o propusnosti za više frekvencije, o meteorološkim prilikama (magli i oborinama). Općenito će uz normalne prilike donja granica propuštanja biti na ~10 MHz, a gornja na ~30 GHz. Donja se granica može, međutim, popeti i na 70 MHz, a gornja na 70 GHz.

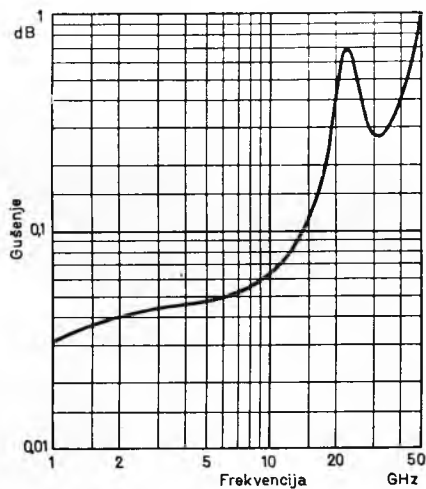
Utjecaj gušenja na izbor frekvencije. Gušenje pri širenju valova u slobodnom prostoru, u kome medij i okolina nemaju utjecaja, dano je odnosom snage u prijemu p_R i isijane snage p_T ; ono za udaljenost d i valnu duljinu λ iznosi:

$$l = \frac{p_R}{p_T} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (9)$$

Gušenje pri širenju L ($= 10 \log l$) u decibelima može se prikazati i brojanom jednadžbom

$$L = (20 \log d + 20 \log f + 32,46) \text{ dB},$$

gdje je d udaljenost između antena u kilometrima i f frekvencija u megahercima. U danom će mediju, pogotovo u blizini graničnih frekvencija, gušenje biti povećano zbog gubitaka. Na višim će frekvencijama to povećanje biti uzrokovano vodenom parom i plinovima. Za propagaciju u smjeru zenita i normalnu atmosferu to je dodatno gušenje grafički prikazano u ovisnosti o frekvenciji na sl. 6. Kiša i magla uzrokovat će također dodatno gušenje kao



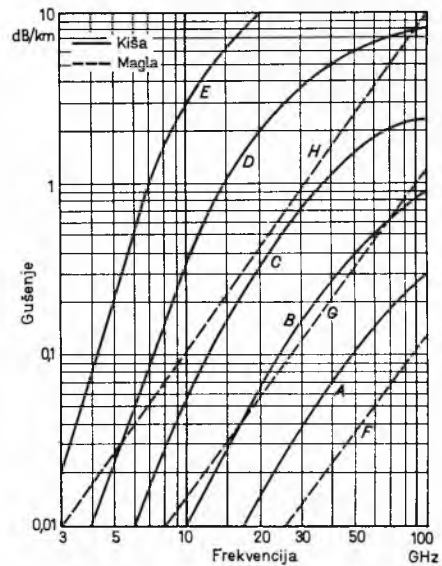
Sl. 6. Dodatno gušenje zbog djelovanja vodene pare i plinova u atmosferi u ovisnosti o frekvenciji. Dijagram vrijedi za širenje u smjeru zenita pri normalnim atmosferskim prilikama

što je prikazano na sl. 7. Kiša od 16 mm na sat je jaka kiša, koja ne traje dugo i koja se ne pojavljuje istovremeno na širokim područjima.

Utjecaj šuma na izbor frekvencije. Na izbor frekvencija utječe i intenzitet radio-električnih smetnji, tj. šumova koji dolaze iz prostora, sa Zemlje i iz Zemljine atmosfere.

Šumovi iz prostora su ili galaktičkog porijekla, ili potječu iz radio-zvijezda, ili im je izvor Sunce. Šumovi galaktičkog porijekla, kako se vidi iz sl. 8, slabe s porastom frekvencije, pa su već iznad 1 GHz zanemarljivi u usporedbi sa šumom prijemnika. Konstantna ostaje jedna komponenta neovisna o frekvenciji.

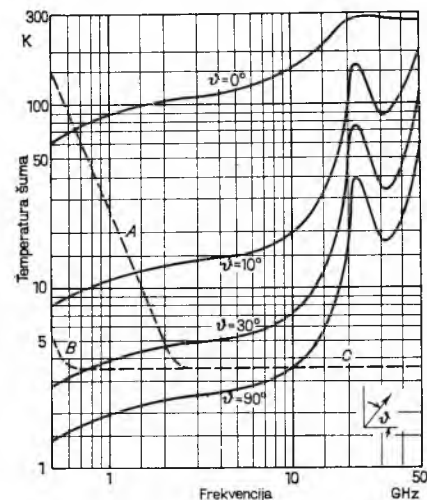
Ostala dva izvora šuma iz prostora stvaraju malo smetnji na frekvencijama koje za sada dolaze praktički u obzir, i to samo pri nižim kutovima elevacije antene zemaljske stanice.



Sl. 7. Dodatno gušenje zbog djelovanja kiše i magle u ovisnosti o frekvenciji. A sitna kiša 0,25 mm/h, B slaba kiša 1 mm/h, C srednje jaka kiša 4 mm/h, D jaka kiša 16 mm/h, E vrlo jaka kiša 100 mm/h, F magla sa 0,032 g/m³ vode uz vidljivost oko 120 m, H magla sa 2,3 g/m³ vode uz vidljivost oko 30 m

Zemljina površina jednako kao i Zemljina atmosfera stvaraju svojim toplinskim radijacijama šum koji se prijemniku prinosi preko glavne laticice ili sporednih laticica antene. Zbog toga je potrebno da ove posljednje budu što manje izražene.

Uobičajeno je šumove izražavati temperaturom šuma u kelvinima (K , v. poglavlje Šum, str. 627), posebice kad je snaga šuma mala. Tako se mogu i šumovi koje antena prima iz različitih smjerova i različitih spomenutih izvora karakterizirati temperaturom šuma, kako je to napravljeno i na sl. 8.



Sl. 8. Galaktički šum (crtkano) i ostali šumovi iz svemira (od sunca i radio-zvijezda, pune crte) u ovisnosti o frekvenciji i pri različitim kutovima elevacije. A maksimalni galaktički šum, B minimalni galaktički šum, C osnovni galaktički šum

Međutim, šum prijemnog uređaja ne određuje samo temperatura šuma antene. Šume i ulazni krugovi prijemnika, a taj se šum izražava faktorom šuma F (v. Šum, str. 628). Ako elementi između antene i pojačala imaju gušenje, to će gušenje dovesti do povišenja temperature šuma. Zaštitno plastično kućište (engl. radome) koje se ponekad postavlja pred antenu, sa slojem vode

koji se na njemu zadržava, djeluje na isti način. Ako su gušenja l izražena odnosom izlazne snage prema ulaznoj ($p_l : p_u$) < 1, vrijedit će za čitavi sistem

$$T = T_R + (1 - l) T_0 + l T_A,$$

gdje je T temperatura šuma cijelog prijemnog sistema, T_R temperatura šuma prijemnika, T_0 temperatura šuma člana između antene i pretpojačala (obično 290 K), T_A temperatura šuma antene. Između faktora šuma F prijemnika ili pretpojačala i temperature šuma postoji odnos

$$T_R = (F - 1) T_0. \tag{10}$$

Savršeno pojačalo ima očito $T_R = 0$ ($F = 1$). Maserska pojačala imaju npr. temperaturu šuma ~ 20 K ili $F \approx 1,069$, odnosno 0,3 dB u odnosu prema referentnoj vrijednosti $F = 1$.

Maksimalna snaga šuma raspoloživa na izlazu izvora šuma uz širinu frekvencijskog pojasa B dana je izrazom

$$p_n = k T B,$$

gdje je k Boltzmannova konstanta ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K), T apsolutna temperatura izvora šuma, a B širina frekvencijskog pojasa. Ta se snaga može izraziti također decibelima (u odnosu prema referentnoj snazi 1 W) i izračunati brojačnom jednadžbom

$$P_n = (-228,6 + 10 \log T + 10 \log B) \text{ dB}.$$

Broj $-228,6$ je Boltzmannova konstanta izražena decibelima u odnosu prema referentnoj razini $1 \text{ J/K} = 1 \text{ W/Hz K}$ ($10 \log 1,38 \times 10^{-23} = -228,6$). T se uvrštava u kelvinima, B u hercima. Češće se upotrebljava i brojačna jednadžba

$$P_n = (10 \log T + 10 \log B - 168,6) \text{ dB}, \tag{11}$$

u koju se uvrštava B u MHz ($10 \log 1,38 \cdot 10^{-17} = -168,6$).

Izvori napajanja satelita. Kapacitet i performanse aktivnog komunikacijskog satelita vezane su na isijanu snagu, a to znači i na snagu napajanja. Povećanje prve znači i povećanje druge, a to povlači za sobom i povećanje mase i volumena satelita iz jednog i drugog razloga. Izvor napajanja treba prema tome da uz veliku pouzdanost i trajnost ima i visok stupanj djelovanja, a to znači i malu specifičnu masu i mali volumen. Iako izvori mogu biti kemijski, nuklearni i solarni, većina je do sada lansiranih komunikacijskih i drugih satelita imala kao izvore snage solarne baterije izrađene od monokristalnog silicijuma kao osnovnog materijala. Pojedinačne ćelije površine $3,7 \text{ cm}^2$, uz osvijetljenost 140 mW/cm^2 (što odgovara izvanatmosferskom intenzitetu Sunčevog svjetla), daju napon praznog hoda 550 mV , odn. snagu od 60 mW . Razvoj solarnih baterija nije prestao, kako se je neko vrijeme pretpostavljalo, pa su u toku realizacije solarne baterije sa znatno većim snagama (projekt Apollo Telescope $11,2 \text{ kW}$, površina 136 m^2 , $6,64 \text{ W/kg}$; projekt EOS Rigid Panel $10,5 \text{ kW}$, površina 120 m^2 , $82,7 \text{ W/kg}$). Za neke do sada lansirane satelite dan je odnos snaga odašiljača i snaga napajanja u tabl. 2.

Tablica 2
SNAGE IZ IZVORA NAPAJANJA I SNAGE ODAŠILJAČA NA NEKIM LANSIRANIM SATELITIMA

Satelit	Snaga izvora napajanja	Snaga odašiljača
INTELSAT	90 W	6 W
INTELSAT III	160 W	10 W
ATS I	175 W	4 W
ATS III	175 W	12 W
INTELSAT IV	750 W	$12 \times 10 \text{ W}$

Električna je energija u prijemnom i odašiljačkom dijelu satelita potrebna uz znatno viši napon (npr. $2,5 \text{ kV}$) od onog što ga daju baterije ($22 \dots 31 \text{ V}$), a uz to mora biti i stabilizirana. Ako se uzme u obzir potreba stabilizatora-konvertera, može se za grubi proračun mase radiodifuzijskog satelita (u kg) iz snage izvora napajanja p_0 (u kW) upotrijebiti formula:

$$M = 250 + 110 p_0.$$

Nekoliko tipova generatora s radioizotopnim gorivom ispitano je u prostoru. Potreba za ovim generatorima, koji mogu dati vrlo velike snage, osjeća se pri projektiranju velikih radiodifuzijskih satelita, a posebice satelitâ za specijalne misije ili daleke prostore u kojima Sunčeve energije praktički nema. Svi takvi

generatori sastoje se od izvora energije (reaktora), sistema konverzije (radijatora — izmjenjivača topline) i oklopa. Za gorivo se uzima plutonijum 238, polonijum 210 i kirijum 244, koji, budući da zrače α -zrake, zahtijevaju manje zaštitnih mjera.

Među izvorima spominju se i gorivne baterije bazirane na procesu inverznom elektrolizi vode: kisik i vodik spajajući se u vodu daju u njima električnu energiju. One su, doduše, upotrijebljene u akcijama Gemini i Apollo (jedva je izbjegnuta katastrofa Apolla 13) ali su za komunikacijske satelite preteške.

Komunikacijski sateliti u orbiti oko Zemlje dolaze, dakako, povremeno u sjenu Zemlje (geostacionarni sateliti ulaze u sjenu i ostaju povremeno u sjeni 23 dana prije ekvinočija i 23 dana poslije njega; najdulje zamračenje u tom intervalu traje $69,5$ minuta). Za to vrijeme niz funkcija mora biti osiguran, a to se vrši klasičnim akumulatorskim baterijama (srebro-cink, srebro-kadmijum, nikal-kadmijum) koje se pune za vrijeme dok satelit nije u sjeni.

Lansiranje satelita. Iako se danas još ne može reći da lansiranje satelita u širem smislu predstavlja proces koji se sa sigurnošću može ponavljati, ipak se može utvrditi da je tehnika lansiranja savladana.

Dovoljno je napomenuti da je do sredine 1965 bilo lansirano preko 1500 satelita i sondi različitih tipova. U 1965 lansirano je 112 satelita, u 1966 njih 118, u 1967 njih 127, u 1968 daljih 119, 1969 novih 110, a u toku 1970 opet 114. Konačno, 21. srpnja 1969 čovjek je stavio nogu na Mjesec, a raketa tipa SATURN V digla je tom prilikom korisni teret od $44\,676 \text{ kg}$. Napomenimo konačno da je do konca 1971 lansirano 470 satelita iz serije Kozmos (SSSR), 45 satelita iz serije Explorer (USA) i 19 satelita iz serije Molnija (SSSR).

Većina lansiranih baza nalazi se iznad i ispod ekvatora, pa je za dovodenje satelita u ekvatorsku orbitu potreban veći broj operacija i veći potrošak goriva nego za lansiranje jednakih negeostacionarnih satelita. Na relativno malim geografskim širinama (npr. Cape Canaveral) može se dovodenje u geostacionarnu orbitu vršiti tzv. Hohmannovim transferom. Satelit se ubacuje u eliptičnu orbitu, a promjena ravnine orbite i prelaz u cirkularnu vrši se u apogeju, gdje se satelit giba sporije nego u kružnoj orbiti iste visine, pa se na elemente orbite može utjecati manjom silom.

O masi lansiranih komunikacijskih satelita iz serije INTELSAT postoje podaci koji se među sobom ne slažu. Navode se i ovi podaci (prvi broj je masa satelita pri lansiranju, drugi njegova masa u orbiti; razlika je masa potrošenog goriva): INTELSAT I $68/37 \text{ kg}$, INTELSAT II $118/85 \text{ kg}$, INTELSAT III $228/144 \text{ kg}$, INTELSAT IV $1112/450 \text{ kg}$. Ti su sateliti lansirani raketama nosačima (redom) THOR DELTA, poboljšani DELTA i ATLAS CENTAUR. Za lansiranje većih radiodifuzijskih satelita ostaju danas, uz odgovarajuće rakete Sovjetskog Saveza, jedino rakete tipa TITAN i SATURN.

Već se dulje vremena vrše pokusi za zamjenu kemijskog pogonskog goriva za rakete drugim, s većim specifičnim impulsima uz znatno manju težinu. U novije se vrijeme javlja i ideja da se u posljednjem stupnju propulzija kemijskim gorivom zamijeni električnom propulzijom. Za to bi se mogla upotrijebiti instalacija koja bi kasnije služila za opskrbu uređaja energijom. Tako bi se mogli dovesti u orbitu veliki tereti relativno malim raketama. Vrijeme transfera iz niže orbite u stacionarnu može u tom slučaju trajati i 2 do 3 mjeseca. Kao izvor energije dolaze u obzir uređaji s reaktorima.

Sprečavanje ometanja između satelitskih i usmjerenih veza. Usprkos rastućim mogućnostima lansiranja većih satelita, ograničenja emitirane snage na pojedinim odašiljačkim jedinicama, kojih na satelitu sada može biti više, postojat će i dalje, iz čitavog niza tehnoloških i administrativno-tehničkih razloga. Prva će ograničenja rasti s frekvencijom, a druga će biti ovisna o položaju frekvencijskog pojasa koji satelitski odašiljači iskorištavaju u frekvencijskom spektru i o odnosima između frekvencija satelitskih odašiljača i frekvencija iskorištenih drugim službama. Ograničenja vezana na ove druge razloge dana su obično kao ograničenja gustoće toka snage na površini Zemlje ili gustoće tog toka u pojasu 4 kHz , koji odgovara širini jednog telefonskog kanala, i vezana su očito na isijanu snagu uz dano gušenje propagacije u slobodnom prostoru. Spomenuta Svjetska administrativna konferencija (lipanj-srpanj 1971) daje, tamo gdje dolazi do preklapanja u frekvencijskom području između usmjerenih veza s direktnom vidljivošću na Zemlji i satelitskih veza, kao maksimalne dozvoljene vrijednosti gustoće toka snage za sve metode i uvjete modulacije vrijednosti navedene u tabl. 3.

Gustoća toka snage u tablici izražena su decibelima u odnosu prema referentnoj gustoći snage 1 W/m^2 i važe za kut elevacije θ između 0° i 5° . Za veće kutove θ maksimalno dozvoljena gustoća toka snage je veća (apsolutni porast je, npr., 10 dB za $25^\circ < \theta \leq 90^\circ$).

Dalje smanjenje međusobnih smetnji može se postići disperzijom energije. Pri frekvencijskoj modulaciji, koja se danas normalno upotrebljava, može u momentima malog opterećenja telefonskim signalima u višekanalnim satelitskim vezama, ili pri prenosu velikih površina TV-slike jednake svjetloće, doći do koncentracije isijane snage na frekvenciji nosioca ili u njezinoj blizini. Disperzijom energije, tj. konstantnim moduliranjem određenim, npr., pilastim signalom, može se, u sistemima sa preko 60 kanala, održati spektarska gustoća energije nosioca na manje od 3 dB iznad vrijednosti koju ima u satima vršnog opterećenja. Dodatna se trajna modulacija disperzijskim signalom nakon demodulacije dakako »briše« lokalno generiranim signalom koji se dodaje u protufazi.

Tablica 3
DOZVOLJENE GUSTOĆE TOKA SNAGE
U POJASU 4 kHz NA POVRŠINI ZEMLJE

Dozvoljena gustoća toka snage	Za područja frekvencija
-154 dB*	1 670... 2 500 MHz
-152 dB*	2 500... 7 750 MHz
-150 dB*	8 025... 11 700 MHz
-148 dB*	11 700... 12 750 MHz
-115 dB**	17 700... 23 000 MHz

* u odnosu prema referentnoj gustoći toka snage 1 W/m^2 i širini pojasa frekvencija 4 kHz

** u odnosu prema referentnoj gustoći snage 1 W/m^2 i širini pojasa frekvencija 1 MHz

U satelitskim komunikacijskim sistemima može doći i do smetnji zemaljske satelitske stanice zbog rada stanica iz mreže usmjerenih veza. Računom koji je potrebno provesti određuje se tzv. koordinacijska udaljenost i krivulja koordinacije, tj. granica izvan koje je moguć neometan rad. Koordinacijski postupak vrlo je važan i postaje sve važniji i ozbiljniji s porastom broja zemaljskih stanica (danas samo u sistemu INTELSAT postoji, kao što je naprijed spomenuto, 61 centar sa ukupno 79 stanica).

Koordinacijska udaljenost može se smanjiti odabiranjem takvog mjesta za zemaljsku stanicu da prirodne zapreke zaklanjaju stanicu koje bi dolazile u obzir za koordinaciju. Zato je i data preporuka da se zemaljske stanice smještaju u kotline s blagim nagibom terena tako da se rub terena s antene stanice vidi pod kutom od 3° do 4° iznad horizonta.

Štetno djelovanje isijavanja odašiljača. Problemi sa zemaljskim stanicama vezani na zaštitu javljaju se i u drugom obliku. Isijane snage zemaljskih satelitskih stanica uz snagu odašiljača od npr. 2 kW (33 dB u odnosu prema referentnoj snazi 1 W) i dobitak antene reda 10^6 (60 dB) u osi snopa, vanredno su velike i imat će za posljedicu izvanredno jaka elektromagnetska polja i na većim udaljenostima od antene. Takva polja mogu dovesti zbog hipertermije do oštećenja tkiva živih bića, a do gubitka kontrole nad radom mišića može doći i pri kraćem zadržavanju u njima. Pod stanovitim uvjetima ona mogu biti opasna i zapaljivom ili eksplozivnom materijalu. Gustoća energije od $0,01 \text{ W/cm}^2$ smatra se još podnošljivom kroz dulje vrijeme za ljudski organizam, a ta granica važi i za zapaljive materijale. Jasno je da je u normalnom pogonu mogućnost dolaska u os glavnog snopa isključena. Sekundarne laticice dijagrama isijavanja tih antena moraju biti što više potisnute, a rasipanje antenskog sistema (engl. spill-over) mora biti i iz tog razloga što manje. U nizu je izvedenih antena, za kutove $\psi > 0,5^\circ$ od osi, dobitak $(32 - 25 \log \psi) \text{ dB}$. Na primjer, ako dobitak u osi, uz $D/\lambda = 400$, iznosi 60 dB, on će iznositi uz $\psi = 1^\circ$ još samo 32 dB, a uz $\psi = 10^\circ$ iznositi će samo 7 dB.

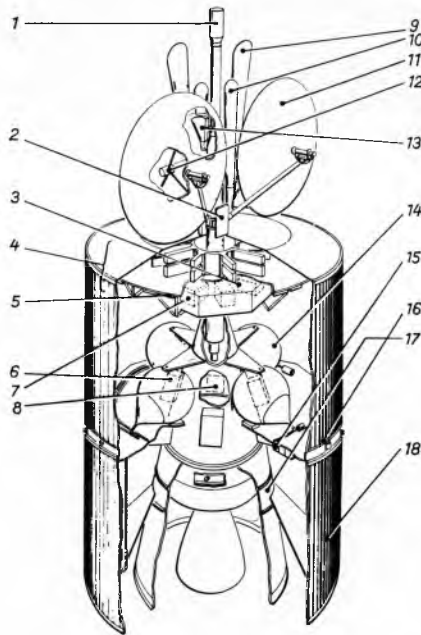
Način rada u satelitskim komunikacijama. Komunikacijski su sateliti distribucijska čvorišta u najširem smislu te riječi, ali oni su samo dijelom slični relejnim stanicama u sistemima usmjerenih veza na Zemlji. Od usmjerenih veza na Zemlji, kad su vrlo kompleksne, traži se u krajnjem slučaju samo račvanje; od satelitskih veza, naprotiv, traži se da omoguće međusobno

povezivanje svih zemaljskih stanica na čitavom golemom području pokrivanja jednog satelita, uz najveću moguću elastičnost i podatnost. Kod ovih se veza postavlja dakle kao vrlo specifičan problem višestruki pristup. Taj se problem u načelu može riješiti na više načina, počevši od onog koji predviđa na satelitu toliko kompletnih terminala koliko ima zemaljskih stanica u sistemu, i na svakom terminalu potpunu demodulaciju, razdiobu, prespajanje i ponovnu modulaciju odgovarajućih signalima odgovarajućih terminala — pa do rješenja koje predviđa cikličko uklapanje pojedinih zemaljskih stanica u proces rada satelita tako da ovaj, u određenom elementarnom intervalu, stoji na raspolaganju samo jednoj zemaljskoj stanici za vezu s jednom ili više drugih.

U najrazvijenijem današnjem sistemu — INTELSAT — višestruki pristup omogućen je primjenom metode razdiobe po frekvenciji, u kojoj svaka od prenosnih radio-frekvencija što ih emitiraju pojedine zemaljske stanice zauzima točno određen položaj. U satelitskom prijemnom dijelu svi se ovi nosioci pojačavaju istovremeno i emitiraju na drugim frekvencijama zemaljskim stanicama bez promjene tipa i stupnja modulacije. Zemaljska stanica selekcionira filtriranjem, prije demodulacije, nosilac ili nosioce dodijeljene stanicama s kojima upravo želi imati vezu. Dalje se selekcioniranje može odnositi na izbor, nakon prve demodulacije, telefonskih kanala koji su za tu stanicu interesantni. Pojedini nosioci modulirani su u ovoj metodi frekvencijski.

Satelit INTELSAT IV prikazuje sl. 9.

Satelit koji služi za istovremenu vezu između USA, Brazila i Čilea posredstvom zemaljske stanice Raisting isijava multipleksni signal u području 4 GHz u frekvencijskom pojasu širokom 500 MHz. Nakon pojačanja u zemaljskoj stanici dolazi čitav spektar frekvencija na neku vrstu sabirnice, gdje se odjeljenim lokalnim oscilatorima izdvajaju pojedini kanali širine 70 MHz koji odgovaraju pojedinim radio-frekvencijskim nosiocima. Demodulacija se vrši iz pojasa 70 MHz. U tom sistemu bazne grupe obuhvaćaju 132 kanala, pa se na prijemnoj strani izdvajaju podgrupe s onolikim brojem kanala koliki je pojedinoj stanici dodijeljen. U primjeru prikazanom na sl. 10 vidi se da je do 60 kanala iz područja od 12 do 242 kHz. Ostali kanali, određeni za druge zemlje, ne obrađuju se, a odabranih 60 kanala ide na demultipleksere i demodulatore i dalje pretplatnicima.



Sl. 9. Satelit tipa INTEL-SAT IV. 1 Telemetrijska i komandna antena, 2 panel-antena, 3 telemetrijski i telekomandni uređaji, 4 pretvarači (transponderi) F-2, F-3, F-4; 5 konverter za napajanje pojačala s elektonom sa putujućim valovima, 6 kontrola baterija i releja, 7 pozicioniranje antena, 8 pogon solenoida i mlaznica, 9 i 10 prijemna i odašiljačka antena širokog snopa, 11 komunikacijska antena s uskim snopom, 12 mehanizam za pozicioniranje antene, 13 prigušivač nutacije, 14 podsistem za pozicioniranje i orijentiranje, 15 baterije, 16 senzor za sunce, 17 nosiva konstrukcija i ukrucenje, 18 sunčane baterije

Tehnički zahtjevi za uređaje satelitskih veza. Kako se iz navedenog može zaključiti, komunikacijski i radiodifuzijski sateliti postali su stvarna potreba, a u velikoj mjeri i praktična mogućnost. Da se vidi kakvi im se zahtjevi mogu postavljati, potrebno je vidjeti što se od uređaja na satelitu i u zemaljskim stanicama traži i očekuje, a za to je najbolje napraviti energetska bilancu u lancu emisija — prijem.

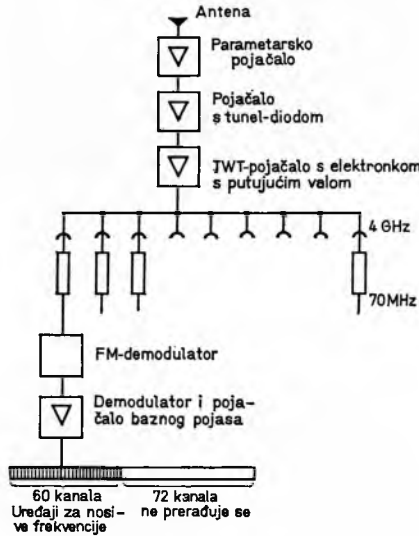
Ako odašiljač daje anteni s dobitkom g_T snagu P_T , uz dobitak antene na prij. mniku g_R i gušenje l između dviju antena, primljena je snaga

$$P_C = \frac{P_T g_T g_R}{l}$$

Isto izraženo decibelima u odnosu prema referentnoj snazi 1 W, slično kao pri izrazima (9) i (11), glasi:

$$P_C = (P_T + G_T + G_R - L) \text{ dB.} \quad (12)$$

Kvalitet prijema i veze bit će funkcija odnosa signal/šum. U taj odnos moraju biti uključeni svi izvori šuma (kozmički šum, šum antene i valovoda i šum prijemnika) reducirani na ulazu u prijemnik. Snaga šuma P_n dana izrazom (11) može se, kako je to ranije izloženo, karakterizirati i temperaturom šuma T_s . Odnos između temperature i faktora šuma dan je jednadžbom (10).



Sl. 10. Blok-shema uređaja u zemaljskoj prijemnoj stanici

Koliko treba da iznosi stvarni odnos signal/šum, koji je jedna od osnovnih karakteristika veze, ovisit će o signalu koji se prenosi i o načinu na koji se signal privodi nosiocu, no u svakom slučaju odnos signal/šum, u visokofrekvencijskom pojasu, bit će ishodišna točka razmatranja. Ovaj se odnos, ako je dan logaritamski (decibelima), označava sa $(P_c - P_n)$. U upotrebi je i odnos $(P_c - T)$, dakle logaritamski izražen odnos primljene snage i temperature šuma sistema ($T = 10 \log T_s$) na razini za koju se taj odnos daje.

Sposobnost zemaljske stanice u smislu ispunjenja nekih minimalnih zahtjeva uobičajeno je davati logaritamskim odnosom $(G - T)$. ICSC (prema engl. Interim Communications Satellite Committee) traži, npr., za zemaljske stanice koje rade u sistemu INTELSAT

$$(G - T) \geq \left(40,7 + 20 \log \frac{f}{4} \right) \text{ dB,}$$

$$G \geq \left(57 + 20 \log \frac{f}{4} \right) \text{ dB,}$$

gdje je f frekvencija nosioca u gigahercima (3,7...4,2 GHz). Vrijednosti se daju za kut elevacije od 5°, vedro vrijeme i lagan vjetar. Odnos $(G - T)$ ima važnu ulogu, a može se u traženom iznosu postići velikim pojačanjem G ili malom temperaturom šuma T_s . Vrijednosti koje traži INTELSAT odgovaraju, uz $f = 4$ GHz, temperaturi sistema od 42,7 K, odnosno dobitku antena $G = 57$ dB.

Iz izražâ (9), (11) i (12) može se lako naći odnos

$$(P_c - P_n) = [(P_c - T) - 10 \log B + 168,6] \text{ dB,} \quad (13)$$

a iz izraza (12) odnos

$$(P_c - T) = [(P_T + G_T) + (G_R - T) - L] \text{ dB} \quad (14)$$

kao osnovu za traženje glavnih veličina koje ulaze u bilansu veza.

Primjena ovih zahtjeva može se uočiti na jednom od mogućih primjera. Syncom 3 bio je komunikacijski satelit koji je 1964 posredovao u TV-prijenosu Olimpijskih igara iz Tokija. Za relaciju Zemlja-satelit osnovni parametri uređaja bili su: frekvencija 7,359 GHz, snaga odašiljača umanjena za gubitke u valovodu (P_T) 8 kW, tj. $P_T = 39$ dB u odnosu prema referentnoj snazi 1 W, dobitak odašiljačke antene (G_T) 54,3 dB, dobitak prijemne antene (G_R) 0,0 dB, gubici

propagacije (L) i dodatna atmosferska apsorpcija 202,6 dB, temperatura šuma sistema na satelitu 2900 K, tj. $T = 34,6$ dB, širina frekvencijskog pojasa (B) 10 MHz, tj. 10,0 dB prema referentnoj frekvenciji 1 Hz.

Prema jedn. (14) je odnos $(P_c - T)$, u odnosu prema osnovnoj snazi 1 W i osnovnoj temperaturi 1 K, $(P_c - T) = [(39 + 54,3) + (0 - 34,6) - 202,6] = -143,9$ dB. Iz toga i (13) slijedi: $(P_c - P_n) = -143,9 - 10 + 168 = 14,7$ dB.

Ovaj odnos signal/šum dan je kao odnos u radiofrekvencijskom području. Demodulirani signal, dakle signal koji dolazi do korisnika, može biti znatno bolji. Ponderacija i primjena frekvencijske modulacije mogu znatno poboljšati odnos signal/šum ako odnos izračunat kako je gore prikazano prelazi vrijednost koja se naziva pragom, a nešto je iznad 10 dB. U prikazanom primjeru, uz prijenos televizijskog signala u sistemu 525 linija, stvarni odnos signal/šum primljenog signala bio je 45,7 dB. (20,8 dB pridonijela je primjena frekvencijske modulacije, a 10,2 dB ponderacija.)

Komunikacijski sateliti iz serije INTELSAT III imaju snagu odašiljača 10,7 dB u odnosu prema referentnoj snazi 1 W i dobitak antene 13,0 dB. Uz te uvjete i gubitke u valovodu 1,2 dB, gustoća toka snage je na površini Zemlje $0,112 \cdot 10^{-13} \text{ W/m}^2$ ili $-139,5$ dB u odnosu prema referentnoj gustoći 1 W/m^2 , odn. jakost polja $2,06 \mu\text{V/m}$ ili $6,26$ dB u odnosu prema $1 \mu\text{V/m}$.

Radiodifuzijski sateliti u frekvencijskim područjima 2,5 GHz i 12 GHz imali bi, uz primjenu frekvencijske modulacije i otvor snopa $1,4^\circ$, snage odašiljača 40 W ili 16 dB, odn. 500 W ili 27 dB u odnosu prema referentnoj snazi 1 W. Pripadne gustoće toka snage bile bi, uz dobitak odašiljačke antene od 37 dB, $0,126 \cdot 10^{-10} \text{ W/m}^2$ ili -109 dB, odn. $0,159 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2$ ili -98 dB u odnosu prema referentnoj gustoći 1 W/m^2 . Tome odgovaraju jakosti polja 36,76 dB, odn. 47,76 dB, u odnosu prema $1 \mu\text{V/m}$.

Prognoze o daljem razvoju satelitskih komunikacija treba praviti odvojeno za daleke satelitske veze, za bliske (regionalne i nacionalne) satelitske veze i za satelite veće zračne snage koji služe prijenosu televizijskog i radio-programa.

Satelitski komunikacijski sistemi za daleke veze, preko kojih se već danas odvijaju dvije trećine svih dalekih veza, imaju najviše izgleda na dalji razvoj, jer su rentabilni i jer još uvijek postoji tendencija povećanja tog prijenosa, prvenstveno u pogledu telefonskih veza, izmjene televizijskih programa i prijenosa podataka. Stoga se već i sada radi na proširivanju tog sistema. Međutim, budući da zemaljske stanice i sateliti predstavljaju velike investicije, za sada se ne pomišlja na znatnije povećanje pristupa, tj. na značajnije povećanje njihova broja, niti, s druge strane, na prijelaz sa sadašnjeg frekvencijskog područja (6/4 GHz), za koji su svi uređaji izrađeni, na više frekvencije (14/11 GHz). Postoji tendencija da se do kraja iskoriste postojeće instalacije i mogućnosti. Stoga će se vjerojatno preći na višestruko iskorištavanje istih frekvencija (engl. frequency re-use) na taj način što bi se emisije na istim frekvencijama jedne od drugih odvajale užim snopovima i različitim polarizacijom. U pogledu samih satelita ne predviđa se u daljoj budućnosti prelazak na još veći broj malenih satelita, već primjena manjeg broja golemih satelita.

Regionalni i nacionalni satelitski sistemi koji bi imali isti zadatak kao i sistemi za daleke veze, samo unutar granica pojedinih zemalja ili regija, imaju lošiju perspektivu. Troškovi za uspostavu takvih sistema isti su kao za daleke veze. Budući da u većini zemalja već postoje razgranate telekomunikacijske mreže preko kojih se prijenos informacija može obaviti jeftinije, primjena takvih satelitskih veza nije još rentabilna. Međutim, u više se država ipak već danas razmišlja o uvođenju takvih satelitskih veza koje bi služile za prijenos telefonskih razgovora, prijenos podataka i prijenos modulatorskog signala za radio- i televizijske programe, i to na udaljenosti veće od 800 km.

Satelitski odašiljači veće snage trebalo bi da omogućе prijem njihova prijenosa i s najmanjim antenama. Međutim, njihova realizacija ovisi o rješenoj više problema, prvenstveno problema napajanja, koji do sada još nije na zadovoljavajući način riješen. Za tu vrstu satelitskih veza također postoji jak interes. One bi služile za prijenos televizijskih programa, za prijenos telefonije uz prijenos slike govornika, za prijenos podataka i slično. Ti bi sateliti radili s mnogostrukim pristupom.

Prava era satelitskih komunikacija nastupit će, međutim, tek onda kad bude moguće uz male troškove vršiti njihovo opsluživanje, servisiranje i održavanje izravno u njihovoj orbiti, tj. u prostoru.

LIT.: G. E. Mueller, E. R. Spangler, Communication satellites, New York 1964. — K. W. Gaillard, Telecommunication satellites, London 1964. — F. Vilbig, Kommerzielle Satelliten, München 1969. — R. Galić, Komunikacijski satelitima, Zagreb 1971.

R. Galić

RADARSKI SUSTAVI

Riječ Radar je kratica engleskog naziva RAdio Detection And Ranging, otkrivanje (objekta) i mjerenje udaljenosti radio-valovima. Tim je nazivom već definirana osnovna namjena radarskih sustava.

Razvoj radara, koji radi na principu refleksije radio-valova, počeo je u USA 1934, u Velikoj Britaniji 1935, a u Njemačkoj 1936. Prvim radarom opremljen je 1938 francuski transatlantik «Normandie», a 1939 britanski krstaš «Rodney» i krstarica «Sheffields». Uoči drugog svjetskog rata sve su strane intenzivno radile na razvoju radara za osmatranje i nišanje. Prvi su radari radili na vrlo niskim frekvencijama (~25 MHz) i imali svoje goleme antenske sisteme. Postepeno se prelazilo na više frekvencije. Međutim, tek izum magnetrona s rezonatorima (Randall i Boot 1940) unio je pravi prekrat u radarsku tehniku i omogućio primjenu radara u valnom području S i X (decimetarskom i centimetarskom). Na svršetku drugog svjetskog rata postojao je niz dobro upotrebljivih radara različite namjene. U razdoblju od drugog svjetskog rata naovamo svi su tipovi radara znatno usavršeni, a izvršena je i zamjena elektroničkim tranzistorima i drugim poluvodičkim elementima. Danas se primjenjuje niz različitih vrsta radara koji služe za civilne i vojne potrebe. Najznačajniji tipovi među njima opisani su u ovoj glavi članka o elektroničkim uređajima i sistemima.