

Maasähkötys



Tietoisku

Räyskälä 17.7.2010

Heikki Lempola

OH2BGX

Historiallisia maasähkötyskokeita 1800-luvulla

- **Langatonta maasähkötystä kokeiltiin heti lennättimen keksimisen jälkeen ja kun oli huomattu maan johtavuus (1837, Carl August von Steinheil kokeili yhtä johdinta maan ollessa toinen).**
- **Maasähkötys kannaksen läpi (Morse, 1842), virtojen läpi (Vail, 1843), leveiden jokien (Lindsay, 1843), kanavien yli (Highton, 1852), lahden yli (Meucci, 1846), maan kautta (Stubblefield, 1872), ja kahden saaren välillä (Preece, 1880).**

1900-luvun maasähkötysthistoriaa

- **1901 eng. Fahie kokeili yhteyksiä saariin ja majakoihin**
- **Rogers USA:ssa kokeili maaelektrodeja ja luuppiantenneja maan sisässä ens. maailmansodan aikana.**
- **1916 ranskalainen Gustave-Auguste Ferrie käytti vastaanottimena triodivahvistinta ja lähettimenä paristolla toiminutta summeria. Yhteysväli oli tavallisesti useita kilometrejä. Lopulta liittoutuneiden sotilaskäytössä 10000 kpl. (lähde: IEEE)**
- **1942 QST rohkaisi käyttämään maasähkötystä, koska radioamatööritoiminta oli tuolloin sodan vuoksi USA:ssa kielletty**

Käyttö nykyään

- Kaivoskommunikoinnissa maan läpi kaupallisia sovelluksia (esim. TEDRA[®] (Trough Earth Digital Radio Appliance) SSB, 70kHz, 1000m)
- Amatöörikokeiluja, internetistä löytyy AF-taajuuksilla, 73kHz:n ja 136kHz:n taajuuksilla
- 136kHz:lla maa-antenneilla saatu etäälle myös normaaleja kusoja
- Voi kokeilla myös magneettisilla antenneilla (luuppi/ferriitti)

Alue ja rajoitteet

- **0 – 8.999 kHz vapaasti käytettävissä Suomessa**
- **Rajoitteina EMC-direktiivi ja geneeriset EMC-standardit**
- **Käytännössä ongelmina mahd. Hifi-häiriöt naapurustossa**
- **136 kHz:n (ja 73kHz:n) alue myös käytettävissä.
Miten mitataan tässä max. säteilyteho?**
- **HF- ja VHF-taajuuksiakin ovat amatöörit kokeilleet**

Maayhteyksiin soveltuvat alueet

- **ELF** extremely low frequency 3Hz to 30Hz 100'000km to 10'000 km
- **SLF** superlow frequency 30Hz to 300Hz 10'000km to 1'000km
- **ULF** ultralow frequency 300Hz to 3000Hz 1'000km to 100km
- **VLF** very low frequency 3kHz to 30kHz 100km to 10km **alle 9kHz!**
- **LF** low frequency 30kHz to 300kHz 10km to 1km **136kHz!**
- **MF** medium frequency 300kHz to 3000kHz 1km to 100m **160m!**
- **HF** high frequency 3MHz to 30MHz 100m to 10m
- **VHF** very high frequency 30MHz to 300MHz 10m to 1m
- **UHF** ultrahigh frequency 300MHz to 3000MHz 1m to 10cm
- **SHF** superhigh frequency 3GHz to 30GHz 10cm to 1cm
- **EHF** extremely high frequency 30GHz to 300GHz 1cm to 1mm

G3XBM:n listaamia ennätyksiä

Callsign	Freq (kHz)	TX Power (W)	Antenna	DX (kms)	Notes
DK7FC/P	8.97	250 (1.7mW ERP)	100m vertical	902	Best radiated DX recorded so far.
SP2KDS	9.6	600	E-field longwire 30m high and 110m long	290	RX station was SQ5BPF
DF6NM	8.97	35	Vertical	21	2-way QSO with DL2LF
G0AKN	6.0	1000	Grounded electrodes	10	Best DX with earth-mode (conduction)
W1VLF	8.9	54	Vertical	5	
KC6QPO	0.6-5	100	E-field	3.3	
DL5KZ	10	4	Grounded electrodes	3	
DJ2LF	8.97	14	E-field	20.5	2-way QSO with DF6NM
VK2ZTO	8.98	380	Grounded electrodes	1.6	
DK8KW	8.93	10	E-field	1	
G3XBM	1	4	Grounded electrodes TX, loop RX	5.1 NEW	20m TX electrode spacing, 80cm RX loop. DX aided by "utility coupling" to underground pipes.
IW3SGT	8.9	8		0.1	
DO1KHS	8.79	40	Vertical	0.1	

Yhteyteen vaikuttavat tekijät

- Maan (veden) johtavuus (ominaisvastus)
- Maaston laatu
- Asemien etäisyys $U \sim 1/r^2$
- Maa-antennin sauvojen pituudet ja etäisyydet
- Käytetty läheteteho $U \sim (PR)^{1/2}$
- Käytetty taajuus
- Alueen kohina taajuuskaistalla
- Käytetty lähetelaji
- Vastaanottimen ilmaisintyyppi (esim. koherentti)
- Datankäsittely (koodausvahvistus, virheenkorjaus)
- 50Hz verkkohurina ja QRM/QRN-häiriöt (whistlers ,tweeks, auroral chorus)

Maan johtavuus ja ominaisvastus

- Syötetyn virran ja kahden pisteen välillä mitatun potentiaalieron suhde on Ohmin lain ($R=U/I$) mukaisesti verrannollinen maan sähkönjohtavuuteen. Sen käänteisarvon eli ominaisvastuksen keskiarvoksi voidaan Suomessa määritellä $2300\Omega\text{m}$
- Huomioimalla mittausgeometria (elektrodien väliset etäisyydet) määritetään ns. *näennäinen ominaisvastus*. $R = \rho l/A$

Ominaisvastukset

Taulukko 16 Maan, betonin ja veden ominaisvastukset sulana (Saraoja)

Aine	Keskimäärin Ωm	Tavallisimmat vaihtelurajat Ωm
Savi	40	25...70
Saven sekainen hiekka	100	40...300
Lieju, turve, multa	150	50...250
Hiekka, hieta	2000	1000...3000
Moreenisora	3000	1000...10000
Harjusora	15000	3000...30000
Graniittikallio	20000	10000...50000
Betoni tuoreena tai maassa	100	50...500
Betoni kuivana	10000	2000...100000
Järvi- ja jokivesi	250	100...400
Pohja-, kaivo- ja lähdevesi	50	10...150
Merivesi (Suomenlahti)	2,5	1...5

Maadoitusvastuksen laskenta

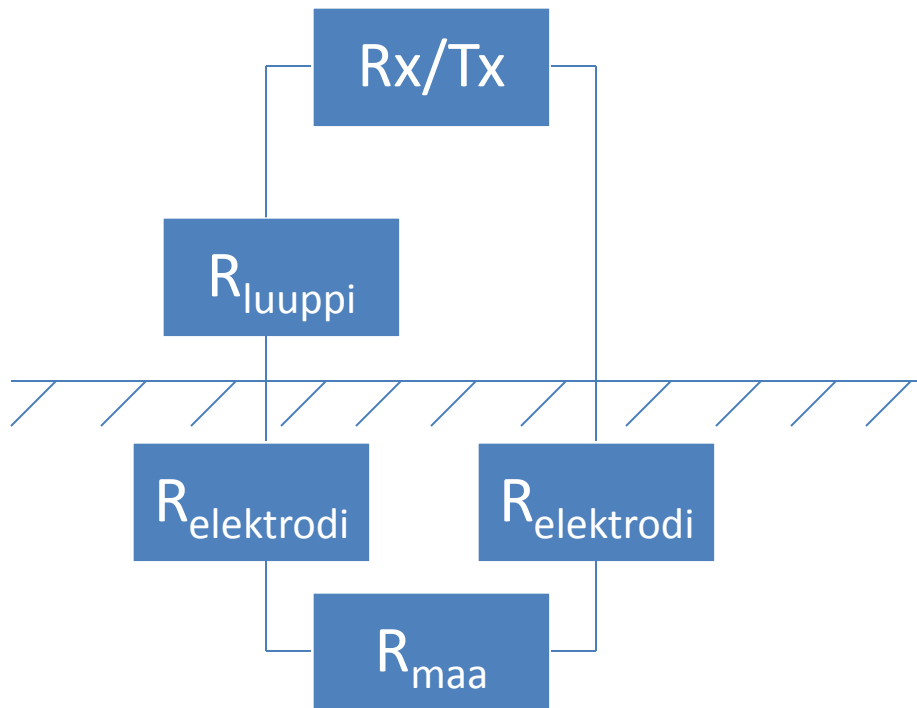
Taulukko 17 Maadoitusvastuksen yhtälöt

Elektrodirin laatu	Elektrodin sivulta	Elektrodin päästä	Yhtälö
Pallo pinnassa			$R = \frac{\rho}{\pi D}$
Pallo upotettuna			$R = \frac{\rho}{\pi D} (0,5 + \frac{D}{8h})$ ¹⁾
Levy pinnassa			$R = \frac{\rho}{2D}$ ²⁾
Levy upotettuna			$R = \frac{\rho}{2D} (0,5 + \frac{D}{4\pi h})$ ^{2; 3)}
Pystysuora putki tms. pinnassa			$R = \frac{\rho}{2\pi L} (\ln \frac{8L}{d} - 1) = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36 \cdot d}$ ⁴⁾
Pystysuora putki tms. upotettuna			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L(2h+L)}{1,36 \cdot d(4h+L)}$ ⁴⁾
Suora johdin pinnassa			$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{1,36 \cdot d}$ ⁴⁾
Suora johdin upotettuna			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{1,85 \cdot h \cdot d}$ ⁵⁾
2 suoraa johdinta pinnassa			$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{L^2}{2 \cdot 1,85 \cdot d \cdot a}$ ⁶⁾
2 suoraa johdinta upotettuna			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^4}{55 \cdot h \cdot d \cdot a}$ ^{5; 6)} $A = \sqrt{a^2 + 4h^2}$

Johdinrenkas pinnassa			$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln \frac{8D}{d} = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{0,785 \cdot d}$ ⁴⁾
Johdinrenkas upotettuna			$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{16D^2}{hd} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{0,617 \cdot hd}$ ⁵⁾
2 johdinsädettä upotettuna			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{1,27 \cdot hd}$ ⁵⁾
3 johdinsädettä upotettuna			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{0,767 \cdot hd}$ ⁵⁾
4 johdinsädettä upotettuna			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{0,217 \cdot hd}$ ⁵⁾
6 johdinsädettä upotettuna			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2 \cdot 10^3}{9,42 \cdot hd}$ ⁵⁾
8 johdinsädettä upotettuna			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2 \cdot 10^4}{2,69 \cdot hd}$ ⁵⁾
Verkko			$R = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{L}$ ⁷⁾

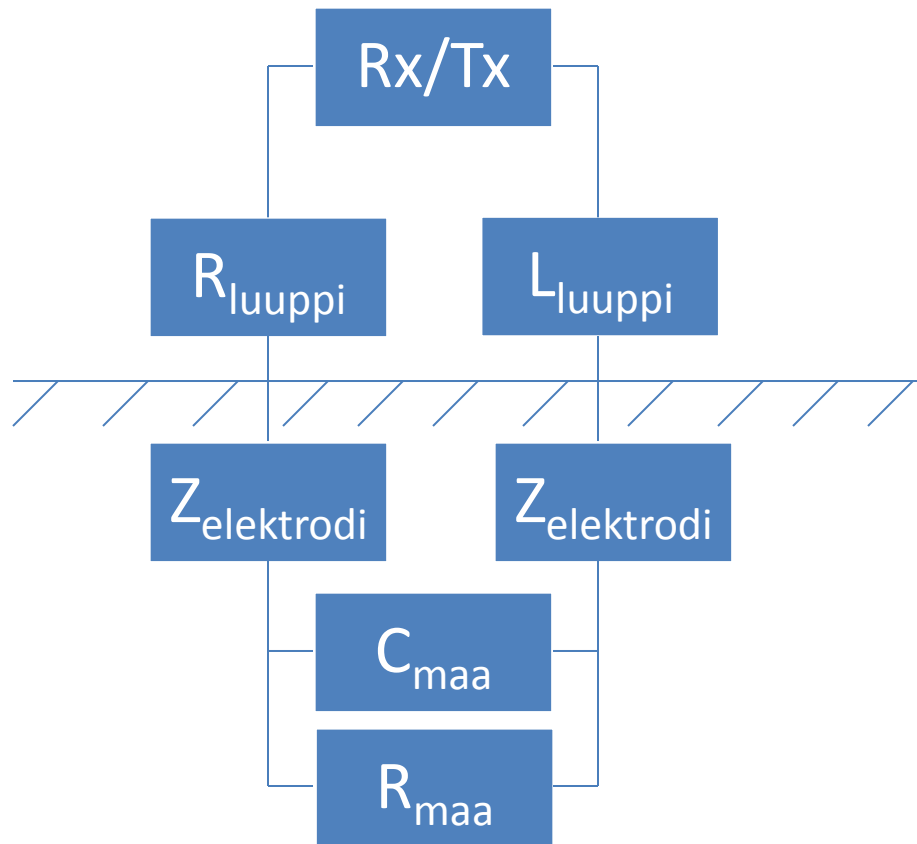
¹⁾ D < h ²⁾ s << D ³⁾ D < 2h ⁴⁾ d << L ⁵⁾ d << 4h << L/n ⁶⁾ d << a << L/n ⁷⁾ h << D

Sijaiskytkentä ELF -> VLF



Syötetyn virran ja kahden pisteen välillä mitatun potentiaalieron suhde on Ohmin lain ($R=U/I$) mukaisesti verrannollinen maan sähkönjohtavuuteen. Sen käänteisarvo n eli ominaisvastuksen keskiarvoksi voidaan Suomessa määritellä $2300\Omega\text{m}$

Sijaiskytkentä VLF ->



Korkeammilla taajuuksilla on huomioitava maan ja sauvojen kapasitanssiominaisuudet

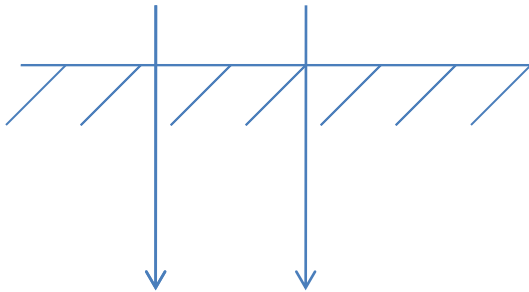
Maa-antennit

- Maa-antenneina voi käyttää sopivia tankoja esim. maalinsekoitusauvoja (saa kuparipintaisia esim. erääseen kaukoidän kaupunkiin viittaavasta liikeestä).
- Valittavina horisontaalinen ja vertikaalinen sähkökenttämoodi
- Horisontaalisessa voidaan antennisauvojen välimatka valita vapaasti.
- Vertikaalisessa muodossa sauvan pituus ja maan laatu rajoitteina.
- Antennin kontaktivastusta voi alentaa jollain luontoa vahingoittamattomalla suolavedellä (keinolannoitevedellä)

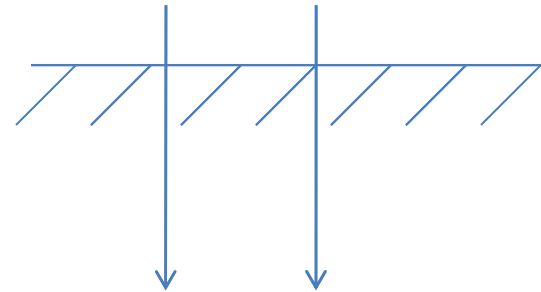
Antennisauvat perustapaus 1

- Horisontaalinen polarisaatio

- Lähetin



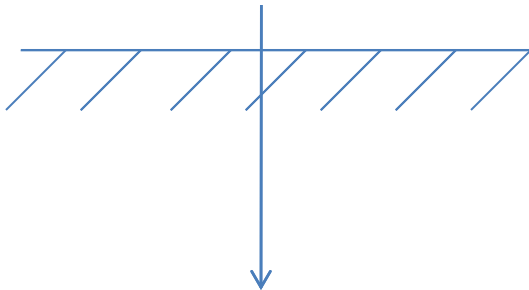
- Vastaanotin



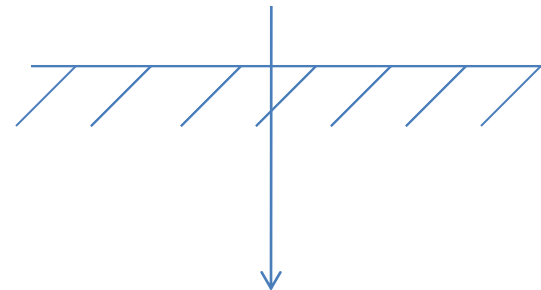
Antennisauvat perustapaus 2

- **Horizontaalinen polarisaatio**

- **Lähetin**



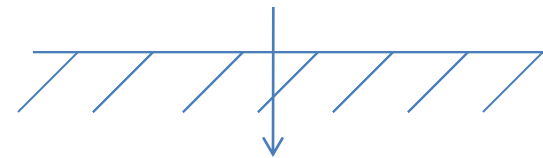
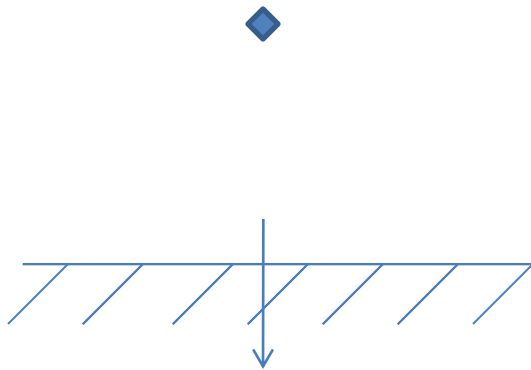
- **Vastaanotin**



Antennisauvat perustapaus 3

- Vertikaalinen polarisaatio
- Lähetin

Vastaanotin

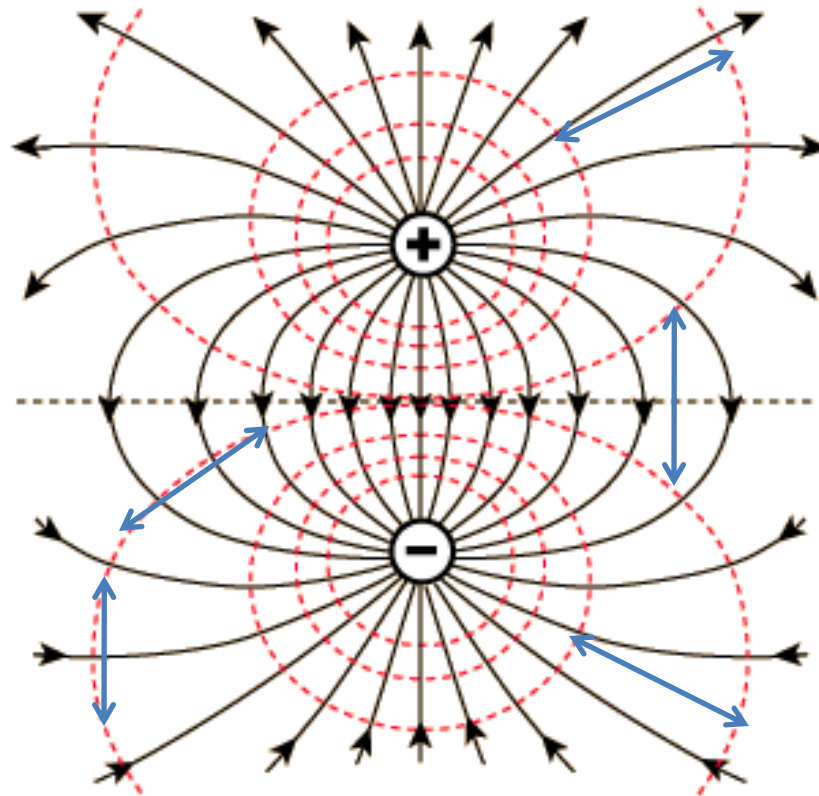


Ylempi elektrodi maan pinnassa
Alempi elektrodi syvemällä maassa



Horisontaalinen kenttä

Löytyy (vasemmalla) nollajännite- ja (oikealla) maksimijänniteasennot eri pisteissä



Demolaitteisto AF-taajuus

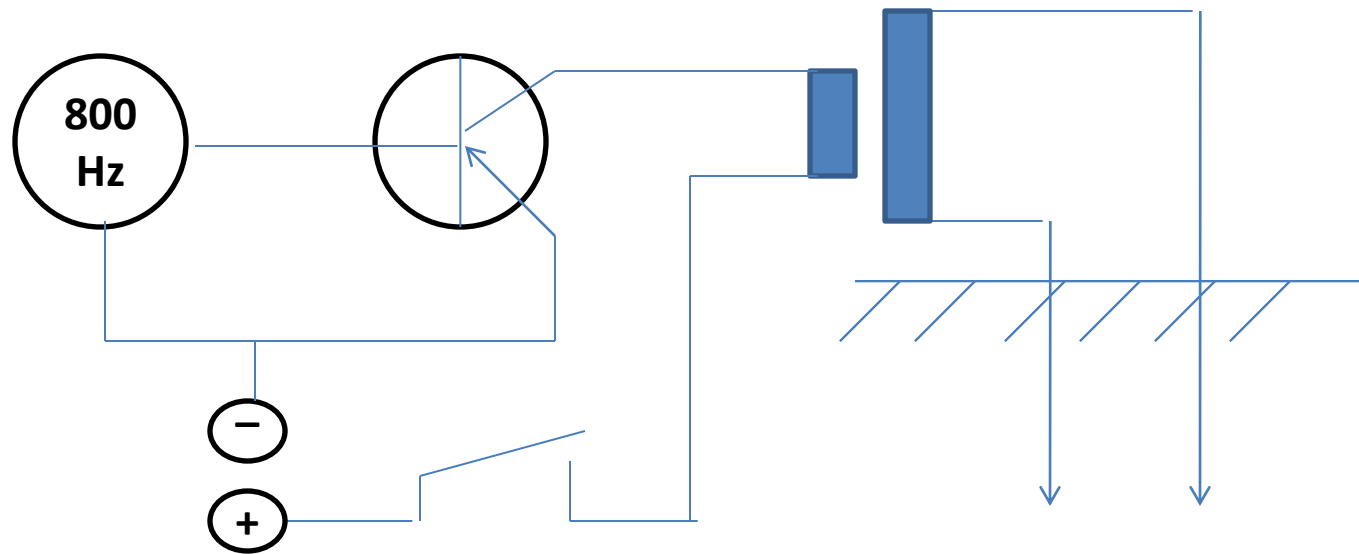
- **Kaksi 800Hz:n taajuudella toimivaa laitteistoa**
- **LC-suotimet vastaanotimissa (ei mene tukkoon suuresta 50 Hz:n tasosta)**
- **Muuntajat (12V/220V) sovittavat impedanssit lähettimissä**
- **Toimivat 12V akuilla**
- **Kokeiluissa 150m:n yhteys 20 metrin antennikohtiovälillä**



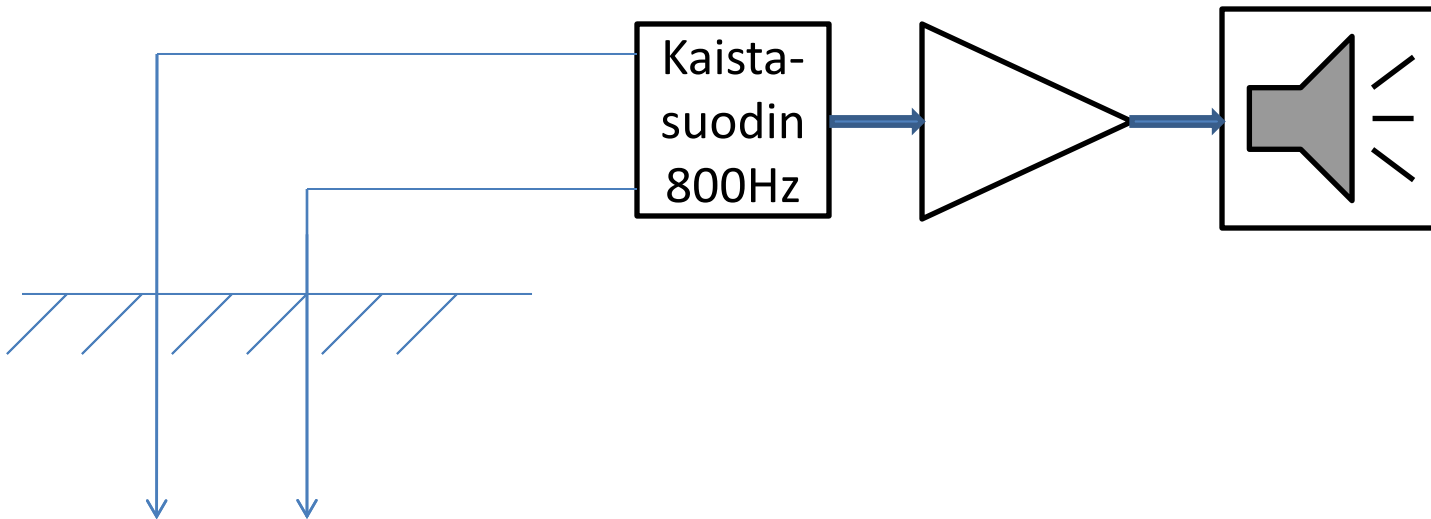
Maasähkötyslaitteet (800Hz) ja maadoitussauvat

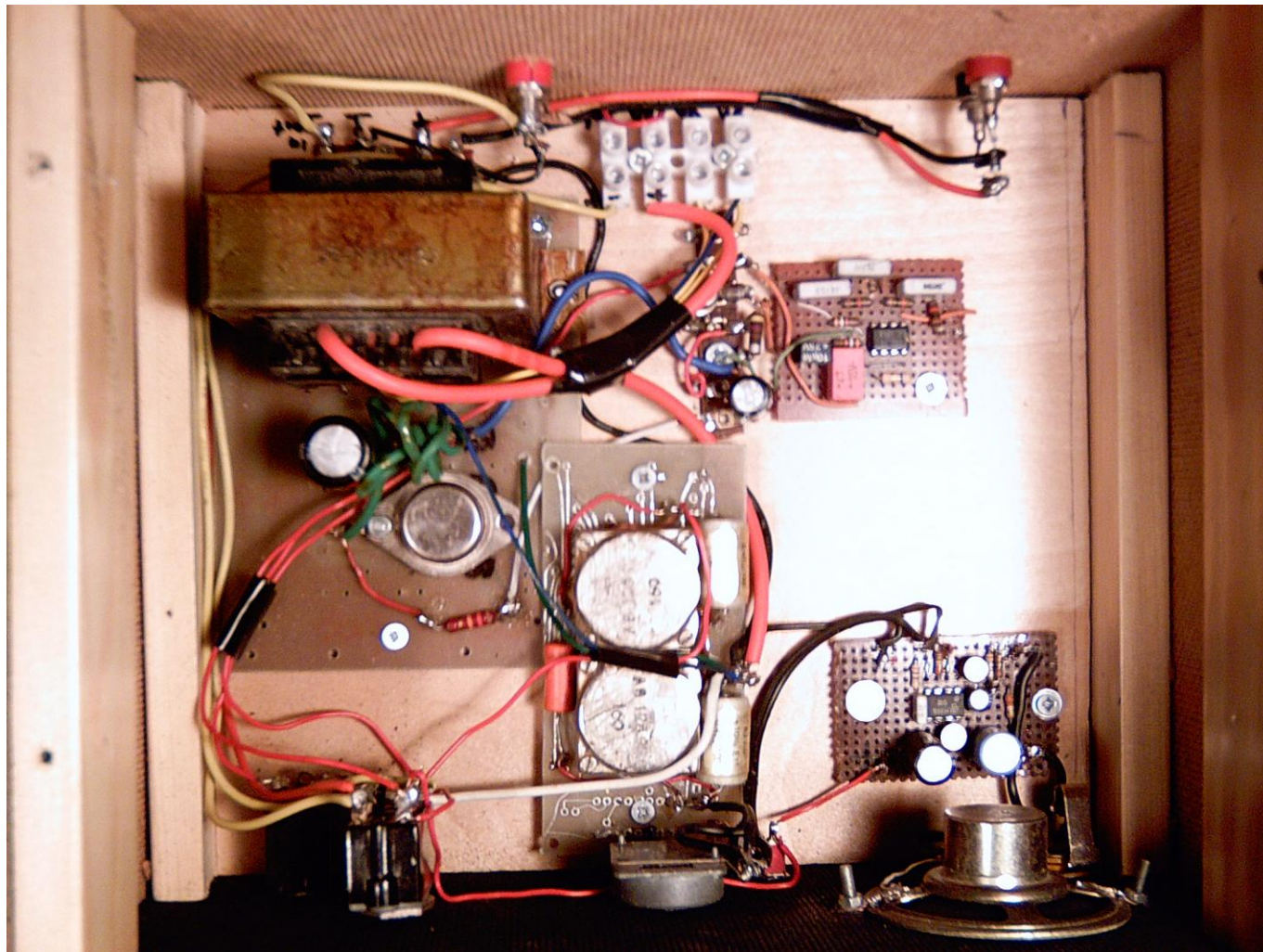
Lähetin

- Muuntaja esim. 220V/12V



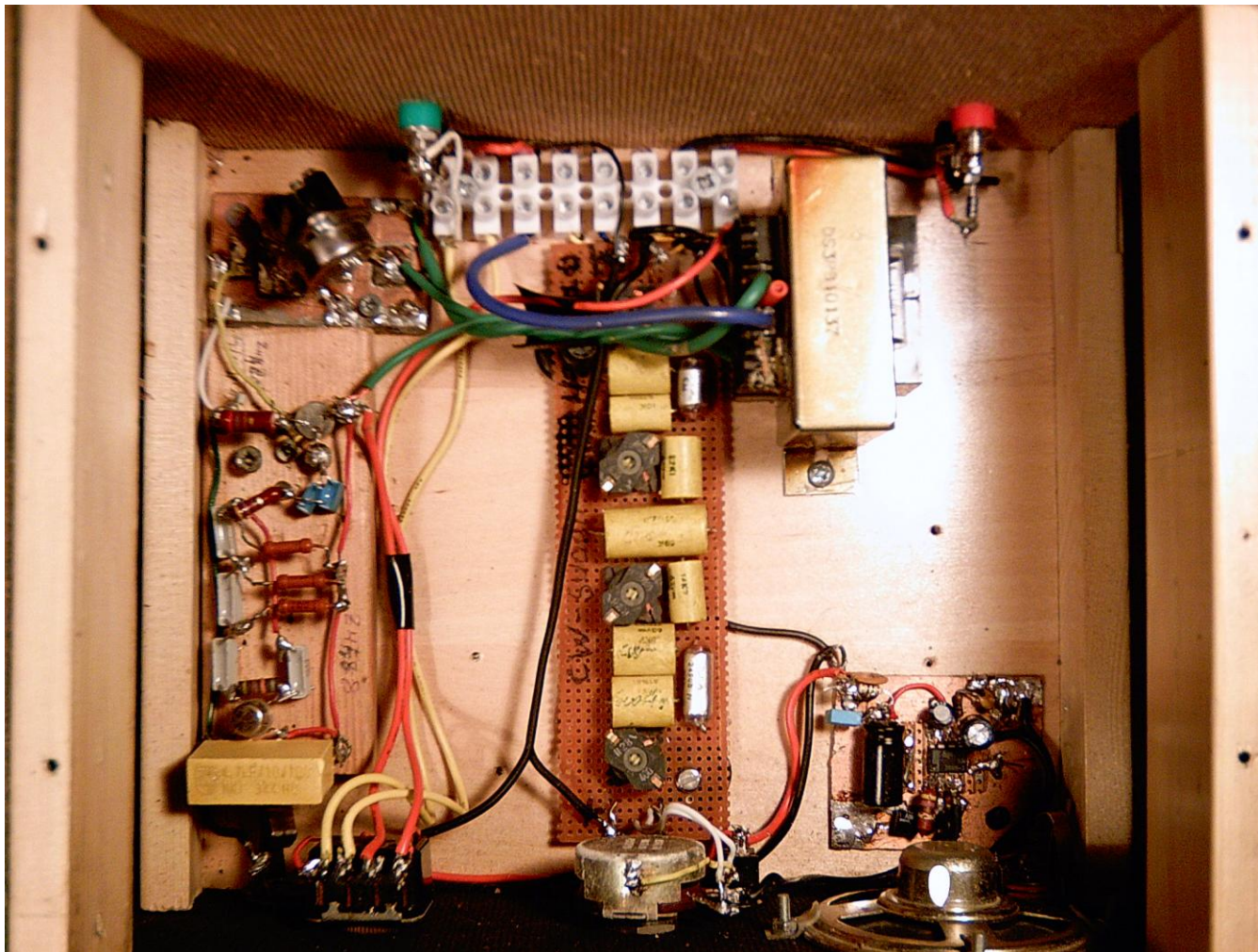
Vastaanotin





Maasähkötyslaite 1

Vasemmalla ylhäällä muuntaja 12V/220V, sen alla tehotransistori.
Keskellä 800Hz suodin. Oikealla ylhäällä 741-piirillä tehty oskillaattori.
Oikealla alla LM 386N-1 piirillä toteutettu vahvistin. Etulevyssä
vasemmalta RX/TX-kytkin, potentiometri ja kovaääninen.



Maasähkötyslaite 2

Vasemmalla ylhäällä tehotransistori, sen alla oskillaattori.

Keskellä 800Hz suodin. Oikealla ylhäällä muuntaja 12V/220V.

Oikealla alla LM 386N-1 piirillä toteutettu vahvistin. Etulevyssä vasemmalta RX/TX-kytkin, potentiometri ja kovaääninen.

136kHz maastotesti

7.7.2010

- **Lähetin 100W, antennit (maalinsekoitussauvat) 6 metrin etäisyydellä kotipihalla. Sovitus oli huono.**
- **Vastaanotin (136kHz:lle modifioitu) Juma RX, antennien (maalinsekoitussauvat) väli 3,5 m**
- **Tulos: 300 m etäisyydellä CW-signaali juuri ja juuri kuultavissa (S1) kuusimetsässä. Kohina Juman oma kohina.**

Käyttömahdollisuuksia

- **0 -> 9kHz alue ei tarvitse lupaa ja kommunikointialue on rajoitettu**
 - Partio- ja nuorisotoiminta: rakentelu ja kusoilu
 - Lähialueen kauko-ohjaus, datansiirto sekä turvajärjestelmät
- **Bandialueet**
 - Maa-antennien käyttö alabandeilla 136kHz ja 160m

Linkkejä

- <http://homepage.ntlworld.com/laphorn/earthmode.htm>
- <http://sites.google.com/site/g3xbmgrp/Home/10khz>
- <http://sites.google.com/site/g3xbmgrp/Home/earthmode>
- [http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Gustave-Auguste Ferrie#Gustave-Auguste Ferrie: Biography](http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Gustave-Auguste_Ferrie#Gustave-Auguste_Ferrie:_Biography)
- <http://www.rexresearch.com/rogers/1rogers.htm>
- <http://www.qsl.net/vk5br/UwaterComms.htm>
- [http://ecmweb.com/grounding/electric ground testing techniques/](http://ecmweb.com/grounding/electric_ground_testing_techniques/)
- [http://www.lyncole.com/articles/Ohms Law and Ground Resistance Testing part1.asp](http://www.lyncole.com/articles/Ohms_Law_and_Ground_Resistance_Testing_part1.asp)
- <http://www.academypublisher.com/ojs/index.php/jcm/article/download/0404284294/47>
- <http://www.icwcuca.ca/documents/AntonioMunozok.pdf>
- <http://www.djirra.com/docs/Earth%20Current%20Communications.pdf>
- <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9857/TMP.objres.648.pdf?sequence=2>