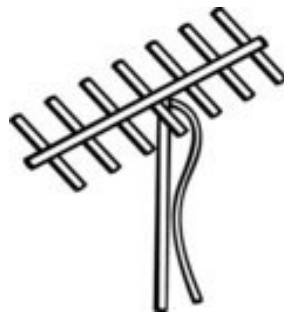


2. Antennide parameetrid

IEE2580 – Antennid ja radiolevi

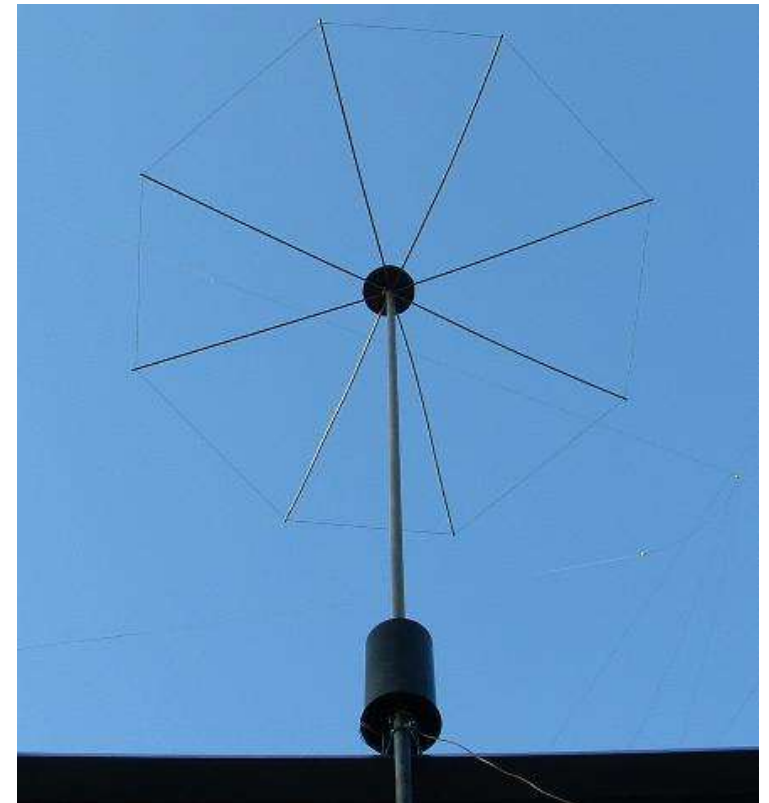
Antenn

- Antenn on seade, mis muundab vahelduva elektrivoolu elektromagnetkiirguseks ja vastupidi.
- Antenn muundab lainejuhis liikuva, suunatud laine, vabas ruumis levivaks laineks ja vastupidi.
- Antenn sobitab raadiosaatja väljundi/ vastuvõtja sisendi vaba ruumi impedantsiga.



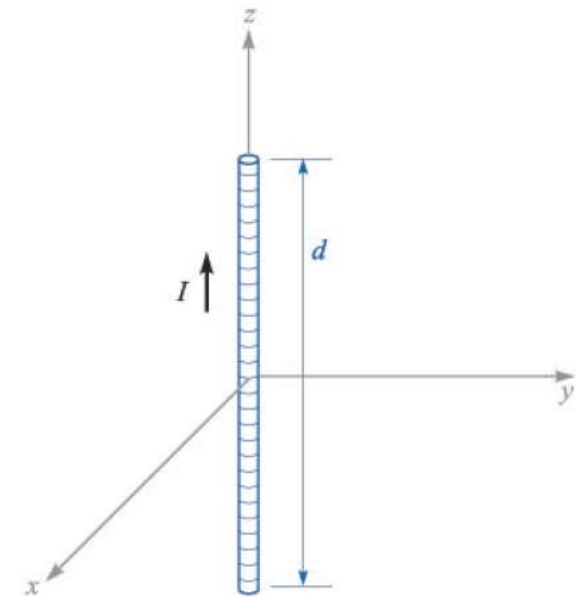
Lõpmatult väike dipool

- **Lõpmatult väike dipool** (*Infinitesimal dipole*) on väga lühikene ($d \ll \lambda$) ja peenikene juhe (raadius $a \ll \lambda$).
- Kuigi iseenesest ei ole tegemist väga praktilise lahendusega saab tegelike antenne käsitleda nendest koosnevana.
- Mudel kirjeldab piisavalt täpselt mahtuvusliku koormusega (*top-hat loaded*) antenne.



Lõpmatult väike dipool

- Järgneva analüüsi lihtsustamiseks eeldame, et meie dipool on orienteeritud z -telje sihis ja paikneb koordinaatteljestiku alguspunkti suhtes sümmeetriliselt.
- Täiendavalt eeldame kogu dipooli pikkuse d ulatuses konstantset voolutugevust $I = I_0 \cos(\omega t)$.
- Voolu positiivne suund on $\mathbf{a}_z$ suunas.



Elektrivälja tugevus ja potentsiaal

- Teades laengute jaotust $\rho_v(\mathbf{r}')$ saame leida elektrivälja tugevuse $\mathbf{E}$ mistahes ruumipunktis $\mathbf{r}$ Couloumb'i seadust kasutades kui:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint_V \frac{\rho_v(\mathbf{r}') d\mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^2} \mathbf{a}_r.$$

- Praktikas on selle kolmekordse ruumintegraali leidmine üldjuhul keeruline.
- Tavaliselt on lihtsam laengute jaotuse põhjal leida hoopis elektriline potentsiaal $U(\mathbf{r})$ ja seejärel leida elektrivälja tugevus avaldisega

$$\mathbf{E} = -\nabla U.$$

Kuigi elektrivälja tugevusel on ka reaalne füüsikaline sisu, siis antud juhul võime seda käsitleda lihtsalt matemaatilise vahesammuna mis kergendab soovitud lahenduse leidmist.

Magnetiline vektorpotentsiaal

- Erinevalt elektrilisest potentsiaalist ei ole magnetilisel vektorpotentsiaalil $\mathbf{A}$ [Wb/m] praktilist füüsikalist sisu. Siiski on tegemist kasuliku matemaatilise tööriistaga elektromagnetismiga seotud ülesannete lahendamisel.
- Peenikeses ja lühikeses juhtmes kulgeva elektrivoolu / magnetiline vektorpotentsiaal on teatavasti leitav kui

$$\mathbf{A} = \int \frac{\mu I}{4\pi R} d\mathbf{L}.$$

- Teades $\mathbf{A}$, saame magnetvälja tugevuse leida vektorpotentsiaali rootorina:
$$\mu \mathbf{H} = \mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}.$$

Hilistunud potentsiaal

- Elektromagnetiline vastasmõju levib ruumis lõpliku faasikiirusega v mis ei saa olla suurem kui valguse kiirus vaakumis c .
- Seetõttu ei sõltu potentsiaalid mingis ruumipunktis mitte laengute ja voolude jaotusest praegusel ajahetkel vaid nende väärtustest mingil ajahetkel minevikus.
- Tähistame hilistunud aega (*retarded time*) kui: $t' = t - R/v$. Hilistunud potentsiaalid (*retarded potential*), arvutatakse laengute ruumtiheduste $[\rho_v]$ ja voolutiheduste $[\mathbf{J}]$ põhjal hilistunud aja järgi.
Näiteks:

$$\mathbf{A} = \int \frac{\mu[\mathbf{J}]}{4\pi R} d\mathbf{L}.$$

Lõpmatult väike dipool

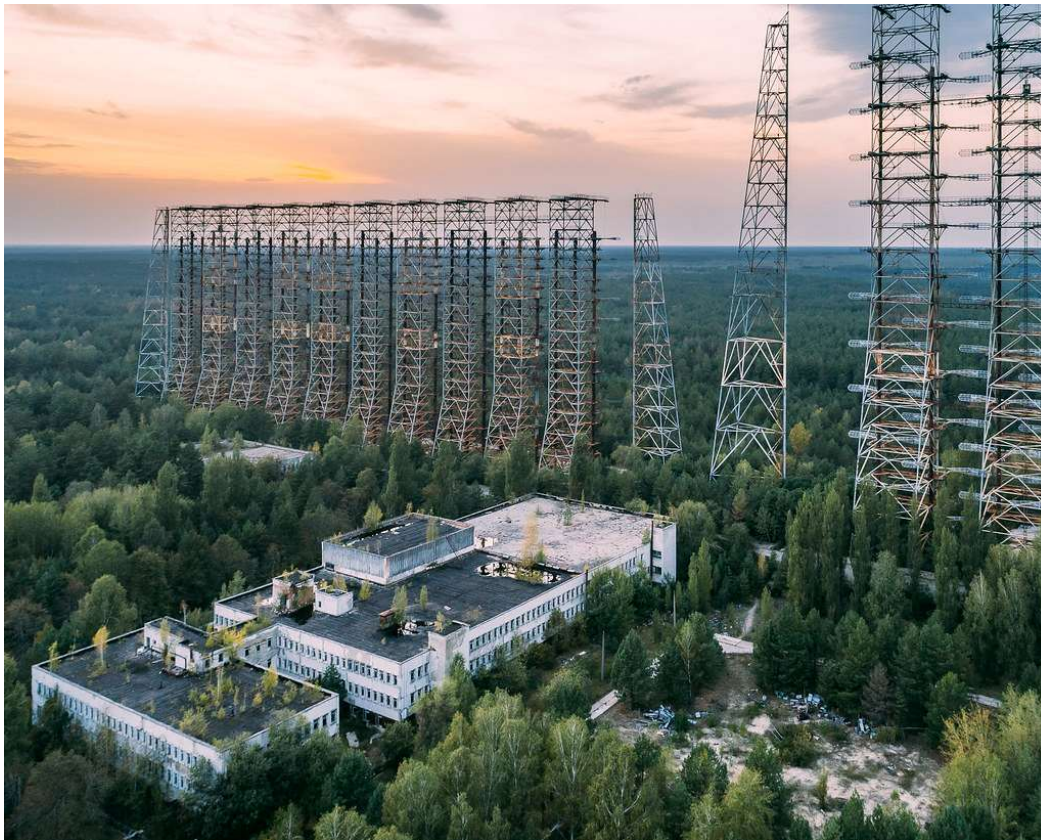
- Kuna meie vaadeldav antenn on lõputult väike, siis ei ole integreerimise järele vajadust ja hilistunud magnetiline vektorpotentsiaal on lihtsalt

$$\mathbf{A} = \frac{\mu[I]d}{4\pi R} \mathbf{a}_z.$$

- Igas punktis, mis asub dipoolist kaugusel R on magnetiline vektorpotentsiaal hilistunud R/v võrra mistõttu voolutugevuse avaldiseks $I = I_0 \cos(\omega t)$ saame

$$[I] = I_0 \cos \left[\omega \left(t - \frac{R}{v} \right) \right].$$

Antennide mõõtmed



Magnetiline vektorpotentsiaal faasorkujul

- Hilistunud voolutugevus faasorkujul

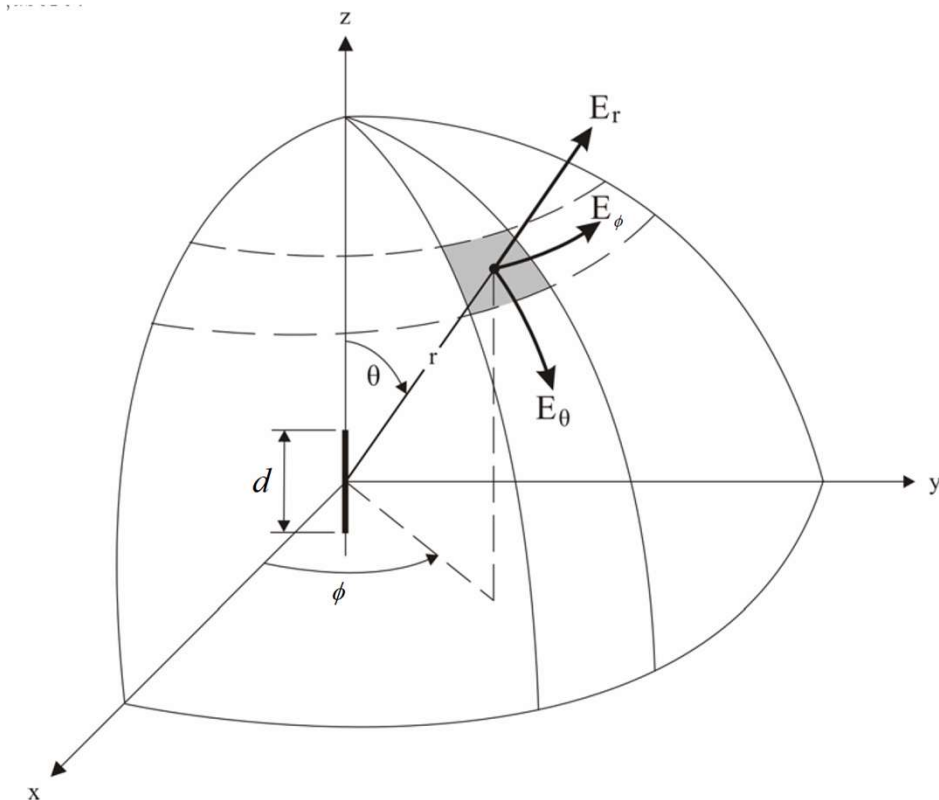
$$[I_s] = I_0 e^{-\frac{j\omega}{v}}.$$

- Seega hilistunud magnetiline vektorpotentsiaal on

$$A_{zs} = \frac{\mu I_0 d}{4\pi R} e^{-\frac{j\omega R}{v}}.$$

- Järgnevalt teisendame avaldise sfäärilistesse koordinaatidesse, sest see lihtsustab edasisi arvutusi..

Magnetiline vektorpotentsiaal faasorkujul



- Sfäärilistes koordinaatides on magnetilisel vektorpotentsiaalil kaks mittenuhust komponenti:

$$A_{rs} = \frac{\mu I_0 d}{4\pi r} \cos \theta e^{-\frac{j\omega r}{v}};$$

$$A_{\theta s} = -\frac{\mu I_0 d}{4\pi r} \sin \theta e^{-\frac{j\omega r}{v}};$$

- Magnetvälja tugevuse saame nüüd leida kui

$$\mathbf{H}_s = \frac{\mathbf{B}_s}{\mu} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{A}_s.$$

Lõputult väikese dipooli magnetväli

- Leides rootori sfäärilistes koordinaatides lihtsustub see ainult lahe osatuletise leidmiseks

$$H_{\phi s} = \frac{1}{\mu r} \frac{\partial}{\partial r} (r A_{\theta s}) - \frac{1}{\mu r} \frac{\partial A_{rs}}{\partial \theta}.$$

- Ülejäänud kaks komponenti H_{rs} ja $H_{\theta s}$ on mõlemad nullid. Seega on lõputult väikese dipooli magnetvälja tugevusel ainult üks komponent kujul

$$H_{\phi s} = \frac{I_0 d}{4\pi} \sin \theta e^{-\frac{j\omega}{v}} \left(j \frac{\omega}{vr} + \frac{1}{r^2} \right).$$

Lõputult väikese dipooli magnetväli

- Saadud tulemuse lihtsustamiseks teeme järgnevad neli asendust: $\omega = 2\pi f$; $f\lambda = 1$;

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} \text{ ja } \eta = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}.$$

- Tulemuseks saame

$$H_{\phi s} = \frac{I_0 d}{4\pi} \sin \theta e^{-\frac{j2\pi r}{\lambda}} \left(j \frac{2\pi}{\lambda r} + \frac{1}{r^2} \right).$$

Lõputult väikese dipooli elektriväli

- Elektrivälja komponendid, ruumiosas kus puuduvad juhtivus- ja konvektsioonivoolud, leiame Ampere' seaduse diferentsiaalsest kujust

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}.$$

- Viimane on faasorkujul väljendatuna

$$\nabla \times \mathbf{H}_s = j\omega\varepsilon\mathbf{E}_s.$$

Elektrivälja tugevuse radiaalne komponent

- Rootor sfäärilistes komponentides on

$$E_{rs} = \frac{1}{j\omega\epsilon} \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (H_{\phi s} \sin \theta)$$

või

$$E_{rs} = \frac{I_0 d}{2\pi} \cos \theta e^{-\frac{j\omega r}{v}} \left(\frac{1}{\epsilon v r^2} + \frac{1}{j\omega\epsilon r^3} \right).$$

- Alternatiivselt

$$E_{rs} = \frac{I_0 d \eta}{2\pi} \cos \theta e^{-\frac{j2\pi r}{\lambda}} \left(\frac{1}{r^2} + \frac{\lambda}{j2\pi r^3} \right).$$

Elektrivälja tugevuse tõusunurga sihiline komponent

- Sarnaselt saame

$$E_{\theta s} = \frac{1}{j\omega\epsilon} \left(-\frac{1}{r} \right) \frac{\partial}{\partial r} (rH_{\phi s})$$

või

$$E_{\theta s} = \frac{I_0 d}{4\pi} \sin \theta e^{-\frac{j\omega r}{v}} \left(\frac{j\omega}{\epsilon v^2 r} + \frac{1}{\epsilon v r^2} + \frac{1}{j\omega \epsilon r^3} \right).$$

- Alternatiivselt

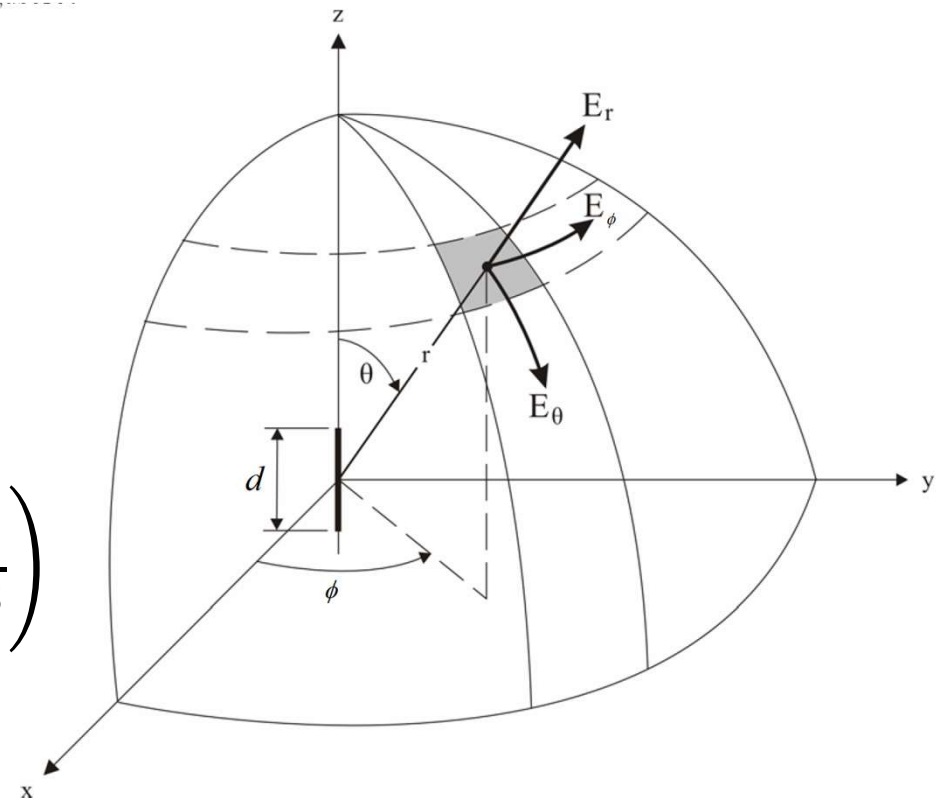
$$E_{\theta s} = \frac{I_0 d \eta}{4\pi} \sin \theta e^{-\frac{j2\pi r}{\lambda}} \left(j \frac{2\pi}{\lambda r} + \frac{1}{r^2} + \frac{\lambda}{j2\pi r^3} \right).$$

Lõputut väikese dipooli elektromagnetväli

$$H_{\phi s} = \frac{I_0 d}{4\pi} \sin \theta e^{-\frac{j2\pi r}{\lambda}} \left(j \frac{2\pi}{\lambda r} + \frac{1}{r^2} \right)$$

$$E_{rs} = \frac{I_0 d \eta}{2\pi} \cos \theta e^{-\frac{j2\pi r}{\lambda}} \left(\frac{1}{r^2} + \frac{\lambda}{j2\pi r^3} \right)$$

$$E_{\theta s} = \frac{I_0 d \eta}{4\pi} \sin \theta e^{-\frac{j2\pi r}{\lambda}} \left(j \frac{2\pi}{\lambda r} + \frac{1}{r^2} + \frac{\lambda}{j2\pi r^3} \right)$$



Kiirgustsoonid

- Nagu saadud tulemusest näeme on väljadel mitmeid komponente millede sõltuvus kaugusest on erinev: r^{-1} , r^{-2} ja r^{-3} .
- Antenni poolt kiiratava EM välja kuju ja omadused sõltuvad kaugusest r antennist. Seetõttu jaotatakse antenni ümbritsev ruum tavaliselt kolmeks eraldi tsooniks.
- Kera mille raadius on (*radian distance*) $r = \lambda/2\pi$ ja mille keskpunkt asub antenni asukohas (*radian sphere*) määrab ala mille sees on reaktiivvõimsuse tihedus suurem kui kiiratava võimsuse oma.
- Ülalmainitud tsoone tuntakse kui **induktsioonitsoon** (*reactive near-field*), **kiirguslik lähitsoon** (*radiating near-field, intermediate field*) ja **kaug-tsoon** (*far-field*).

Lähitsoon

- Kui kaugus antennist $r \ll \lambda/2\pi$ saab välja kirjeldavaid avaldise lihtsustada:

$$H_{\phi s} \cong \frac{I_0 d}{4\pi r^2} \sin \theta ;$$

$$E_{rs} \cong -j \frac{I_0 d \eta \lambda}{4\pi^2 r^3} \cos \theta ;$$

$$E_{\theta s} \cong -j \frac{I_0 d \eta \lambda}{8\pi^2 r^3} \sin \theta .$$

- Elektriväli on kiirgava elemendi läheduses tugevam.
- Elektri- $\mathbf{E}$ ja magnetvälja $\mathbf{H}$ tugevuste vahel on ajas 90° faasinihe mis tähendab et energia ülekannet ei toimu.

Kaugtsoon

- Kui kaugus $r \gg \lambda/2\pi$ saab samuti väljatugevusi lihtsustada:

$$H_{\phi s} \cong j \frac{I_0 d}{2\lambda r} \sin \theta e^{-\frac{j2\pi r}{\lambda}},$$

$$E_{rs} \cong 0,$$

$$E_{\theta s} \cong j \frac{I_0 d \eta}{2\lambda r} \sin \theta e^{-\frac{j2\pi r}{\lambda}}.$$

- Mõlemal väljal (**E** ja **H**) on ainult üks komponent mis on mõlemad risti üksteisega kui ka laine levimise suunaga $\mathbf{a}_r$.
- Mõlema välja amplituud on pöördvõrdeline kaugusega r .

Kaugtsoon

- Magnetvälja tugevuse hetkväärtus kaugtsoonis on

$$H_{\phi}(r, t) = \operatorname{Re}\{H_{\phi s} e^{j\omega t}\},$$

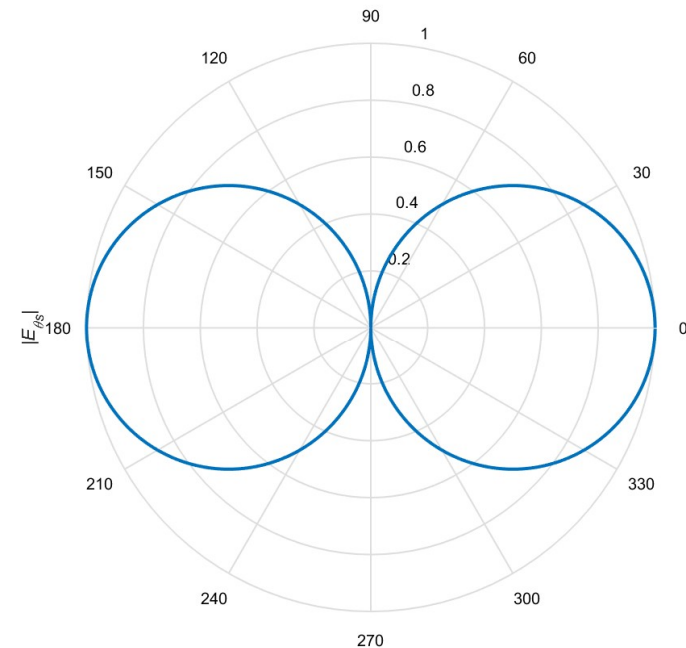
$$H_{\phi}(r, t) = -\frac{I_0 d}{2\lambda r} \sin \theta \sin \left(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda} \right).$$

- **E** ja **H** väljad on samad kui ühtlase tasalaine korral.
- Seega elektrivälja tugevuse hetkväärtus kaugtsoonis on

$$E_{\theta}(r, t) = \eta H_{\phi}(r, t) = -\eta \frac{I_0 d}{2\lambda r} \sin \theta \sin \left(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda} \right).$$

Kaugtsoon

- Elektrivälja tugevuse normeeritud mooduli sõltuvus tõusunurgast θ kaugväljas on kujutatud kõrval oleval joonisel
- Asimuudist sõltuvus puudub, joonis $|E_{\theta_s}|$ vs ϕ on lihtsalt ühikring.
- Magnetvälja tugevuse normeeritud moodul näeb välja identne.



Poynting Vector

- EM laine võimsustiheduse hetkväärus, tuntud kui Poyntingi vektor on

$$\mathbf{\Pi} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}.$$

- Kogu võimsuse hetkväärtuse same kui integreerime Poyntingi vektorit üle mingi, antenni ümbritseva, kinnise pinna S

$$p = \oiint_S (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) d\mathbf{S}.$$

- Pointingi vektor kaugtsoonis on:

$$\mathbf{\Pi} = \eta \left(\frac{I_0 d}{2\lambda r} \right)^2 \sin^2 \theta \sin^2 \left(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda} \right) \mathbf{a}_r .$$

Kiiratud hetkvõimsus

- Hea valik suletud pinnaks S oleks kera raadiusega r_0 .
- Kogu (väljapoole) kiiratud hetkvõimsus oleks siis

$$p_r = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \mathbf{\Pi} \cdot \mathbf{a}_r r_0^2 \sin \theta d\theta d\phi .$$

- Tulemuseks saame

$$p_r = \frac{2\pi\eta}{3} \left(\frac{I_0 d}{\lambda} \right)^2 \sin^2 \left(\omega t - \frac{2\pi r_0}{\lambda} \right) \text{ W} .$$

Kiiratud keskmine võimsus

- Perioodiga T perioodilise signaali keskmine võimsus on teatavasti

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt .$$

- Siinuse ruudu keskväärtus on $\frac{1}{2}$, seega on keskmine kiirgusvõimsus arvuliselt lihtsalt pool hetkvõimuse amplituudist:

$$P_r = \frac{\pi\eta}{3} \left(\frac{I_0 d}{\lambda} \right)^2 \text{ W.}$$

Antenni kiirgustakistus

- Takistus R näitab elektrienergia mingiks muuks energialiigiks muutmise määra. Kiirgustakistus (*Radiation resistance*) R_r näitab antennis kulgeva voolutugevuse ja antenni poolt kiiratava keskmise võimsuse vahelist seost:

$$P_r = \frac{\pi\eta}{3} \left(\frac{I_0 d}{\lambda} \right)^2 = R_r \frac{I_0^2}{2}.$$

- Seega lühikese dipooli kiirgustakistus on

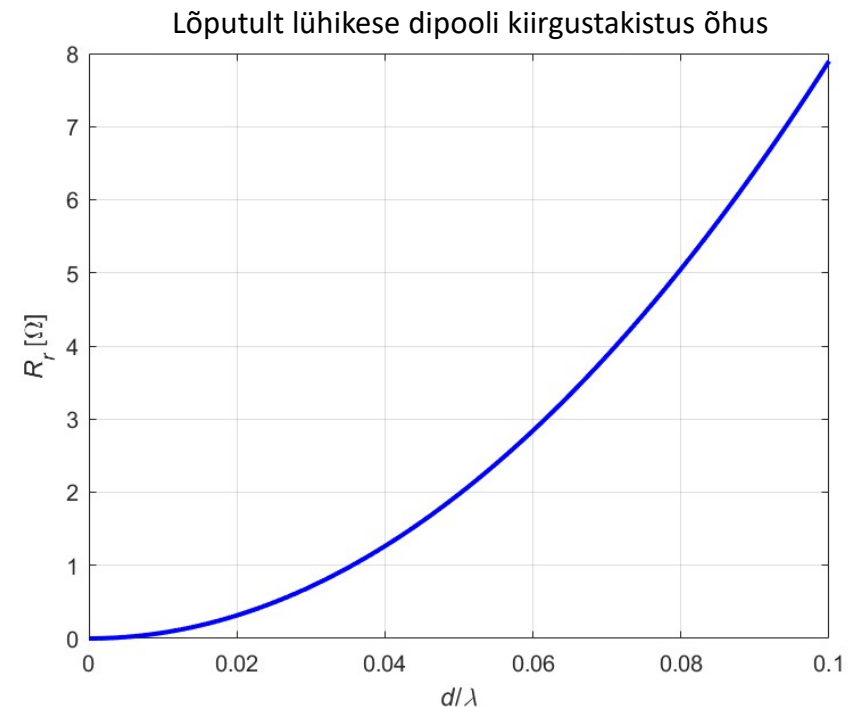
$$R_r = \frac{2\pi\eta}{3} \left(\frac{d}{\lambda} \right)^2 \Omega.$$

Kiirgustakistus

- Vaakumi, kui praktiliselt ka õhu, lainetakistus on $\eta = \eta_0 \approx 120\pi \Omega$. Seega lõputult lühikese dipooli kiirgustakistus on

$$R_r = 80\pi^2 \left(\frac{d}{\lambda}\right)^2 \Omega.$$

- Selline madal kiirgustakistus tähendab väikest kasutegurit ja probleeme antenni sobitamisega.



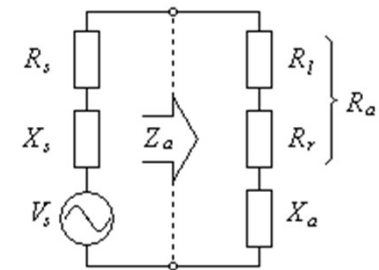
Antenni impedants

- Üldjuhul on antenni impedants sagedusest sõltuv kompleksne suurus:

$$Z_a(f) = R_a(f) + jX_a(f)$$

- Antenni impedantsi reaalosa saab jaotada kaheks komponendiks: kaotakistuseks R_l ja kiirgustakistuseks R_r .
- Kaotakistus R_l võtab endas kokku takistuslikud ja dielektrilised kaod antennis. Kaotakistuse mõjul tekivad antennis soojuslikud kaod võimsusega

$$P_h = I^2 R_l$$

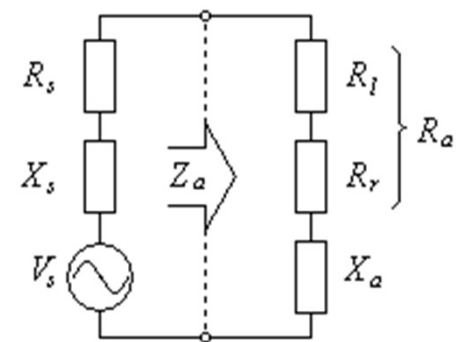


Antenni kasutegur

- Antenni **kasutegur** (*efficiency*) on defineeritud kui kiiratava võimsuse P_r suhe antenni antud koguvõimsusesse P_t

$$e_A = \frac{P_r}{P_t} = \frac{R_r}{R_r + R_l}.$$

- Vastuvõtu korral on tegemist antennist saadava võimsuse suhtega antenni poolt vastu võetud EM laine võimsusesse.
- Saateantennide korral on oluline parameeter ka maksimaalne lubatav sisendvõimsus P_{inmax}
 - Soojuse eraldamise võime;
 - Dielektriline läbilöök.



Antenni ribalaius

- Sagedusvahemik mille piires vastavad antenni parameetrid kehtestatud nõuetele

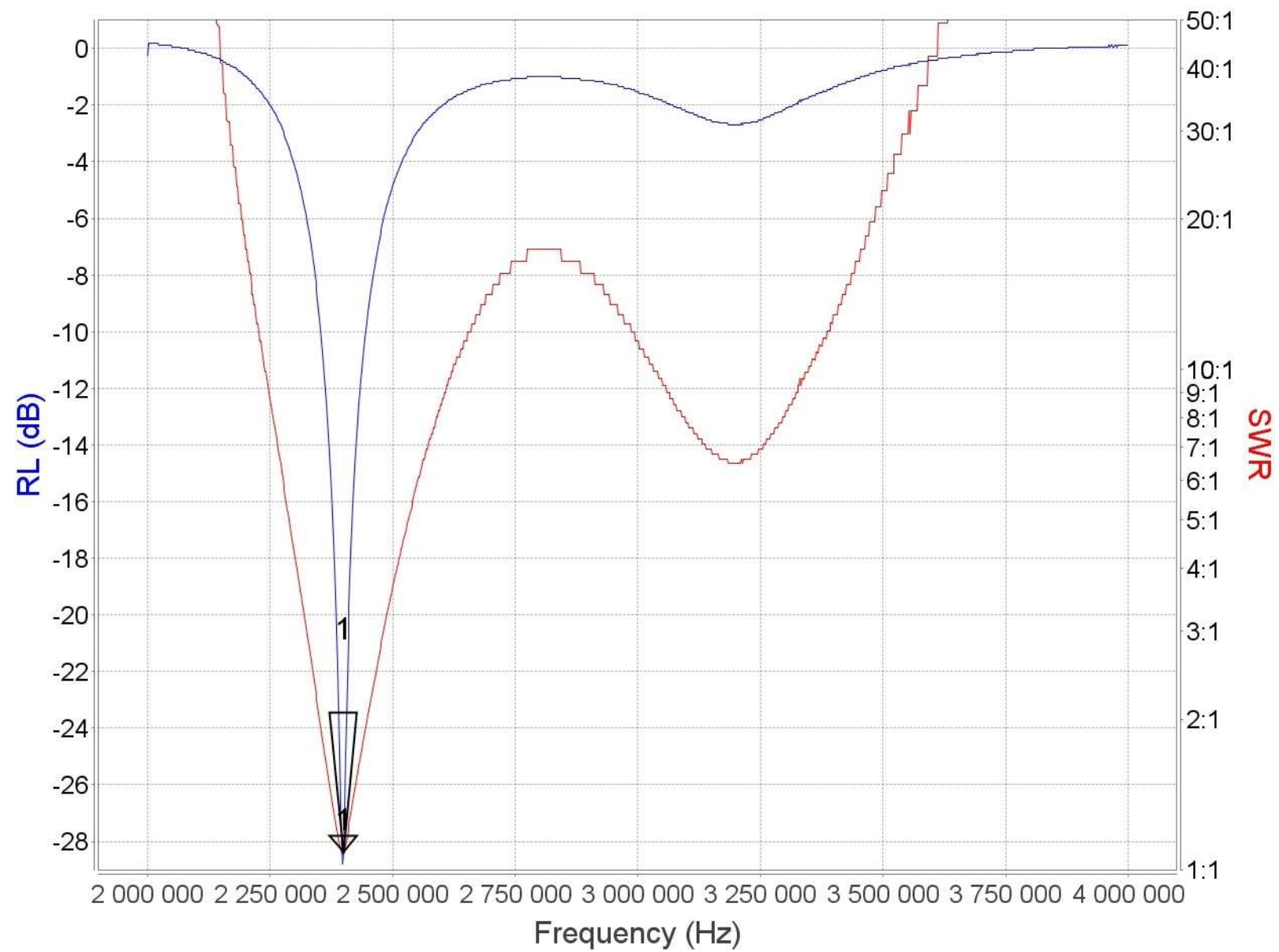
$$B = f_u - f_l .$$

- Ribalaiuse piirid defineeritakse tavaliselt kas
 - Seisulaineteguri kaudu: $VSWR = 2:1$
 - Peegelduskao kaudu: $RL = -3dB$
- **Laiaribaliste antennide** korral väljendatakse ka suhtelise ribalaiuse kaudu:

$$B_r = \frac{f_u}{f_l} .$$

- **Kitsaribaliste antennide** korral ka protsentuaalse ribalaiusena:

$$B_{\%} = 200 \frac{f_u - f_l}{f_u + f_l} .$$



Antenni hüvetegur

- Alternatiivseks ribalaiuse mõõduks on antenni **hüvetegur**

$$Q = \frac{f_c}{B} = \frac{f_u + f_l}{2(f_u - f_l)}$$

- Suure Q väärtusega antenne nimetatakse kitsaribalisteks ja väikese Q väärtusega antenne vastavalt laiaribalisteks.

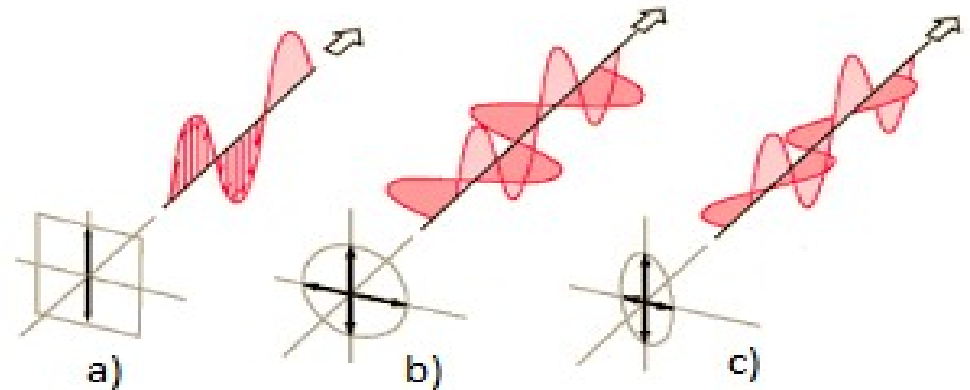
Polarisatsioon

- Antenni **polarisatsioon** määrab kiiratava raadiolaine elektrivälja **E** võnketasandi ja maapinna vahelise orientatsiooni.
- Antenni polarisatsioon sõltub tema konstruktsioonist ning asendist (maapinna suhtes).
- Üldiselt kiirgavad vertikaalse ehitusega antennid vertikaalselt polariseeritud- ja horisontaalse ehitusega antennid horisontaalselt polariseeritud raadiolaineid.
- Kui saate- ja vastuvõtuantenni polarisatsioonitasandid on omavahel nurga φ all, siis tagajärjeks on **polarisatsioonikadu** suurusega

$$PLF = \cos(\varphi) .$$

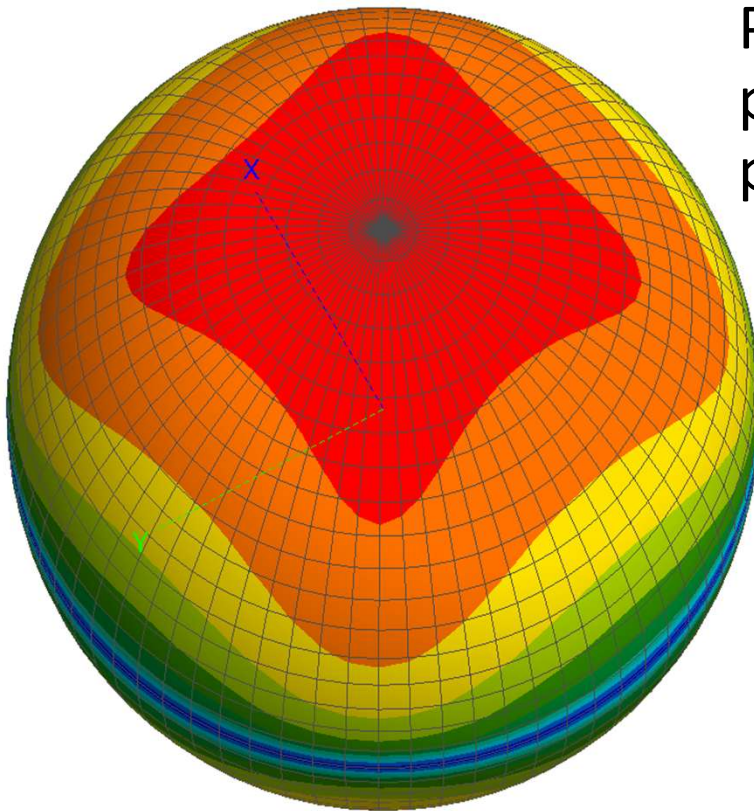
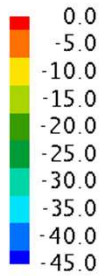
Polarisatsioon

- Üldjuhul on elektromagnetkiirguse polarisatsioon elliptiline.
- Erijuhtudeks on
 - Lineaarne polarisatsioon (a)
 - Horisontaalne
 - Vertikaalne
 - Ringpolarisatsioon (b)
 - Paremakäeline (Kellaosuti suunas)
 - Vasakukäeline (Kellaosuti suunale vastupidine)



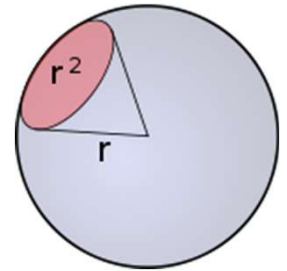
Polarisatsioon

Axial ratio (minor/major) [dB]



Polarisatsiooni saab väljendada polarisatsiooniellipsi kõrval- ja peatelje pikkuste suhtena (*Axial Ratio*) AR .

Kiirgustugevus

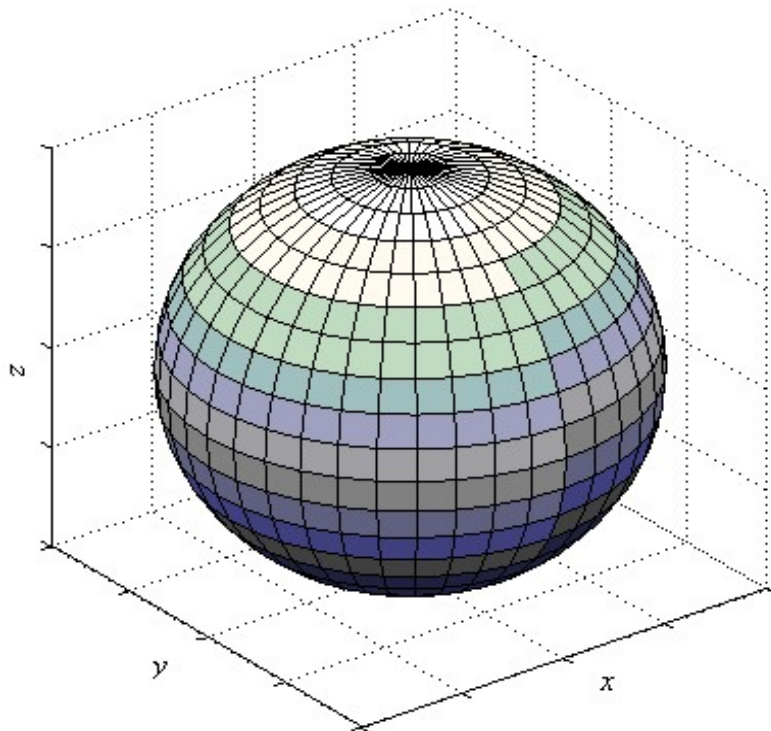


- Kiirgustugevus (*Radiation intensity*) on defineeritud kui antenni poolt ühiknurga all kiiratud võimsus [2]:

$$U = r^2 \bar{\Pi} = \frac{r^2}{2\eta} |\mathbf{E}_s(r, \theta, \phi)|^2.$$

- Kiirgustugevus iseloomustab antenni kaugvälja. Erinevalt Poyntingi vektorist ei sõltu kiirgustugevus kaugusest antennist.
- Mõõtühikuks on võimsus ruuminurga kohta [W/sr].
- Kiirgustugevus on üldjuhul sõltuv asimuudist ja tõusunurgast. Ainsaks eandiks on teoreetiline **isotroopne kiirgur** (*isotropic radiator*).

Isotroopne kiirgur



- Isotroopse kiirguri võimsuse pindtihedus on lihtsalt

$$\bar{\Pi} = \frac{P_r}{4\pi r^2}.$$

- Kiirgustugevus on seega

$$U_0 = r^2 \bar{\Pi} = \frac{P_r}{4\pi}.$$

Antenni suunategur

- Antenni **suudadiagramm** (*directivity*) $D(\theta, \varphi)$ on võrdne konkreetse antenni kiirgustugevuse $U(\theta, \varphi)$ suhtega isotroopse kiirguri omasse U_0 :

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_0} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_r}.$$

- Antenni **suunateguriks** D_0 on suunadiagrammi maksimaalne väärtus.
- Suunateguri logaritmiliseks mõõtühikuks on [dBi].
- Kui võrdlusetaloniks on isotroopse kiirguri asemel dipoolantenn kasutatakse ka mõõtühikut [dBd]. Kahe ühiku vaheline seos:

$$\text{dBd} = \text{dBi} - 2,12 \text{ dB}.$$

Lõputult väikese dipooli suunategur

- Lõputult väikese dipooli Pointingi vektor kaugtsoonis oli:

$$\mathbf{\Pi} = \eta \left(\frac{I_0 d}{2\lambda r} \right)^2 \sin^2 \theta \sin^2 \left(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda} \right) \mathbf{a}_r .$$

- Viimase keskväärtus on seega

$$\bar{\Pi} = \frac{\eta}{2} \left(\frac{I_0 d}{2\lambda r} \right)^2 \sin^2 \theta .$$

- Kiirgustugevus seega aga

$$U = r^2 \bar{\Pi} = \frac{\eta}{2} \left(\frac{I_0 d}{2\lambda} \right)^2 \sin^2 \theta .$$

Lõputult väikese dipooli suunategur

- Kiirgustugevus on maksimaalne tõusunurga väärtuste $\theta = \pm \pi/2$ juures:

$$U_{max} = \frac{\eta}{2} \left(\frac{I_0 d}{2\lambda} \right)^2 .$$

- Suunategur on seega

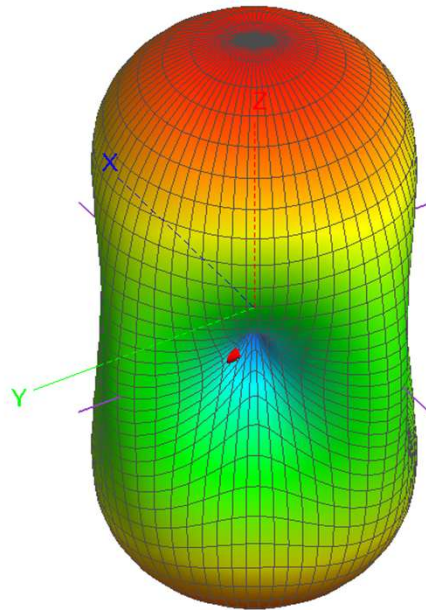
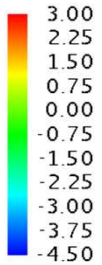
$$D_0 = \frac{4\pi U_{max}}{P_r} = 1,5.$$

- Logaritmilistes ühikutes väljendatuna

$$D_0 = 10 \log(1,5) = 1,76 \text{ dBi}.$$

Antenni suunadiagramm

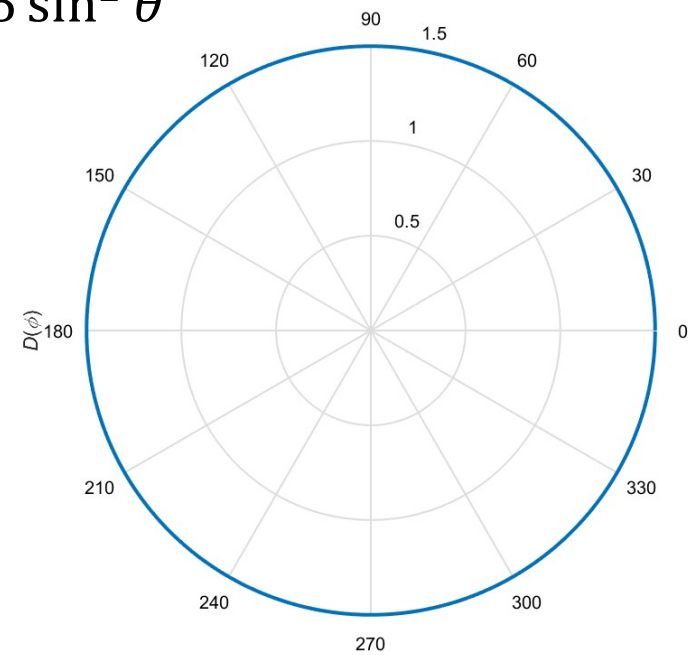
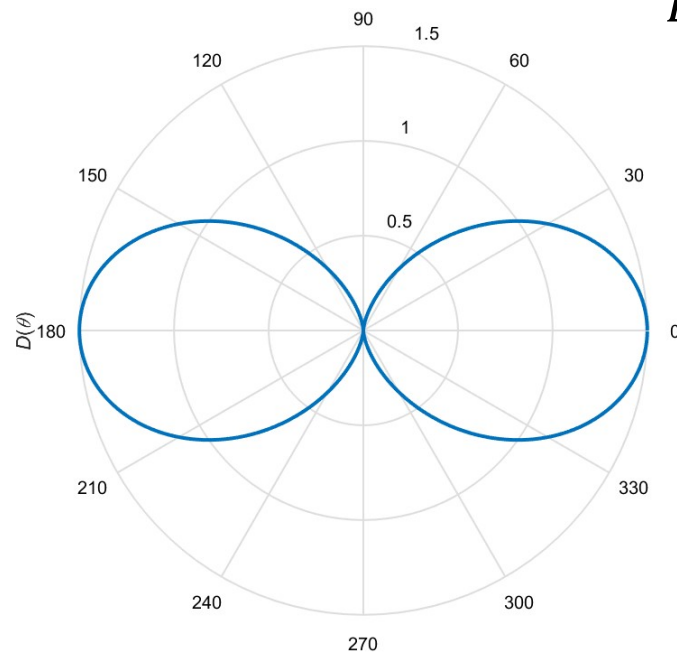
Total Gain [dBi]



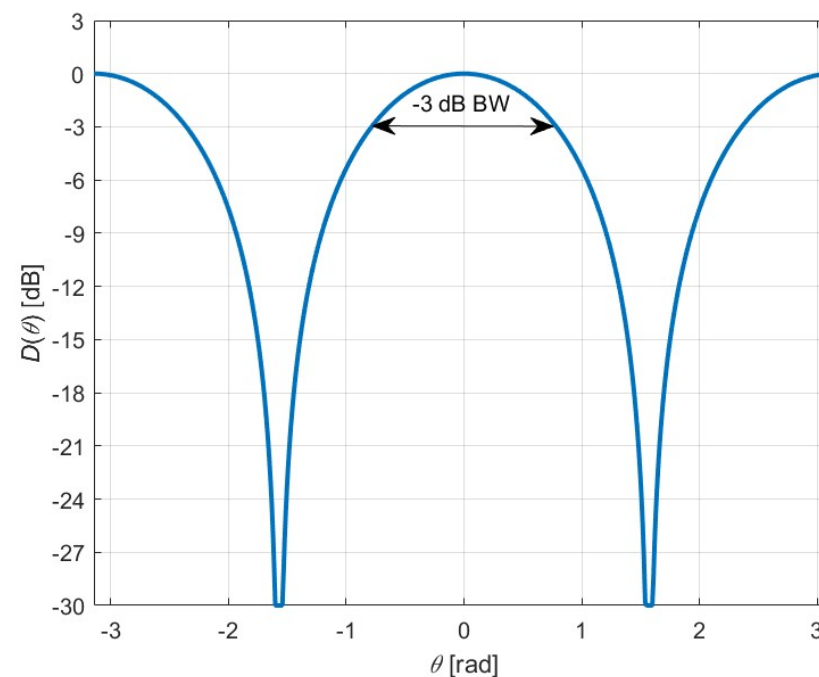
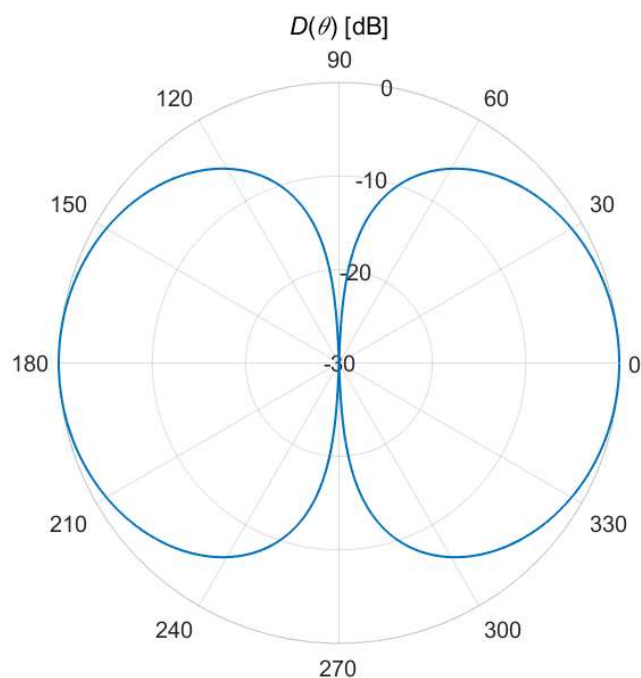
- Antenni suunadiagramm (*radiation pattern*) näitab üldiselt kuidas mingi antenni parameeter sõltub asimuudist ja tõusunurgast.
- Tavaliselt peetakse suunadiagrammi all silmas meile juba tuttavat suurust $D(\theta, \varphi)$ (*directivity*).

Lõputult väikese dipooli suunadiagramm

$$D(\theta, \phi) = 1,5 \sin^2 \theta$$

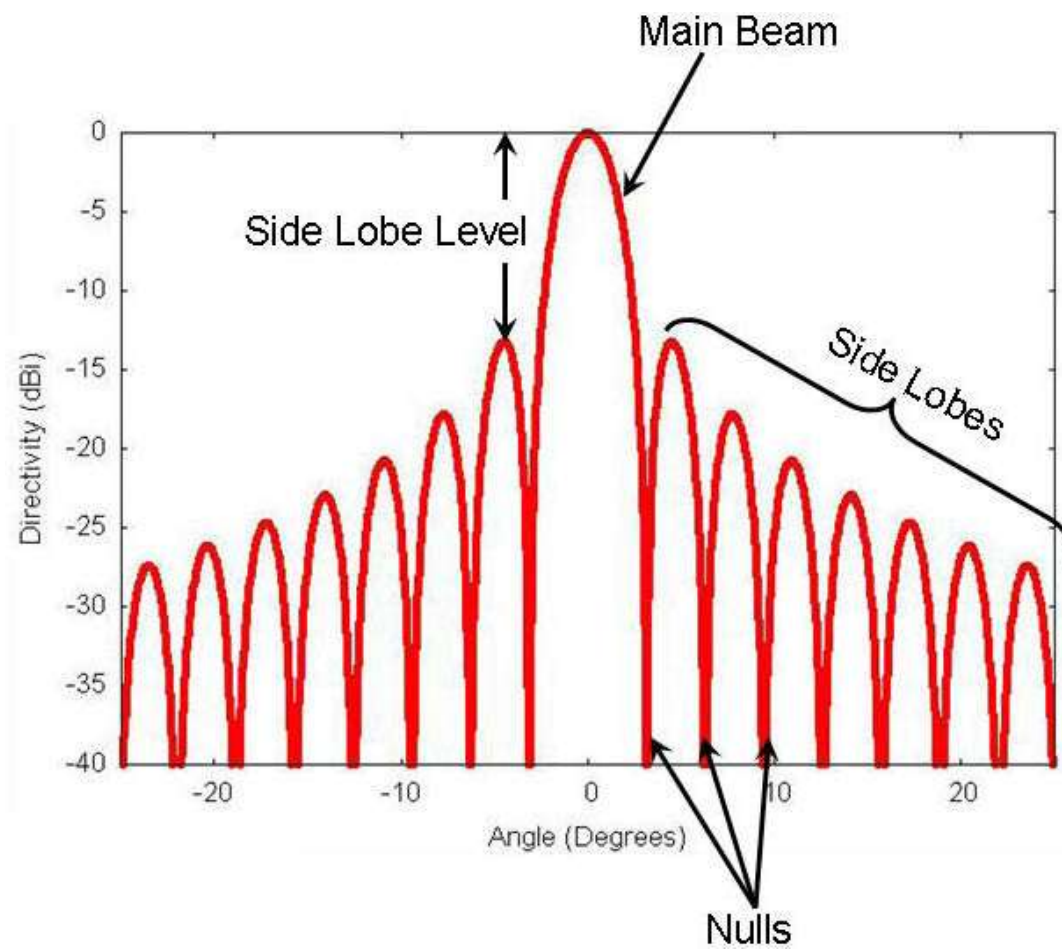


Lõputult väikese dipooli suunadiagramm



Pealehe laius 3 dB nivool (*HPBW*) on $\theta_{3dB} = 90^\circ$.

Antenni suunadiagramm



Joonis: https://en.wikipedia.org/wiki/Radiation_pattern

Antenni võimendus

- Antenni suunateguri D_0 ja kasuteguri e_A korrutist nimetatakse antenni **võimenduseks** $G = e_A \cdot D_0$ (*gain*).
- Võimenduse mõõtühikud on samad, mis suunateguril : [dBi].
- Tegemist **ei ole** võimendusega selle klassikalises mõttes – signaali energia suurendamine välise energiaallika arvelt.
- Suurus iseloomustab antenni omadust kiiratava võimsuse koondamiseks ühte suunda.

Effective Area of Antenna

- Kui vastuvõtuantenn asub kiirgusväljas võimsustihedusega Π [W/m²], siis antenni poolt kogutava võimsuse P ja kiirgusvälja võimsustiheduse suhet nimetatakse antenni efektiivseks pindalaks (*effective area, effective aperture*) A_{eff} [m²].
- Üldjuhul ei ole antenni efektiivne pindala A_{eff} võrdne tema füüsilise pindalaga $A_{füs}$, vaid on sellest suurem ($A_{eff} > A_{füs}$).
- Antenni efektiivne pindala sõltub vastuvõetava signaali lainepikkusest λ ja antenni suunategurist D_0 :

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D_0.$$

Lõputult väikese dipooli efektiivne pindala

- Lõputult väikese dipooli suunategur oli $D_0 = 1,5 = 3/2$ seega tema efektiivne pindala on

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D_0 = \frac{3\lambda^2}{8\pi} \text{ m}^2 .$$

- Lõputult väikese dipooli füüsiline pindala on nullilähedane.

Apertuurantenni efektiivne pindala



Antenni efektiivne kõrgus

- Traat- ja varrasantennide puhul kasutatakse mõnikord efektiivse pindala asemele antenni **efektiivse kõrguse** mõistet (*effective height*) h_{eff} .
- Kui antenn asub elektromagnetväljas mille elektrivälja komponent on tugevusega $\mathbf{E}$, siis indutseeritakse antennis elektromotoorjõud mis on võrdne elektrivälja tugevuse ja antenni efektiivse kõrguse korrutisega.

Antennide pööratavuse printsiip

- Mistahes antenni saab kasutada nii saatmiseks- kui vastuvõtuks.
- Antenni omadused ei sõltu sellest kas teda kasutatakse saatmiseks või vastuvõtuks.
- Printsiip kehtib lineaarses keskkonnas ja lineaarsetest elektrilistest materjalidest valmistatud antennide korral.

Lisamaterjalid

- [1] W.H. Hayt, J.A. Buck. **Engineering Electromagnetics**. Sixth ed. Ch 14.6 Basic Antenna Principles.
- [2] C. A. Balanis. **Antenna Theory Analysis and Design**. Second ed. Ch2 Fundamental Parameters of Antennas and Ch 4 Linear Wire Antennas.
- [3] U.S. Marine Corps. **Field Antenna Handbook**.
- [4] J. Umborg. Raadiotehnika alused. Lk. 116-126

