

Jukka Kinkamo OH2JIN
E-mail: oh2jin@yahoo.com
GSM: +358 44 965 2689

LÄHETYTEHO JA S-MITTARIN NÄYTTÄMÄ

Radioamatööritekniikan alkeissa todetaan usein radioaallon tehon putoavan neliöllisesti verrannollisena etäisyyteen ja sähkökentän voimakkuuden putoavan suoraan verrannollisesti etäisyyteen. Edellä oleva on edelleenkin keskeisin väittämä radioamatöörin arvioidessa tarvittavan lähetystehon suuruutta. Radioamatöörimääräyshän kieltää tarpeettoman suuren lähetystehon käyttämisen. Toisaalta viesti on saatava toimitetuksi ymmärrettävässä muodossa vasta-asemalle ja lisäksi on varauduttava yllättäviinkin lisävaimennuksiin siirtotiellä (radiotiellä).

Sama lainalaisuus pätee resistanssin navoissa vaikuttavan jännitteen ja resistanssiin syötettävän tehon suhteen. Seuraavassa esityksessä on huomioitava, että nykyaikaisten vastaanottimien sisäänmenoimpedanssi on pääsääntöisesti resistiivinen, jolloin normaalit tasavirtaresistanssien laskukaavat toimivat varsin hyvin radioamatööritekniikan puolella. Periaatteessa kaikki laskutoimitukset voidaan suorittaa koulutusmateriaalista (http://oh3ac.fi/T1-moduuli_10.1.2018_MPK.pdf) löytyvillä kaavoilla. Desibelilaskujen toimitukset on tehty 10-kantaisella logaritmillä, joka on usein taskulaskimissa oletuksena.

Tehon laskemiseen löytyy koulutusmateriaalista myös suoria kaavoja, mikäli resistanssi on tuntematon.

Todistetaan tasavirtakytkennässä väittämä nelinkertaisesta tehotarpeesta haluttaessa kaksinkertaistaa jännite. Yksinkertaistettu esimerkki:

$R = 100 \text{ Ohm}$
 $U = 50 \text{ V}$
 $P = ?$

$I = U / R = 50 \text{ V} / 100 \text{ Ohm} = 0,5 \text{ A}$
 $P = UI = 50 \text{ V} \times 0,5 \text{ A} = 25 \text{ W}$

Jännite nousee arvoon 100 V eli kaksinkertaiseksi, mikä on teho?

$R = 100 \text{ Ohm}$
 $U = 100 \text{ V}$
 $P = ?$

$I = U / R = 100 \text{ V} / 100 \text{ Ohm} = 1 \text{ A}$
 $P = UI = 100 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 100 \text{ W}$ (teho nousee nelinkertaiseksi)

Jännite on 25 V (alkuperäinen jännite puolittuu), mikä on teho?

$R = 100 \text{ Ohm}$
 $U = 25 \text{ V}$
 $P = ?$

$I = U / R = 25 \text{ V} / 100 \text{ Ohm} = 0,25 \text{ A}$
 $P = UI = 25 \text{ V} \times 0,25 \text{ A} = 6,25 \text{ W}$ (teho putoaa neljänteen osaan)

Jukka Kinkamo OH2JIN
E-mail: oh2jin@yahoo.com
GSM: +358 44 965 2689

Jos siis lähtötilanteen jännite kaksinkertaistetaan, nousee teho nelinkertaiseksi. Jos lähtötilanteen jännite puolitetaan, putoaa teho neljanteen osaan. Toista kautta ajatellen tehon nelinkertaistaminen saa aikaan jännitteen kaksinkertaistumisen. Tehon puolittuminen pudottaa jännitteen neljanteen osaan.

Sähkökentän voimakkuus ja teho

Sähkökentän voimakkuutta mitataan voltteina metriä kohden (V/m). Radioaallossa sähkö- ja magneettikenttä vuorottelevat, joten on voidaan enemmän tai vähemmän "mutkat suoriksi" yksinkertaistaen todeta esiintyvän sähkövarausten liikettä eli sähkövirtaa, joka kulkee avaruuden ominaisimpedanssin läpi. Tarkkaan ottaen asia ei ihan näin ole, mutta soveltuneee auttavasti radioamatööritekniikan alkeiden opiskeluun ajattelumalliksi.

VHF-vastaanottimen S-mittarin näyttämä on S 9. Tämä tarkoittaa määritelmän mukaan vastaanottimen 50 Ohm sisäänmenoimpedanssissa vaikuttavan 5 uV jännite. Toisaalta määritelmän mukaan S-mittarin näyttämä S 9 vastaa -93 dBm tehotasoa. HF-alueella määritelmän mukaan S 9 vastaa 50 uV antennijännitettä ja -73 dBm tehotasoa.

Asia voidaan ratkaista VHF-vastaanottimen tapauksessa seuraavasti. Suureita ovat

$R = 50 \text{ Ohm}$
 $U = 5 \text{ uV}$
 $I = ?$
 $P = ?$

$I = U / R = 5 \text{ uV} / 50 \text{ Ohm} = 0,1 \text{ uA}$
 $P = UI = 5 \text{ uV} * 0,1 \text{ uA} = 0,5 \text{ uW}$

Teho voidaan laskea myös jännitteen ja impedanssin kautta

$P = U^2 / R = (25 * 10^{-12}) / 50 = 0,5 \text{ uW}$
 $P = I^2 R = 0,1^2 * 50 = 0,5 \text{ uW}$

Tässä vaiheessa tunnemme absoluuttisen tehotason, joka on 0,5 uW. Seuraavaksi selvitämme paljonko S 9 tehotaso on verrattuna milliwatin tehotasoon (1 dBm). Määritelmän mukaan se on -93 dBm.

$P_1 = 0,5 \text{ uW} = 0,5 * 10^{-6} \text{ W}$
 $P_2 = 1000 \text{ uW} = 1 * 10^{-3} \text{ W}$
 $L = 10\lg(P_1 / P_2) = 10\lg(0,5 * 10^{-9}) = -93 \text{ dBm}$

Jännitetaso

$L = 20\lg(U_1 / U_2) = 20\lg(5 * 10^{-6} / 1 * 10^{-6}) = 13,98 \text{ dBuV}$

Jukka Kinkamo OH2JIN
E-mail: oh2jin@yahoo.com
GSM: +358 44 965 2689

Jännite puolittuu

S-mittari on jännitemittari, joka mittaa vastaanottimen 50 Ohm sisäänmenoimpedanssin navoissa vaikuttavan signaalijännitteen suuruutta, ei suoraan vastaanottimeen saapuvaa tehoa. Oletamme seuraavassa että mittarin näyttämä on S 8. S-mittarissa yksi jakoväli on 6 dB, eli yhden jakovälin muutos merkitsee jännitteen kaksinkertaistumista tai puolittumista. S-mittarin näyttämällä S 8 on jännite 6 dB pienempi kuin näyttämällä S 9

$$U = 5 \text{ uV} / 2 = 2,5 \text{ uV}$$

Teho voidaan laskea virran voimakkuuden kautta tai suoraan PUIMURI-kaavalla

$$P = U^2 / R = 6,25 / 50 = 0,125 \text{ uW}$$

Jännitteen puolittuminen (= 6 dB jännitetason pudotus) merkitsee tehon putoamista neljänteen osaan (= 6 dB tehotason pudotus). Tehotasona lukema S 8 vastaa

$$L = 10\lg(P_1 / P_2) = 10\lg(1,25 \times 10^{-10}) = -99 \text{ dBm}$$

Tehotaso on pudonnut 6 dB.

Teho putoaa neljänteen osaan

Edellisen esimerkin teho on 0,5 uW ja olitamme sen putoavan neljänteen osaan. Mikä on uusi vastaanottimen sisäänmenoimpedanssin navoissa vaikuttava jännite?

$$P = U^2 / R$$

$$U^2 = PR$$

$$U^2 = 0,125 \times 50 = 6,25$$

Ottamalla tuloksesta neliöjuuri saadaan jännite

$$U = 2,5 \text{ uV}$$

Tehon pudotessa neljänteen osaan putoaa jännite puoleen. Vastaavalla tapaa antennijännitteen kaksinkertaistaminen vaatii nelinkertaisen tehon. Harjoituksen vuoksi käydään sama läpi dB-laskutoimituksin jännitteistä

Alkuperäinen jännitetaso

$$L = 20\lg(U_1 / U_2) = 20\lg(5 \times 10^{-6} / 1 \times 10^{-6}) = 13,98 \text{ dBuV}$$

Jännitetaso kun jännite on puolittunut $5 \text{ uV} \Rightarrow 2,5 \text{ uV}$

Jukka Kinkamo OH2JIN
E-mail: oh2jin@yahoo.com
GSM: +358 44 965 2689

$$L = 20\lg(U_1 / U_2) = 20\lg(2,5 \times 10^{-6} / 1 \times 10^{-6}) = 7,96 \text{ dBuV}$$

Teho kasvaa

Lähetin syöttää 10 W tehon 50 Ohm kuormaan:

$$P = 10 \text{ W}$$
$$R = 50 \text{ Ohm}$$
$$U = ?$$

$$U^2 = PR = 10 \times 50 = 500$$
$$U = 22,3 \text{ V}$$

$$\text{Tehotaso } L = 10\lg(P_1 / P_2) = 10\lg(10 / 1) = 10 \text{ dBW}$$
$$\text{Jännitetaso } L = 20\lg(U_1 / U_2) = 20\lg(22,3 / 1) = 27 \text{ dBV}$$

Teho nostetaan 20 W:

$$U^2 = PR = 20 \times 50 = 1000$$
$$U = 31,6 \text{ V}$$
$$\text{Tehotaso } L = 10\lg(P_1 / P_2) = 10\lg(20 / 1) = 13 \text{ dBW}$$
$$\text{Jännitetaso } L = 20\lg(U_1 / U_2) = 20\lg(31,6 / 1) = 30 \text{ dBV}$$

Teho nostetaan 40 W:

$$U^2 = PR = 40 \times 50 = 2000$$
$$U = 44,7 \text{ V}$$

Teho nostetaan 80 W:

$$U^2 = PR = 80 \times 50 = 4000$$
$$U = 63,2 \text{ V}$$
$$\text{Tehotaso } L = 10\lg(P_1 / P_2) = 10\lg(80 / 1) = 19 \text{ dBW}$$
$$\text{Jännitetaso } L = 20\lg(U_1 / U_2) = 20\lg(63,2 / 1) = 36 \text{ dBV}$$

Tehon nelinkertaistuessa jännite kaksinkertaistuu.

Jännitetaso ja tehotaso

Edellä on laskettu jännitteitä ja tehoja sekä absoluuttisina arvoina että suhteellisina tasoina. Radioamatöörin tulee edetessään harasteessa osata laskea jännite- ja tehotasoilla, jolloin päästään yksinkertaisempiin laskutoimituksiin. Oletamme ensimmäisessä esimerkissä signaalitason olevan -100 dBm ja sitä vahvistetaan 20 dB vahvistimella ja vaimennetaan tämän jälkeen -30 dB

Jukka Kinkamo OH2JIN
E-mail: oh2jin@yahoo.com
GSM: +358 44 965 2689

vaimentimella (esim. siirtojohto). Huomaa että kysymyksessä on dBm, jolloin puhumme tehostasosta verrattuna 1 mW vertailutehoon. Vahvistuksen jälkeen tehotaso on -80 dBm, joka syötetään vaimentimelle ja saamme ulos -110 dBm tehostasoisen signaalin.

Vaikutus yhteisetäisyyteen

Koska sähkökentänvoimakkuus (E) ilmaistaan jännitteenä (U) pituusyksikköä (l) kohden

$$E = U / l$$

pätee edellä kuvattu säännönmukaisuus myös yhteisetäisyyteen. Muistisääntönä voidaan todeta matkan kaksinkertaistamiseen vaadittavan nelinkertaisen tehon. Vastaanotintekniikassahan ratkaisevaa on sähkökentän voimakkuus eli S-mittarin näyttämä. Toki signaali-kohinasuhde on aina huomioitava linkkibudjetissa, tämä tulee erityisesti esille FM-marginaaliyhteydellä.

Harjoitusesimerkit:

Esimerkki 1.

HF-alueen vastaanottimen S-mittari näyttämä on S 9, antennijännite on 50 uV ja tehotaso -73 dBm. Mikä on vastaanottimen sisäänmenoimpedanssi?

Vaihe 1: Laskemme tehostasosta absoluuttisen tehon

$$P1/P2 = (\text{nlg}(-73)) / 10 = 5,01 \times 10^{-8}$$

Koska suhde on kysytyn tehon suhde yhteen milliwattiin

$$P1 = (5,01 \times 10^{-8}) / 1 \times 10^{-3} = 5,01 \times 10^{-5} \text{ W} = 50,1 \text{ uW}$$

Vaihe 2: Laskemme sisäänmenoimpedanssin suuruuden

$$R = U^2 / P = 2500 / 50,1 = 49,9 \text{ Ohm}$$

Esimerkki 2.

Vapaassa tilassa (avaruudessa) on lähetin sekä vastaanotin ja niitä yhdistävä radiotie. Tietyllä etäisyydellä on antennijännite V. Jännite putoaa sadasosaan. Mikä on vastaanottimen sisäänmenoimpedanssissa vaikuttava teho?

Jukka Kinkamo OH2JIN
E-mail: oh2jin@yahoo.com
GSM: +358 44 965 2689

Radioamatööritekniikassa voidaan ottaa avuksi vanha hyvä "tasavirtamalli", jossa 100 V jännite esiintyy 100 Ohm resistanssin navoissa:

$U = 100 \text{ V}$
 $R = 100 \text{ Ohm}$
 $I = 1 \text{ A}$
 $P = 100 \text{ W}$

Kun jännite putoaa sadanteen osaan:

$U = 1 \text{ V}$
 $R = 100 \text{ Ohm}$
 $I = 0,01 \text{ A}$
 $P = 0,01 \text{ W}$

Vastaus kysymykseen on: Jännitteen pudotessa tekijällä 100, putoaa teho tekijällä 10000 eli tekijän 100 neliöllä ($100^2 = 10000$).