

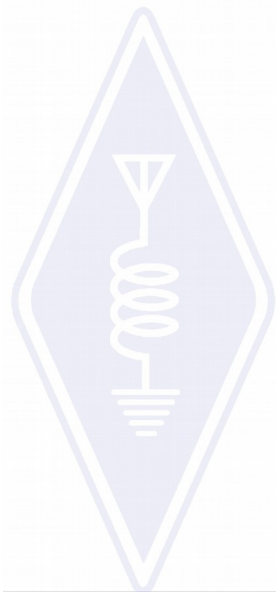
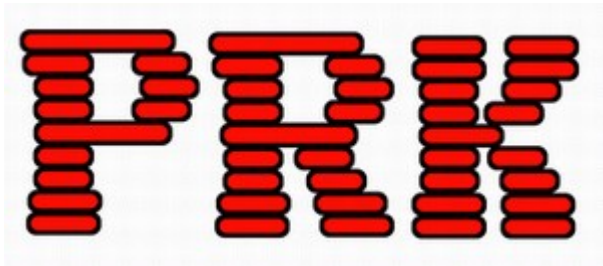
Radioamatöörikurssi 2018

Polyteknikkojen Radiokerho

Luento 6: Antennit, siirtojohdot ja eteneminen

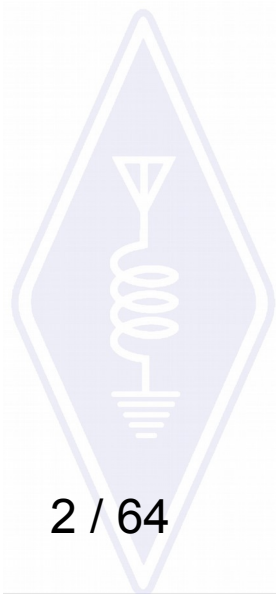
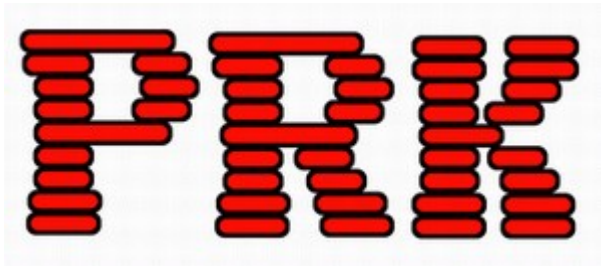
23.11.2018

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

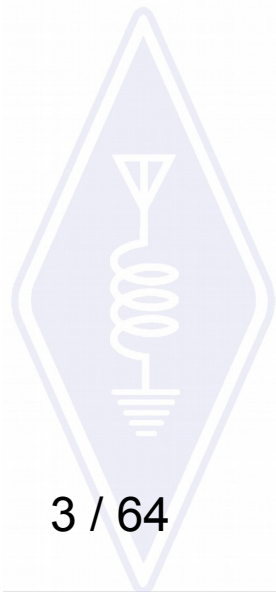
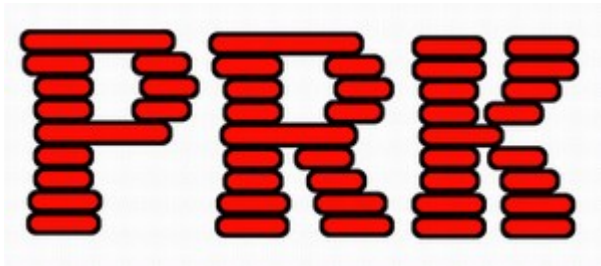


Illan aiheet

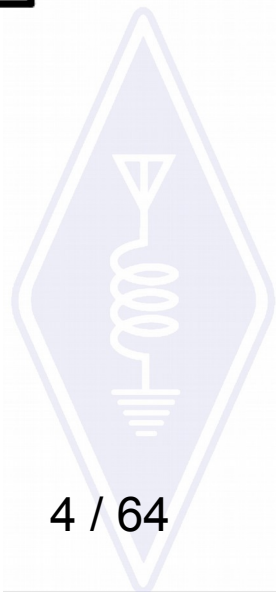
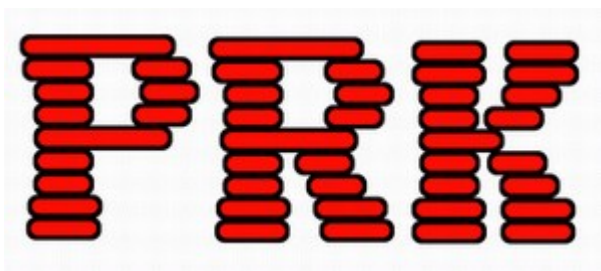
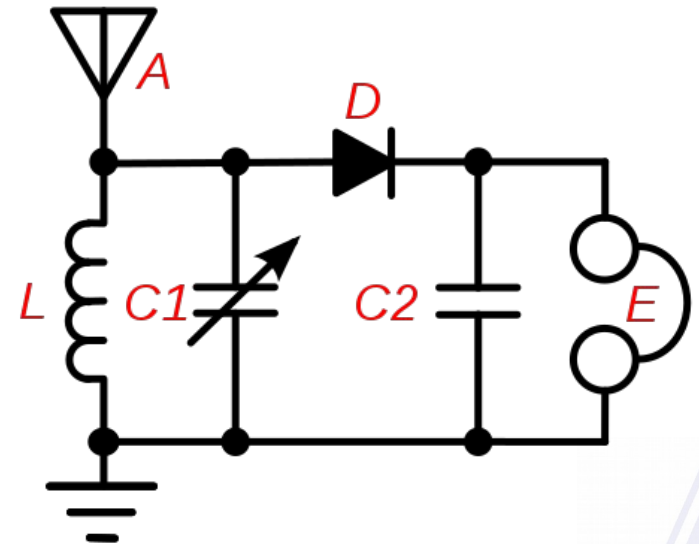
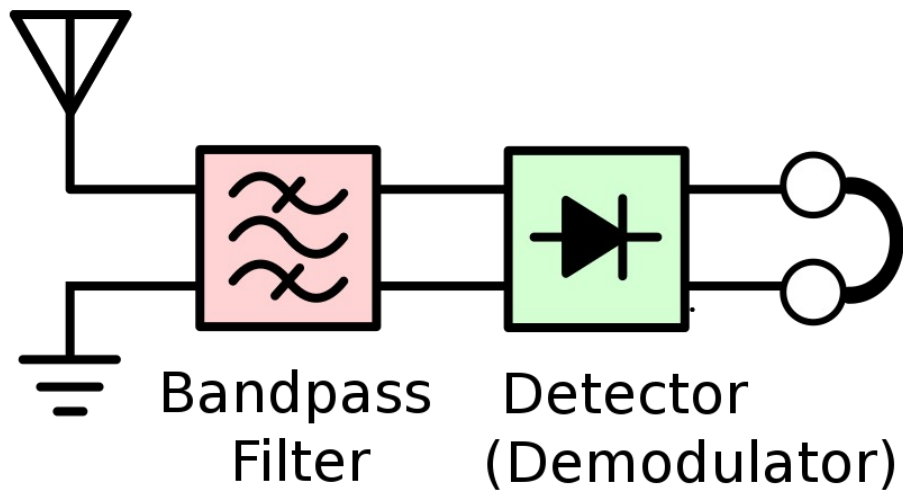
1. Antennien toimintaperiaate
 - 1.1 Vahvistus ja suuntakuvio
 - 1.2 Eri antennityyppejä
2. Radioaaltojen eteneminen eri taajuuksilla
3. Siirtojohdot, sovitus ja liittimet
 - 3.1 Impedanssi
 - 3.2 Sovitus ja hyötysuhde
 - 3.3 Erilaisia RF-liittimiä



1. Antennit

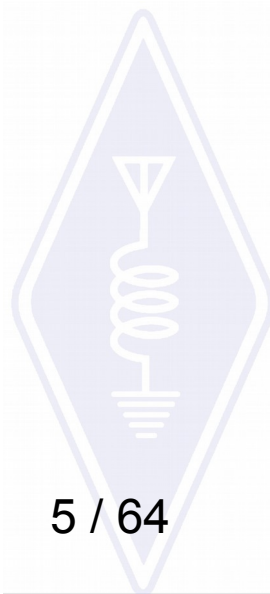
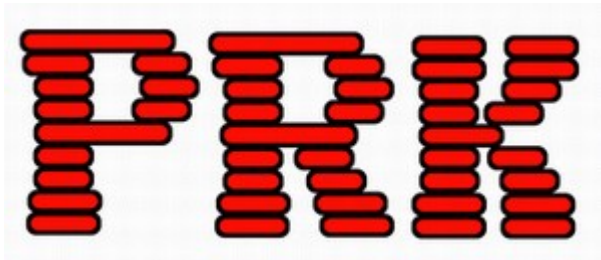


Antennin toimintaperiaate



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 antennia



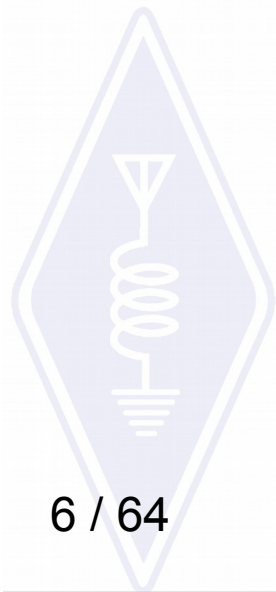
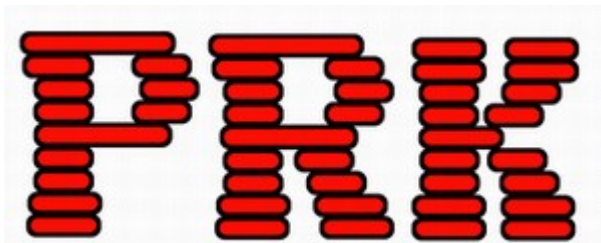
Lähikenttä vs. kaukokenttä

- 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

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

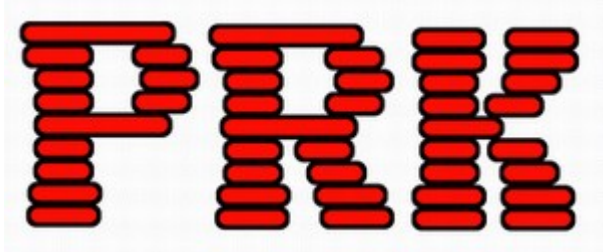
$$r > 5D$$

$$r > 1,6\lambda$$



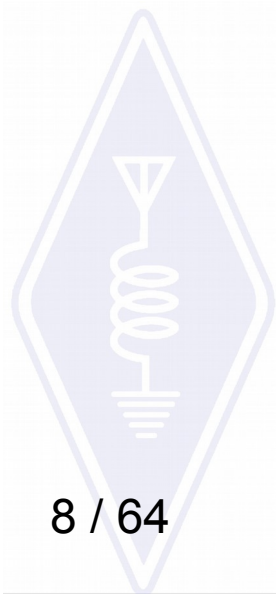
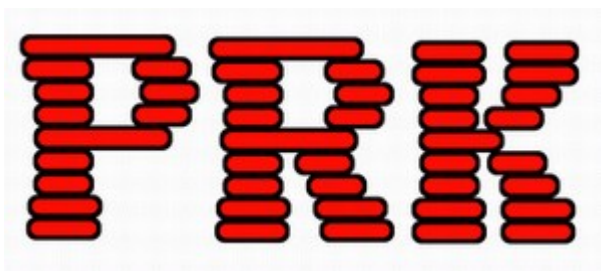
Vahvistus = Gain

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



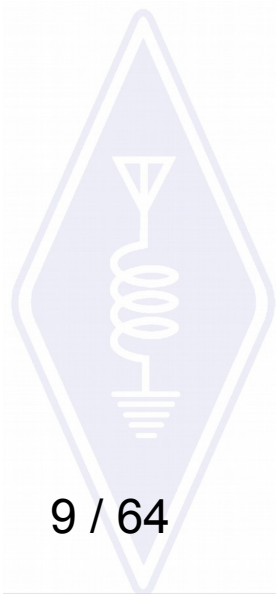
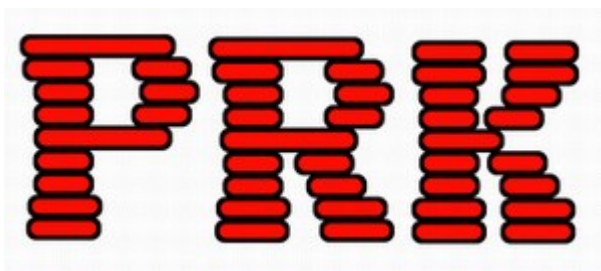
Esimerkki

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

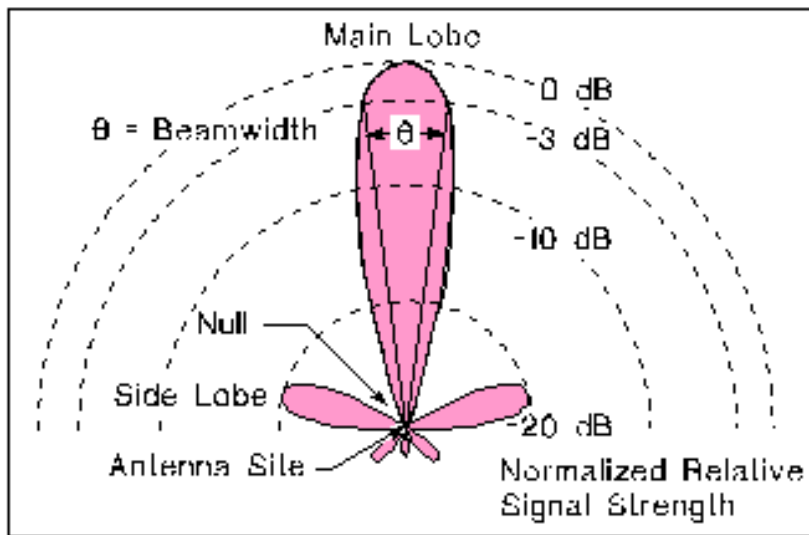


Eri gainit

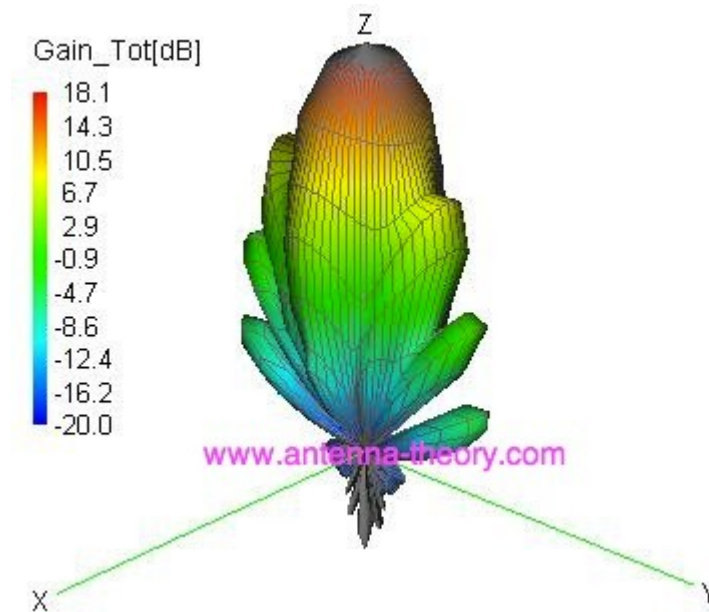
- Suuntaavuus, D
 - Ei ota huomioon mitään häviöitä
- Gain (IEEE:n mukaan) $G_{ant} = D\eta_{rad}$
 - Suuntaavuus – antennin resistiiviset häviöt
- Realized gain
 - Suuntaavuus – antennin resistiiviset häviöt – epäsovitus



Suuntakuvio

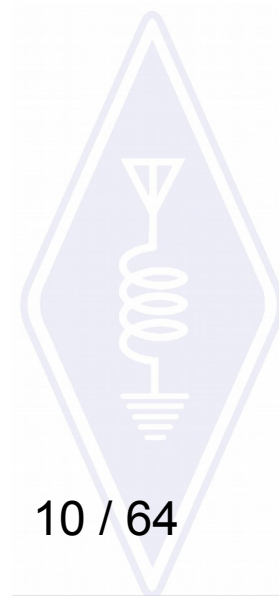
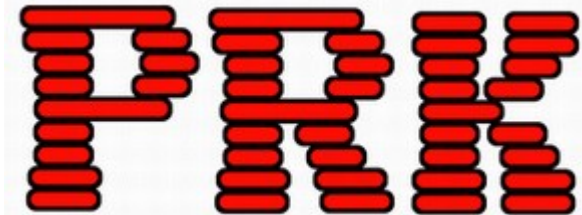


<http://trizuckr.com/radiation-pattern-of-antenna-ppt/>



<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)

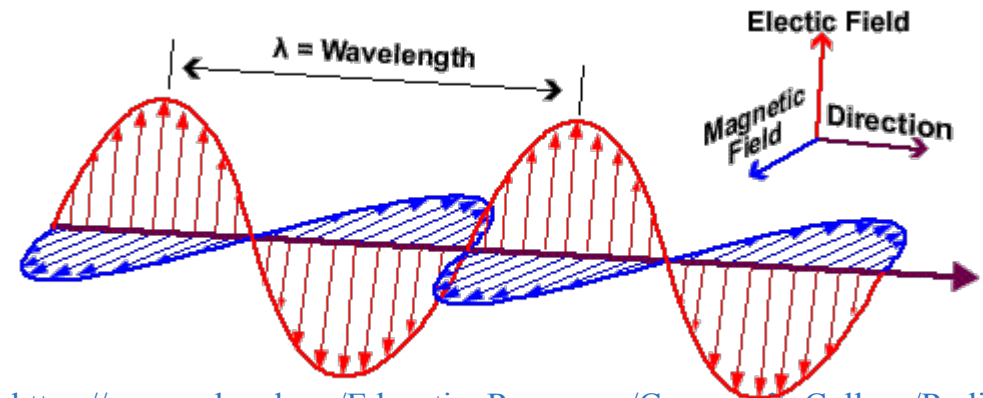


Polarisaatio

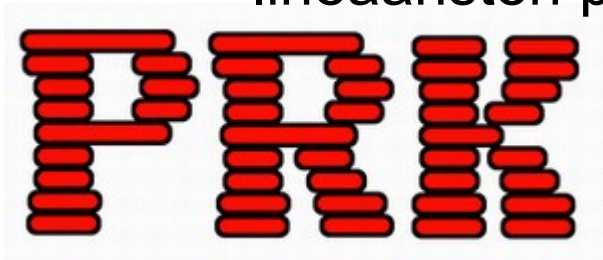
- Sähkökentän suunta (kaukana antennista) määrittää polarisaation

- Lineaarinen/ympyrä

- Liikkuvilla asemilla ja toistinasemilla yleensä pystypolarisaatio
- Kiinteillä asemilla usein vaakapolarisaatio
- Satelliiteilla yleensä ympyrä (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

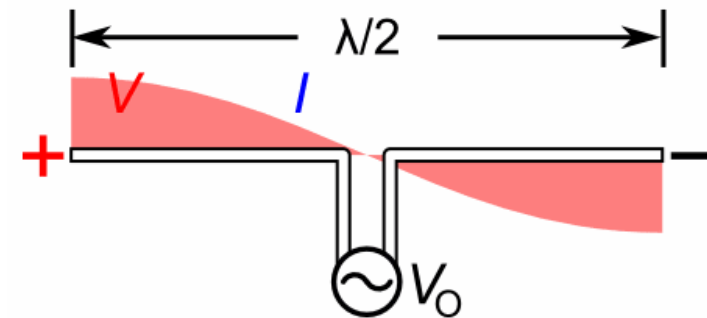


<https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/RadiationSafety/theory/nature.htm>

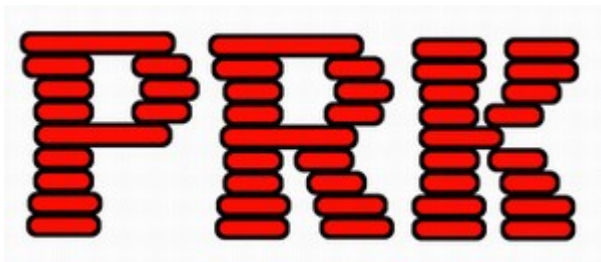


Dipoli

- 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

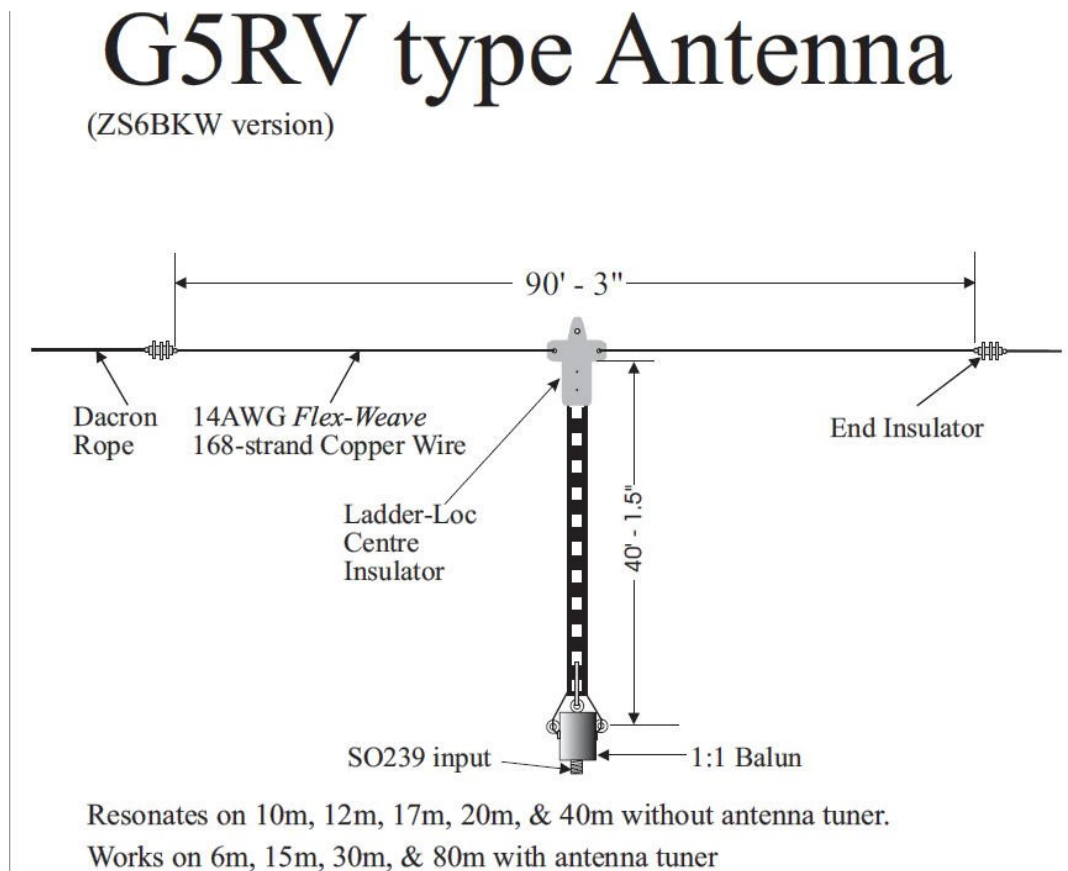


https://en.wikipedia.org/wiki/Dipole_antenna

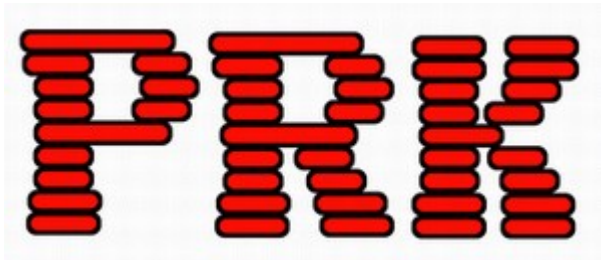


Lanka-antennit

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



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

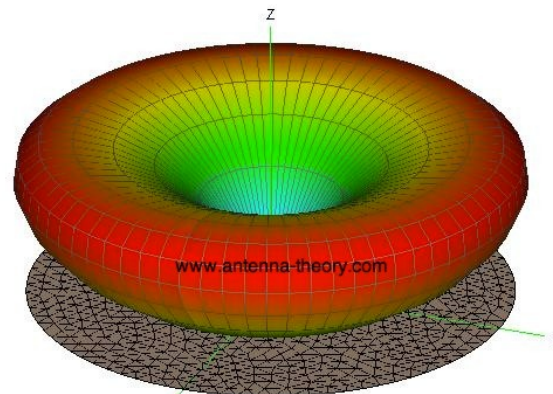


Monopoli – Ground Plane (GP)

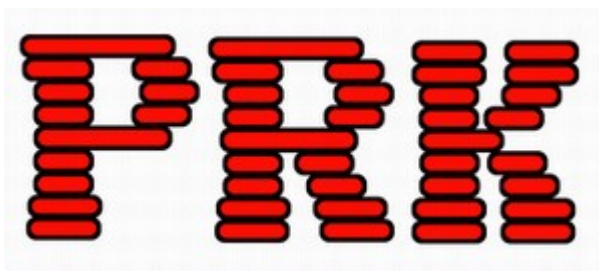
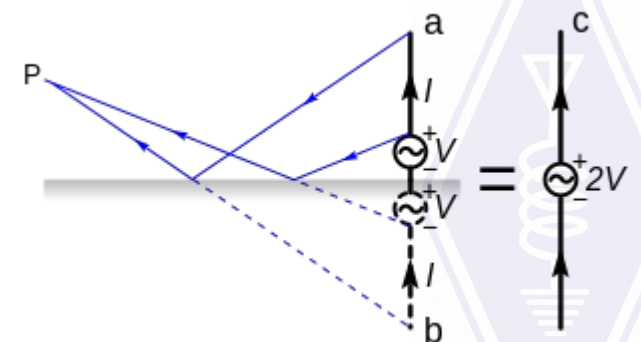
- Dipolin toinen väiksi korvataan maatasolla
- Balansoimaton → voidaan syöttää suoraan koaksiaalikaapelilla
- Yleensä pituudeltaan $\lambda/4$ tai joskus $5\lambda/8$
- Autoantennit



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

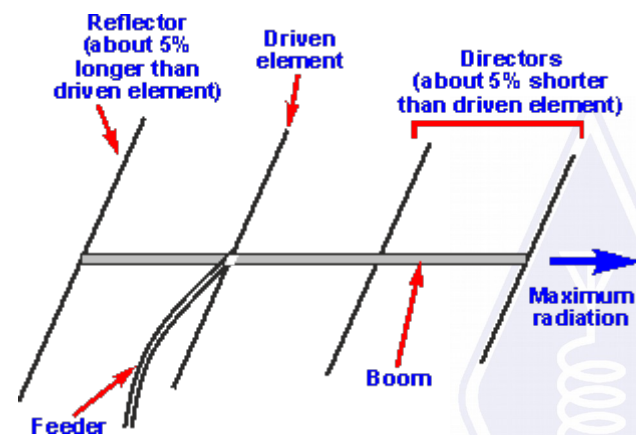


<http://www.antenna-theory.com/antennas/monopole.php>

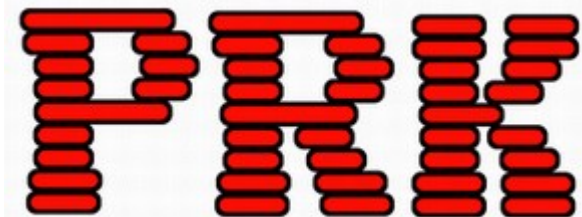


Yagi-Uda - tuttavallisemmin Yagi

- 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



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

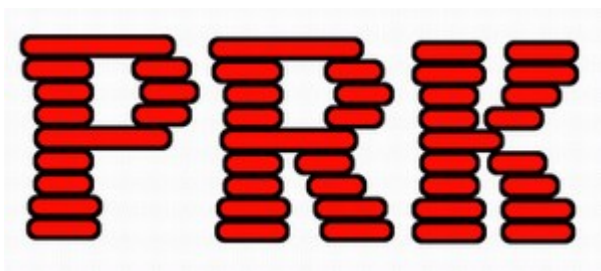


Silmukka-antennit (loop)

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

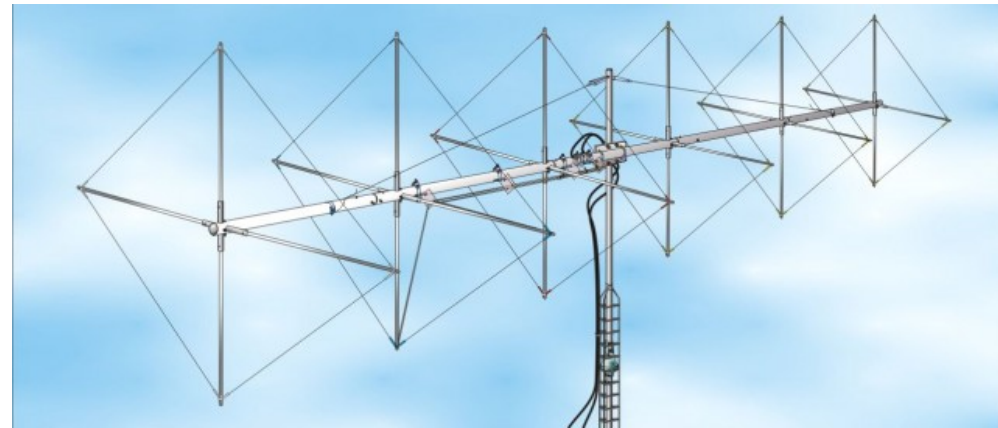


http://www.wimo.com/big-wheel-antennas_e.html

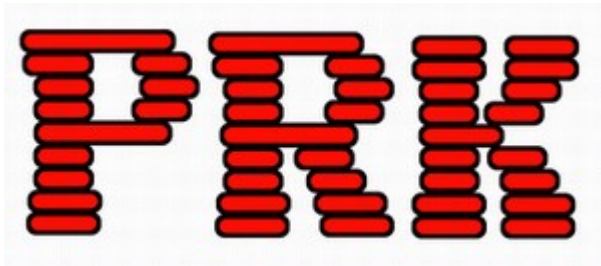


Quadit

- 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/>

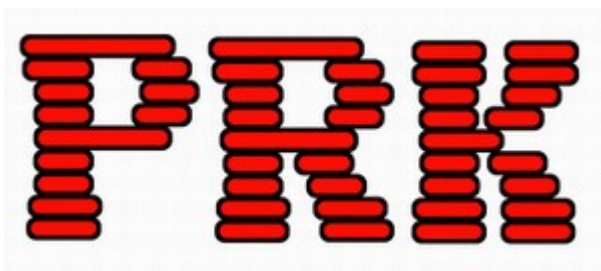


Heijastinantennit

- 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

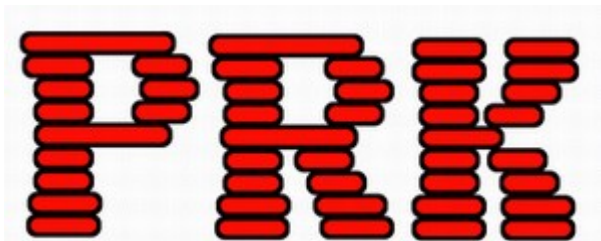
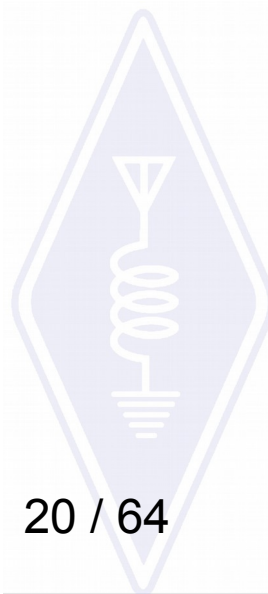
- Normaali moodi: kuin monopoli
 - $\pi D < \lambda$
 - Käsikapulat
 - Sähköisesti pidempi kuin vastaava monopoli
- Axialinen moodi: kuin ympyrä polarisoitu yagi
 - $\pi D \approx \lambda$
 - Satelliittiyhteydet
 - Polarisaation kätisyyttä ei voi vaihtaa
 - vertaa risti-yagi



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



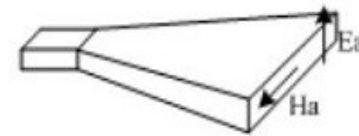
https://en.wikipedia.org/wiki/Helical_antenna



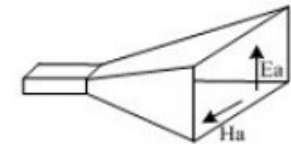
Torviantenni

- Laajakaistainen kynnystaajuuden yläpuolella
- Käytännössä koon puolesta UHF ja ylöspäin

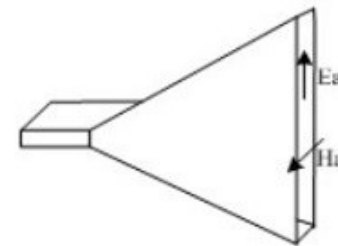
DIFFERENT TYPES OF HORN ANTENNA



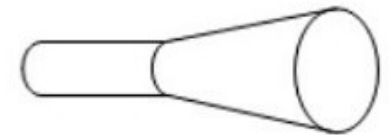
H-plane sectoral horn



Pyramidal horn

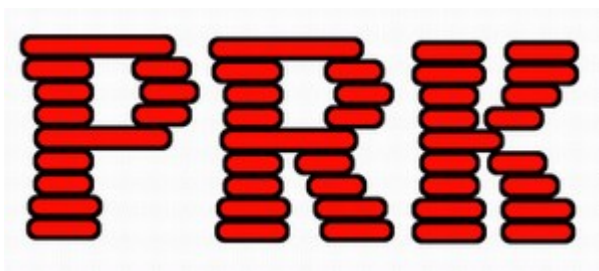
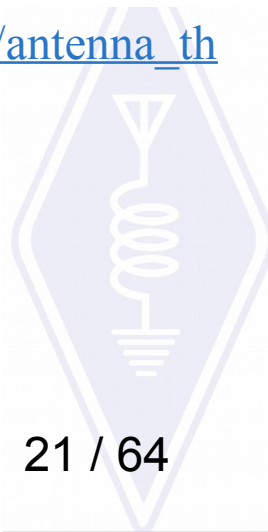


E-plane sectoral horn



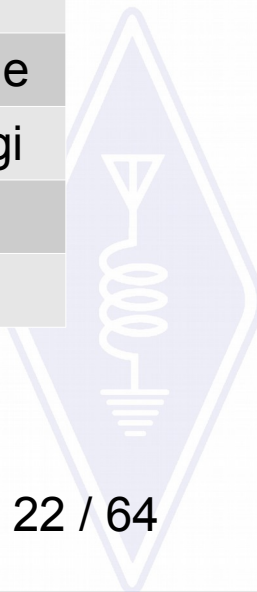
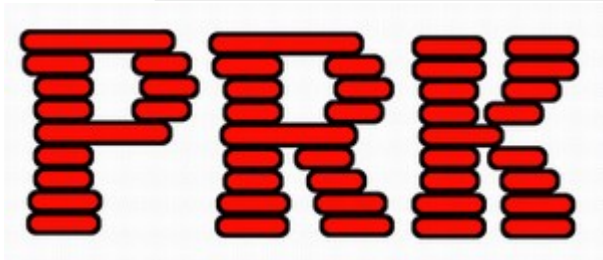
Conical Horn Antenna

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

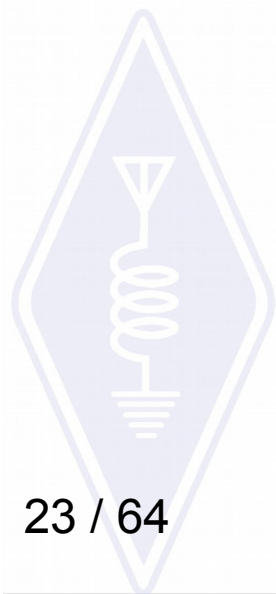
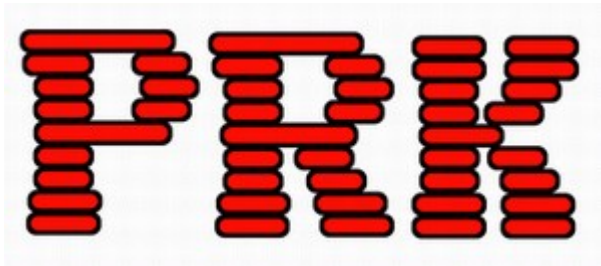


Antennien ominaisuuksia

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

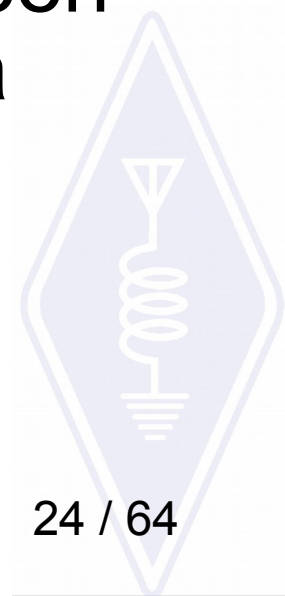
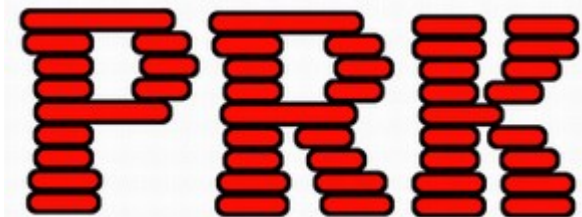


2. Radioaaltojen eteneminen



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

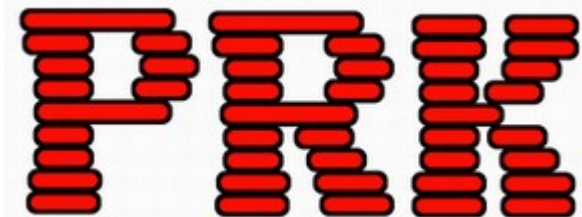
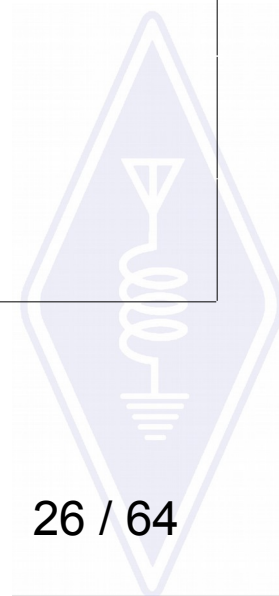


Etenemismuodot eri bandeilla

Bandi	1. Etene- mistapa	Yhteys- pituus	2. Etene- mistapa		3. Etene- mistapa	
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			

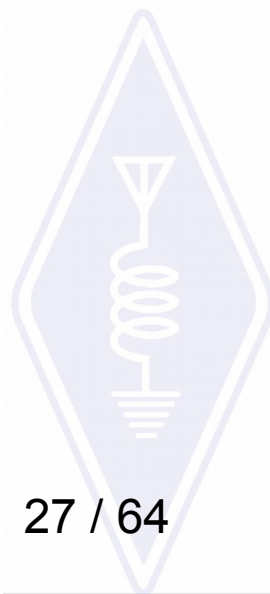
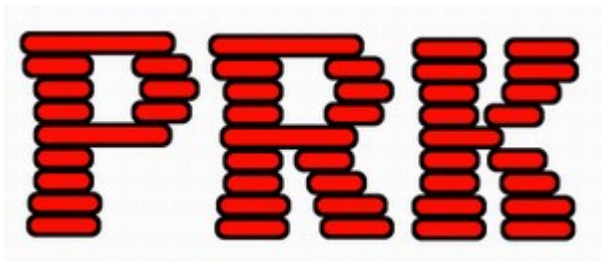
Eteneminen eri taajuuksilla

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



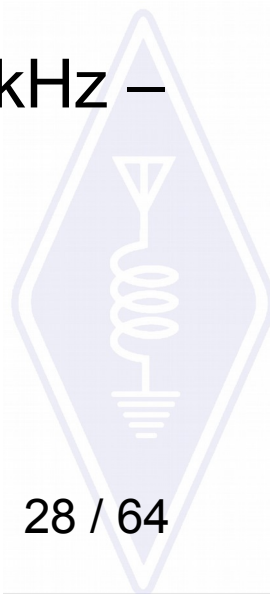
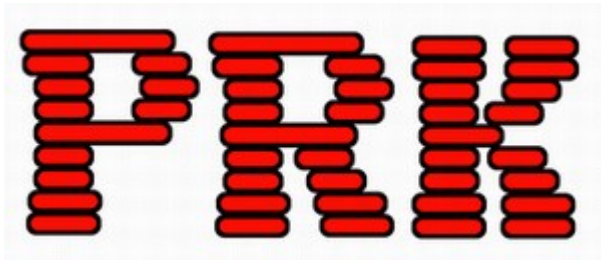
ULF, VLF, LF, MF

- Aallonpituudet useita kilometrejä → antennista tulee todella suuria
- Radioamatööreille tärkein bandi on 160 m
 - Useita taajuuskaistoja välillä 1850 - 2000 kHz
 - Menevät osittain päällekkäin merenkulun radiopuhelinliikenteen kanssa
- Etenevät pääasiassa pinta-aaltona maata pitkin
- Käyttökohteina pääasiassa erikoissovellukset
 - Aikaisignaalien lähetys
 - Kommunikointi sukellusveneiden kanssa
 - Kuulokojeet konserttisaleissa



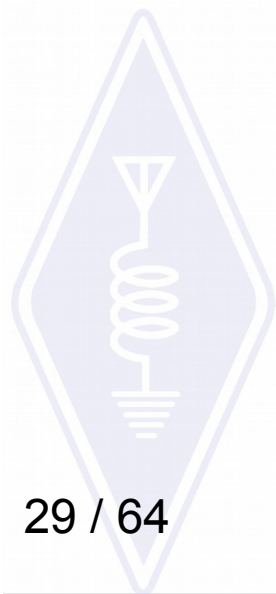
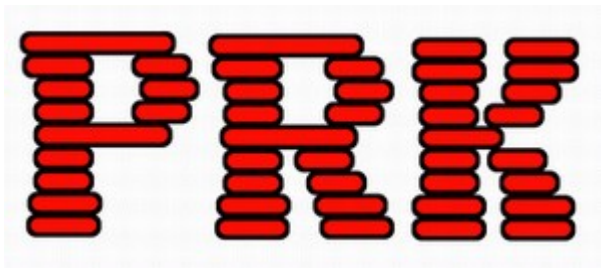
Pinta-aalto

- 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



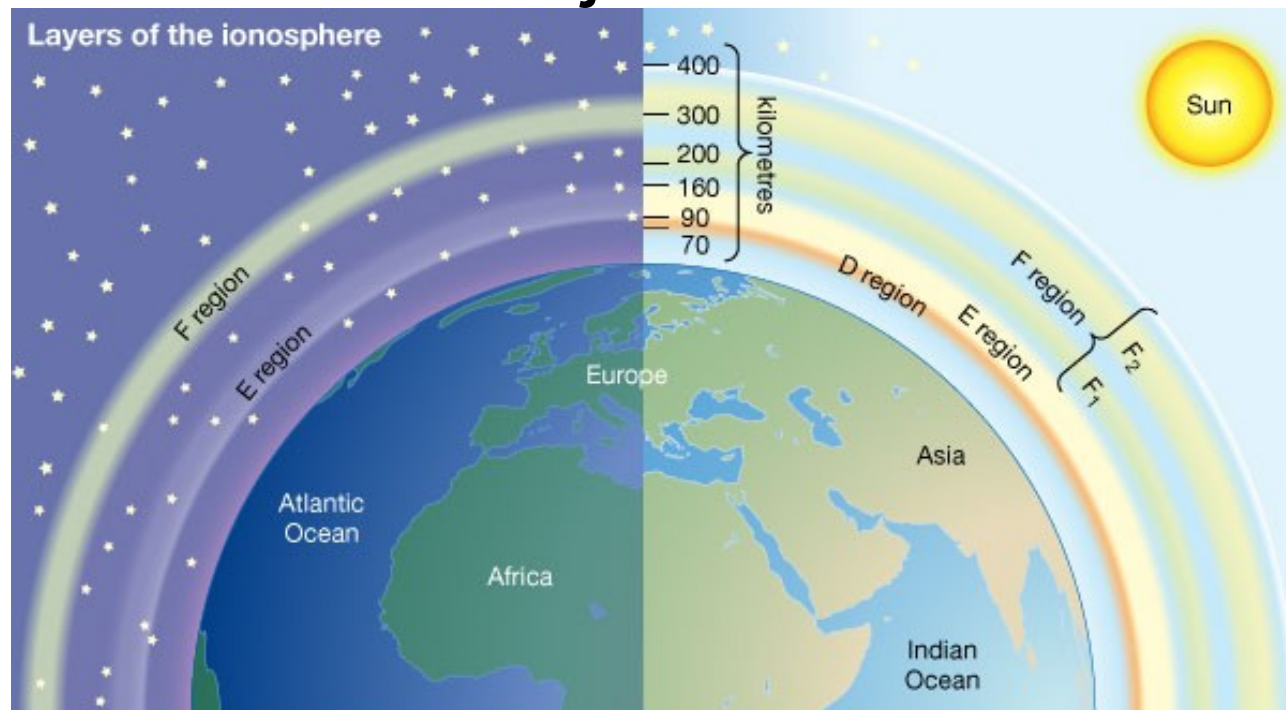
HF

- 3 – 30 MHz ($\lambda = 100 - 10$ m)
- Hyvin suosittu taajuusalue radioamatöörikäytössä
- Etenemismuotona heijastuminen maan ja ilmakehän ionosfäärin välillä

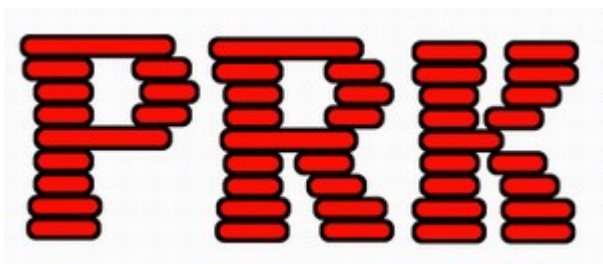


Ionosfääri

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

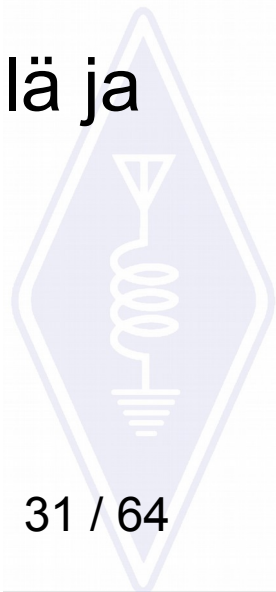
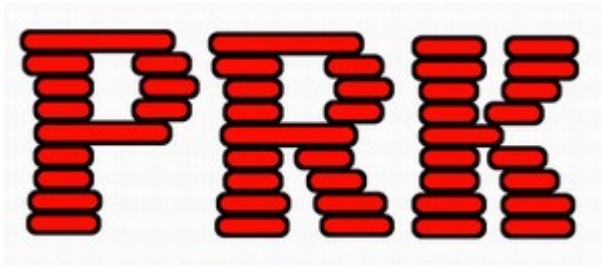


© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.



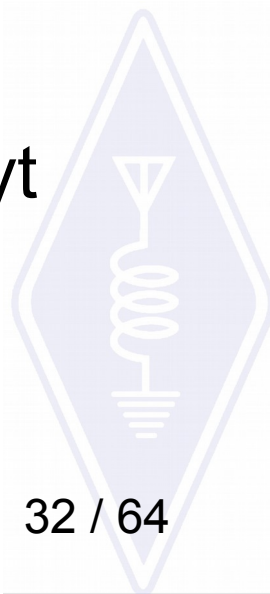
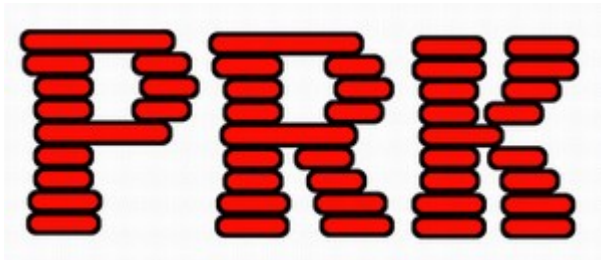
D-kerros

- 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



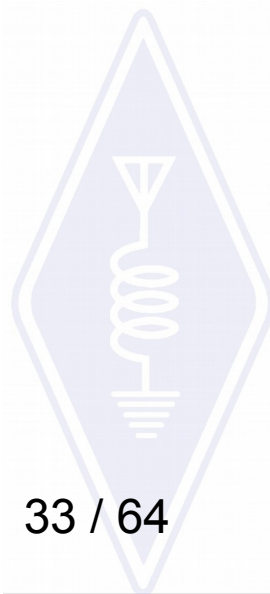
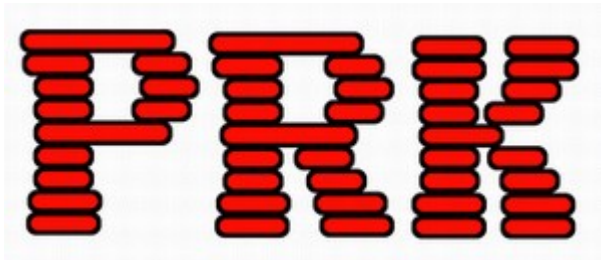
E-kerros

- 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



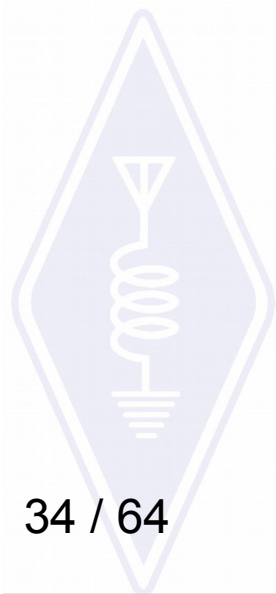
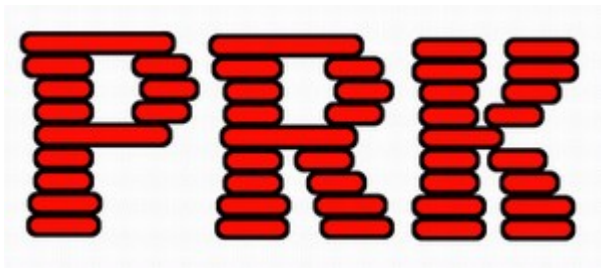
F-kerros

- 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



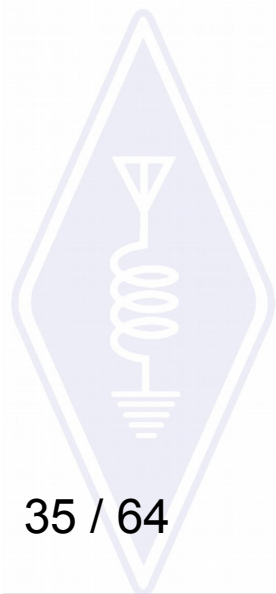
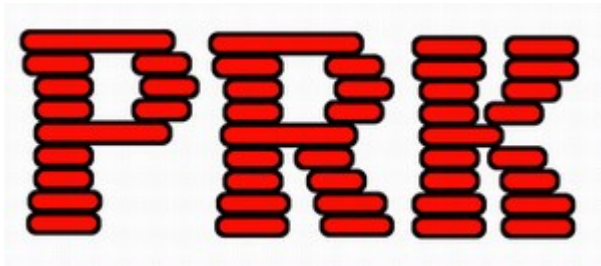
VHF

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



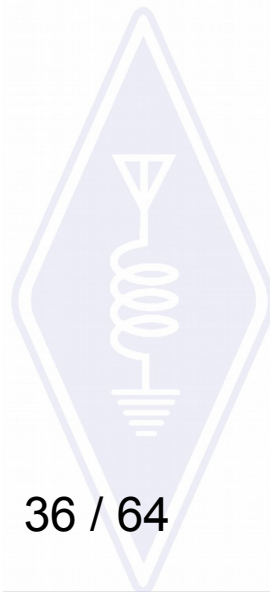
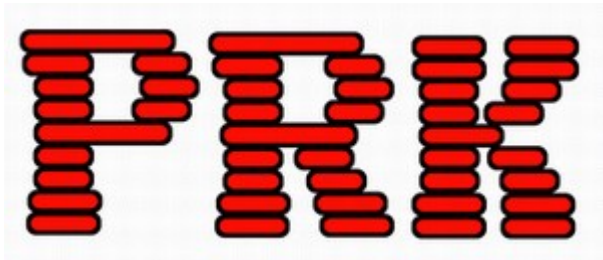
UHF

- 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



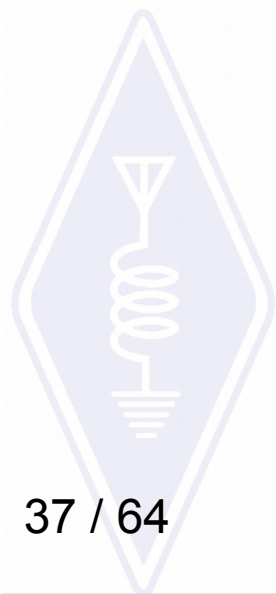
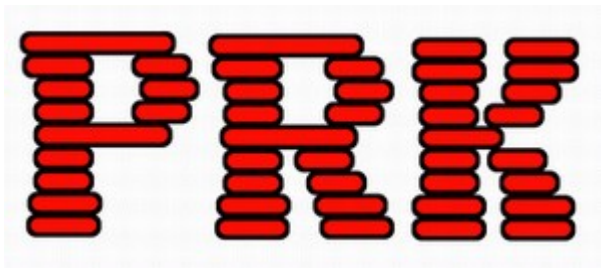
Troposfääri

- 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



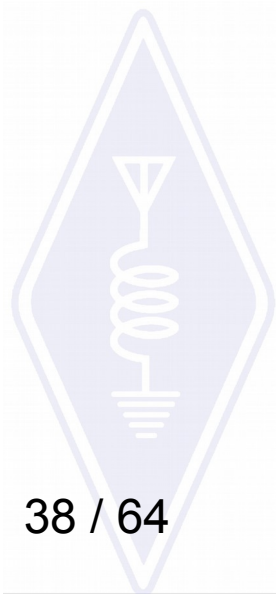
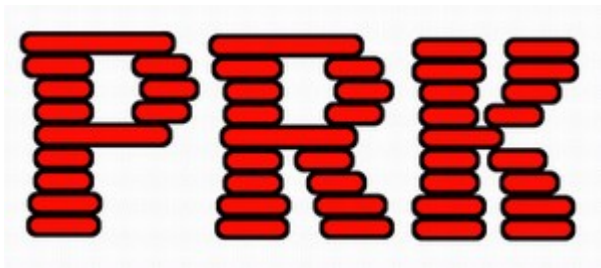
Yhteydet avaruuteen

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



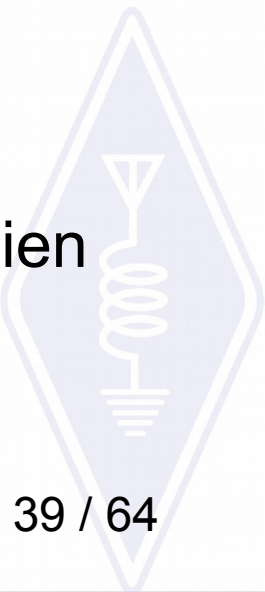
Muita etenemistapoja

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



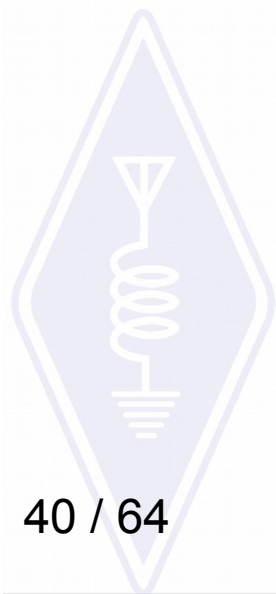
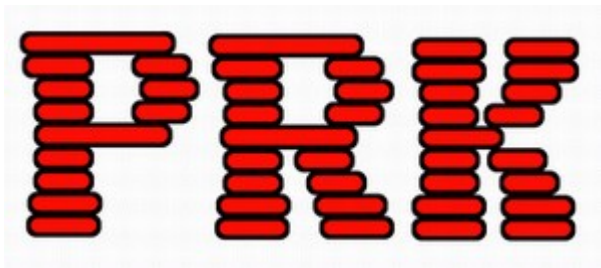
Nyrkkisääntöjä etenemisestä

- Ala-HF ”aukeaa” yöllä, ylä-HF päivällä
- Pisimmät yhteydet maailmalle 10 – 30 MHz
 - Ionosfäariheijastukset 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 pituuksiin



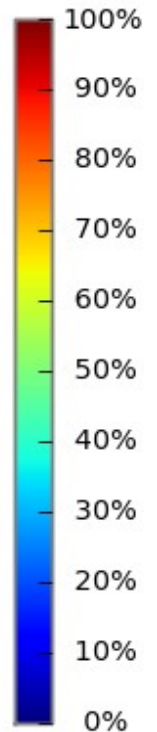
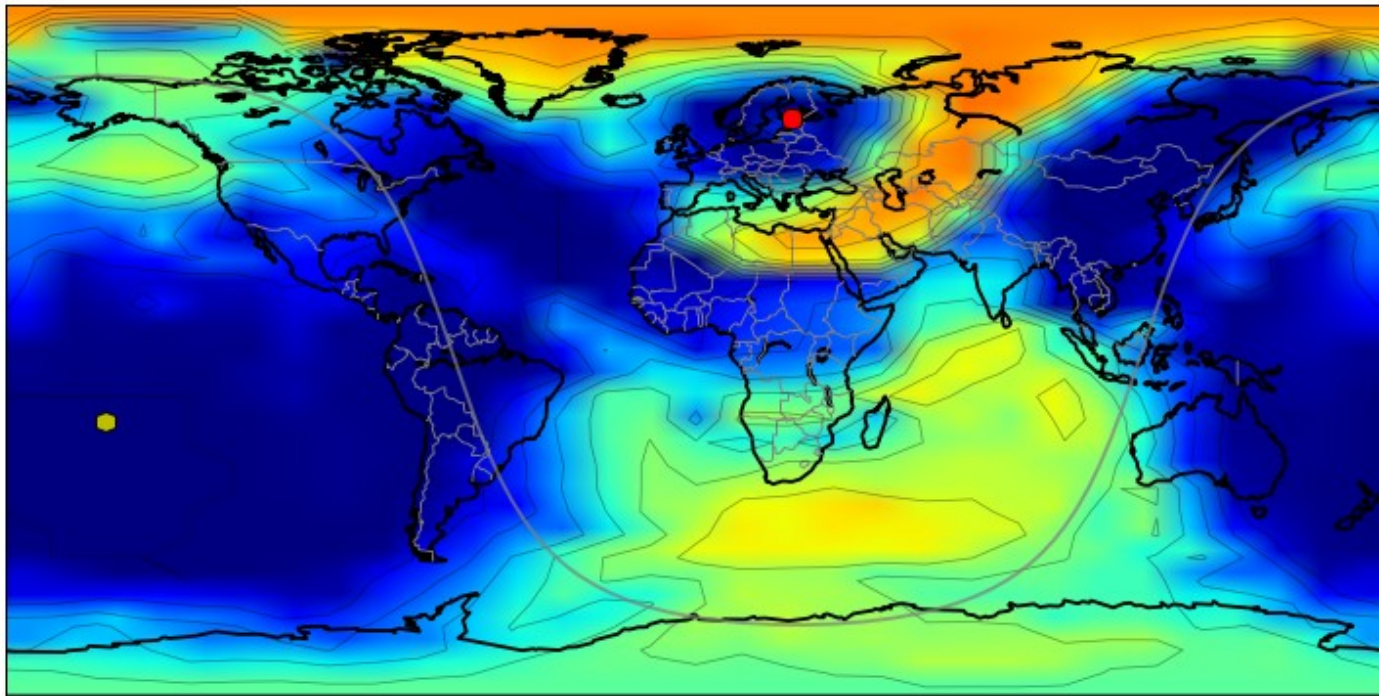
Yhteyden pituuden arvointi

- HF: Voacap.com
- Ylempänä
 - Friisin kaava
 - Toinen potenssi pätee vain vapaassa tilassa → kannattaa käyttää 3-4
- Radiomobile

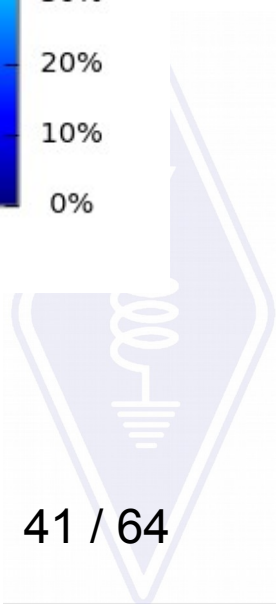


Voacap.com, 20m, 22:00 UTC

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]

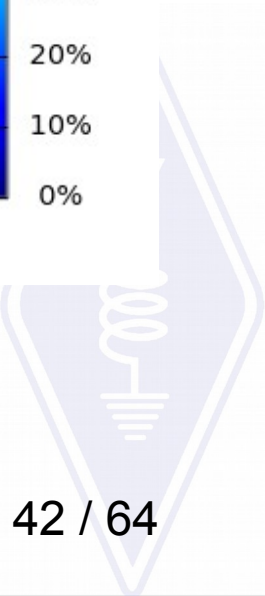
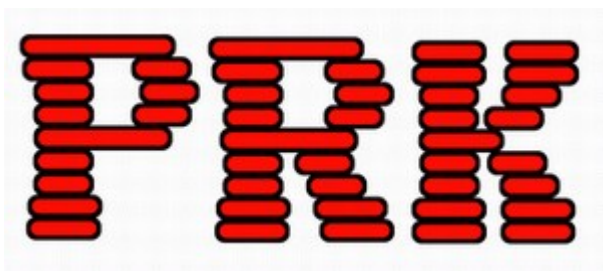
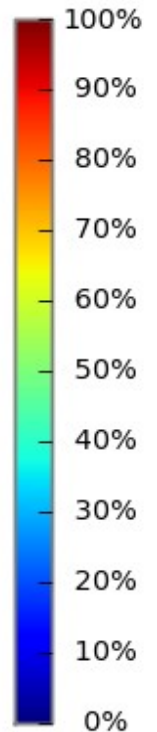
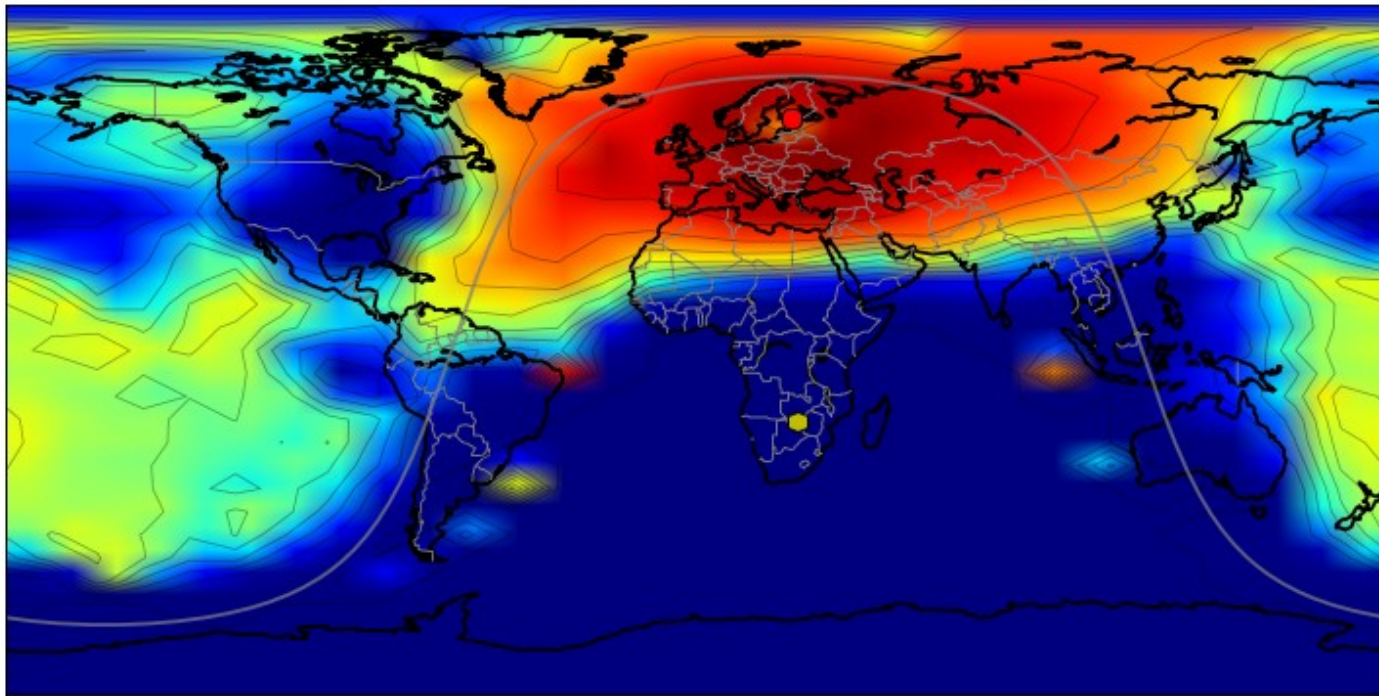


PARK



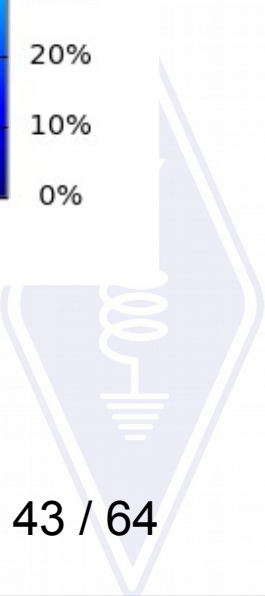
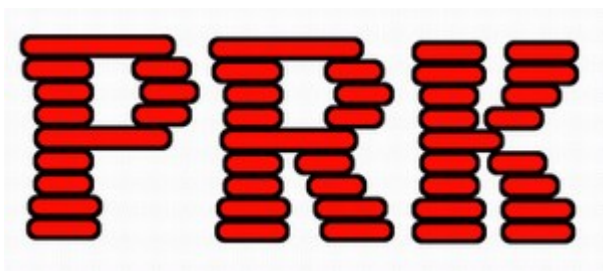
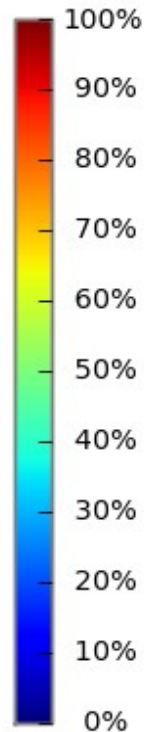
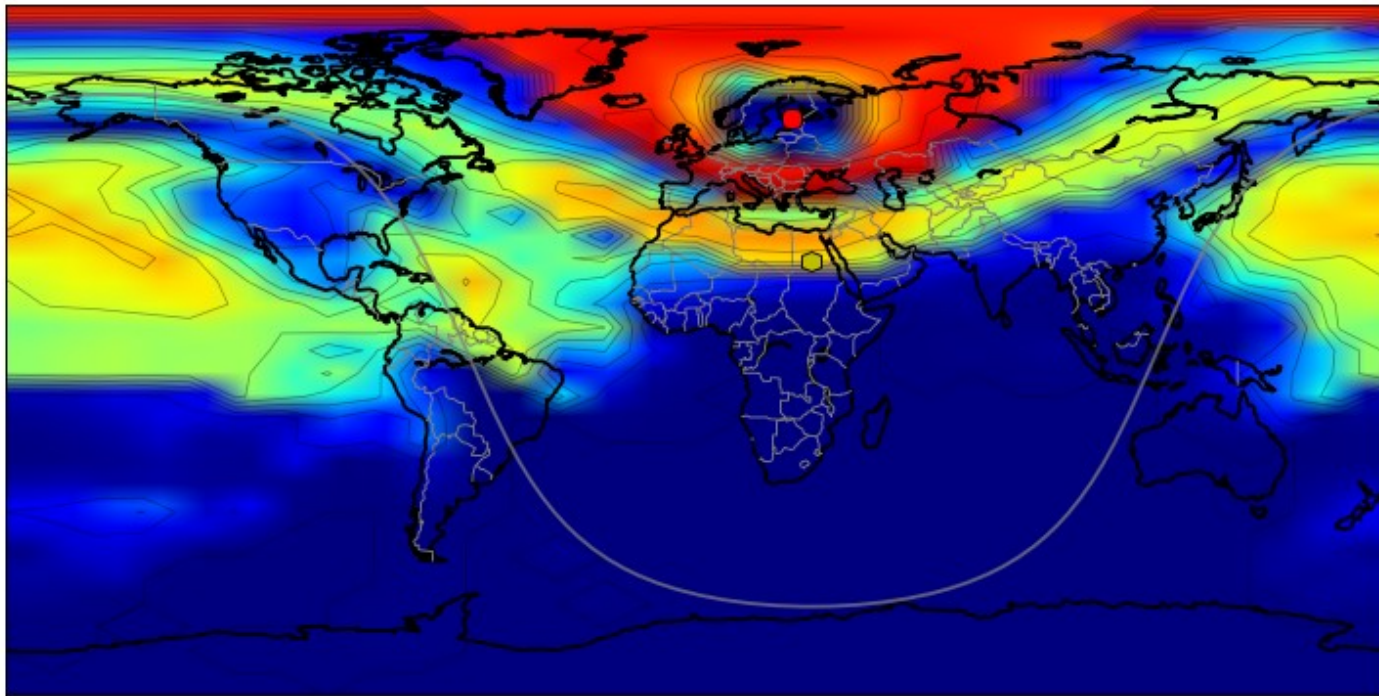
Voacap.com, 20m, 10.00 UTC

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

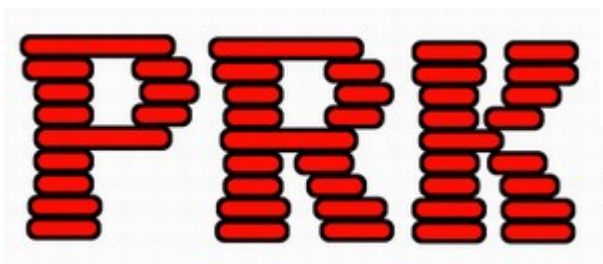
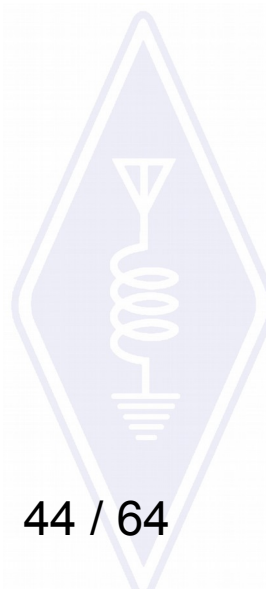
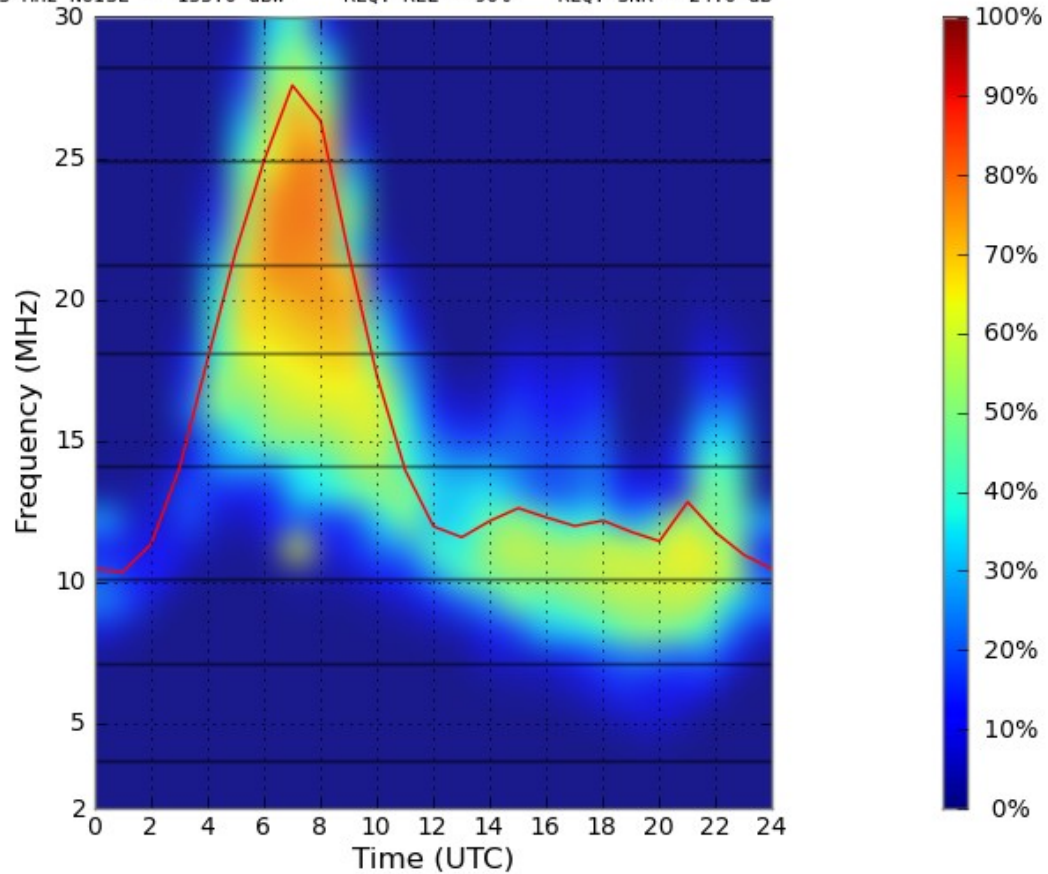
Espoo, finland (60.40N, 24.80E), Jun, 10 UTC, 14.100 MHz, 80 W, SSN 70, Mode: CW
TX Ant: [voaant/d10m.ant], RX Ants: [voaant/d10m.ant]



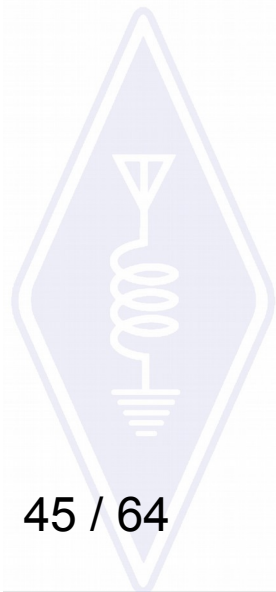
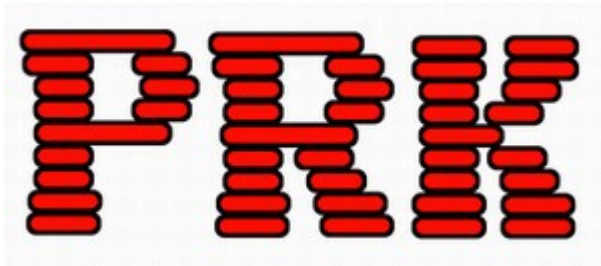
Esopo → Japani

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
```



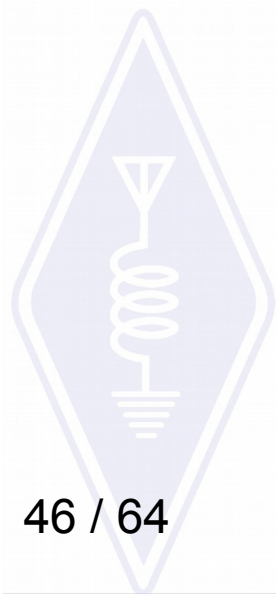
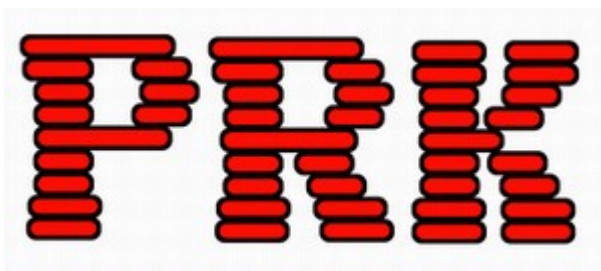
3. Siirtojohdot, sovitus ja liittimet



Taustaa siirtojohtoille

Kenttäteorian dimensiot

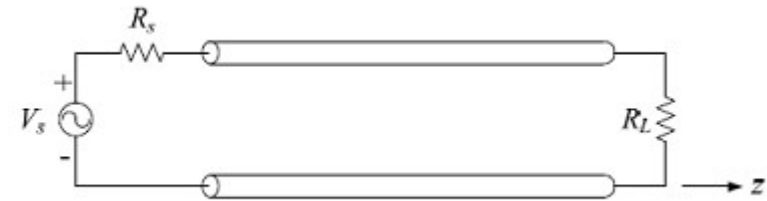
- 0D \rightarrow keskitetty komponentti
 - Muutokset tapahtuvat ”pisteessä”
- 1D \rightarrow siirtojohto
 - Muutokset tapahtuvat pituuden funktiona
- 2D \rightarrow pinta
- 3D \rightarrow väliaine, avaruus



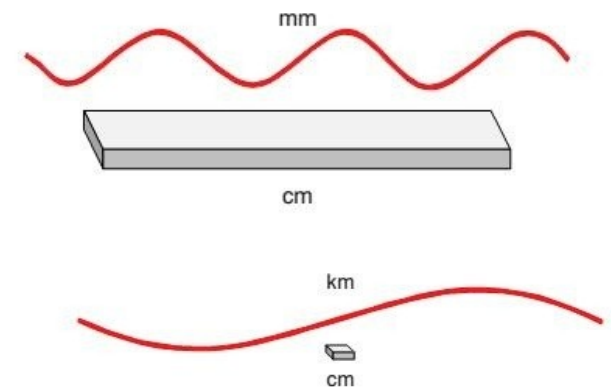
Siirtojohto

- Mikä on siirtojohto?
 - Siirtää tehoa lähteestä kuormaan
 - Käytännössä kaapeli tai mikroliuskajohto
- Miksi siirtojohto?
 - Aallonpituuden suhde komponentin kokoon

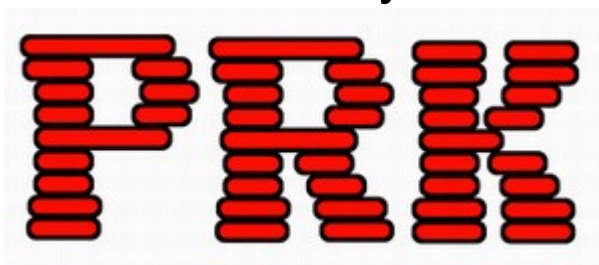
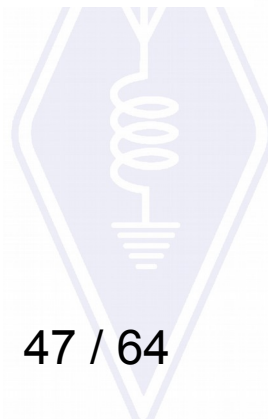
→ Jännite ja virta eivät samat komponentin molemmissa päissä
- Virran ja jännitteen suhde nimeltään ominaisimpedanssi
 - Ei liity resistanssiin eli häviöihin



http://examcrazy.com/Engineering/Electronics-Communication/Telegrapher_Equations_For_Transmission_Lines.asp

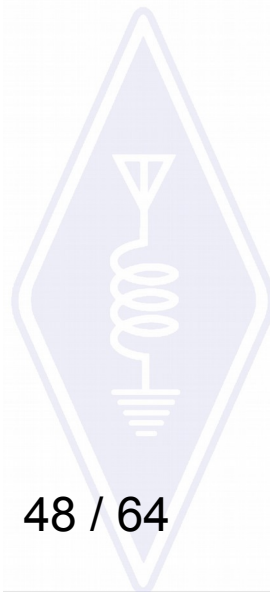
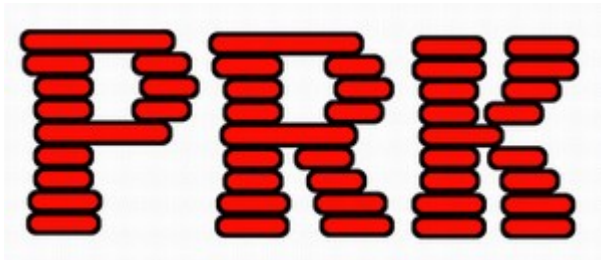


<https://www.quora.com/Why-do-we-use-distributed-elements-over-lumped-elements-in-microwave-filters>

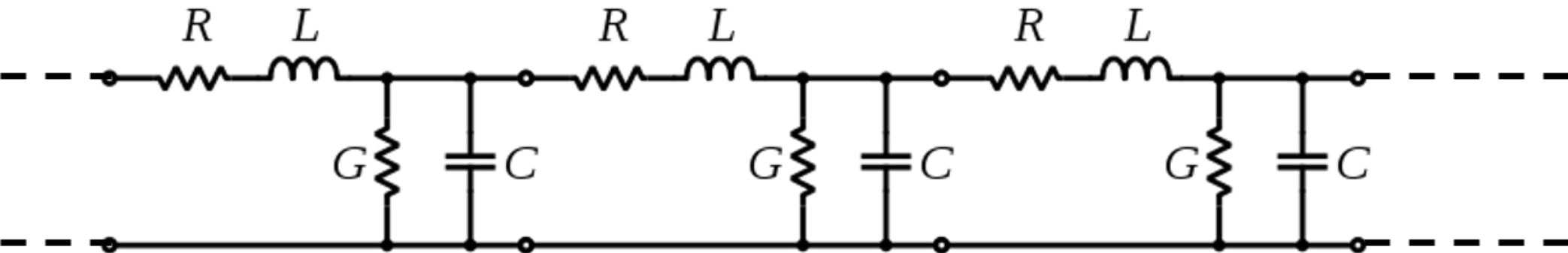


Impedanssi

- 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

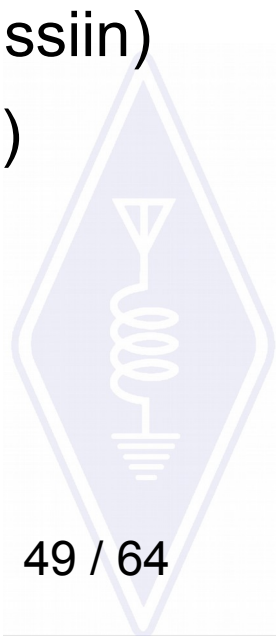
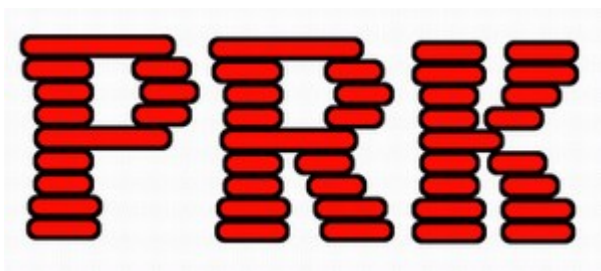


Siirtojohdon sijaiskytkentä



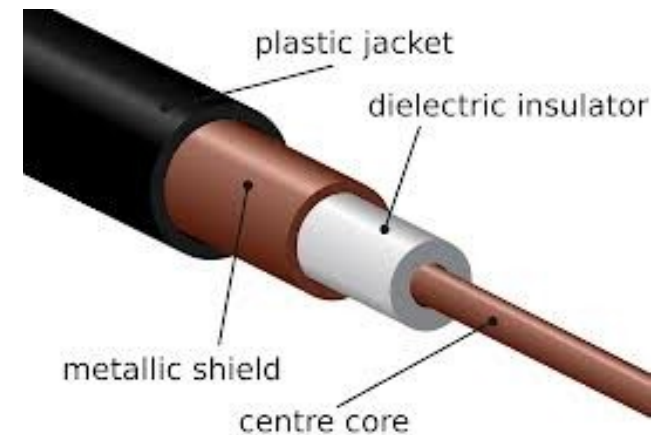
<http://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-the-transmission-line/>

- 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



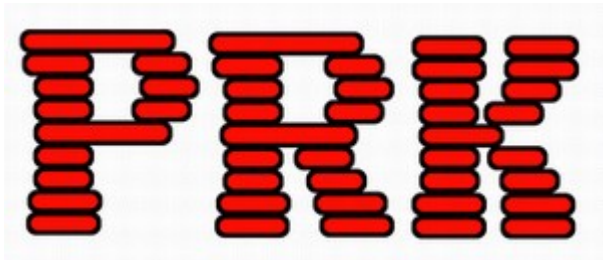
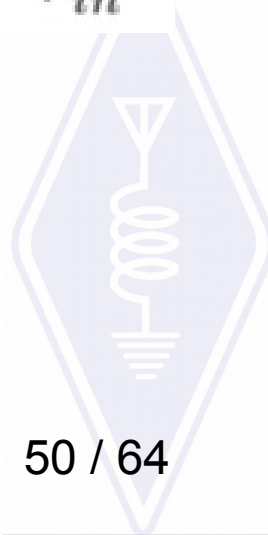
Koaksiaalikaapeli

- Ominaisimpedanssi tavallisesti 50Ω tai 75Ω
- Kentät kokonaan kaapelin sisällä
- Eristemateriaali vaikuttaa ominaisuuksiin
- Balansoimaton
- Paksuudesta voi arvioida häviöllisyyden
- Esim. rg58, $1/2''$ ja $7/8''$



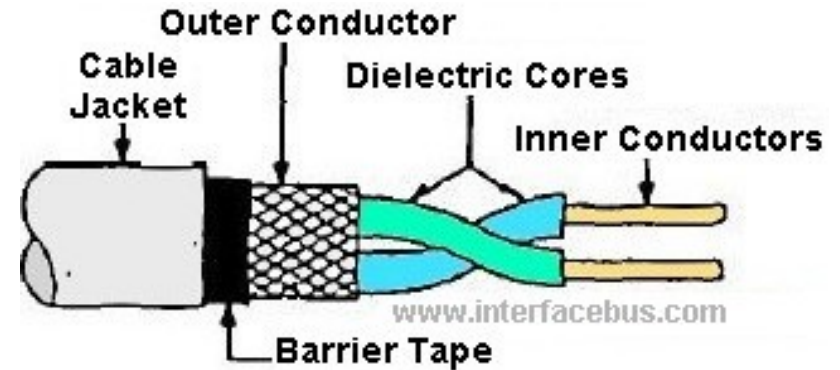
https://en.wikipedia.org/wiki/Coaxial_cable

$$Z_0 = \frac{V}{I} = \frac{\sqrt{\mu}}{2\pi} \frac{1}{\epsilon} \ln\left(\frac{r_{out}}{r_{in}}\right)$$

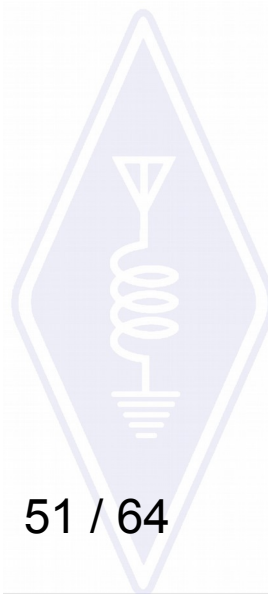
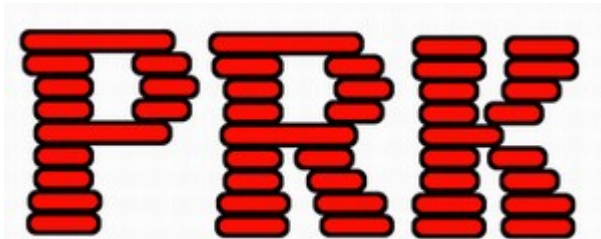


Parikaapeli

- 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 suojattua tai suojaamatonta

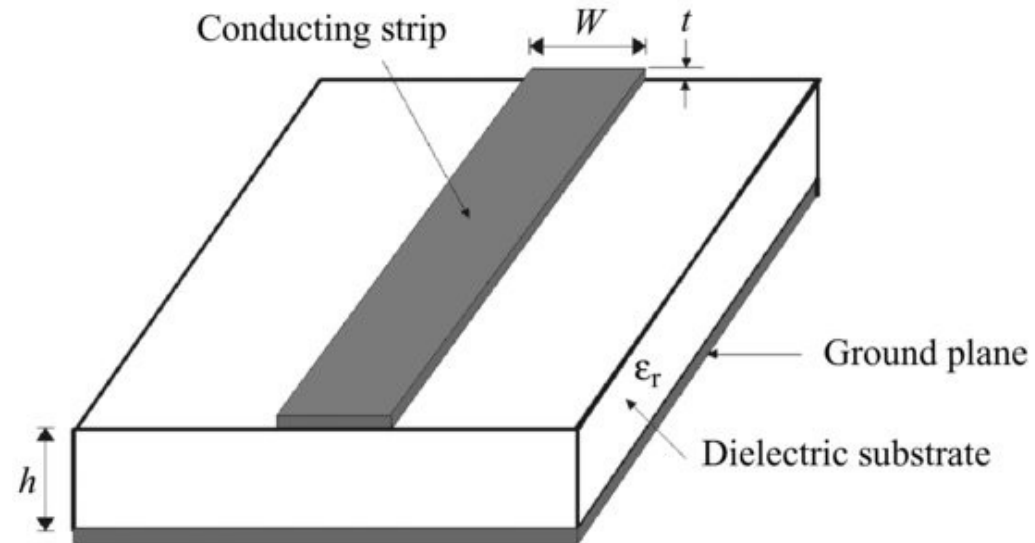


<http://www.interfacebus.com/Glossary-of-Terms-twisted-pair-cable.html>

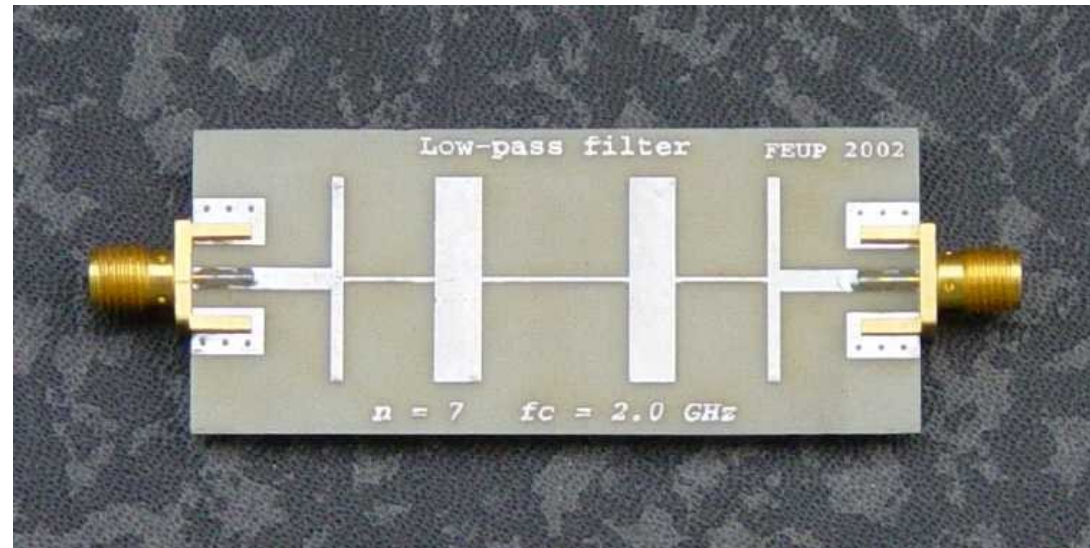


Mikroliuska

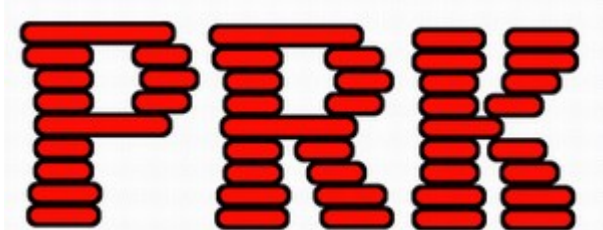
- Liuskan leveys & paksuus, ja substraatin paksuus & permittiivisyys määräävät impedanssin
- Hajakapasitanssit täytyy ottaa huomioon esim. mutkissa ja päissä
- Mikroliuskalla voi korvata muita piirejä
 - UHF ja ylöspäin



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



<https://paginas.fe.up.pt/~hmiranda/etele/microstrip/> 52 / 64

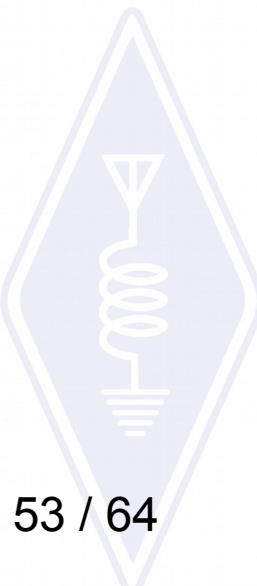
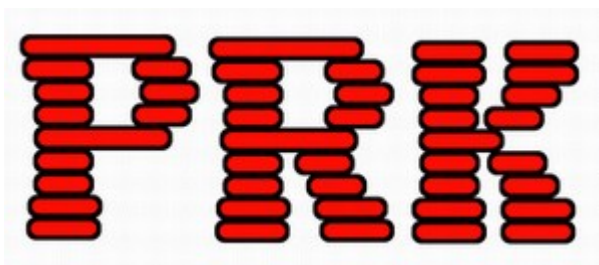


Aaltoputki

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

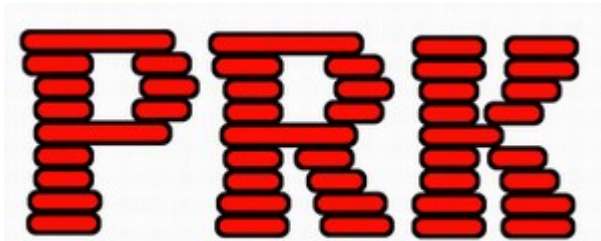
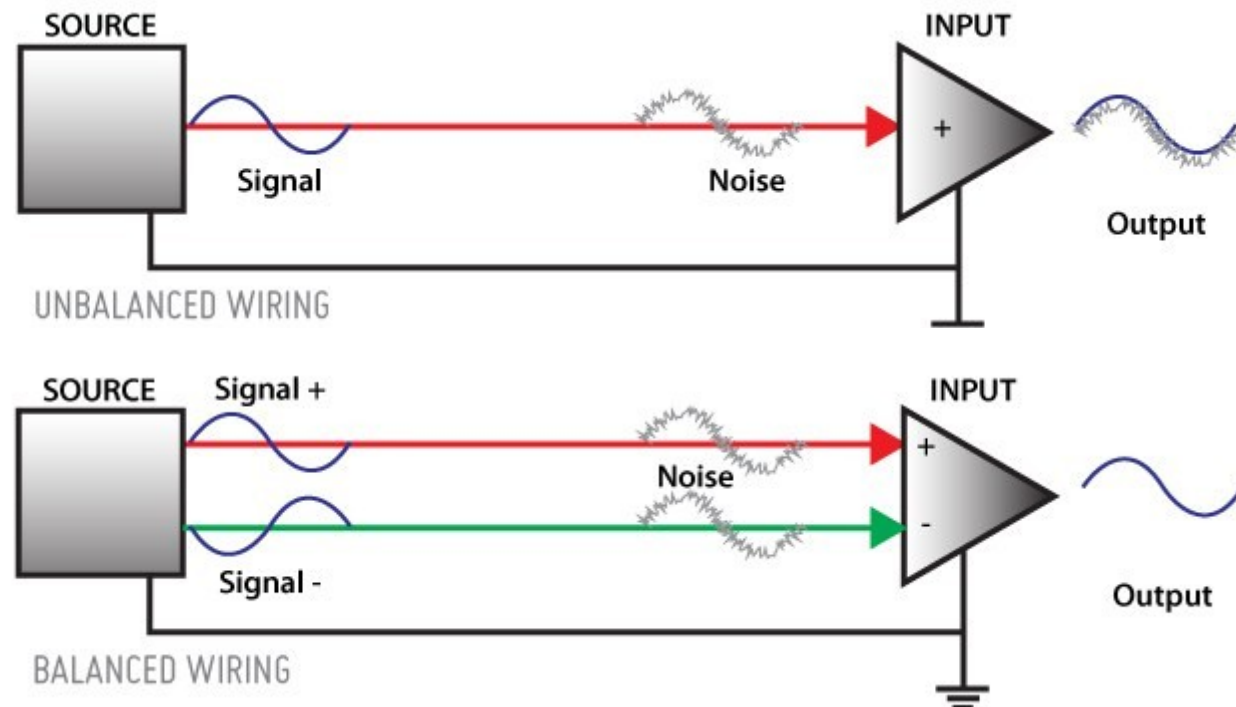


<http://www.atmmicrowave.com/waveguide/adapter/>



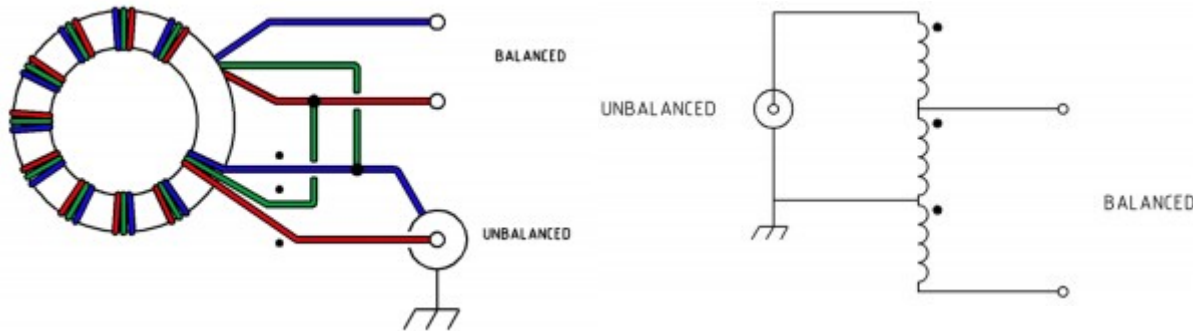
Balansoitu vs. balansoimaton

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



Balansoidusta balansoimattomaksi

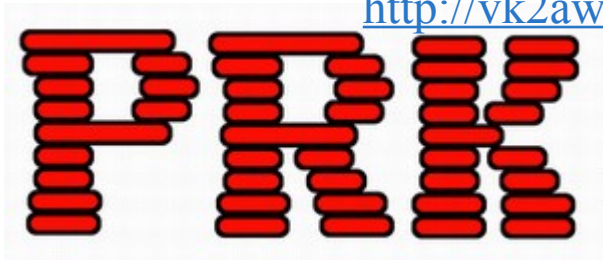
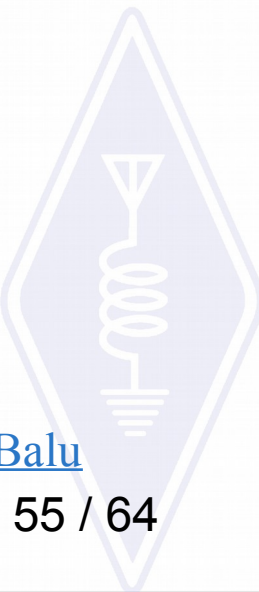
- Balun = **B**alanced to **U**nbalanced
 - Esim. balansoimattoman syöttöjohdon ja balansoidun antennin/syöttöjohdon välissä
- Estää vaippavirrat koaksiaalikaapelin pinnalla
- Toimii muuntajana. Usein 1:1, 1:4 tai 1:9 suhde.



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



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



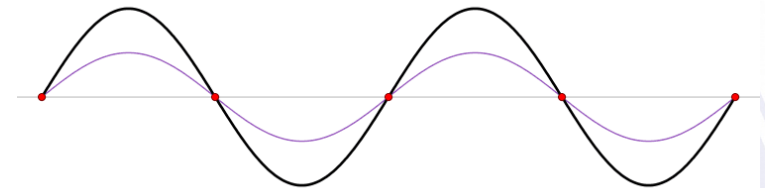
Sovitus

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

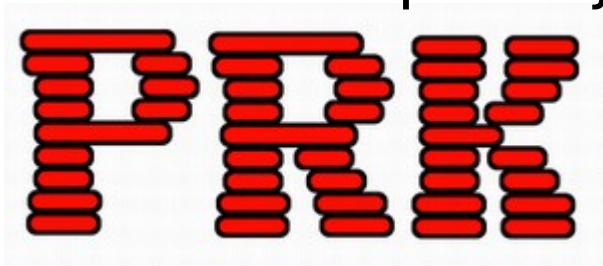
$$\rho = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

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

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



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?"

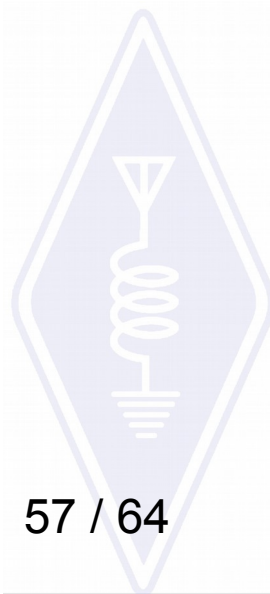
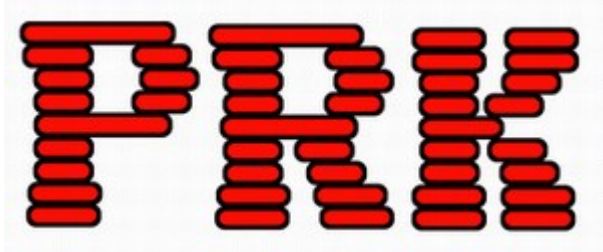
$$SAS_{ant} = 2 \rightarrow \rho = \frac{SAS_{ant} - 1}{SAS_{ant} + 1} = 1/3 \quad (1)$$

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

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

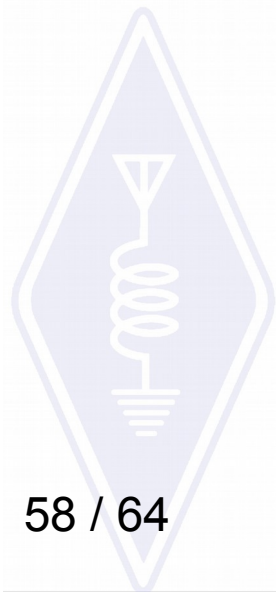
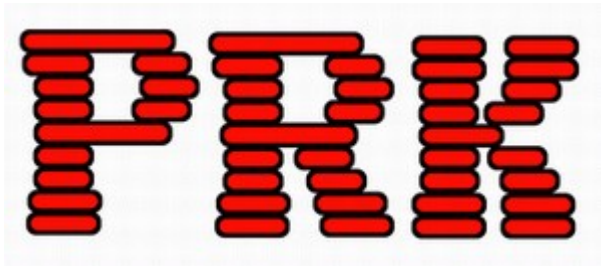
$$SAS_{in} = \frac{V_{in} + V_{refl}}{V_{in} - V_{refl}} = \frac{1 + 0,21}{1 - 0,21} = 1,53 \quad (4)$$

- Vaimennin välissä "parantaa" sovitusta → resistiivinen sovitus



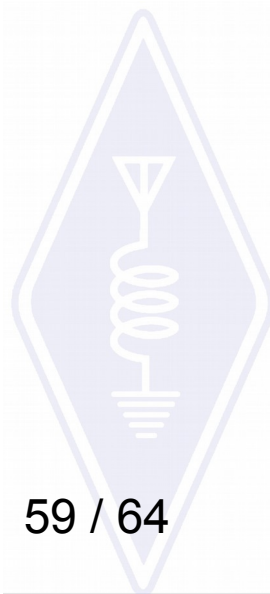
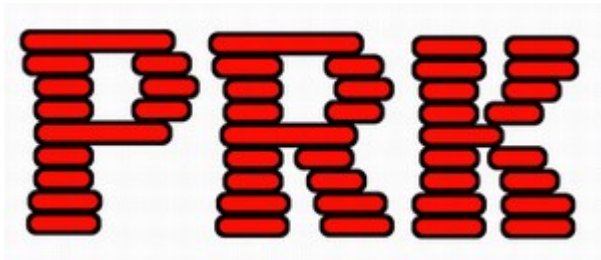
Esimerkki

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



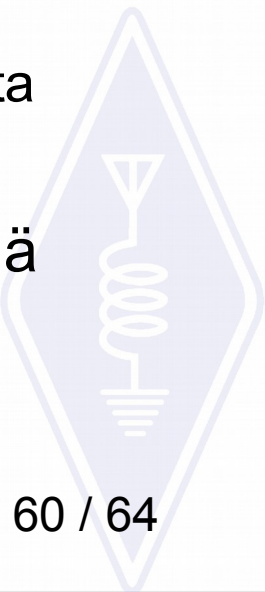
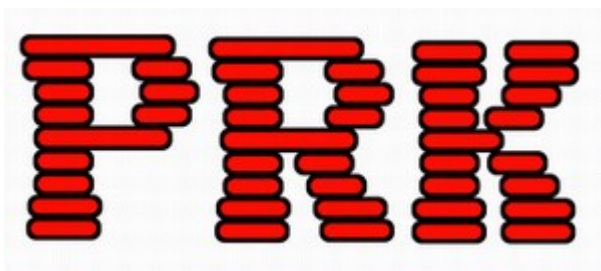
Sovitus ja hyötysuhde

- 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



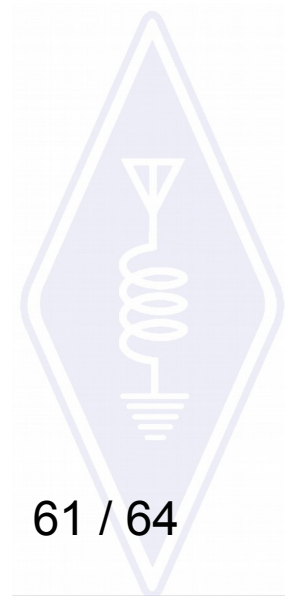
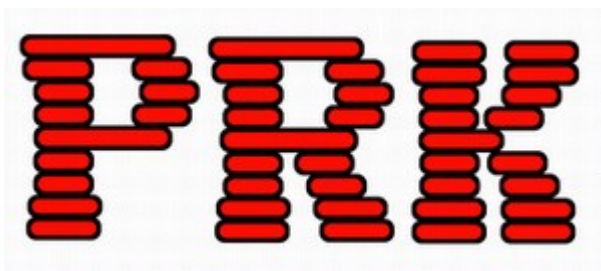
Antennin sovitus

- 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
 - Tehty jo kaupassa
- 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
 - Normaali ja/tai vulkanoituva teippi



RF-liittimet (2/3)

	Impedanssi	Taajuusalue	Tehonkesto	Koko	Muuta
N-liitin	50 Ω	< 1 GHz	Satoja watteja	Iso	Yleisliitin
UHF-liitin	50 Ω	< 30 MHz	Pari kilowattia	Iso	ns. "lukko-banaani"
BNC-liitin	50/75 Ω	< 4 GHz	Kymmeniä watteja	Keskiverto	Nopea kiinnittää → Näppärä testiluihin ja mittalaitteisiin



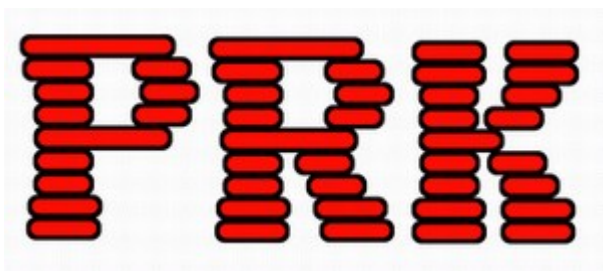
https://en.wikipedia.org/wiki/N_connector



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



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



RF-liittimet (3/3)

	Impedanssi	Taajuus alue	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



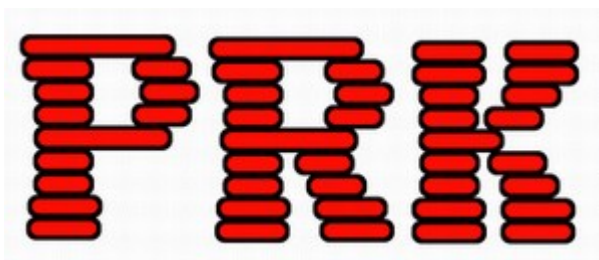
https://en.wikipedia.org/wiki/SMA_connector



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



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



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

