

SATELLIITSIDE

Kuna ionosfäärne side ei ole mandritevahelise side pidamiseks piisavalt stabiilne ega võimalda edastada suuri andmemahte, arendati selleks otstarbeks välja satelliitside, mis võimaldas tagada sidet pikkade vahemaade taha. Paraku vaid kümnekond aastat hiljem hakati mandritevahelises sides kasutama palju odavamast ja efektiivsemast fiiberoptilist kaablit, mistõttu satelliitside arenguhoog rauges. Tänapäeval on satelliitside kasutusel põhiliselt ringhäälingus (satelliittelevisioon) ja navigatsioonis.

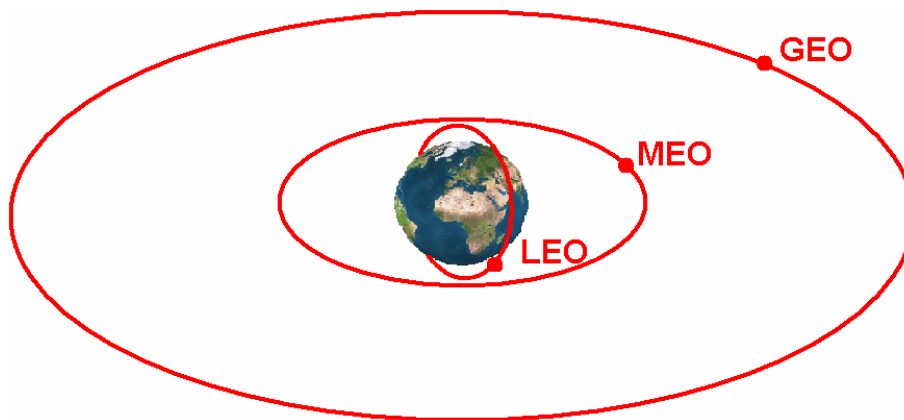
Kuna sagedustel alla 30 Mhz on ionosfäär peegeldava toimega, siis satelliitsides tuleb kasutada sagedusi, mis on **üle 30 Mhz**.

Satelliitide orbiidid jaotatakse nende kõrguse järgi maapinnast kolme suurde gruppi: LEO, MEO ja GEO.

Low Earth orbiit (**LEO**) asub maapinnast 200-300 km kõrgusel. Ühe ööpäeva jooksul teevad LEO orbiidil olevad satelliidid 14-16 tiiru ümber maakera. LEO orbiidi eeliseks on väike viide Maa ja satelliidi vahelises sides, üle poolte kõikidest satelliitidest tiirlevad just LEO orbiidil.

Medium Earth orbiit (**MEO**) asub maapinnast umbes 1000-2000 km kõrgusel ja seda kasutatakse põhiliselt asukoha määramisel ja navigatsioonis (ülemaailmne positsioneerimissüsteem GPS). Sellel orbiidil tiirlevad satelliidid teevad päevas kaks tiiru ümber maakera ning ühe tiiruga on nad võimelised katma 90% Maa pinnast.

Geostatsionaarne (**GEO**) orbiit asub täpselt ekvaatori kohal 35784 km kõrgusel Maast. Satelliidi tiirlemisperiood langeb täpselt kokku Maa pöörlemisperioodiga ja seetõttu on satelliit Maa suhtes kogu aeg paigal. Umbes 40% satelliitidest tiirlevad GEO orbiidil, neid kasutatakse kommunikatsiooniks ja satelliittelevisioonis. Satelliidile paistab korraga 42% Maa pinnast. Miinused: suur viide – üles- ja allalüli kokku kuni 2 sekundit, ei kata polaaralaseid.



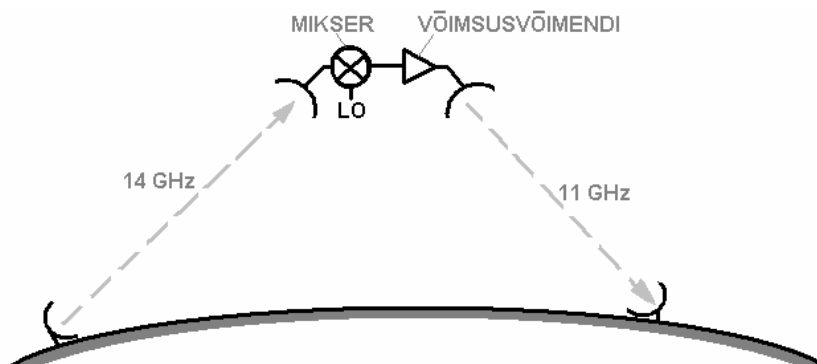
Kuna satelliidi ja Maal asuva antenni vaheline kaugus on väga suur, siis on ka signaalitase väga madal, tavaliselt vahemikus -154..-188 dBW. Satelliidi vastuvõtjale see

erilisi nõudmisi ei sea, kuna Maa temperatuuril $T \approx 300^\circ\text{K}$ on soojusmüra $E = kT = 300k$, millest tundlikumat vastuvõtjat pole mõtet teha. Maapinnal, kus antenn püüab raadiosignaali kosmosest, mille temperatuur on $T \approx 5^\circ\text{K}$ ja mürad seega minimaalsed, tuleks kasutada võimalikult efektiivset antenni ja madala müraga vastuvõtjaid.

Satelliidil on üldjoontes kahte sorti piirangud:

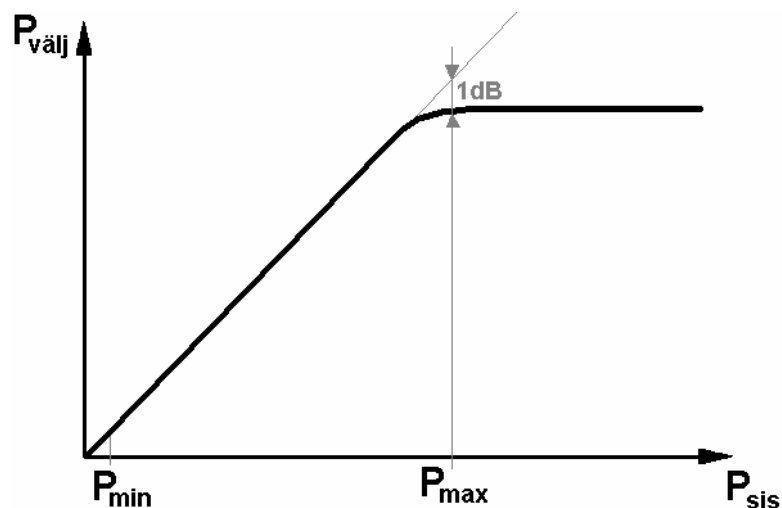
- 1) kaal
- 2) energiatarve. Energiaallikana kasutatakse päikesepatareisid. Saatja võimsust aitab kokku hoida selliste modulatsiooniviiside kasutamine, mis kasutab laiemat sagedusriba kui infosignaali.

Satelliite võib kasutada mitmeks otstarbeks. Antud kursuses käsitleme satelliite, mis töötavad **retranslaatoritena**. Nad võtavad vastu Maalt saadetud signaali, vajadusel muudavad kandevasgust, võimendavad ja kiirgavad signaali jälle Maa suunas tagasi. Nii saab signaal levida väga kaugele.



Retranslaatori sisend- ja väljundantenni vahel peab olema tagatud piisav isolatsioon, sest kui antennivõimendus on suurem kui isolatsioon, läheb võimendustrukt genereerima. Isolatsiooni suurendamiseks kasutatakse üles- ja allalülis erinevaid sagedusi – näiteks satelliittelevisioonis vastavalt 14 GHz ja 11 GHz.

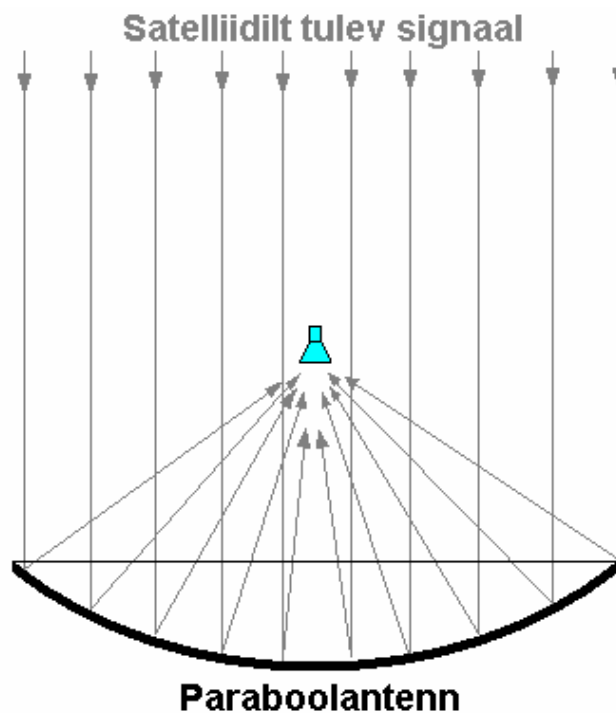
Alltoodud joonisel on kujutatud retranslaatoris asuva võimendi ülekandekarakteristikut.



On näha, et väikese sisendvõimsuse P_{sis} korral muutub väljundvõimsus $P_{\text{välj}}$ lineaarselt, kuid alates teatud sisendvõimsuse väärtusest P_{max} läheb väljund küllastusse – sisendvõimsuse kasvades väljundvõimsus enam ei kasva. See tähendab aga signaali moonutamist, mida lubada ei saa. Madalate võimsuste juures on võimendi dünaamika piiratud müradega. Järelikult võimendi dünaamika on vahemikus $P_{\text{min}} \dots P_{\text{max}}$.

Igale retranslaatorile on eraldatud oma sagedusriba, milles ta töötab. Kui selles ribas on ainult üks operaator, saab tugevat signaali kogu dünaamikas ($P_{\text{min}} \dots P_{\text{max}}$) kasutada. Mida rohkem tuleb samasse sagedusribasse mahutada operaatoreid, seda vähem jääb igaühele kasutatavat võimsust ehk dünaamikat.

Satelliitsignaali vastuvõtuks kasutatakse parabolantenni, mis koondab temani jõudnud kiired ühte punkti.



Geostatsionaarsed satelliidid paiknevad Maa suhtes liikumatult, seepärast pole vaja maapealseid antenne kogu aeg pöörata. Kui aga satelliit Maa suhtes liigub, siis tuleb pidevalt keerata satelliidi poole ka maapealseid antenne.

Mürategur n_f ja efektiivne müratemperatuur T_e

Kui tavalistes elektroonikaseadmetes vaadeldakse koostisosade ühe parameetrina **mürategurit**, siis satelliitsides ei ole mürateguri mõiste kasutamine eriti otstarbekas, kuna mürategur on informatiivne siis, kui seadmed töötavad kõik samal temperatuuril.

Satelliitsides on tegemist väga erinevate temperatuuridega, seepärast annab palju rohkem informatsiooni nn **efektiivne müratemperatuur** T_e . Vaatleme pisut lähemalt, miks.

Võtame vaatluse alla mingisuguse signaaliahela osa, mida nimetame **seadmeks**. Seadmel on olemas teatud sisend- ja väljundsignaal. Sisendsignaal on tekitatud seadmest väljaspool asuva **sisendallika** (näiteks saateantenni) poolt, mille müratemperatuur on T_a . Vaadeldava seadme **efektiivne müratemperatuur** on T_e . Summaarne süsteemi müratemperatuur on seega $T_a + T_e$ ning kui arvestada, et selle seadme sagedusriba on B , siis avaldub seadme väljundis **müravõimsus**:

$$p_n = p_s + g \cdot p_a = gkBT_e + gkBT_a = gk(T_a + T_e)B,$$

kus p_s on seadme enda poolt lisatav müra, p_a on müravõimsus seadme sisendis (allika müravõimsus) ja g on müra ülekande seadmes.

Saab näidata, et seadme efektiivne müratemperatuur T_e avaldub

$$T_e = \frac{p_s}{kBg} + T_a = \frac{T(1-g)}{g},$$

kus T_a on sisendallika efektiivne müratemperatuur, k on Boltzmanni konstant, T on seadme kadudega elementide müratemperatuur ja g on seadmes müra ülekande ($g \leq 1$). p_s on müra võimsus seadme väljundis. Kui arvestada, et seadmes tekkivad kaod l_s on ülekande pöördväärtus ehk

$$l_s = \frac{1}{g}, \quad (l_s \geq 1)$$

siis saame

$$T_e = T(l_s - 1).$$

Mürategur n_f avaldub definitsiooni järgi:

$$n_f = 1 + \frac{T_e}{T_0} = 1 + \frac{(l_s - 1)T}{T_0},$$

kus $T_0 = 290$ K.

Tavaliselt väljendatakse mürategurit detsibellides:

$$\mathbf{NF_{dB} = 10 \log_{10}(n_f)}.$$

Valemist on näha, et kui ülekandeahel asub täielikult toatemperatuuril ($T = T_0 = 290$ K), siis mürategur võrdubki kadudega: $n_f = l_s$. Satelliitsignaali vastuvõtul aga asub saateantenn kosmoses, kus temperatuur on ~ 5 K, seega seal see nii ei ole. Järelikult kui seade ei tööta tervenisti toatemperatuuril, ei ole otstarbekas rääkida mürategurist, vaid hoopis efektiivsest müratemperatuurist, mis kirjeldab seadet sellistes tingimustes paremini.

Näide

Olgu meil tegemist satelliitsignaali vastuvõtjaga, kus satelliidi müratemperatuur temperatuur $T_{\text{sis}}=8^\circ\text{K}$. Vastuvõtuseadmena saab kasutada kahte seadet, mille mõlema võimendus on võrdne, kuid ühe mürategur on 0,7 dB ja teisel 1,2 dB. Leida, milline on signaal-müra suhte erinevus kumbagi seadme väljundis.

Kuna mõlema seadme võimendus on võrdne, siis on ka signaalide võimsused seadmete väljundis võrdsed. Järelikult erinevad ainult mürade võimsused. Mürade võimsused seadmete väljundis sõltuvad aga otseselt seadmetes esinevatest kadudest l_s . Selleks, et leida signaal-müra suhte erinevus kumbagi seadme väljundis, leiame mõlemas seadme kadude erinevuse.

Esimese võimendi mürategur on 1,2 dB, siis tema efektiivne müratemperatuur on

$$1,2\text{dB} = 10 \log \left(1 + \frac{T_{e1}}{290} \right) \quad \Rightarrow \quad T_{e1} = 92\text{K} .$$

Teise võimendi mürategur on 0,7 dB, siis tema efektiivne müratemperatuur on

$$0,7\text{dB} = 10 \log \left(1 + \frac{T_{e2}}{290} \right) \quad \Rightarrow \quad T_{e2} = 51\text{K} .$$

Võimendi kaod l_s avalduvad:

$$T_e = T_v (l_s - 1) \quad \Rightarrow \quad l_s = 1 + \frac{T_e}{T_v} .$$

ehk detsibellidesse teisendatuna $L_{dB} = 10 \cdot \log \left(1 + \frac{T_e}{T_v} \right)$.

Esimesel seadmel $L_{dB1} = 10 \cdot \log \left(1 + \frac{92}{8} \right) = 11,0\text{dB}$

ja teisel seadmel $L_{dB1} = 10 \cdot \log \left(1 + \frac{51}{8} \right) = 8,7\text{dB}$.

Järelikult on 1,2 dB mürateguriga võimendi valimisel signaal-müra suhe vastuvõtuseadme väljundis tervelt **2,3 dB** halvem kui 0,7 dB mürateguriga võimendi valimisel.

Võimenduse-müratemperatuuri suhe G/T

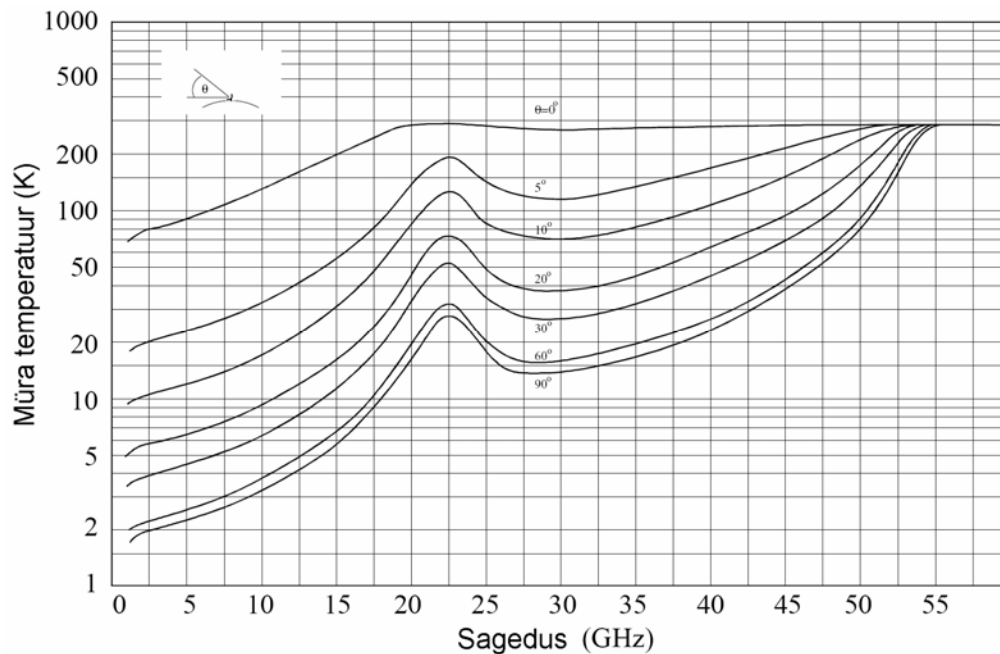
Vaatleme lähemalt vastuvõtuseadet. See koosneb antennist, filtritest, madala müraga võimendist, kaablitest, lõppvõimendist, demodulaatorist. Nimetame selle ahela esimese osa müratemperatuuri – antennist kuni madala müraga võimendi sisendini – **antenni müratemperatuuriks** T_{ant} . Teise osa müratemperatuuri – võimendist kuni demodulaatorini – nimetame **vastuvõtja müratemperatuuriks** T_r . Sel juhul vastuvõtuseadme summaarne müratemperatuur T_{sys} avaldub:

$$T_{sys} = T_{ant} + T_r.$$

Antenni müratemperatuuri saame valemiga

$$T_{ant} = \frac{(l_a - 1) \cdot 290 + T_{sky}}{l_a},$$

kus T_{sky} on taeva müratemperatuur (see sõltub antenni tõusunurgast, sagedusest ja õhuniiskusest – vt alumist graafikut), l_a on signaali kaod (võimenduse pöördväärtus) levimisel vastuvõtuantennist võimendini (*low noise amplifier*, LNA). Siia alla ei arvestata antenni võimendust.



Taeva müratemperatuur pilvitu taeva korral (atmosfääri veesisaldus $7,5\text{g/m}^3$)

Vastuvõtuseadet iseloomustatakse suhtega G/T („figure of merit“), mis on proportsionaalne signaal-müra suhtega vastuvõtja väljundis. G on vastuvõtuantenni võimendus ($G_{dB} = 10 \log G$) ja T on vastuvõtuseadme müratemperatuur.

$$\frac{G}{T} = G_{dB} - 10 \log T,$$

Täiendav kirjandus

Roger L. Freeman, „Telecommunication transmission handbook“, 1991