

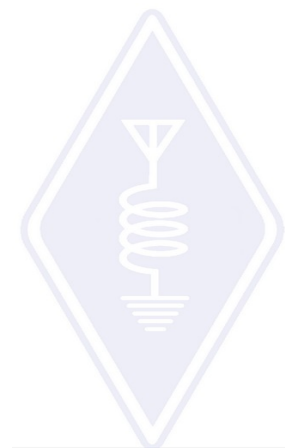
Radioamatööriseurssi 2023

Polyteknikkojen Radiokerho

Luento 5: Antennit, siirtojohdot ja eteneminen

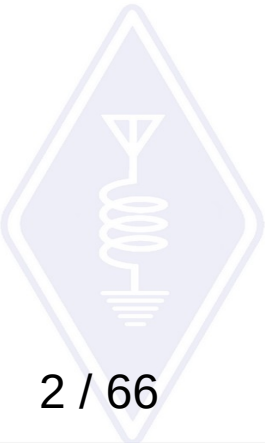
16.5.2023

Antti, OH3ERI, antti.3.maki@aalto.fi

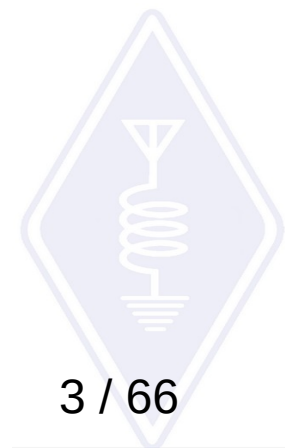


Illan aiheet

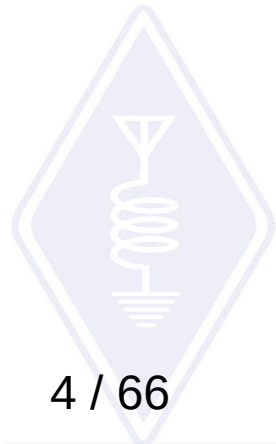
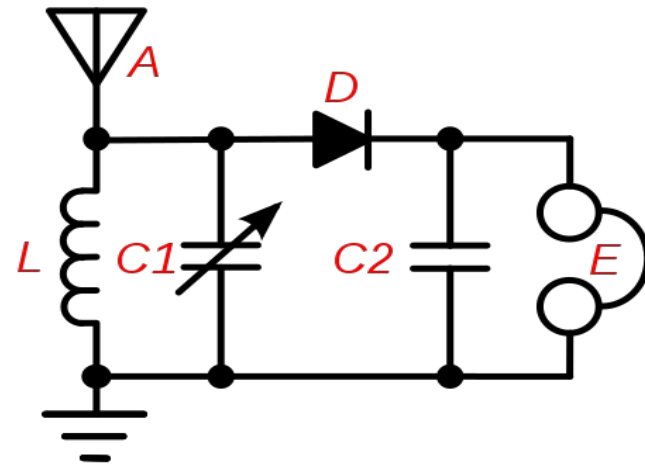
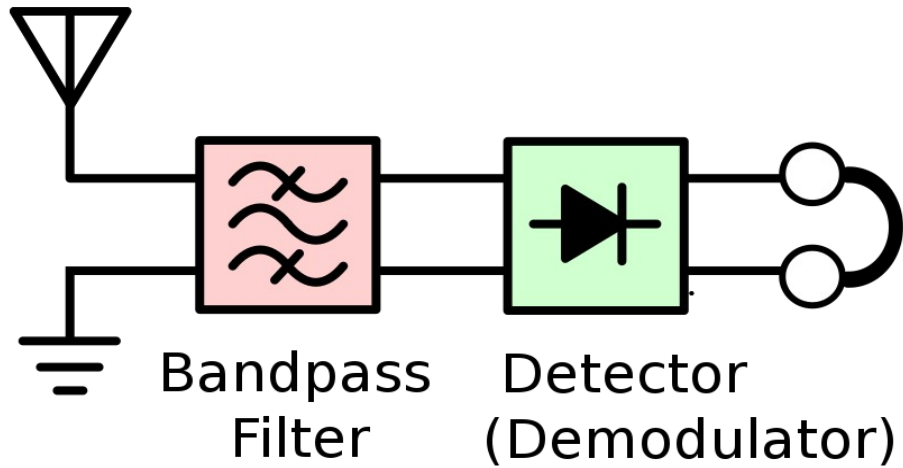
1. Antennien toimintaperiaate
 - 1.1 Vahvistus ja suuntakuvio
 - 1.2 Eri antennityyppejä
2. Siirtojohdot, sovitus ja liittimet
 - 2.1 Impedanssi
 - 2.2 Sovitus ja hyötysuhde
 - 2.3 Erilaisia RF-liittimiä
3. Radioaaltojen eteneminen eri taajuuksilla



1. Antennit

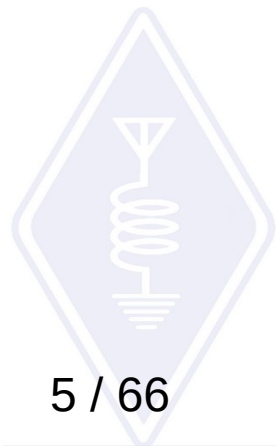


Antennin toimintaperiaate



Antennin ominaisuuksia

- Muuttaa siirtojohdosta ohjatun aallon vapaan tilan aalloiksi ja toisinpäin
- Ominaisuudet taajuusriippuvia
 - Vahvistus, suuntaavuus, polarisaatio, impedanssi, sovitus...
 - Antennin sopivalle toiminnalle rajallinen kaistanleveys
- Resiprookkinen
 - Ominaisuudet samat lähettäessä ja vastaanottaessa
 - Aktiiviantennissakin varsinainen antenniosa
- Joskus sovituspiiri osa antenna



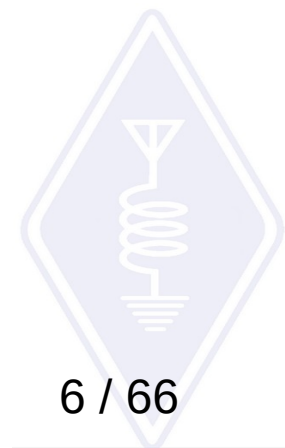
Lähikenttä vs. kaukokenttä

- Johteet antennin vieressä (lähikentässä) vaikuttavat antennin toimintaan
 - Yagin elementit kytkeytyvät syöttöelementtiin
 - HF-langan korkeus määrittää suuntakuvion
- Kaukokentälle monta määritelmää. Varmasti kaukokentässä, kun kaikki ehdot täyttyvät
 - $r =$ etäisyys, $D =$ pisin elementti,
 $\lambda =$ aallonpituus

$$r > \frac{2D^2}{\lambda}$$

$$r > 5D$$

$$r > 1,6\lambda$$



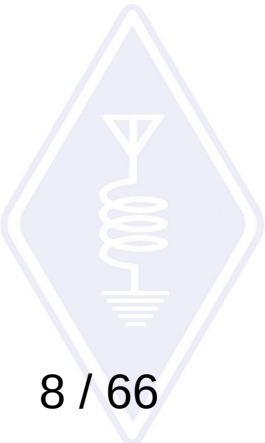
Vahvistus = Gain

- Antenni on passiivinen komponentti → ei lisää tehoa
- Gain kuvaa suuntaavuutta verrattuna joka suuntaan tasaisesti säteilevään (isotrooppiseen) antenniin → yksikkö dBi
 - Iso gain → paljon tehoa yhteen suuntaan ja vähemmän muualle
 - Gain voi olla myös alle 0 dBi → häviöllinen
 - EIRP säteilyteho, vertailukohtana isotrooppinen säteilijä
 - ERP säteilyteho, vertailukohtana dipoli 0 dBd = 2,15 dBi
- Säteilysuunnasta ja taajuudesta riippuva
- Antennin efektiivinen pinta-ala suhteessa aallonpituuteen määrää maksimi suuntaavuuden
 - Iso antenni ei silti välttämättä suuntaava
 - Kaikilla antenneilla (jopa lanka-antenneilla) on efektiivinen pinta-ala

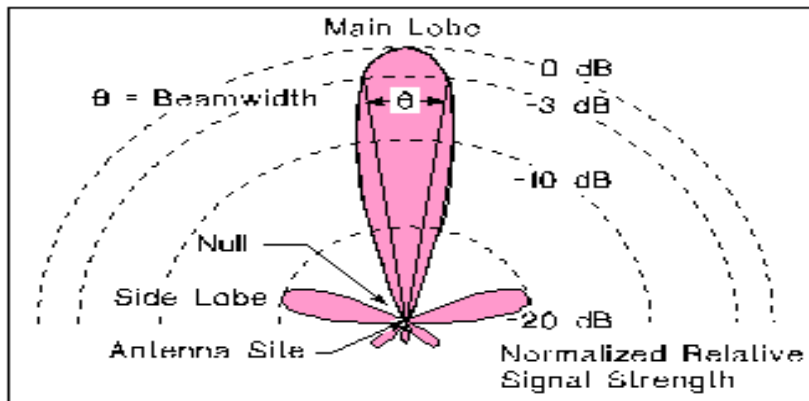


Eri gainit

- Suuntaavuus, D
 - Ei ota huomioon mitään häviöitä
- Gain (IEEE:n mukaan) $G_{ant} = D\eta_{rad}$
 - Suuntaavuus – antennin resistiiviset häviöt
- Realized gain
 - Suuntaavuus – antennin resistiiviset häviöt – epäsovitus

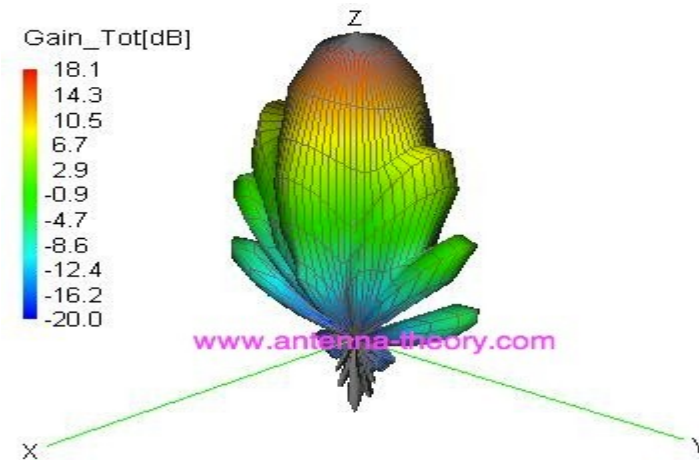


Suuntakuvi



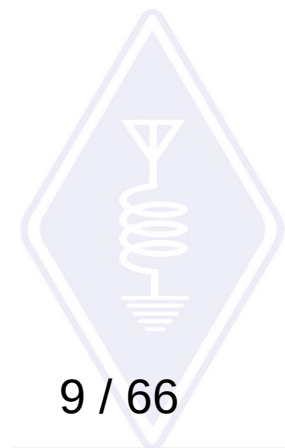
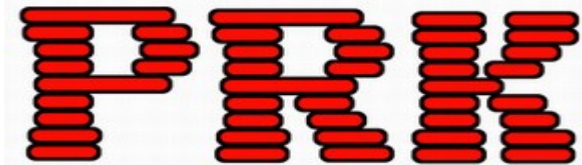
side lobe

<http://trizuckr.com/radiation-pattern-of-antenna-ppt/>



<http://www.antenna-theory.com/antennas/aperture/horn3.php>

- Keilanleveys = kulma -3dB pisteiden välillä
- Suuntaavilla antenneilla yleensä pääkeilan lisäksi myös sivukeiloja ja minimejä
- Etu-taka-suhde (F/B ratio)

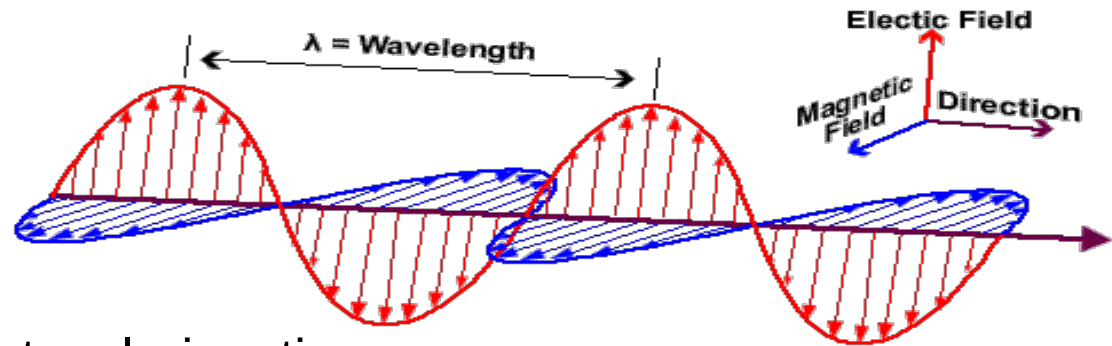


Polarisaatio

- Sähkökentän suunta (kaukana antennista) määrittää polarisaation

- Lineaarinen/ympyrä

- Liikkuvilla asemilla ja toistinasemilla yleensä pystypolarisaatio
- Kiinteillä asemilla usein vaakapolarisaatio
- Satelliiteilla yleensä ympyräpolarisaatio (satelliitin asento tai Faraday-kiertymä eivät vaikuta)
- Väärän polarisaation käyttö heikentää vastaanottoa huomattavasti
- Heijastukset, sironnat yms. tekijät yleensä tasaavat tehoa lineaaristen polarisaatioiden välillä ja tekevät pyöreästä elliptisen

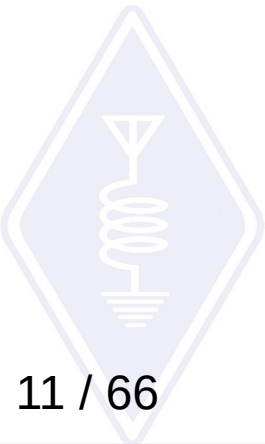


<https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/RadiationSafety/theory/nature.htm>



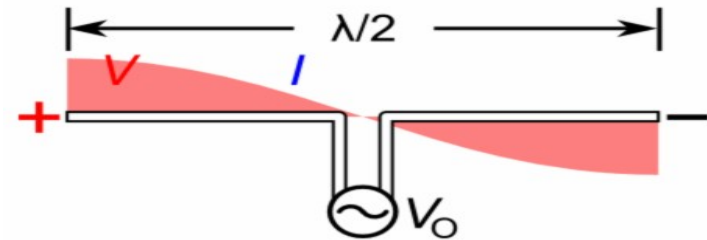
Esimerkki 1.

- 100 W radiolähetin on kytketty dipoliantenniin (vahvistus 2,15 dBi). Kuinka paljon tehoa absorboituu ihmisen päähän (pinta-ala 0,04 m²) 500 m päässä pääkeilan suunnassa?

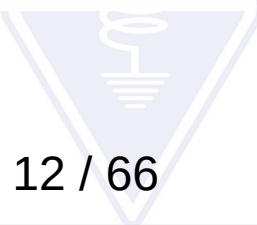


Dipoli

- Puolen aallon dipoli on yksinkertaisin antenni
 - Skaalautuu ”helposti” kaikille taajuuksille
 - Resonanssissa myös parittomilla harmoonisilla $\rightarrow 3\lambda/2, 5\lambda/2, \dots$
Suuntakuvio kuitenkin muuttuu
 - Kaistanleveys n. 10% keskitaajuudesta
 - Impedanssi $\sim 73 \Omega \rightarrow$ voi ajaa suoraan 50Ω :sta
 - ympärisäteilevä
- Balansoitu \rightarrow tarvitsee balunin koaksiaalikaapelilla syötettäessä
- Variantteja mm. taittodipoli, OCF-dipoli, häkkidipoli

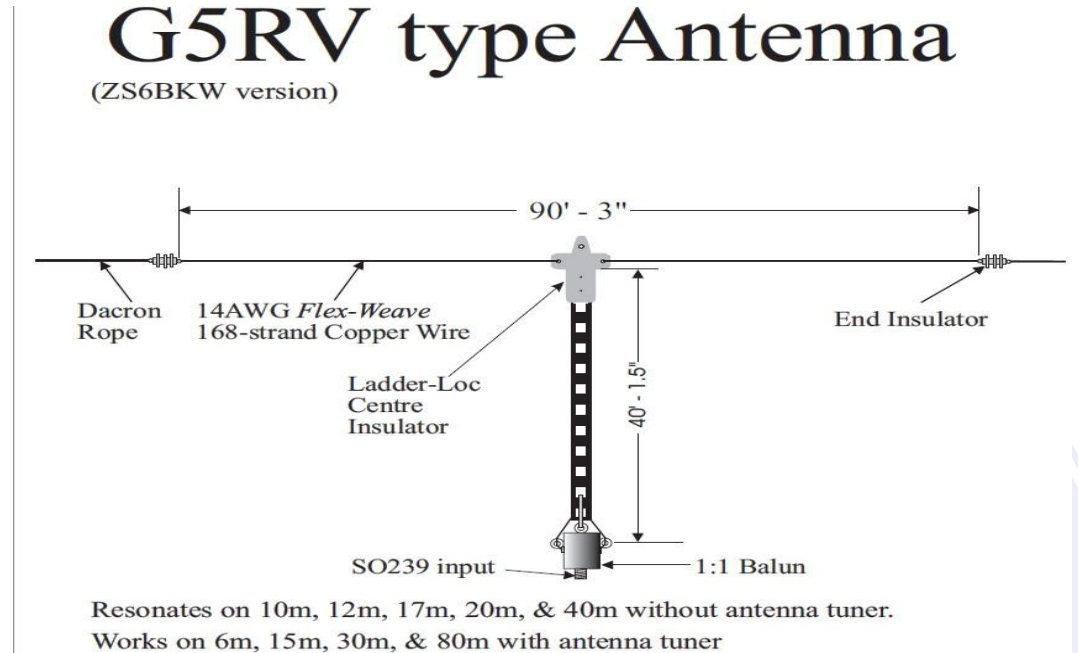


https://en.wikipedia.org/wiki/Dipole_antenna



Lanka-antennit

- Yleensä laajakaistaisia ja vaativat sovituksen
- Ok yleisantenneja
- Pitkälanka-antenni
 - suuntaava
- G5RV
 - Avolinjalla sovitettu 50 Ω :iin



<https://www.ar15.com/archive/topic.html?b=10&f=22&t=678615>

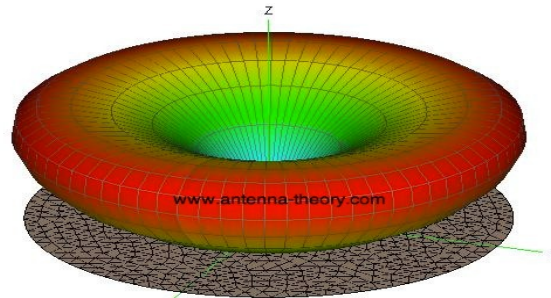


Monopoli – Ground Plane (GP)

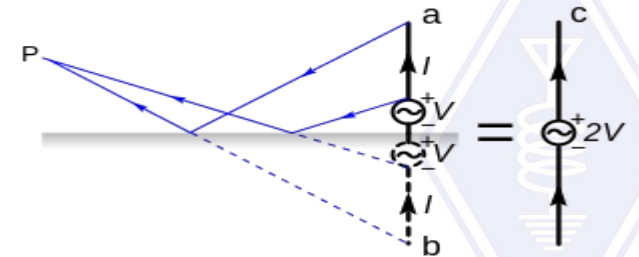
- Dipolin toinen viiksi korvataan maatasolla
- Balansoimaton → voidaan syöttää suoraan koaksiaalikaapelilla
- Yleensä pituudeltaan $\lambda/4$ tai joskus $5\lambda/8$
- Autoantennit



https://en.wikipedia.org/wiki/Monopole_antenna

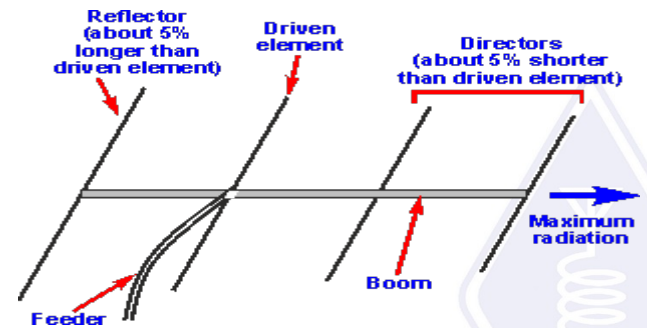


<http://www.antenna-theory.com/antennas/monopole.php>



Yagi-Uda - tuttavallisemmin Yagi

- Yleinen suunta-antenni
- Yleensä dipoli säteilijänä, yksi heijastin sekä suuntaaja
- Vahvistukseen ja suuntaavuuteen vaikuttavat sekä elementtien määrä että puomin pituus
- Vahvistus yleensä 4...20+ dBi
- Usein yageista antenniryhmiä
 - Tuplaamalla antennit +3 dB
 - Ristiyagilla ympyräpolarisaatio



<http://www.radio-electronics.com/info/antennas/yagi/yagi.php>

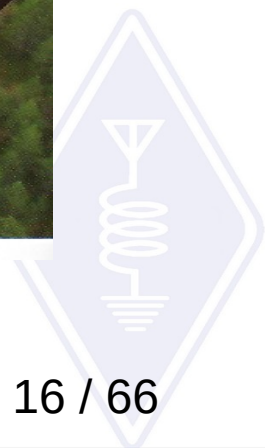


Yageja käytännössä



PRK

<http://www.k5dhy.net/Ham/QSL/oh8x.html>



Silmukka-antennit (loop)

- Magneettinen silmukka
 - Huomattavasti aallonpituutta pienempi
 - Hetkellisesti kapea kaista, viritettävissä laajan kaistan sisällä
 - Aukon suunnassa minimi
- Kokoaallon silmukka
 - vrt. taittodipoli levitetäisiin auki
 - Aukon suunnassa säteilymaksimi
- Big wheel antenna
 - Ympärisäteilevä
 - Helposti pinottava → isompi gain

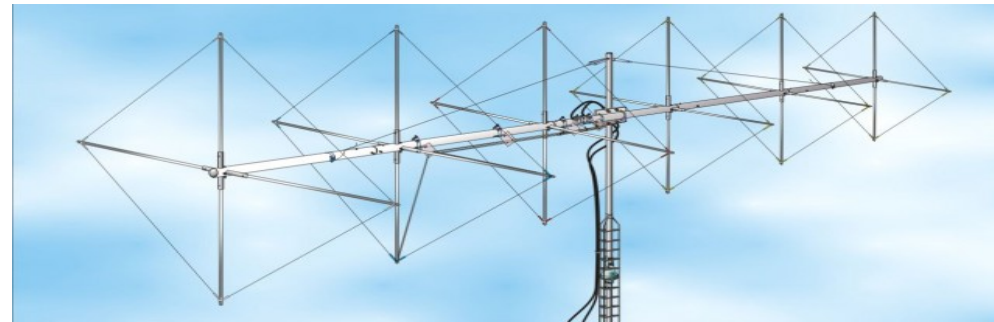


http://www.wimo.com/big-wheel-antennas_e.html

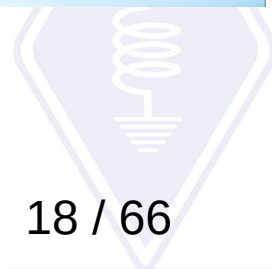


Quadit

- Melkein kuin Yagi, mutta elementit silmukoita eivätkä dipoleja
- Vahvistusta pari dB enemmän kuin vastaavalla Yagilla
- Sisäkkäiset Quadit (eri taajuuksille) eivät häiritse toisiaan.
- Lineaarinen polarisaatio
- Syöttöpiste määrittää polarisaation



<http://www.lightningantennas.com/>

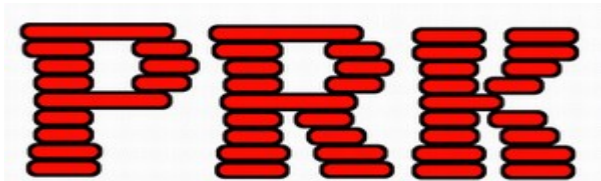


Heijastinantennit

- Halkaisija iso, mielellään vähintään 10λ
 - Lähinnä gigahertseille
- Paljon vahvistusta
- Ei juurikaan sivukeiloja
- EME-yhteydet



http://www.radio-electronics.com/info/antennas/parabolic/parabolic_reflector.php



Helix

- Normaali moodi: kuin monopoli
 - $\pi D \ll \lambda$
 - Käsikapulat
 - Sähköisesti pidempi kuin vastaava monopoli
- Axialinen moodi: kuin ympyrä polarisoitu yagi
 - $\pi D \approx \lambda$
 - Satelliittiyhteydet
 - Polarisaation kätisyyttä ei voi vaihtaa
 - vertaa risti-yagi



https://en.wikipedia.org/wiki/Helical_antenna



https://en.wikipedia.org/wiki/Helical_antenna



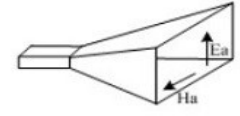
Torviantenni

- Laajakaistainen kynnystaajuuden yläpuolella
- Käytännössä koon puolesta UHF ja ylöspäin

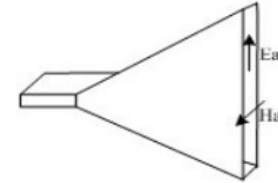
DIFFERENT TYPES OF HORN ANTENNA



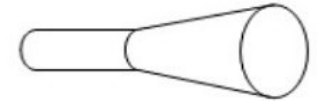
H-plane sectoral horn



Pyramidal horn



E-plane sectoral horn



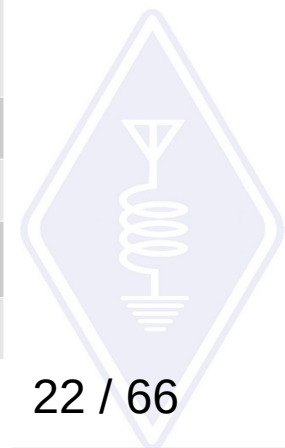
Conical Horn Antenna

https://www.tutorialspoint.com/antenna_theory/antenna_theory_horn.htm

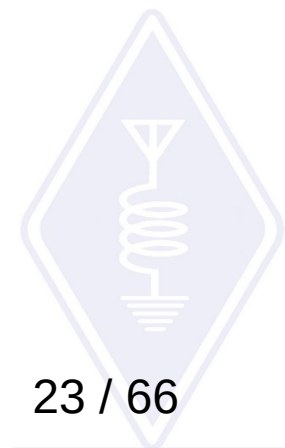


Antennien ominaisuuksia

Antenni	Impedanssi	Huomioita
Puoliaalto dipoli	73 Ω	Yksinkertainen ratkaisu melkein mihin vain
Taittodipoli	300 Ω	Laajempi kaista kuin puoliaaltdipolissa
Neljännesaalto monopoli	36 Ω	Vaatii maatason
Helix, normaali moodi	36 Ω	Hieman lyhyempi kuin neljännesaalto
Helix, axiaalinen moodi	n. 100 – 200 Ω	Kiertopolarisaatio
Yagi	n. 20 – 50 Ω	Hyvä suuntaavuus VHF:lle ja ylempäs
Pitkälanka	> 200 Ω	Hyvä suuntaavuus HF:lle
Log-periodinen antenni	n. 200 Ω	Kuin laajakaistainen yagi
Pieni silmukka	<< 10 Ω	”magneettinen dipoli”
5/8 piiska	50 – 150 Ω	Yleinen ajoneuvoissa



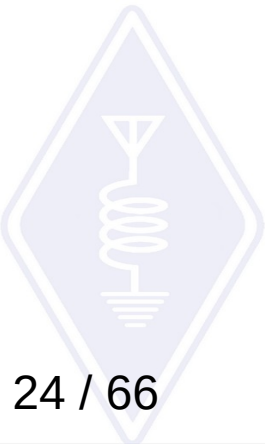
2. Siirtojohdot, sovitus ja liittimet



Taustaa siirtojohtoille

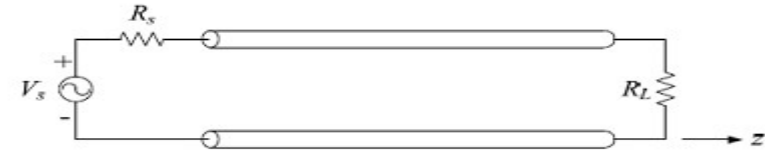
Kenttäteorian dimensiot

- 0D → keskitetty komponentti
 - Muutokset tapahtuvat ”pisteessä”
- 1D → siirtojohto
 - Muutokset tapahtuvat pituuden funktiona
- 2D → pinta
- 3D → väliaine, avaruus

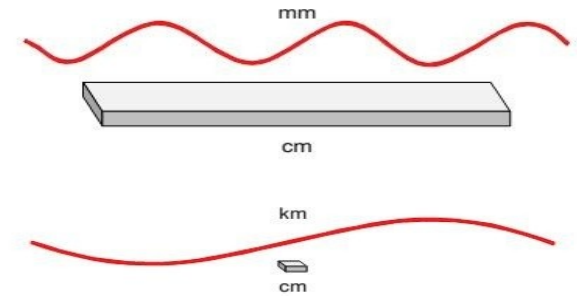


Siirtojohto

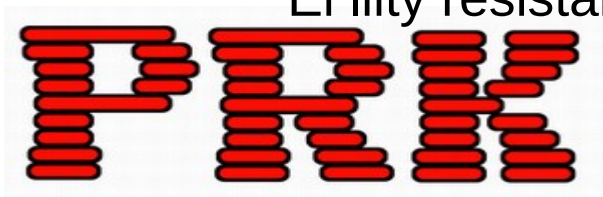
- Mikä on siirtojohto?
 - Siirtää tehoa lähteestä kuormaan
 - Käytännössä kaapeli tai mikroliuskajohto
- Miksi siirtojohto?
 - Aallonpituuden suhde komponentin kokoon
 - Jännite ja virta eivät samat komponentin molemmissa päissä
- Virran ja jännitteen suhde nimeltään ominaisimpedanssi
 - Ei liity resistanssiin eli häviöihin



[http://examcrazy.com/Engineering/Electronics-Communication/Telegrapher Equations For Transmission Lines.asp](http://examcrazy.com/Engineering/Electronics-Communication/Telegrapher_Equations_For_Transmission_Lines.asp)

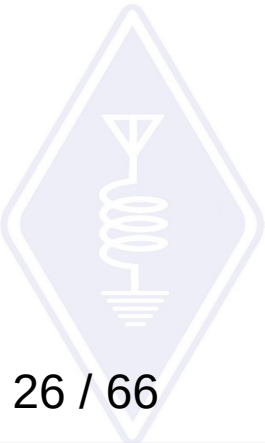


<https://www.quora.com/Why-do-we-use-distributed-elements-over-lumped-elements-in-microwave-filters>

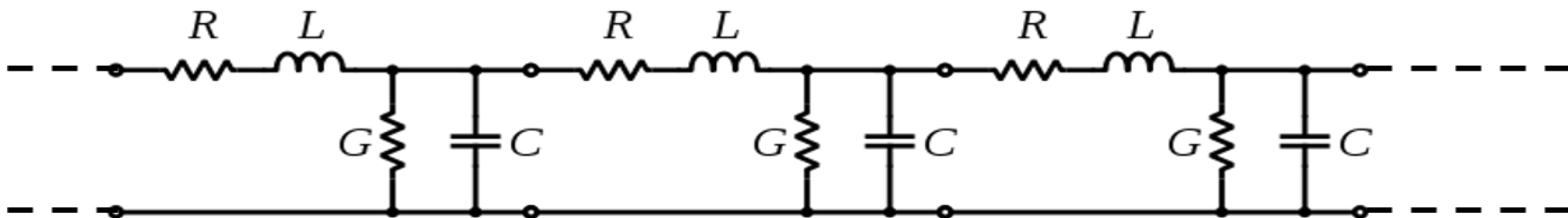


Impedanssi

- Vaihtovirralla on impedanssi
 - Virran ja jännitteen suhde jossain pisteessä
 - Kaikissa laitteissa, kaapeleissa ja ilmiöissä
 - Eri asia kuin jännitteenjako
- Muutokset impedanssissa ovat epäjatkuvuuskohtia
 - Epäjatkuvuuskohdista voi tulla heijastumia → täytyy sovittaa
 - Radiotaajuuksilla (RF) täytyy sovittaa käytännössä aina
 - Audiotaajuuksilla (AF) ei tarvitse yleensä ottaa huomioon
- Siirtojohto sovitettu johonkin impedanssiin
 - Kaapeleilla laajalla kaistalla vakio impedanssi
 - Mikroliuskoilla kapeampia

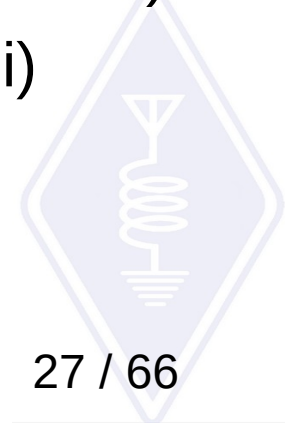


Siirtojohtodon sijaiskytkentä



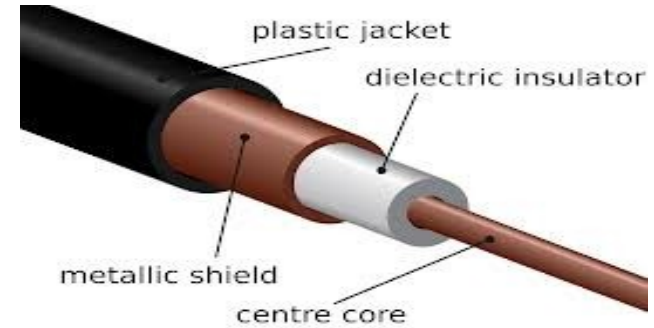
<http://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-the-transmission-line/>

- L ja C johdon rakenteesta riippuvia
- R johteen häviö (virtaa kuluu epäideaalisen johteen resistanssiin)
- G eristeen häviö (virtaa "vuotaa" epäideaalisen eristeen läpi)
- Häviöt kasvavat taajuuden funktiona



Koaksiaalikaapeli

- Ominaisimpedanssi tavallisesti 50 Ω tai 75 Ω
- Kentät kokonaan kaapelin sisällä
- Eristemateriaali vaikuttaa ominaisuuksiin
- Balansoimaton
- Paksuudesta voi arvioida häviöllisyyden
- Esim. RG58, 1/2" ja 7/8"



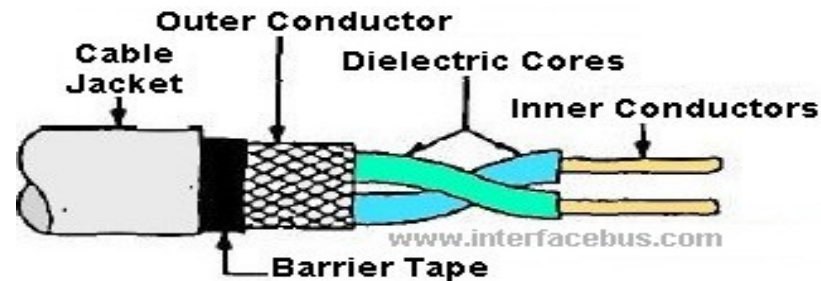
https://en.wikipedia.org/wiki/Coaxial_cable

$$Z_0 = \frac{V}{I} = \frac{\sqrt{\mu}}{2\pi\epsilon} \ln\left(\frac{r_{out}}{r_{in}}\right)$$

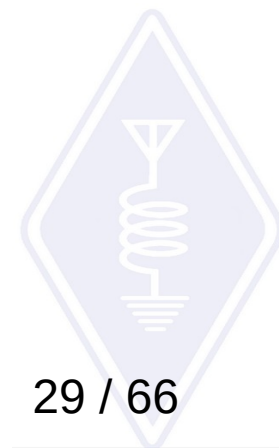


Parikaapeli

- Usein avoin rakenne, kentät eivät rajattuja
→ Viereiset metallirakenteet vaikuttavat impedanssiin
- Kierrettyä tai kiertämätöntä
- Voi olla useita pareja
- Tyypillisiä impedansseja esim. 150Ω , 300Ω , 450Ω ja 600Ω
- Balansoitu
- RF:llä yleensä vain HF:llä
- Esim verkkokaapeli 4 paria, kierrettyä suojustua tai suojaamatonta

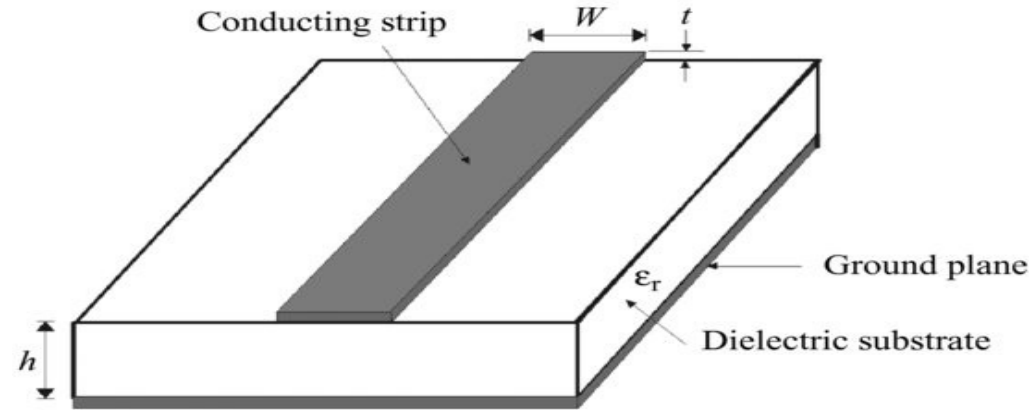


<http://www.interfacebus.com/Glossary-of-Terms-twisted-pair-cable.html>

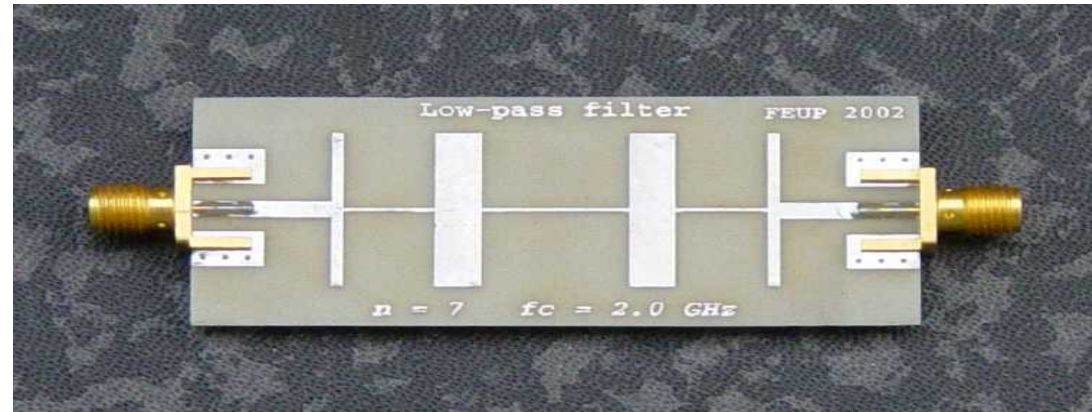


Mikroliuska

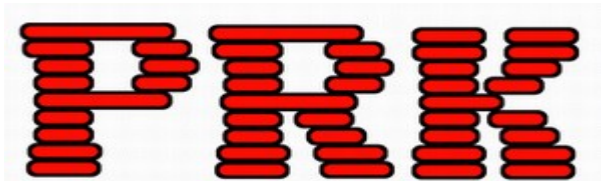
- Liuskan leveys & paksuus, ja substraatin paksuus & permittii-visyys määräävät impedanssin
- Hajakapasitanssit täytyy ottaa huomioon esim. mutkissa ja päissä
- Mikroliuskalla voi korvata muita piirejä
 - UHF ja ylöspäin



https://www.safaribooksonline.com/library/view/microstrip-filters-for/9781118002124/OEBPS/9781118002124_epub_ch_4.htm



<https://paginas.fe.up.pt/~hmiranda/etele/microstrip/>

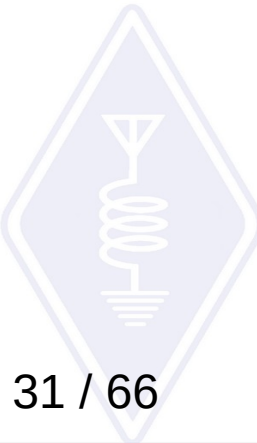


Aaltoputki

- Metalliputki, jonka sisällä kentät värähtelevät
- Sivun pituus $> \lambda/2$, jotta aalto etenee \rightarrow vain korkeilla taajuuksilla
- Pienihäviöinen
- Kömpelö
- Yleensä vain torviantennin syöttönä

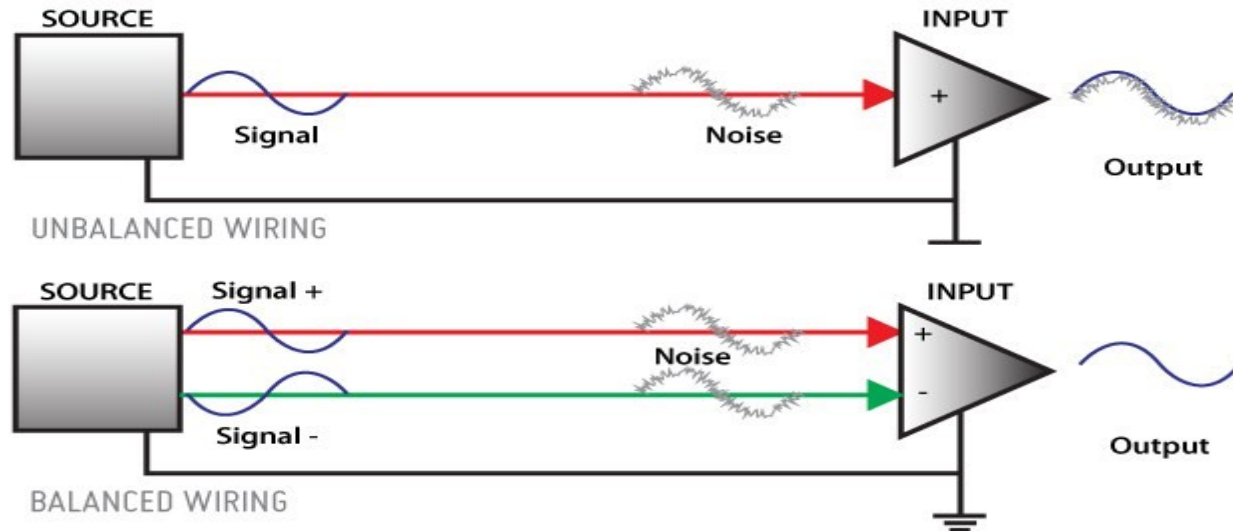


<http://www.atmmicrowave.com/waveguide/adapter/>



Balansoitu vs. balansoimaton

- Ts. differentiaalinen vs. yksipäinen
- Siirtojohto määrittää sopivan aaltomuodon
 - Balansoidussa kaksi identtistä johdinta
 - Balansoimattomassa maataso toisena johtimena
- Estävät erilaisia häiriöitä kytkeytymästä



Balansoidusta balansoimattomaksi

- Balun = **B**alanced to **U**nbalanced
 - Esim. balansoimattoman syöttöjohdon ja balansoidun antennin/syöttöjohdon välissä
- Estää vaippavirrat koaksiaalikaapelin pinnalla
- Toimii muuntajana. Usein 1:1, 1:4 tai 1:9 suhde.



<http://vk2awx.net/category/projects>



<https://en.wikipedia.org/wiki/Balun>

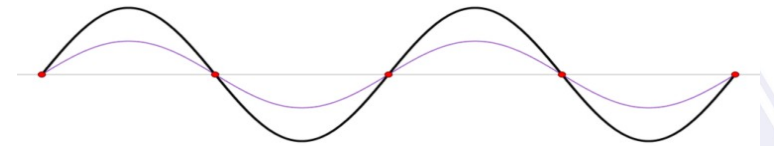


Sovitus

- Ominaisimpedanssin muuttuessa tehoa heijastuu takaisinpäin
- Kuvataan heijastuskeroimella ρ tai seisovan aallon suhteella SAS (standing wave ratio, SWR)
- ρ heijastunut jännite suhteessa sisääntulevaan
- SWR suurimman ja pienimmän heijastuneen jännitteen suhde siirtojohdossa

$$\rho = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad SWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|}$$

$$0 < \rho < 1 \text{ ja } 1 < SWR < \infty$$



https://en.wikipedia.org/wiki/Standing_wave_ratio



Sovitus vaimentimen/kaapelin läpi nähtynä

- Tentissä kysytään: "SAS antennilla on 2, väliin kytketään vaimennukseltaan 1 dB kaapeli, mitä on SAS kaapelin toisella puolella?"

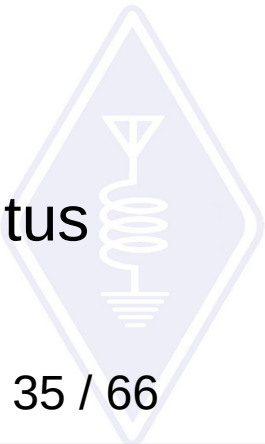
$$SAS_{ant} = 2 \rightarrow \rho = \frac{SAS_{ant} - 1}{SAS_{ant} + 1} = 1/3 \quad (1)$$

$$-1dB = -10dB + 3dB + 3dB + 3dB \rightarrow 0,8 \quad (2)$$

$$V_{refl} = \frac{1}{3} * 0,8 * 0,8V_{in} = 0,21V_{in} \quad (3)$$

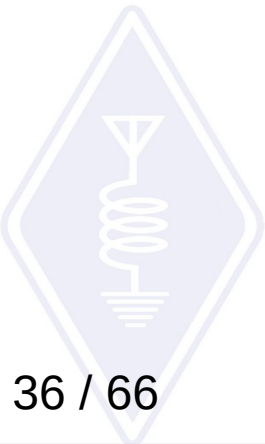
$$SAS_{in} = \frac{V_{in} + V_{refl}}{V_{in} - V_{refl}} = \frac{1 + 0,21}{1 - 0,21} = 1,53 \quad (4)$$

- Vaimennin välissä "parantaa" sovitusta → resistiivinen sovitus



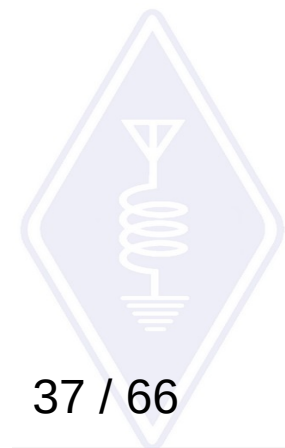
Esimerkki 2.

- 100 W radiolähetin syöttää dipoliantennia (ominaisimpedanssi 73 ohmia) 50 ohmin koaksiaalikaapelia pitkin. Paljonko tehoa palaa takaisin?



Sovitus ja hyötysuhde

- Reaktiivinen sovitus
 - Maksimoi pätötehon
 - Tehoa ei kulu loistehoon oskilloimaan reaktiivisten osien välillä
- Impedanssisovitus
 - Poistaa epäjatkuvuuskohdat
 - Tehoa ei heijastu takaisin
- Resisttiivinen impedanssisovitus
 - Poistaa heijastumat vaimennuksilla
 - Parantaa sovitusta, mutta huonontaa hyötysuhdetta
 - Sivutuotteena reaali maailman vaimennuksista



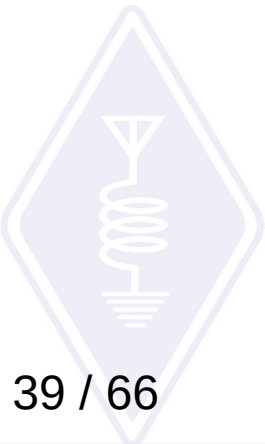
Antennin sovitus

- Resonanssitaajuudella ρ ja SWR minimissä
- Kun $SWR < 2$, antenni hyvin sovitettu, toimii lähettämiseen ja vastaanottamiseen
- Kun $SWR < 4$, antenni ”toimii vastaanottamiseen” ts. ei kannata laittaa (paljoa) tehoa heijastumaan takaisin
 - Vastaanoton herkkyys huono, koska tehoa heijastuu takaisin antenniin
- Antennin virityslaitteella sovitetaan epäsovitettu kuorma lähettimeen
 - Lähettäessä: suojaa lähettimen heijastuksilta, parantaa hyötysuhdetta
 - Vastaanotossa: parantaa herkkyyttä
- Virittämisellä tarkoitetaan antennin mitoitusta ilman sovituspiiriä



RF-liittimet (1/3)

- Myös liittimet täytyy sovittaa
 - Sovitus on tehtävä jo liittintä valittaessa
- Lähes jatkuvia siirtojohtoja
- Mielellään ei montaa adapteria peräkkäin
- Oikea kiinnitys
 - Jokaisen liittimen asennukselle on omat kikkansa
 - Momenttiavain suositeltavaa esim. SMA:n yhteydessä
 - Vedonpoisto
 - Mittalaitteisiin adapterit, ettei oikeat liittimet kulu
- Säänkestävyys
 - Vulkanoituva teippi suojaa kosteudelta, sähköteippi UV-säteilyltä



RF-liittimet (2/3)

	Impe- danssi	Taajuus- alue	Tehonkesto	Koko	Muuta
N-liitin	50 Ω	< 11 GHz	Satoja watteja	Iso	Yleisliitin
UHF-liitin	30-40 Ω	< 30 MHz	Pari kilowattia	Iso	ns. "lukko-banaani"
BNC-liitin	50/75 Ω	< 4 GHz	Kymmeniä watteja	Keskiverto	Nopea kiinnittää → Näppärä testailuihin ja mittalaitteisiin



https://en.wikipedia.org/wiki/N_connector



<http://uk.rs-online.com/web/p/uhf-connectors/7123172/>



https://en.wikipedia.org/wiki/BNC_connector

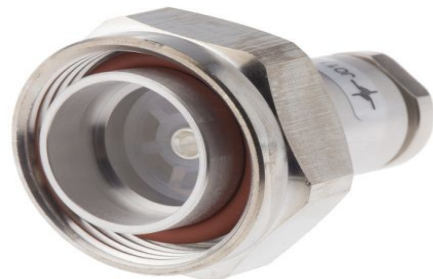


RF-liittimet (3/3)

	Impedanssi	Taajuusalue	Tehonkesto	Koko	Muuta
SMA	50 Ω	< 18 GHz	Kymmeniä watteja	Pieni	Yleisliitin isoille taajuuksille tai pienille tehoille
7/16-liitin	50 Ω	< 7.5 GHz	pari kilowattia	Todella iso	Ham-käytössä harvinainen
F-liitin	75 Ω	< 2 GHz	Kymmeniä watteja	Pieni	Yleinen TV-käytössä, kaapelin keskikarva osa liittintä



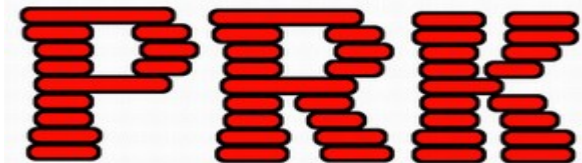
https://en.wikipedia.org/wiki/SMA_connector



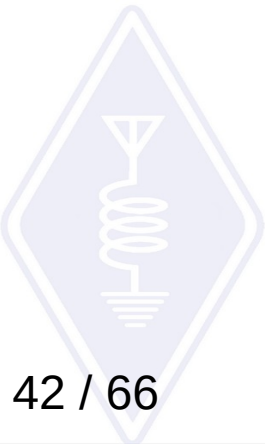
<http://uk.rs-online.com/web/p/7-16-connectors/7123179/>



<https://www.fastenal.com/products/details/0719670>

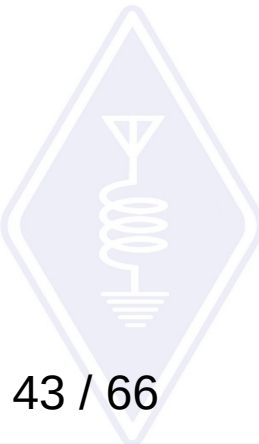


3. Radioaaltojen eteneminen



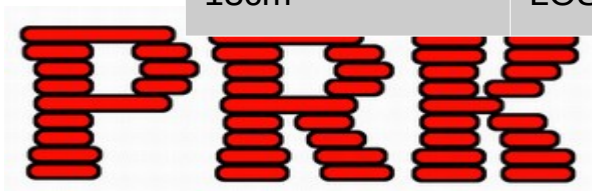
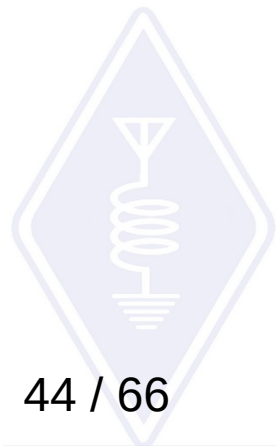
Radioaaltojen etenemisestä

- Perus etenemismenetelmä näköyhteys (LOS)
 - Toimii ns. aina kaikilla bandeilla
- Muut menetelmät riippuu taajuudesta, vuorokaudenajasta, etäisyydestä yms.
- Korkeat taajuudet vaimenevat väliaineessa nopeammin (niin ilmassa kuin kaapelissakin)
- Vastaanotettu signaali useaa reittiä saapuneen signaalin summa → polarisaatio voi kääntyä
- Short path = suorin yhteys, long path = maapallon ympäri



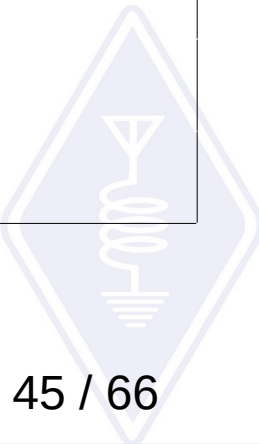
Etenemismuodot eri bandeilla

Bandi	1. Etenemistapa	Yhteyspituus	2. Etenemistapa	3. Etenemistapa
160m	Pinta-aalto	<200km	NVIS	
80m	NVIS	<500km		
40m	Ionosfääri	<4000km		
20m	Ionosfääri	Maapallon ympäri		
10m	Ionosfääri	<4000km		Aurora
6m				Aurora
4m				Aurora
2m	LOS		Tropo	Aurora
70cm	LOS		Tropo	Aurora
23cm	LOS		Tropo	
13cm	LOS		Tropo	



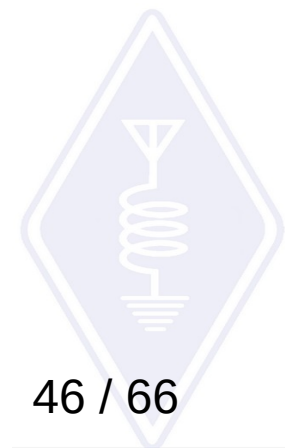
Eteneminen eri taajuuksilla

Bandi	Taajuusalue	Pääasialliset etenemismuodot
VLF	3-30 kHz	Pinta-aalto, ionosfääri
LF	30-300 kHz	Pinta-aalto, ionosfääri
MF	300-3000 kHz	Pinta-aalto, ionosfääri (E-kerros)
HF	3-30 MHz	Ionosfääri (E, F1, F2, Es)
VHF	30-300 MHz	Troposfääri, Es, meteorisirona, aurora
UHF	300-3000 MHz	Troposfääri
SHF	3-30 GHz	Troposfääri



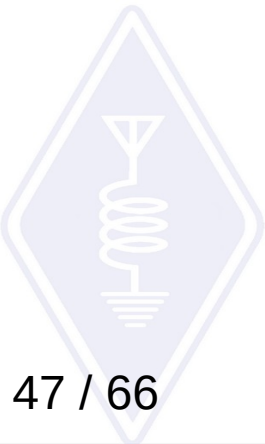
ULF, VLF

- Aallonpituudet useita kilometrejä → antennista tulee todella suuria
- Käyttökohteina pääasiassa erikoissovellukset
 - Aikaisignaalien lähetys
 - Kommunikointi sukellusveneiden kanssa
 - Kuulokojeet konserttisaleissa
- Etenevät lähinnä pinta-aaltona maata pitkin



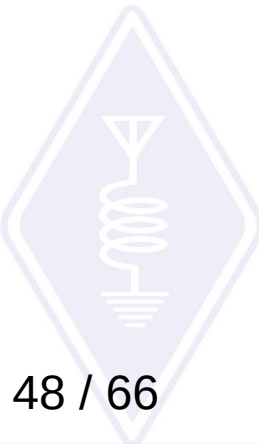
LF, MF

- Radioamatööreille tärkein bandi on 160 m
 - Useita taajuuskaistoja välillä 1850 - 2000 kHz
 - Menevät osittain päällekkäin merenkulun radiopuhelinliikenteen kanssa
- Etenevät osittain pinta-aaltona, osittain ionosfääriheijastuksena



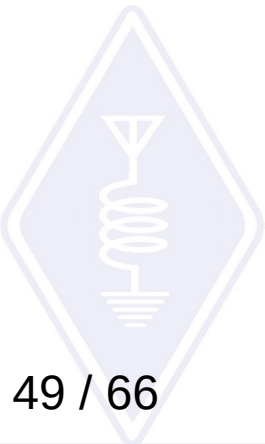
Pinta-aalto

- Matalat taajuudet sitoutuvat johtavaan maatasoon → seurailee maapalloa horisontin taakse
- Tasainen ja johtava maa (merivesi) ovat hyviä.
- Yhteys ennustettavissa
- Edellyttää pystypolarisaatiota
- Vaikutukset:
 - Dominoiva etenemistapa <150 kHz
 - Tasavertainen etenemistapa ionosfäärin kanssa 150 kHz – 1,8MHz
 - Yhteydet satoja kilometrejä



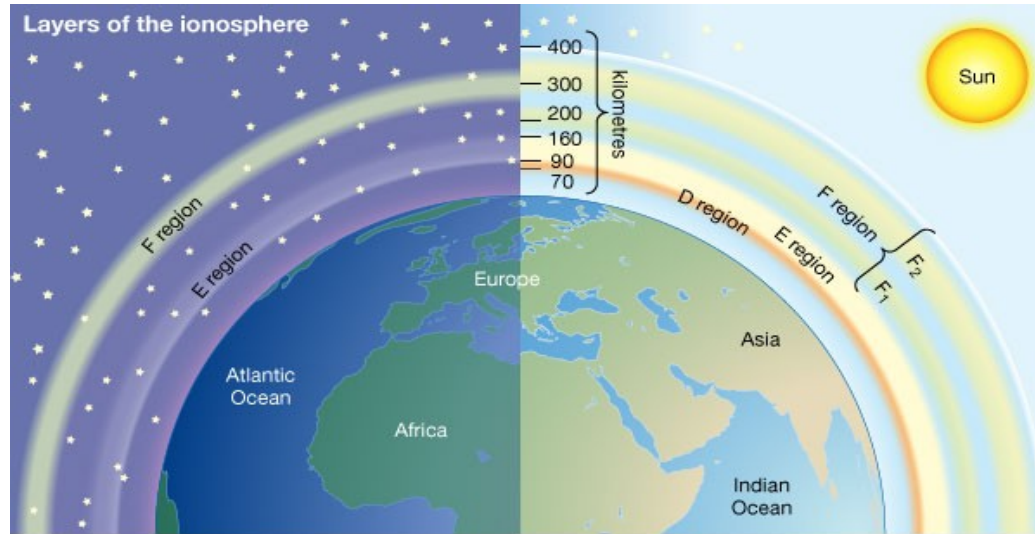
HF

- 3 – 30 MHz ($\lambda = 100 - 10$ m)
- Hyvin suosittu taajuusalue radioamatöörikäytössä
- Etenemismuotona heijastuminen maan ja ilmakehän ionosfäärin välillä
 - Signaali voi kulkea pitkiä matkoja, jopa Maapallon ympäri



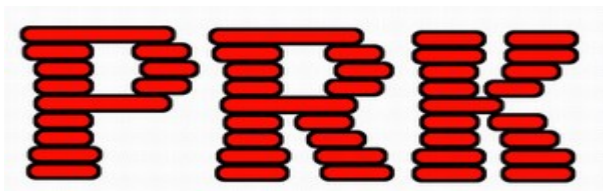
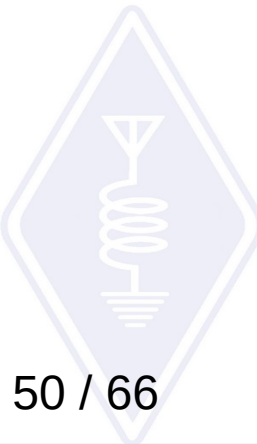
Ionosfääri

- Auringon säteily ionisoi ilman molekyylejä → johtavuus → johtava pinta heijastaa
- Auringon aktiivisuus vaikuttaa (vaihtelee 11 vuoden sykleissä)
- Pisimmät yhteydet ionosfääriheijastuksilla maa-pallon ympäri
- HF:n suosion syy
- Useita kerroksia



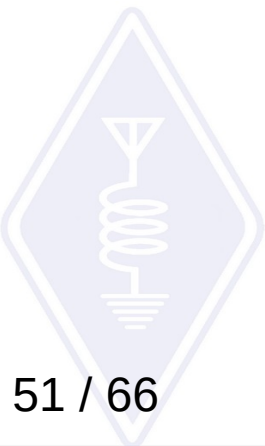
© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

<https://global.britannica.com/science/ionosphere-and-magnetosphere>



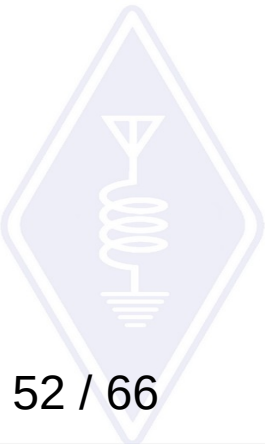
D-kerros

- 65–95 km korkeudessa
 - Ionosfäärin alin kerros
- Aktiivinen päivällä
- Vaikutukset:
 - Estää ylemmille ionosfäärin kerroksille pääsyn päivällä ala-HF:llä (n. 1.8 – 10 MHz)
 - Signaalin yö/päivä-suhde luokkaa 1:1000 kesällä ja 1:10 talvella



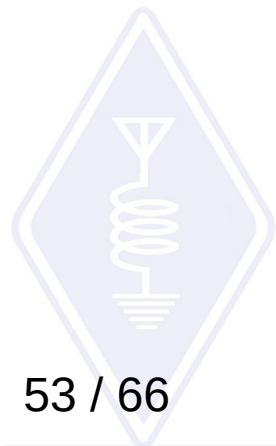
E-kerros

- 90–125 km korkeudessa
- Aktiivinen päivällä
- Heijastaa ylä HF-taajuuksia
- Skippi = hypyn pituus <2500 km
- Sporadinen E
 - Paikallinen hyvin heijastava kerros
- Aurora → VHF/UHF
 - Meteoriittien ionisoimat vanat → VHF, hyvin lyhyt yhteys



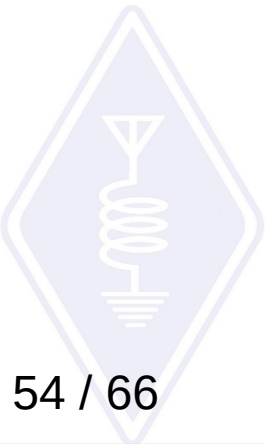
F-kerros

- Yöllä 200–400 km korkeudessa
- Päivällä eriytyy F1 ja F2 -kerroksiksi (160–180 km ja 200–400 km)
- HF:n etenemiselle tärkeä
- Aalto voi heijastua maan ja ionosfäärin välillä useastikin
- Skippi = hypyn pituus n. 1000–4000 km
 - Pieni lähtökulma → pitkä hyppy
- Kuollut alue = suoran yhteyden ja hypyn väli
- NVIS-yhteydet → kattavat Suomen, matalalla lähtökulmalla pidempiä yhteyksiä



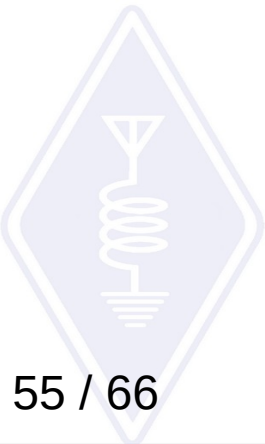
VHF

- 30 – 300 MHz ($\lambda = 10 - 1$ m)
- Eräänlainen siirtymätaajuus, ala-VHF:llä on jonkin verran HF:n ominaisuuksia
- Pystyy läpäisemään ionosfääriin



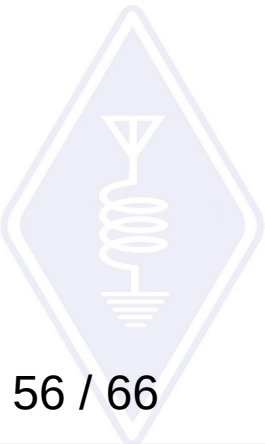
UHF

- 300 MHz – 3 GHz ($\lambda = 1 \text{ m} - 10 \text{ cm}$)
- Enemmän häiriöitä kuin VHF:llä mm. lupavapaiden 446 MHz ja 2,4 GHz laitteiden takia
- Laitteista voidaan tehdä hyvin kompaktin kokoisia



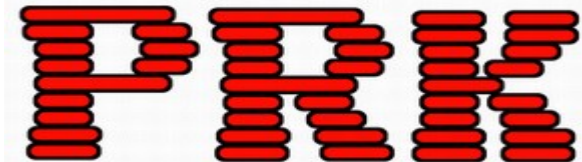
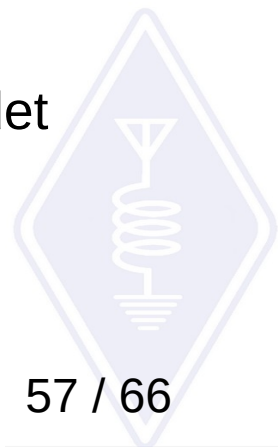
SHF, EHF, THF

- > 3 GHz (aallonpituudet senttimetrejä, EHF-alueella vain millimetrejä)
- Korkean taajuuden ansiosta hyvin suuri kaistanleveys mahdollinen
 - Käytetään erityisesti datayhteyksiin
 - Vaimenevat nopeasti → satelliittiyhteydet, aaltoputket
- Radioamatöörikäytössä säännöllistä liikennettä edelleen vähän, mutta yksittäisiä kokeiluja paljon



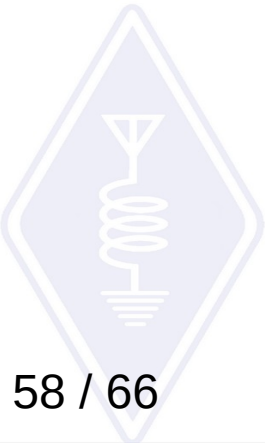
Troposfääri

- Ilmiöt n. 9 – 17 km korkeudessa
 - Troposfääri alkaa jo maan pinnasta
- Sääilmiöt troposfäärissä
- Kanavoituminen: aalto taittuu tai heijastuu erilämpöisten ilmakerrosten (inversiokerrokset) välissä jopa useita kertoja
- Siroaminen: ”hajaantuminen” pienistä partikkeleista, vesihöyry, pilvet, sade, lentokoneiden vanat
- Vaikutukset:
 - Jatkuva radioaaltojen kaartuminen
 - Vaikeasti ennustettavat, normaalia huomattavasti pidemmät yhteydet VHF:llä, UHF:llä ja ylempänä.
 - Sateen vaimennus UHF:llä ja ylempänä



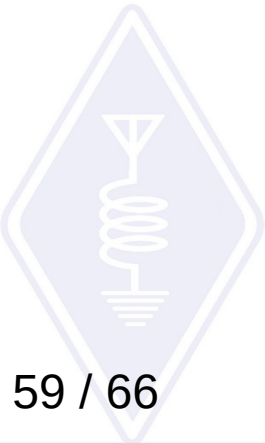
Yhteydet avaruuteen

- Radioaalto voi heijastua Kuusta (EME)
 - Isoja antennoja ja paljon tehoa
- Satelliitit toistinasemina
 - Esim: 2m uplink / 70 cm downlink
 - Varattu spektriä usealla bandilla
 - ks. <http://www.amsat.org/>



Muita etenemistapoja

- Aurora, revontulet
 - n. 30 – 70 MHz (tai jopa 430MHz), vaihtelee
 - Antenni aina pohjoista kohti
- Siroaminen terävästä huipusta
 - Yhteys vuoren taakse



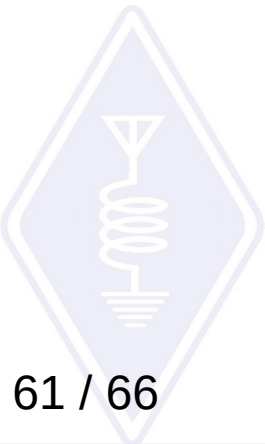
Nyrkkisääntöjä etenemisestä

- Ala-HF ”aukeaa” yöllä, ylä-HF päivällä
- Pisimmät yhteydet maailmalle 10 – 30 MHz
 - Ionosfääriheijastukset matalilla kulmilla
- Yhteydet Eurooppaan
 - Troposfäärin kanavoituminen: VHF/UHF
 - Ionosfäärillä: 3 – 30 MHz, ”lähes aina” yhteys jollakin taajuudella
- Kotimaan yhteydet
 - VHF/UHF: n. 200 km aina hyvillä antenneilla
 - 80m: 300 km aina, yöllä koko maa
 - 40m: 600 – 1500km, yöllä Pohjois-Suomi
- Huom. antenneilla ja pohjakohinalla suuri vaikutus yhteyksien pituuteen



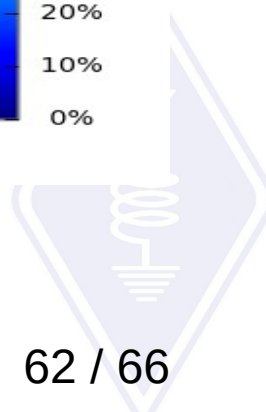
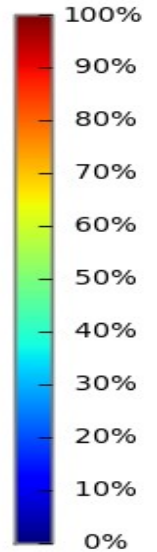
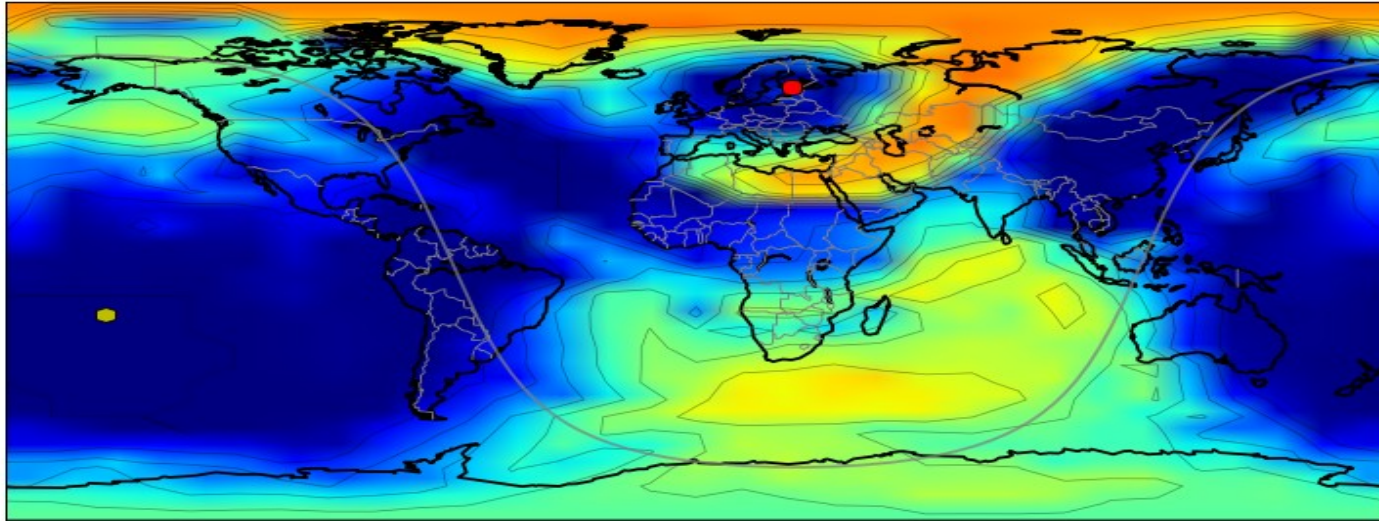
Yhteyden pituuden arvointi

- HF: <https://voacap.com/hf/>
- Ylempänä
 - Friisin kaava
 - Toinen potenssi pätee vain vapaassa tilassa → kannattaa käyttää 3-4
- Radio Mobile: <https://www.ve2dbe.com/english1.html>



Voacap.com, 20m, 22:00 UTC

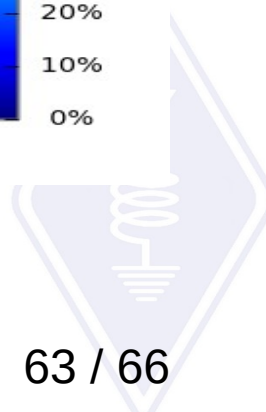
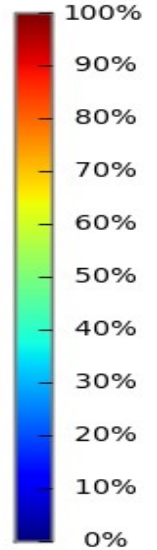
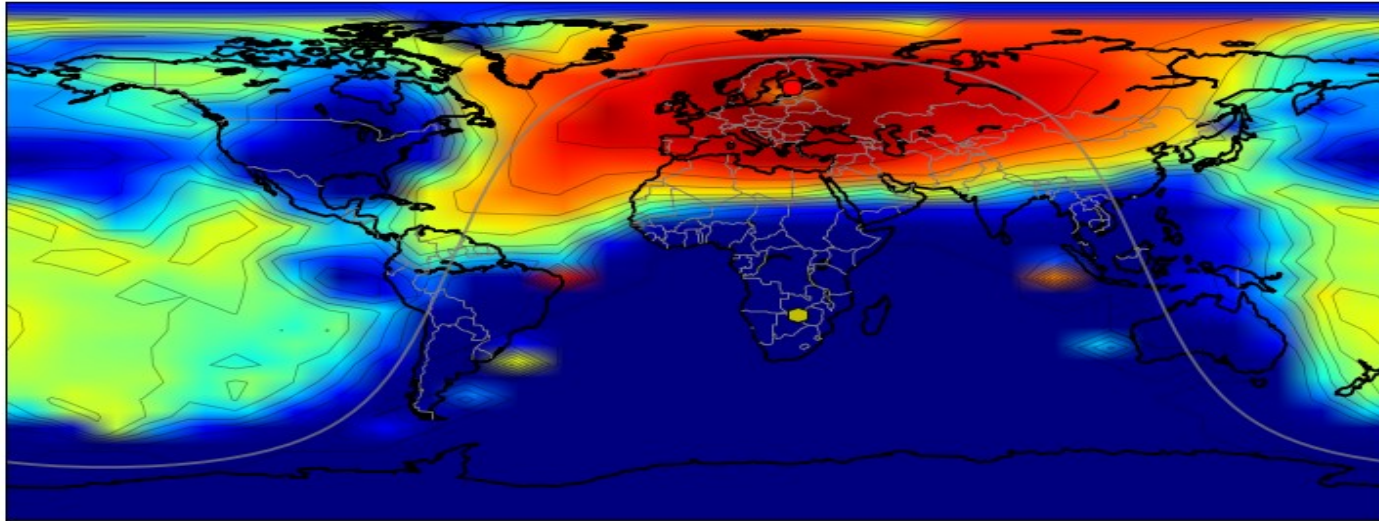
Espoo, finland (60.40N, 24.80E), Nov, 22 UTC, 14.100 MHz, 80 W, SSN 78, Mode: CW
TX Ant: [voaant/d10m.ant], RX Ants: [voaant/d10m.ant]



PRK

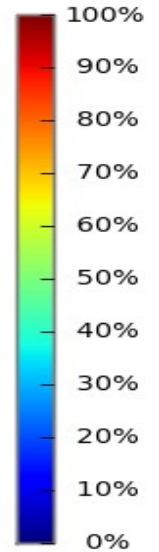
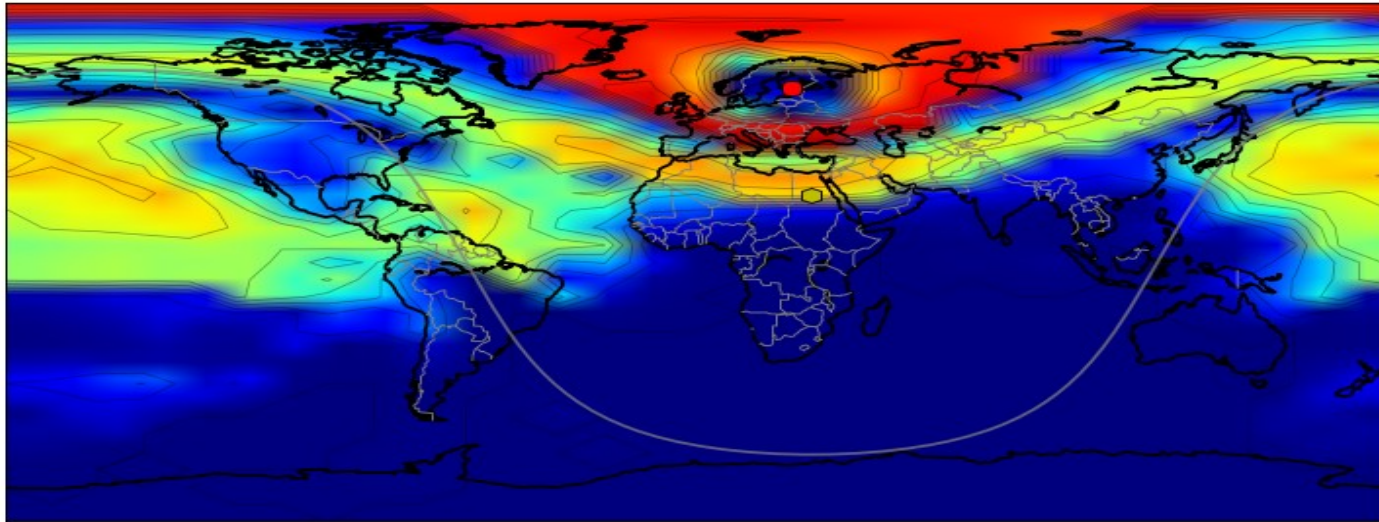
Voacap.com, 20m, 10.00 UTC

Espoo, finland (60.40N, 24.80E), Nov, 10 UTC, 14.100 MHz, 80 W, SSN 78, Mode: CW
TX Ant: [voaant/d10m.ant], RX Ants: [voaant/d10m.ant]

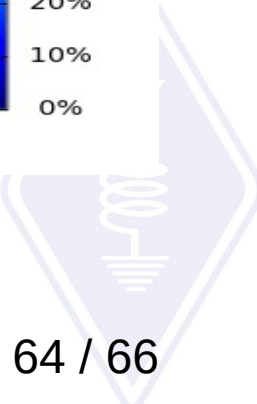


20m, kesällä, 10:00 UTC

Espoo, finland (60.40N, 24.80E), Jun, 10 UTC, 14.100 MHz, 80 W, SSN 70, Mode: CW
TX Ant: [voaant/d10m.ant], RX Ants: [voaant/d10m.ant]



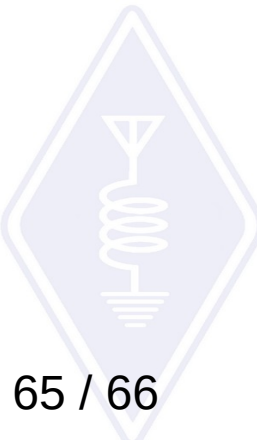
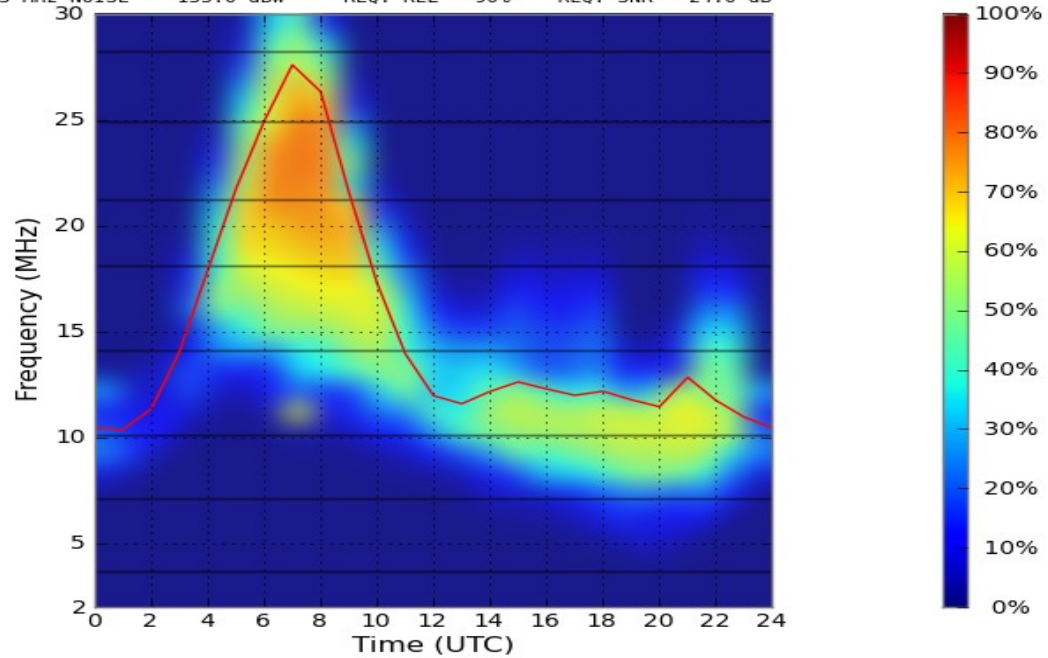
PRK



Espoo → Japani

Circuit Reliability (%)

Nov 2011 SSN = 80. Minimum Angle= 0.100 degrees
TX RX AZIMUTHS N. MI. KM
60.24 N 24.87 E - 38.55 N 140.98 E 49.11 331.33 4098.9 7590.6
XMTR 2-30 2-D P-to-P[voaant/d10m.ant] Az= 0.0 OFFaz= 49.1 0.080kW
RCVR 2-30 2-D P-to-P[voaant/d10m.ant] Az= 0.0 OFFaz=331.3
3 MHz NOISE = -155.0 dBW REQ. REL = 90% REQ. SNR = 24.0 dB



Lähteet / suositeltavaa luettavaa

- Kalvot pohjautuvat Juha OH2EAN:n kalvoihin, joihin Otto OH2EMQ on tehnyt runsaasti lisäyksiä
- Radiotekniikan perusteet, Antti Räisänen
 - Löytyy Aallon kirjastoista
- Radioaaltojen eteneminen, Ismo Lindell
 - Löytyy Aallon kirjastosta
- Antenna theory and design, Warren L. Stutzman & Gary A. Thiele
 - Katkelmia luettavissa vapaasti netistä, koko kirja maksumuurin takana
- Microwave engineering, David M. Pozar
 - Katkelmia luettavissa vapaasti netistä, koko kirja maksumuurin takana

