



Antennit ja syöttö- johdot

OH3NE:n radioamatöörikurssi
Tiiti Kellomäki, OH3HNY



- Desibeli
- Aallonpituus
- Siirtojohdot, SWR eli SAS
- Antennien ominaisuuksia
- Yleisiä antennoja

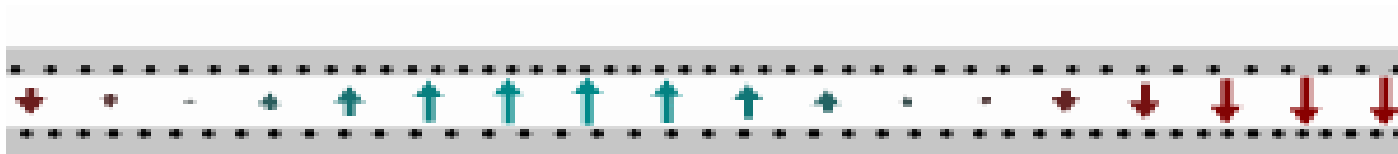
Aallonpituus

- Aallonpituus = valon nopeus / taajuus:
299 792 458 m/s / 434,950 MHz
- Helpommin pysyt mukana desimaalipilkun paikassa, kun lasket
$$\text{aallonpituus (m)} = 300 / \text{taajuus (MHz)}$$
- Laske aallonpituus! 435 MHz, 28 MHz...
- Laske taajuus! 80 m, 2 m...

Siirtojohdot

Siirtojohdot

- RF-aallonpituus on melko lyhyt (useimmille radioamatööreille 80 metristä 23 cm:iin, taikka millimetrejä). Johdot ovat siksi pitkiä aallonpituuteen nähden.
- Jännitetaso johdolla vaihtelee nopeasti sekä ajan että paikan suhteen.
- Useimpia johtoja pitääkin ajatella siirtolinjoina.

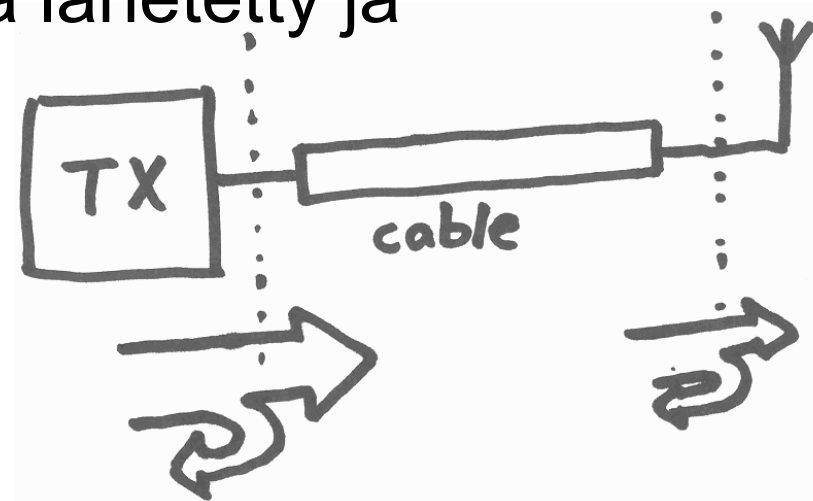


Ominaisimpedanssi

- Ominaisimpedanssi kertoo johdolla etenevän jännitteen suhteen virtaan.
- 50-ohmisella johdolla yksi voltti aiheuttaa 20 milliampeerin virran.
- Tämä impedanssi ei liity mitenkään häviöihin.
 - Se liittyy johdon kapasitanssiin ja induktanssiin.
- Radioamatöörit käyttävät 50-ohmista johtoa. Kaapeli-tv on 75-ohminen.

Epäsovitus

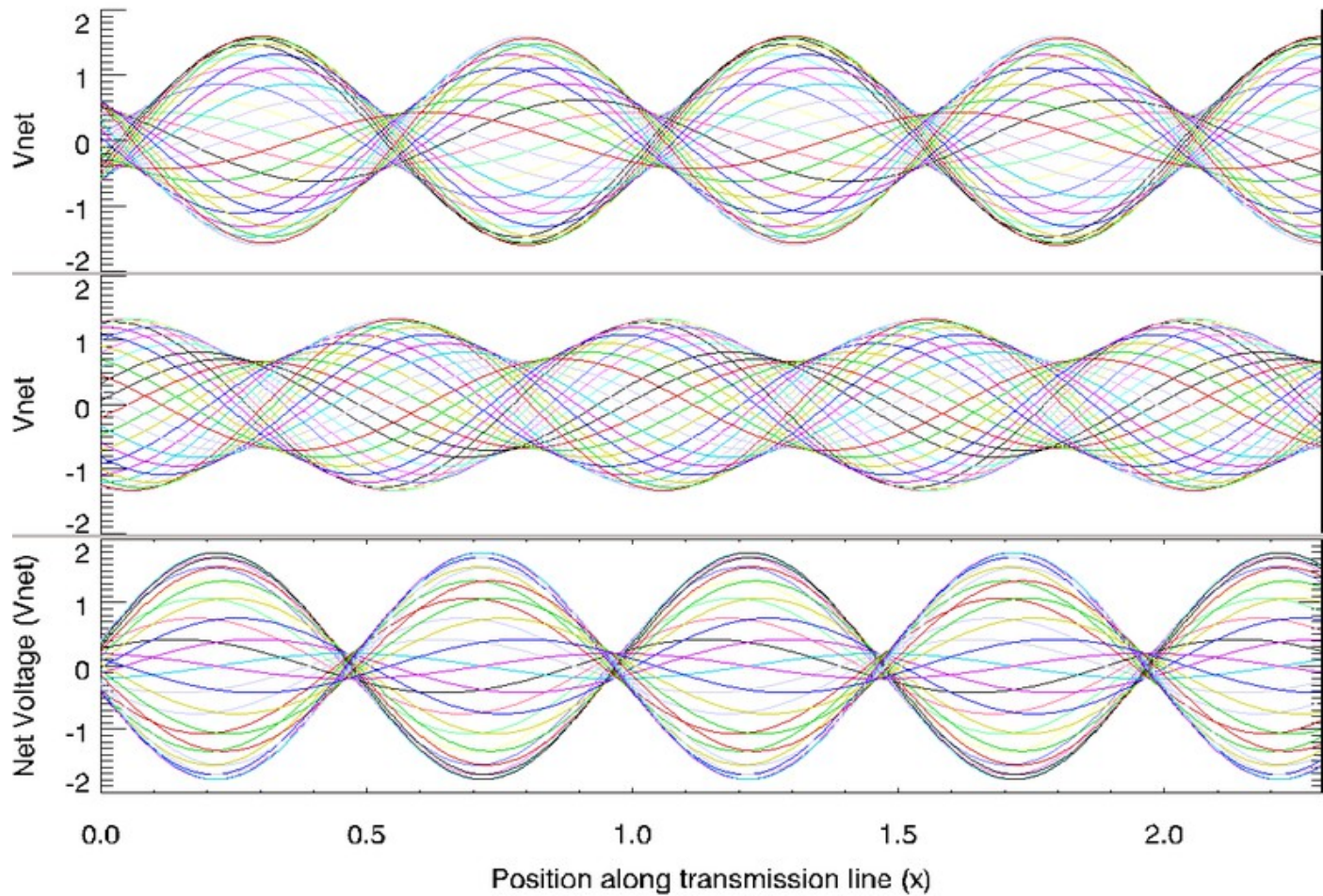
- Koko järjestelmässä pitäisi olla sama ominaisimpedanssi: lähettimen, johdon ja antennin pitäisi kaikkien olla 50-ohmisia. Jos näin ei ole, teho ei siirry kunnolla.
- Tehoa heijastuu jokaisesta impedanssiepäjatkuvuudesta.
- Joissakin paikoissa johdolla lähetetty ja heijastunut jännite summautuvat ja joissakin kohdissa heikentävät toisiaan. Muodostuu kylmiä ja kuumia pisteitä.



Seisovan aallon suhde

$SAS = SWR = VSWR$

- Seisovan aallon suhde on johdolle muodostuneiden “kuuman” jännitemaksimien ja “kylmän” minimien suhde.



Wikimedia
commons, author:
Interferometrist.
Creative Commons
Attribution-Share
Alike 4.0
International.
VSWR: 4, 2, 9.

Seisovan aallon suhde

$$SAS = SWR = VSWR$$

- Seisovan aallon suhde on johdolle muodostuneiden “kuuman” jännitemaksimin ja “kylmän” minimin suhde.
- $SWR = 1$ tarkoittaa, että järjestelmässä ei ole heijastuksia ollenkaan.
- $SWR = 2$ tarkoittaa, että 10 % tehosta heijastuu.
- $SWR = 3$ tarkoittaa, että 25 % tehosta heijastuu.
- $SWR = \infty$ tarkoittaa, että teho heijastuu kokonaan takaisin eikä kuormaan siis mene mitään.
- Heijastusten välttämiseksi voidaan käyttää sovituspiiriä, jolla saadaan lähetin näkemään 50 ohmin kuorma.

$$SWR = \frac{1 + \left(\frac{p}{p_0} \right)}{1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)} = \frac{\text{syötetty} + |p| \text{ verran heijastunut jännite}}{\text{syötetty} - |p| \text{ verran heijastunut jännite, kun heijastunut jänniteaalto on vastakkaisessa vaiheessa syötettyyn nähden}}$$

Seisovan aallon suhde – esimerkkejä

- 50 ohmin koaksiaali ja 75 ohmin dipoli perässä:
 $SAS = 75/50 = 1,5$
 - Pieni SAS, hyvin voi käyttää dipolia suoraan 50 ohmin järjestelmässä
- 300 ohmin nauhajohto ja 75 ohmin dipoli:
 $SAS = 300/75 = 4$ (aika iso SAS)
- 5 ohmin antenni ja 50 ohmin järjestelmä:
 $SAS = 5/50 = 10$ (iso!)
 - Käytä 4:1-muuntajaa: saadaan 20 ohmin ulostulo ja
 $SAS = 20/50 = 2,5$ (hyväksyttävissä)

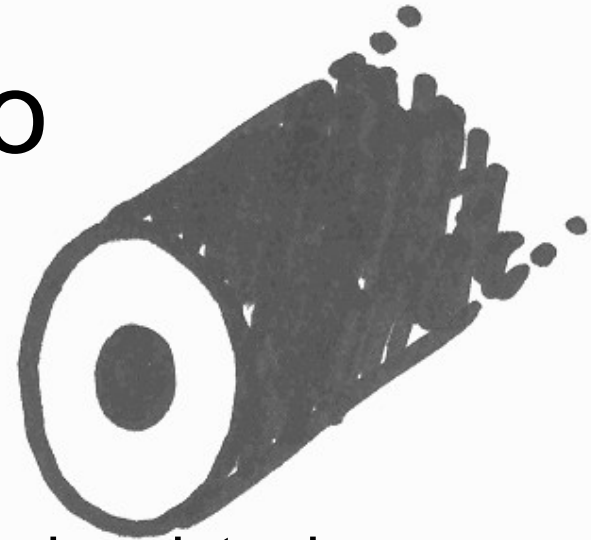
$$p = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad \text{ja} \quad SWR = \frac{1 + |p|}{1 - |p|}$$

sievenee joskus:

$$SWR = \frac{Z}{Z_0} \quad \text{tai} \quad SWR = \frac{Z_0}{Z}$$

(muttei aina)

Koaksiaali johto



- Koaksiaali johdossa on kaksi sisäkkäistä putkea.
- Johtimien välissä on eristeainetta.
- Impedanssi määräytyy johtimien mitoista ja eristeaineen eristevakiosta (ϵ_r).
- Nopeuskerroin: kuinka nopeasti aalto etenee johdossa (x kertaa valonnopeus), määräytyy suoraan ϵ_r :stä.
- Kaikki sähkö- ja magneettikentät pysyvät johdon sisällä.
- Lähellä olevat metalliesineet tai taivutus eivät vaikuta koaksiaalilin ominaisuuksiin.
- 50 ohmin koaksiaali johto on kaikkein yleisin radioamatöörien käyttämä syöttöjohto.

Koaksiaalijohto

- Koaksiaalijohto on melko häviöllistä, koska eriste on yleensä häviöllistä.
- Topologiaeroja:
 - Yksi-, kaksi- ja kolmevaippaiset koaksiaalit
 - Kiinteä vai punottu keskijohdin
 - Folio-, sukka- vai kurkkutorvityypin ulkojohdin?
- RG-58 on halpaa ja välttää HF:lle. Häviöt 4 dB/100 m @ 10 MHz, 16 dB/100 m @ 100 MHz. Nopeuskerroin 0,66.
- RG-223: 13 dB/100 m @ 100 MHz.
- RG-213 FOAM: 4 dB/100 m @ 100 MHz.
- Muista myös laadukkaat liittimet! Kiina vs. Suhner.

Parijohdot: nauhajohdot ja avojohdot

- Parijohdon sähkö- ja magneettikentät leviävät johdon ulkopuolelle, koska siinä ei ole suojaavaa vaippaa.
- Parijohdot säteilevät, eikä niitä voi käyttää ollenkaan HF-alueen yläpuolella (30 MHz).
- Parijohdot ovat vähemmän häviöllisiä kuin koaksiaali, ja siksi niitä käytetään hankalissa impedanssisovituksissa.
- Metalliesineet ja peltikatot muuttavat parijohdon ominaisuuksia.
- Nauhajohdossa eli lapamadossa (twin lead) kaksi johtoa on upotettu muovieristeeseen. Sen ominaisimpedanssi on yleensä 240 tai 300 ohmia.
- Avojohto (ladder line) on käytännössä ilmaeristeistä ja yleensä 450-ohmista.





"Jotain lankaa" syötetään avojohdolla,
kuva: ARRL

Balansoitu vai balansoimaton?

- Jos toinen puoli johdosta on ”maa”, johto on epäsymmetrinen (unbalanced).
- Esimerkiksi koaksiaalijohto on epäsymmetristä.
- Jos taas johdon molemmat puolet ovat samanlaiset, johto on symmetrinen (balanced).
- Parijohdot ovat balansoituja.
- Symmetrisiä antennoja pitää syöttää symmetrisellä syöttöjohdolla tai käyttää symmetrintielintä eli balunia, bal(anced-to-)un(balanced)
 - Miksi? Esimerkkikuva myöhemmin.



Antennit

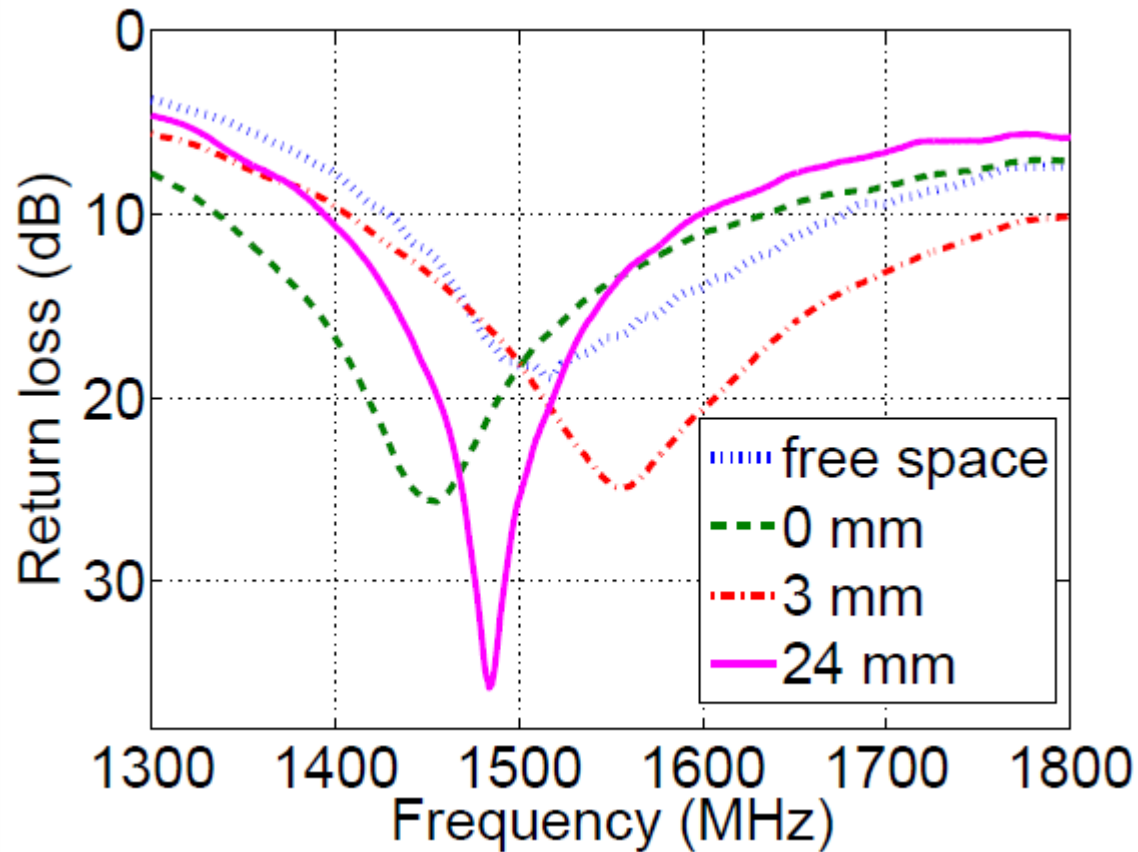
Antennit

- Antenni on järjestelmän se osa, joka muuttaa virtaa ja jännitettä sähkömagneettiseksi säteilyksi tai päinvastoin.
- Antenni toimii samalla tavalla riippumatta siitä, käytetäänkö sitä lähetyksessä vai vastaanotossa.
- Antennin polarisaatio tarkoittaa, minkä suuntaisen sähkökentän se tuottaa.
 - Lähettäjällä ja vastaanottajalla pitäisi olla sama polarisaatio, esim. vaaka+vaaka.

Antenni kuormana

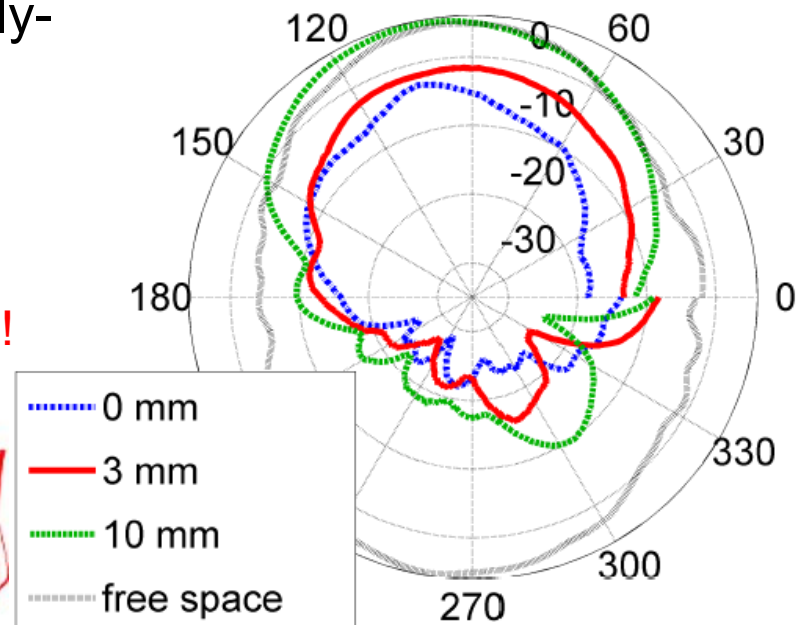
- Kun antenni on kiinni lähettimessä, se näyttää kuormalta, impedanssilta – kuin vastukselta.
 - Tämä impedanssi liittyy häviöihin, erityisesti tehon katoamiseen säteilynä. Vrt. siirtojohdon ominaisimpedanssi, joka puolestaan ei liity häviöihin.
- Antennin sisäänmenoimpedanssi ja siten sen SWR (SAS) riippuu voimakkaasti käytetystä taajuudesta.
- Resonanssitaajuus on $\sim$ se taajuus, jolla antenniin saa parhaiten tehoa “sisään”.
 - Oikeasti resonanssi on silloin, kun reaktanssi on nolla.
- Antennin kaistanleveys voidaan määritellä esimerkiksi SWR:n avulla: antennista saa heijastua vain vähän tehoa takaisin – eli SWR:n pitää olla parempi kuin 2 (tai 3).

Antenni kuormana



Antennien ominaisuuksia

- Säteilykuvio näyttää antennin säteilemän teho eri suuntiin.
- "Isotrooppinen antenni" säteilee joka suuntaan yhtä paljon.
- Antennin suuntaavuus kertoo, miten paljon antenni säteilee maksiminsa suuntaan, yleensä verrattuna isotrooppiseen anteeniin (dBi).
- Suuntaavuutta voidaan verrata myös puolialtrodipoliin ($0 \text{ dBd} = 2 \text{ dBi}$).
- "Lähtökulma" tarkoittaa maksimisäteily-suunnan korkeuskulmaa. HF:llä
"matala lähtökulma" → DX,
"korkea lähtökulma" → kotimaa.
- Etu-takasuhde:
vahvistus eteenpäin
miinus
vahvistus taaksepäin
(dB)





Antennien ominaisuuksia

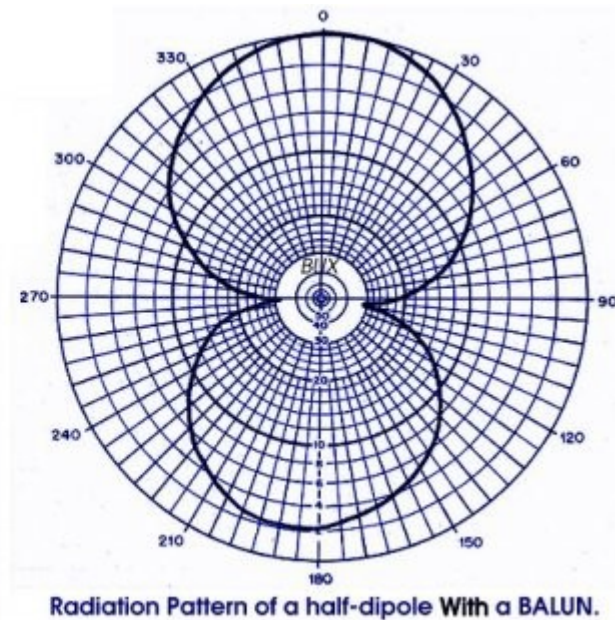
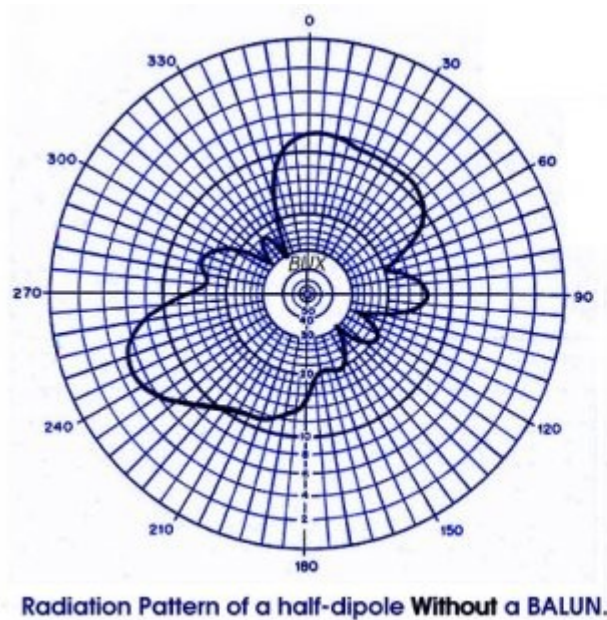
- Vahvistus (gain) on suuntaavuus kerrottuna hyötysuhteella.
- Myös vahvistuksen yksikkö on dBi tai dBd.
- (Säteily)hyötysuhde kertoo, miten paljon syötetystä tehosta päätyy säteilyksi. Jos hyötysuhde on 73 %, hukkuu 27 % lämmöksi, koska antenni on häviöllinen.
- Jos suuntaavuus on 10 dBd ja hyötysuhde 50 %, vahvistukseksi saadaan $10 \text{ dBd} - 3 \text{ dB} = 7 \text{ dBd}$.

Dipolit

- Puoliaaltodipoli on hyvin yksinkertainen antenni.
- Dipolia käytetään yleisesti HF:llä.
- Dipoli on balansoitu. Sitä pitää syöttää balunin kanssa, muuten syöttöjohto saattaa säteillä (ja vastaanottaa, yleensä häiriöitä!).
- Puoliaaltodipolin sisäänmenoimpedanssi on 73 ohmia.
 - Maan lähellä vähemmän.
 - Sen voi huoletta kytkeä 50 ohmin radioon.
- Kaistanleveys riittää mihin tahansa HF-alueeseen.
- Kotimaan kusoihin dipoli matalalle, DX:iä varten ylös.
- Vahvistus on 2 dBi = 0 dBd (aika pieni).
- Dipoli voi myös olla kokoaallon mittainen tai 2...

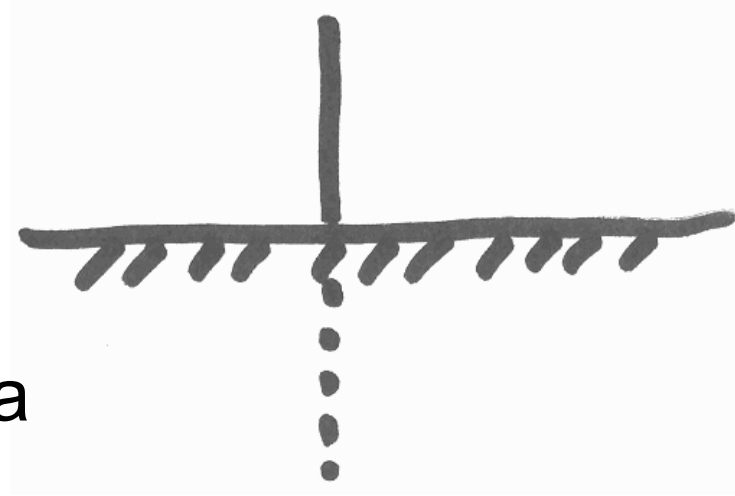
Dipolit

- Käytä syötössä balunia!!



- Varsinkin, jos aiot syöttää dipolilla jotain hienoa antennia!

Monopolit



- Monopoli on puolikas dipolia ja maataso.
- Monopoli ja sen peilikuva muodostavat dipolin.
- Yleisiä mittoja ovat $\lambda/4$ (vahv. 0 dBd), $5\lambda/8$ (vahv. 2 dBd), $\lambda/2$ ja yksi λ .
- Mitä pidempi monopoli, sitä isompi vahvistus.
- Monopoleja käytetään HF:llä (yläbandeilla), V/UHF:llä ja käsiradioissa.
- Monopoli on balansoimaton. Maataso kytketään koaksiaalilin vaippaan. Monopolin voi myös tehdä koaksiaalista ja parista metallitikusta.

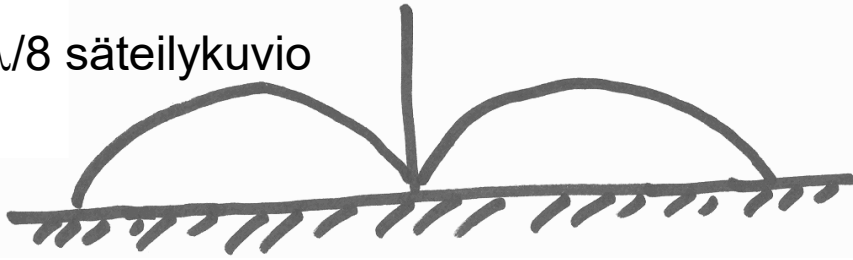
Tripolit

- Tripoli on luonnollisesti kolmihaarainen antenni, jonka viikset muodostavat "mersun merkin".
- Tripolia syötetään kolmilankaisella johdolla, vrt. kolmivaihesähköjärjestelmä.
 - Voidaan syöttää myös koaksiaalilla, jos kolmivaiheistin laitetaan syöttöpisteeseen.
- Tripolilla on yksinkertaista muodostaa pyörivä polarisaatio.
- M. Fletcher OH2FM: "Uudenlainen HF-antenni: Tripoli", RA 10/2015 s. 2–5.



Mono- ja dipolien kuvia

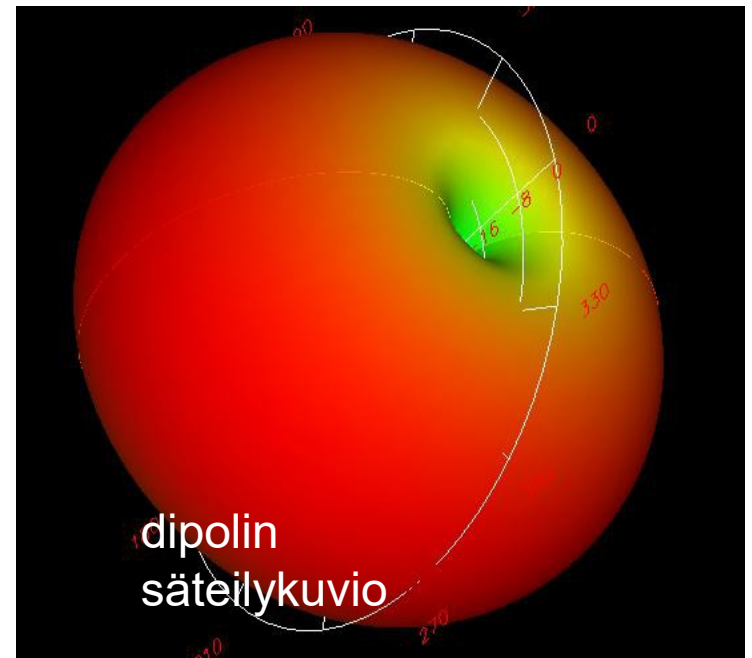
$5\lambda/8$ säteilykuvio



$\lambda/4$ monopolin säteilykuvio
(puolikas dipolin säteilykuviosta)



taittodipoli



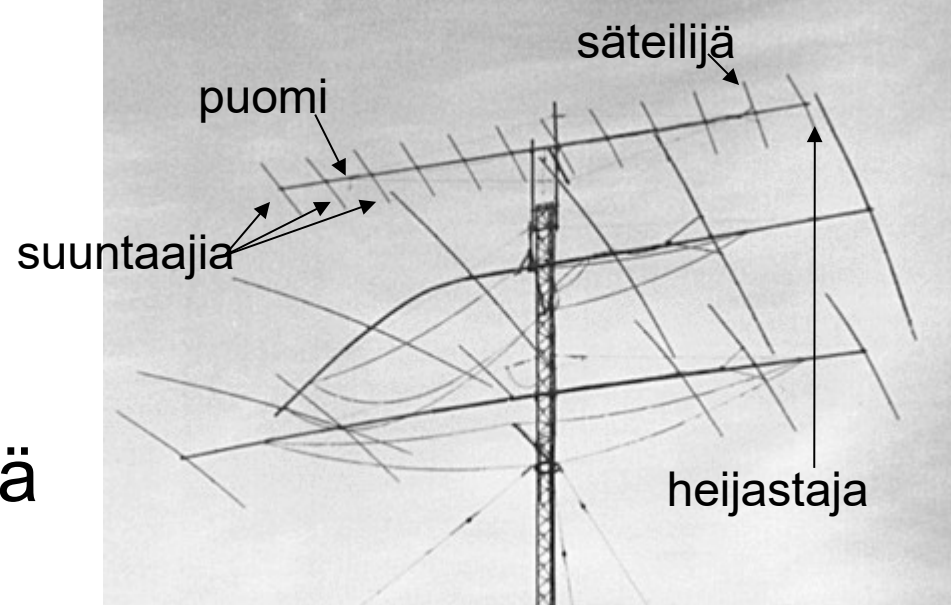
dipolin
säteilykuvio



Silmukat eli luupit

- Yleisin silmukka-antenni on yhden aallon silmukka.
- Silmukka säteilee reiän suuntaan.
- Silmukoita käytetään HF:llä. Ne ovat yleensä maan suuntaisia (vrt. aitaus) ja melko lähellä maata. Säteilykuvio onkin nyt horisonttia kohti maan takia.
- Silmukka voi olla minkä muotoinen vain.
- Kokoaallon silmukalla on pieni vahvistus, 1 dBd. Silmukka on balansoitu.

Yagit

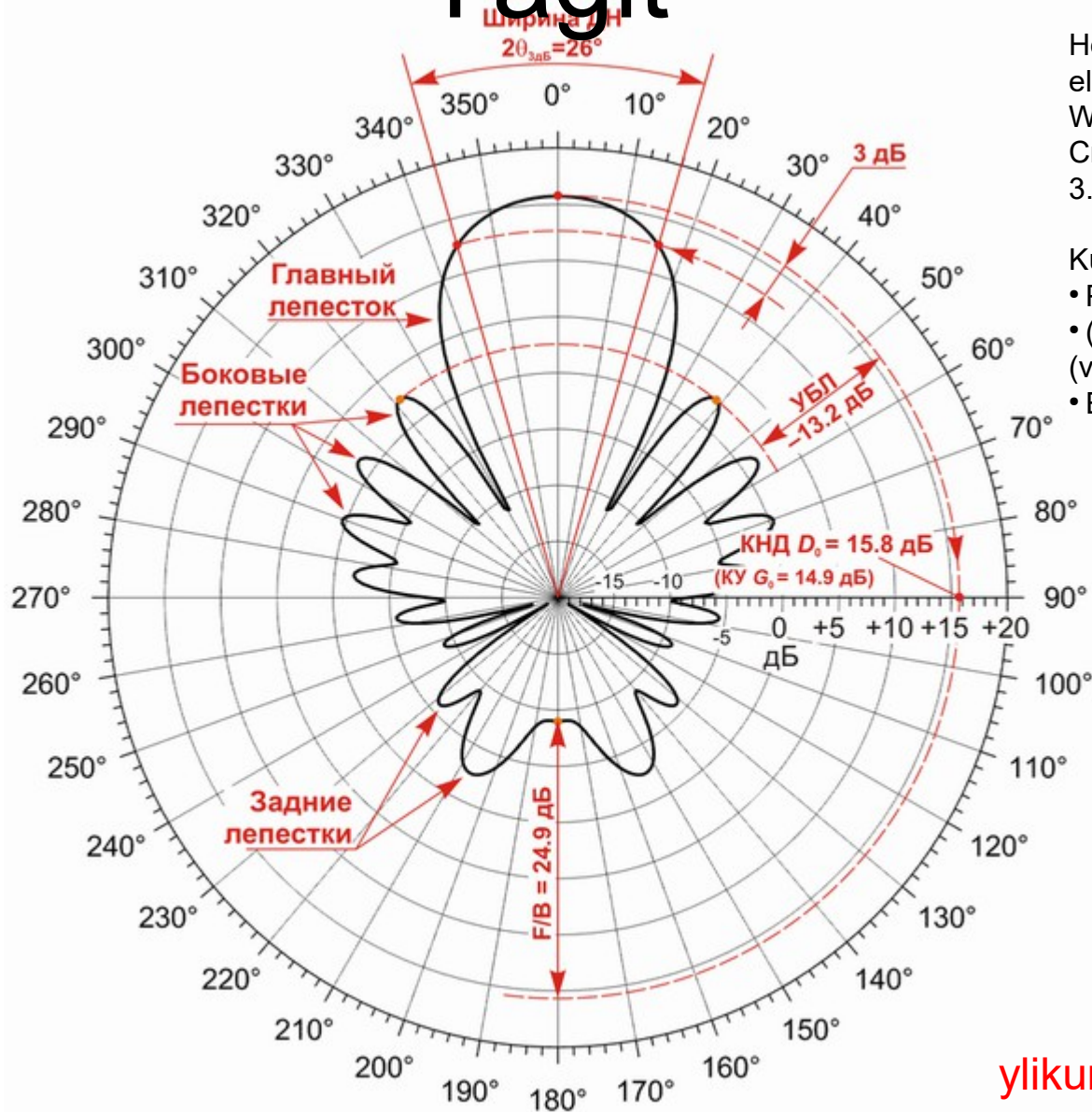


- Yagi-Uda-antenni on dipoli, jonka ympärillä on muita dipoleita.
- Puoliaaltodipoli syötössä säteilee. Sen takana on pidempi heijastaja ja edessä yksi tai useampia suuntaajia.
- Yagi on suunta-antenni. Sillä on vahvistusta 2–20 dBd.
- Vahvistusta voi lisätä lisäämällä elementtejä.
- Mitä isompi antenni, sitä enemmän vahvistusta.
- Etu-takasuhte iso, esim. 20 dB.

ylikurssia!



Yagit



Horizontal radiation pattern of a 15-element Yagi antenna in free space. Wikimedia commons, author: Rw3fo. Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported

Kuvaan merkittyjä:

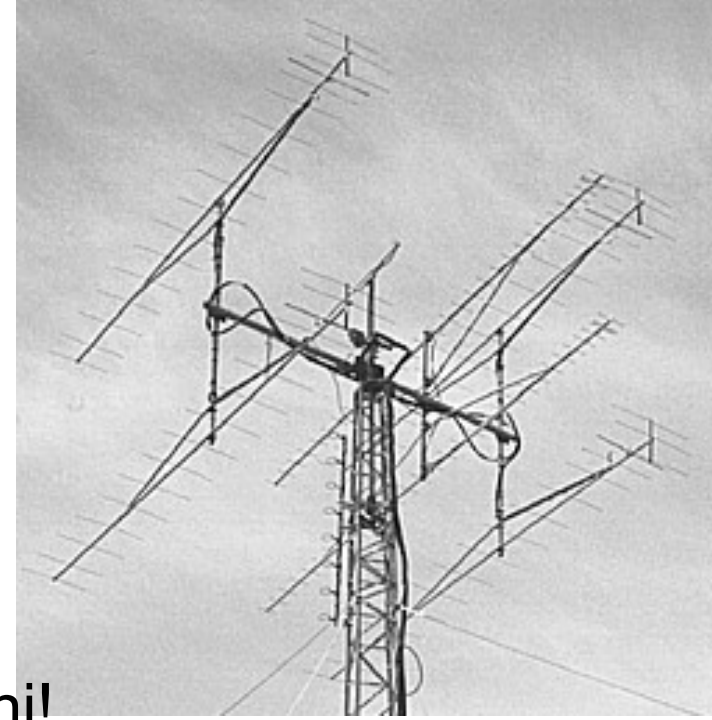
- Пääkeilan 3 дБ keilanleveys: 26 ast.
- (Suurimman) sivukeilan taso: -13,2 dB (verrattuna pääkeilaan)
- Etu-takasuhde 24,9 dB

ylikurssia!



Yagit

- Yageja käytetään HF:llä 14 MHz:n yläpuolella ja 1200 MHz:iin asti.
- Yagi pitää suunnitella kunnolla, erityisesti syöttö.
 - Gamma, hairpin. Muista se baluni!
- Kaksi tai useampia yageja voidaan kerrostaa eli "stäkätä"
 - Jos ne laitetaan vierekkäin, keila kapenee vaakasuunnassa,
 - päällekkäin kapenee pystysuuntainen keila.
 - Periaatteessa keila kapenee puoleen kun antennien määrä tuplaantuu → 3 dB gainia.



ylieurssia!





Quadit

- Quadi on kuin yagi, mutta sen elementit ovat silmukoita dipolien sijasta.
- Eri taajuuksien (eri kokoisia) silmukoita voi laittaa sisäkkäin, eivätkä ne häiritse toisiaan.
- Quadeja käytetään HF:llä ja VHF:llä.
- Vahvistusta 4–10 dBd.
 - N-elementtisellä quadilla on enemmän vahvistusta kuin N-elementtisellä yagilla, koska silmukalla on vahvistusta dipoliin nähden.
- Hallilassa on iso quadi.



Heliksit



- Kaksi tapaa käyttää heliksiä:
 - jos säde on aallonpituuksina pieni, heliksi näyttää dipolilta tai monopolilta,
 - jos säde on iso, heliksi säteilee osoittamaansa suuntaan ja ympyräpolarisaatiossa.
- Ensimmäistä käytetään käsiradioissa, jälkimmäistä UHF:stä ylöspäin esimerkiksi satelliittityöskentelyssä.

ylikurssia!



Heijastinantennit

- Tosi isoja vahvistuksia haluttaessa voidaan käyttää heijastinantenneja.
- Heijastimen halkaisijan pitää olla useita aallonpituuksia.



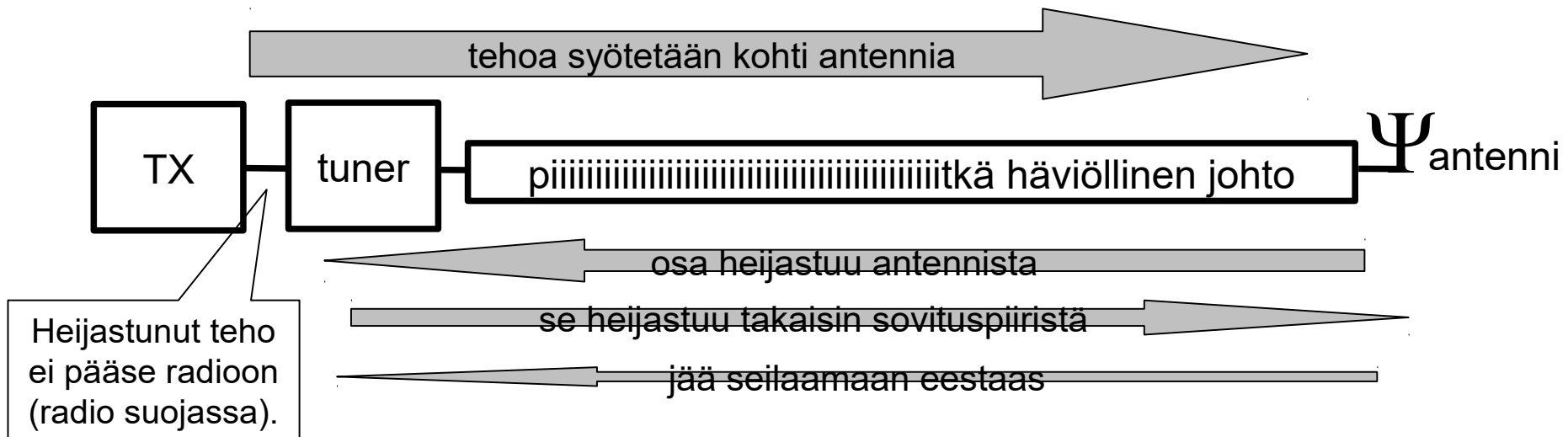
- Heijastinantenneja käytetään mikroaaltotaajuuksilla, SHF.
- Vahvistusta voidaan saada esimerkiksi 30 dBd.

Erikoisempia antenneja

- **OCFD** = off-center fed dipole
 - Monialueantenni HF:lle. Impedanssi ei ole millään bandilla täydellinen 50 ohm, mutta monella bandilla kohtuullinen. Vaatii sovituslaitteen.
- **Windom**: Yhdenlainen OCFD, vaatii sovituslaitteen.
- **G5RV**: Monialueantenni HF:lle. Dipoli ja avojohtosyöttö. Toimii monilla taajuuksilla puolen aallon moninkerran mittaisena. Syötetään avojohdolla epäsovituksen vuoksi, vaatii sovituslaitteen.
- **Trappidipoli, trappiyagi**: kaistanpäästösuodattimet eli ”trapit” keskellä lankaa, korkeammalla taajuusalueella vain lyhyempi pätkä langasta käytössä. Toimii siis esim. puolialtrodipolina kahdella eri taajuusalueella.
- **Big wheel = clover leaf**
 - Kokoaallon silmukoita ”apilanlehden muodossa”.
 - Vaakapolarisaatio, ympärisäteilevä horisonttitasossa. Voidaan tehdä myös ympyräpolarisoiduksi.
 - RC-lennokkiemiesten antenni, VHF/UHF-kisakuunteluantenni.

Impedanssisovituksen idea

- Jos antenni on huonosti sovitettu syöttöjohtoon, tehoa heijastuu.
- Radion ja syöttöjohdon väliin sovituspiiri, "antenninvirityslaite" (väärä termi) eli "tuner".
 - Sovittaa (johto+antenni):n impedanssin radioon.



- Jos johto on kovin häviöllistä, teho kuluu lähinnä johdossa!

Vinkkejä tutkintoon

- Mitoitustehtäviä on aina.
 - Opettele laskemaan 300/metrit tai 300/megahertsit.
 - Lue tarkkaan, puhutaanko neljännes-, puoli- vai kokoaallon antennista.
- Dipolit ja maatasolliset neljännesaaltosäteilijät ovat tärkeitä.
 - Mitoitus!
 - Säteilykuvio: matalalla oleva dipoli säteilee yläviistoon ja toimii kotimaahan; korkealla (>neljännesaalto) oleva säteilee horisonttiin.
- Seisovan aallon suhde on aina vähintään 1.
 - Huono impedanssisovitus: $SWR > 3$ (makuasia!)

Tenttikysymys!

Rakentelet 432 MHz:n lähetinantennia. Mikä on oikea valinta?

- ? 43 cm puolიაaltodipoli
- ? 34 cm puolიაaltodipoli
- ? 43 cm $5/8$ aallon monopoli
- ? 34 cm monopoli ja maataso

Tenttivastaus!

Rakentelet 432 MHz:n lähetinantennia. Mikä on oikea valinta?

- – 43 cm puolიაaltodipoli
- + 34 cm puolიაaltodipoli
- + 43 cm $5/8$ aallon monopoli
- – 34 cm monopoli ja maataso

Kolmas tenttikysymys!

Keski-Suomessa sijaitsevalle radioamatööri-
asemalle rakennetaan 80 m puolიაaltodipoli.
Jotta se toimisi parhaiten kotimaan yhteyksissä,

- ? sen kokonaispituus on noin 21 m
- ? se on asennettava niin, että dipolin päät osoittavat itä-länsisuuntaan
- ? sen kokonaispituus on noin 42 m
- ? se on asennettava niin, että dipolin päät osoittavat pohjois-eteläsuuntaan

Kolmas tenttivastaus!

Keski-Suomessa sijaitsevalle radioamatööri-
asemalle rakennetaan 80 m puolialtrodipoli.
Jotta se toimisi parhaiten kotimaan yhteyksissä,

- – sen kokonaispituus on noin 21 m
- + se on asennettava niin, että dipolin päät osoittavat itä-länsisuuntaan
- + sen kokonaispituus on noin 42 m
- – se on asennettava niin, että dipolin päät osoittavat pohjois-eteläsuuntaan

Vastaa SASSiin!

Seisovan aallon suhde on pieni, kun

- ? syöttöjohto on mahdollisimman vähähäviöistä
- ? antennin hyötysuhde on hyvä
- ? antennielementti on mahdollisimman paksu
- ? syöttöjohdon ja antennin impedanssit ovat samansuuruiset

SASSiin vastattiin

Seisovan aallon suhde on pieni, kun

- – syöttöjohto on mahdollisimman vähähäviöistä
- – antennin hyötysuhde on hyvä
- – antennielementti on mahdollisimman paksu
- + syöttöjohdon ja antennin impedanssit ovat samansuuruiset