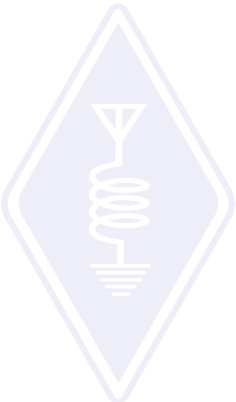
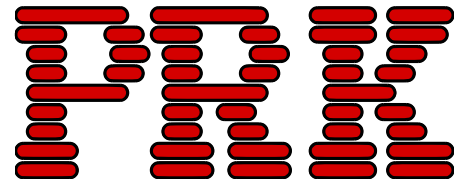


Radioamatöörikurssi 2024

Luento 5: Mittalaitteet

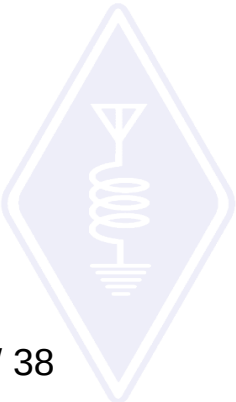
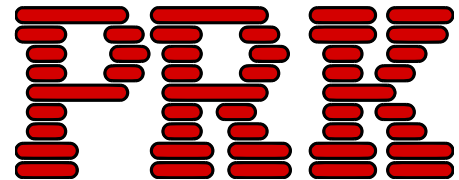
21.5.2024

Teemu, OH2FXN



Illan aiheet

- Yleisimmät mittalaitteet
- Radioamatööreille tärkeitä laitteita
- Alkuperäisistä kalvoista kiitos Juhalle, OH2EAN



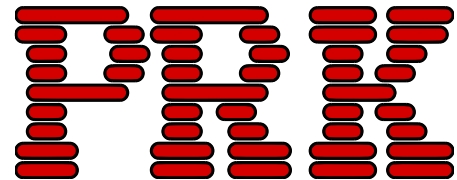
Labrapoveri / Laboratorioteholähde

- Säädettyvä lähtöjännite ja maksimivirta
- Virtarajan ylittyessä yleensä jännite laskee
- Joskus maksimiteho voi rajoittaa virtaa
 - Maksimijännitteellä ei yhtä suurta lähtövirtaa kuin pienemmällä jännitteellä
- Voi olla useampia lähtöjä
 - Riippumattomia tai toista jännitettä seuraavia



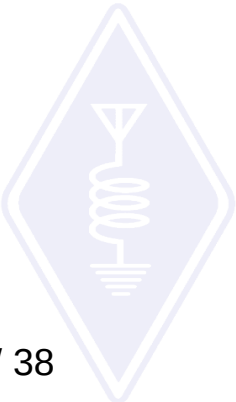
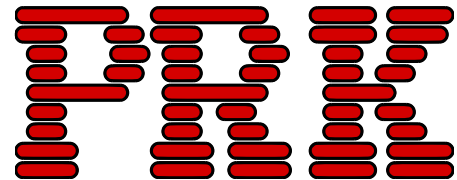
Keinokuorma

- Kiinteitä ja säädettäviä, aktiivisia
 - Aktiiviset: vakiojännite, vakiovirta, vakioteho, vakioresistanssi
- Esim. teholähteiden testaamiseen ja mittaamiseen
- Yleensä DC:lle/AC:lle
- RF keinokuormat ovat (yleensä) 50Ω vastuksia



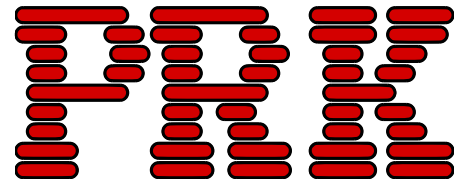
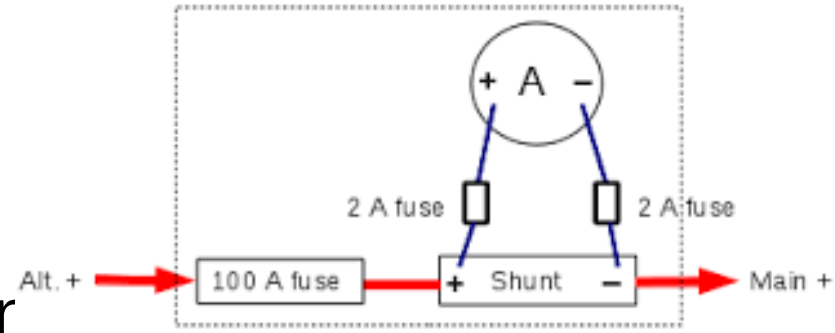
Jännitemittari

- Tasa- ja vaihtojännitteelle, TrueRMS
- Suuri tuloimpedanssi, jopa $>100\text{ M}\Omega$
 - Ei yleensä vaikuta mitattavaan kytkentään
- Suurilla jännitteillä voi käyttää ulkoista jännitteenjakajaa
 - Mittarin maksimijännite ja mittaussluokka huomioitava!
- Erikoiskäyttöiset
 - Korkeajännite, RF-jännite



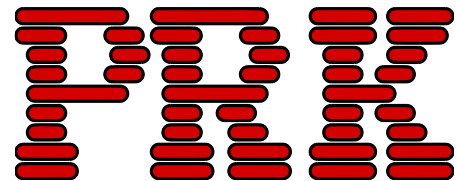
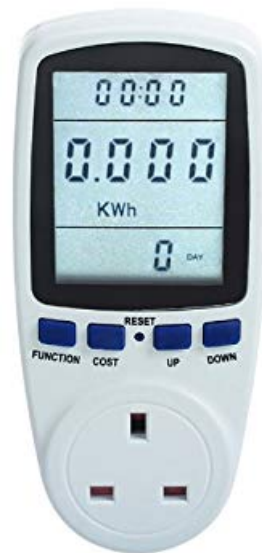
Virtamittari

- Tasa- ja vaihtovirralla
- Kytetään sarjaan mitattavan piirin
 - Pieni tuloimpedanssi
 - Isoille virroille käytettävä sivuvirta- eli shunttivastusta
- Pihtivirtamittari, virtamuuntaja
 - Mittaa johtimen läpi virtaavan virran ilman galvaanista yhteyttä
 - Perustuu magneettikentän mittaamiseen



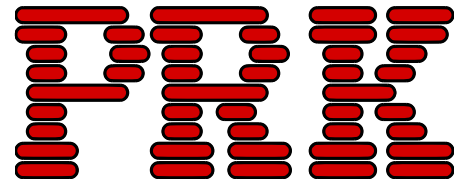
Tehomittari

- Yhdistetty jännite- ja virtamittari
- Yleisimmin pistorasiamallinen tai sähköliittymän mittauskeskuksen kiinteä mittari
- Tehokerroin, pätöteho ja loisteho



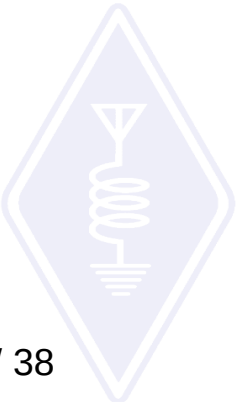
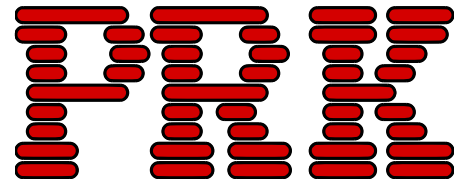
Resistanssimittari

- Vastusten, johtimien ym. resistanssin mittaamiseen
- Mittari syöttää pienen mittausvirran ja mittaa sen aiheuttaman jännitteen
- Jos mitattava resistanssi on pieni, tuottavat mittajohdot merkittävän virheen mittaustulokseen
 - 4-johdinmittauksessa mittauskohteeseen tuodaan virta yhdellä johdinparilla, ja toisella johdinparilla mitataan kohteen yli oleva jännite
- Ei saa kytkeä jännitteelliseen piiriin!!



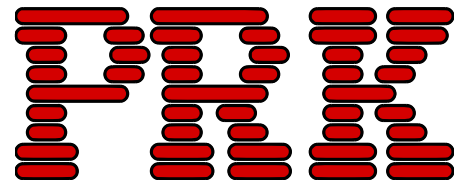
Kapasitanssi- ja induktanssimittaus

- Varataan ja puretaan kondensaattoria tunnetulla virralla ja mitataan jännitteen muutosta
- Syötetään tunnettu korkeataajuinen virta kondensaattorin tai kuristimen läpi ja mitataan jännitekomponentin yli
 - 4-johdinmittauksella tarkempi tulos
- Sarjaresistanssi (ESR) voidaan mitata
 - Voi paljastaa rikkoutuneen kondensaattorin



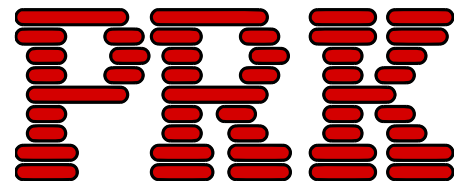
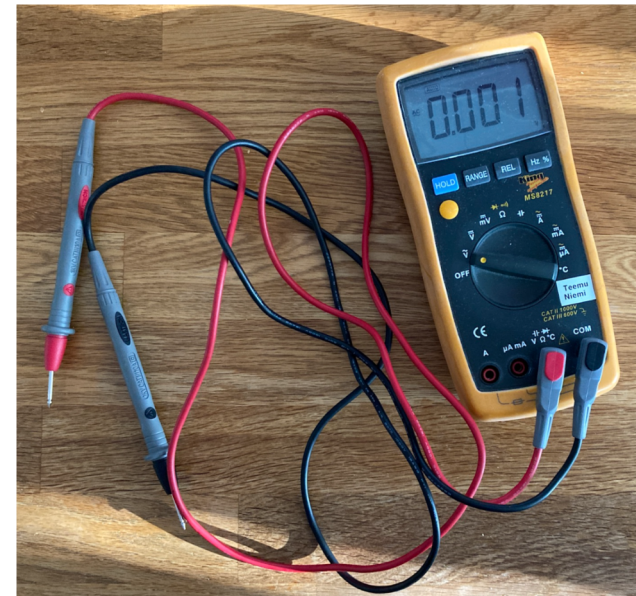
LCR-mittarit

- Nykyään induktanssin, kapasitanssin ja resistanssin mittaaminen on yleensä samassa laitteessa
- Usein mittausvirran taajuus valittavissa
- 2- ja/tai 4-johdinmittaus
- Mahdollisuus esijännittää eli biasoida mitattava piiri



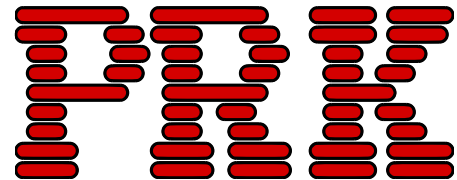
Yleismittarit

- Yleensä yhdistetty ainakin jännite-, virta- ja resistanssimittari
- Moderneissa mittareissa usein myös johtavuus-, kapasitanssi-, taajuus-, diodi- ja lämpötilamittaus
- Käsi- ja pöytämallisia mittareita
 - Tarkkuusmittarit pöytämallisia



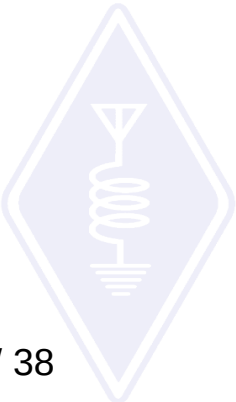
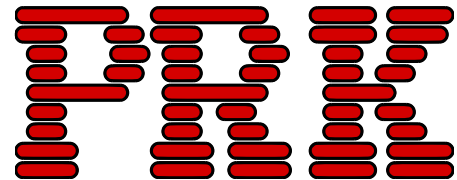
Funktiogeneraattori

- Tuottaa erilaisia aaltomuotoja säädettävällä taajuudella ja amplitudilla
 - Yleensä muutamiin (kymmeneen) megahertzeihin asti
 - Yleisimmät aaltomuodot sini-, kantti-, kolmio- ja saha-aalto
 - Jotkut mallit kykenevät myös arbitäärisiin aaltomuotoihin (Arbitrary waveform generator, vector signal generator)
- Aaltomuoto voi olla myös ulkoisesti moduloitavissa, säädettävissä, synkronoitavissa ja liipaistavissa



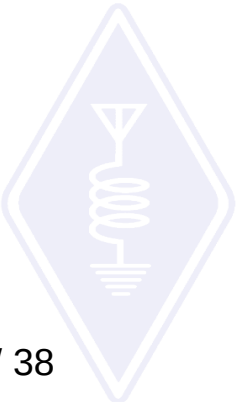
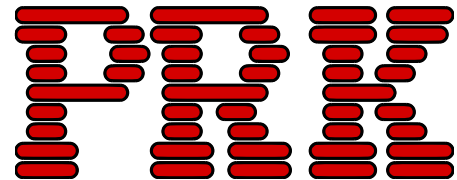
Signaaligeneraattori

- Tuottaa RF-taajuista signaalia (siniaalto)
- Taajuus ja amplitudi säädettävissä
 - Myös pyyhkäiseviä malleja (taajuus ja/tai teho)
- Yleensä sisäinen säädettävä modulaattori (AM ja FM)
 - Usein myös ulkoinen modulaatiolähde kytkettävissä
 - Nykyään IQ-tulo melko yleinen



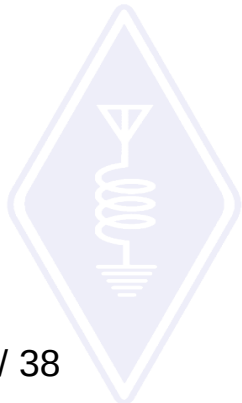
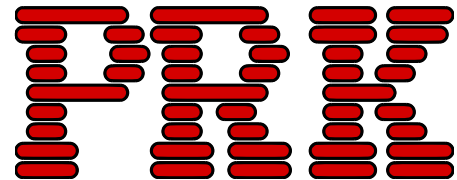
Pulssigeneraattori

- Tuottaa pulsseja
- Pulssien tiheys, kesto, amplitudi ja pulssisuhde säädettävissä
- Muiden laitteiden synkronoituun liipaisuun
- TDR-signaalilähteenä (Time Domain Reflectometer)



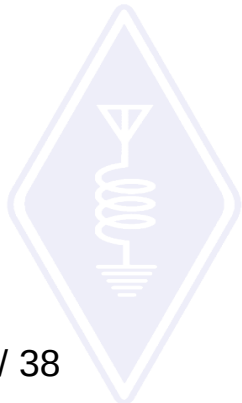
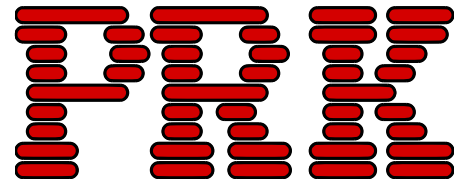
Oskilloskooppi

- Esittää tulevan signaalin jännitteen ajan funktiona
- Mittauskohteita:
 - Amplitudi, taajuus, jaksonaika, aaltomuoto, nousu- ja laskuaika, särö, ...
- Näytöllä asteikkoruudukko, pyyhkäisynopeus ja tulon amplitudi säädettävissä (V/div, s/div)
- Yleensä 2-4 tuloa/kanavaa ja liipaisintulo



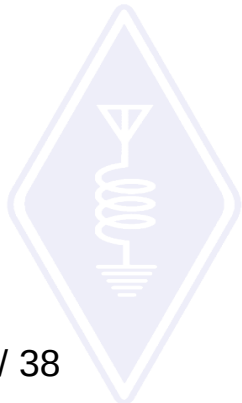
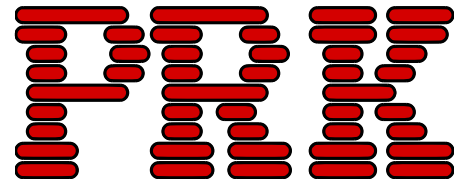
Oskilloskooppi jatkuu

- Liipaisin (trigger) asetettava oikein
- Auto (juoksee vapaasti, jos triggeriin ei osuta), normal (trigger)
- Kaistanleveys
- Analoginen, digitaalinen, PC-liitännäiset
- Tulo AC- ja DC-kytkettävissä, tuloimpedanssi yleensä $1\text{M}\Omega$, joskus myös kytkettävä 50Ω terminointi
- Kursorit, matematiikkatoiminnot, muisti, XY-tila, digitaaliväylien tulkinta



Oskilloskoopin mittapäät

- Mittapäät yleensä 10x vaimentavia, myös 1x, 100x ja 1000x
 - Skoopissa vastaava asetus
- Koukku mittapään kärjessä helpottaa joitain mittauksia, ei kuitenkaan sovellu suurille taajuuksille
- Mittapään maadoitusjohdin muodostaa sarjakelan (alipäästösuodatin) korkeammilla taajuuksilla
 - Maadoituspiste
- Eryyisen herkille kytkennöille ns. aktiivimittapää
- Differentiaaliset mittapäät, esim. korkeille jännitteille

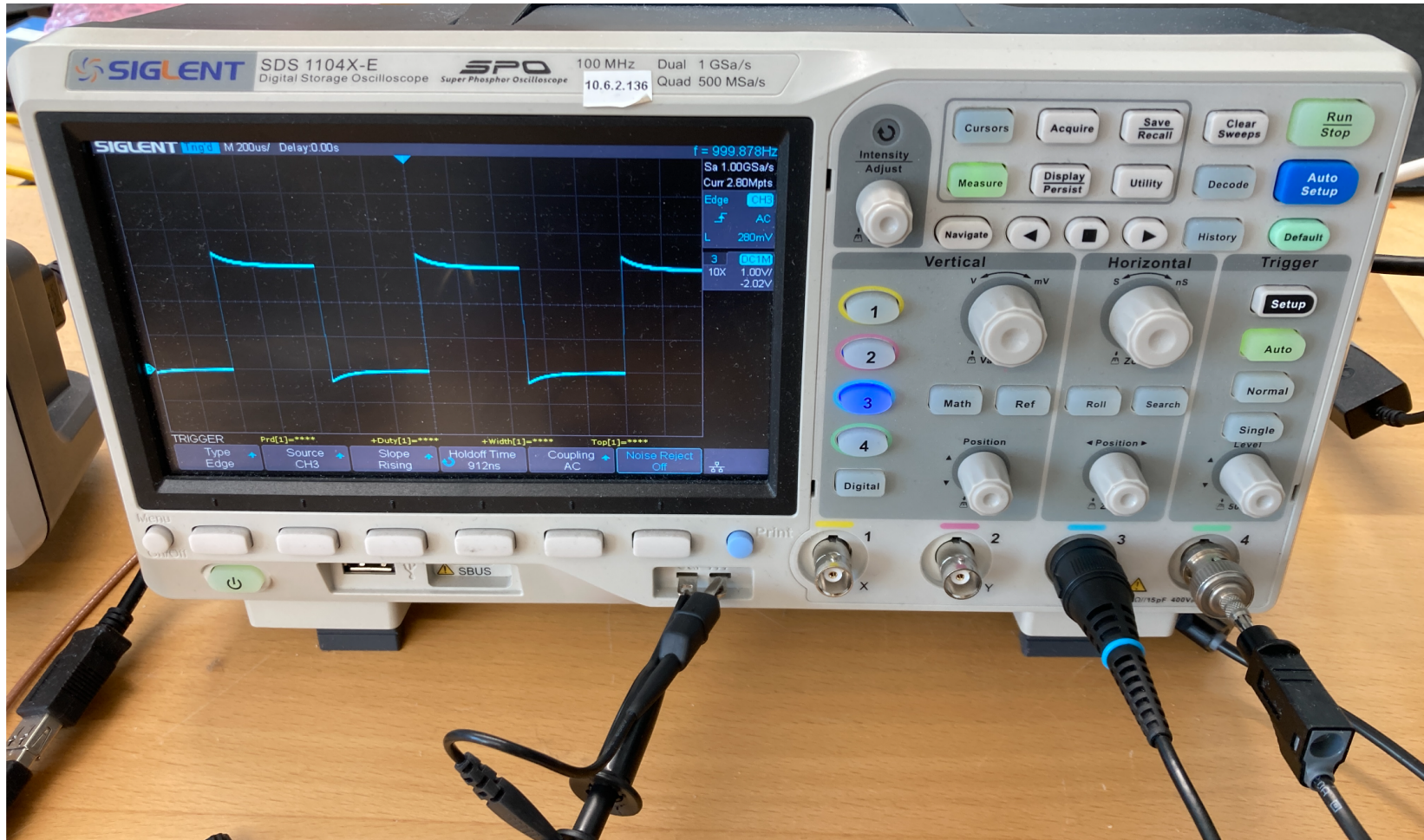


Oskilloskoopin mittapäät

- "normaali" maadoituspiuha ja koukku
- 1× tai 10×
- Maadoitusjousi
- kalibrointiruuvi

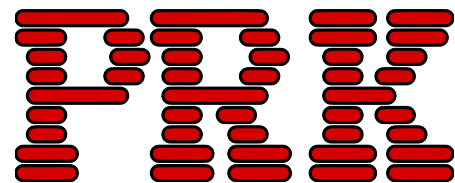
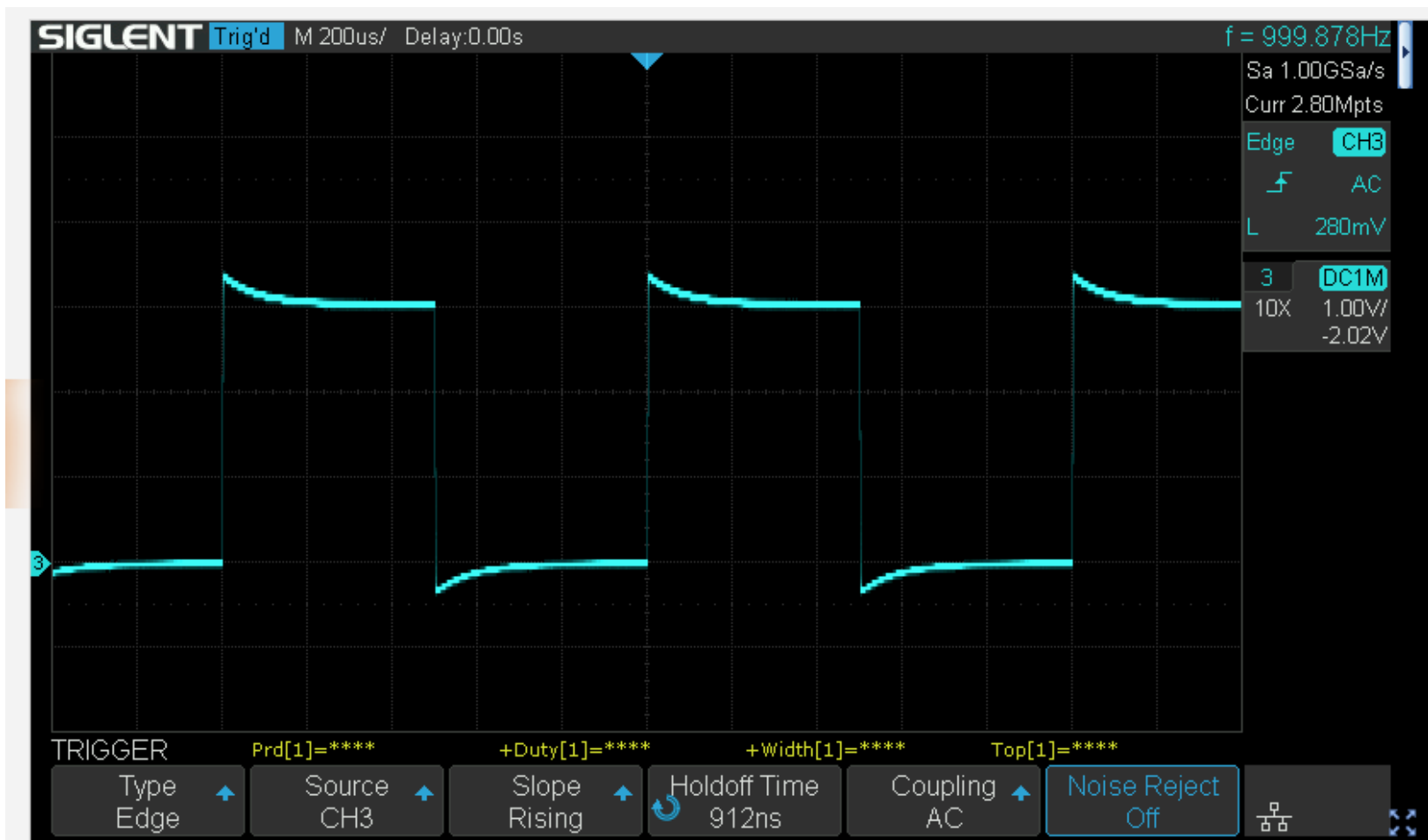


Oskilloskoopin kalibrointiulostulo

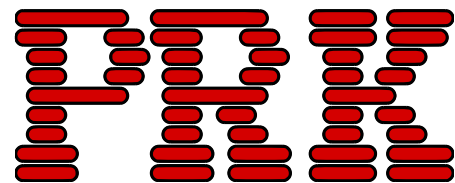
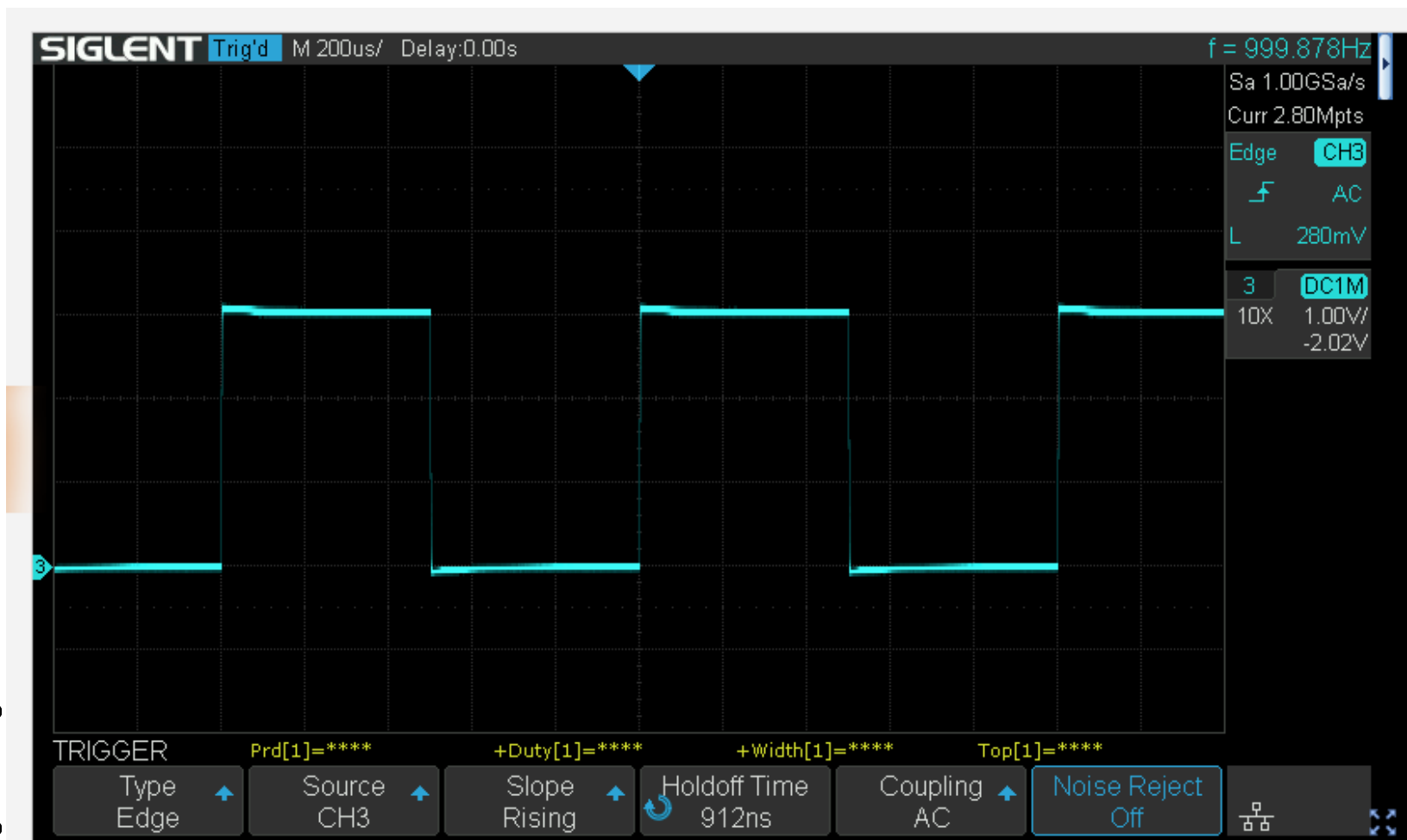


PAK

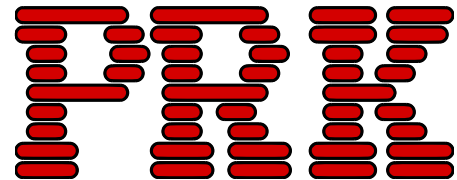
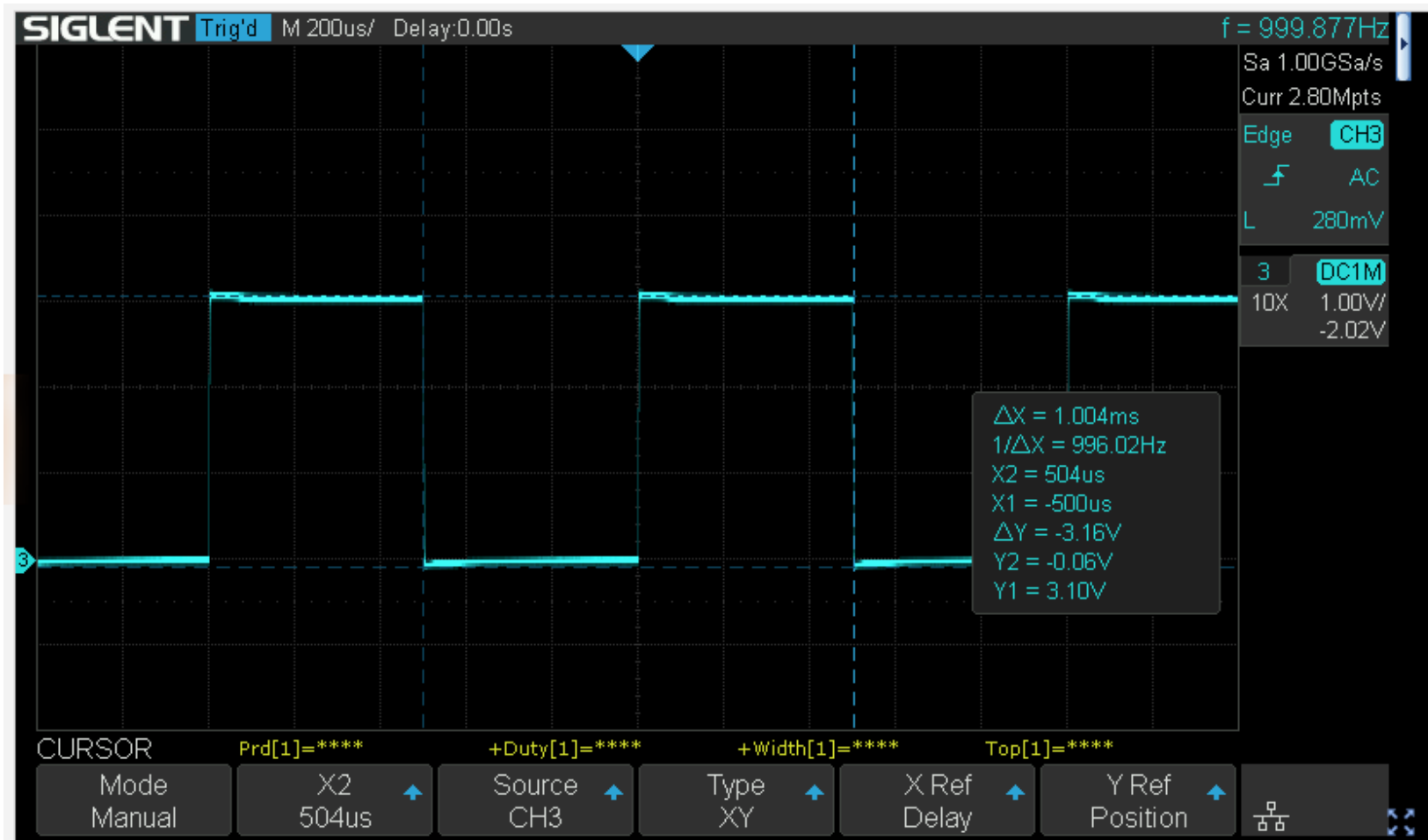
Kalibroimaton mittapää



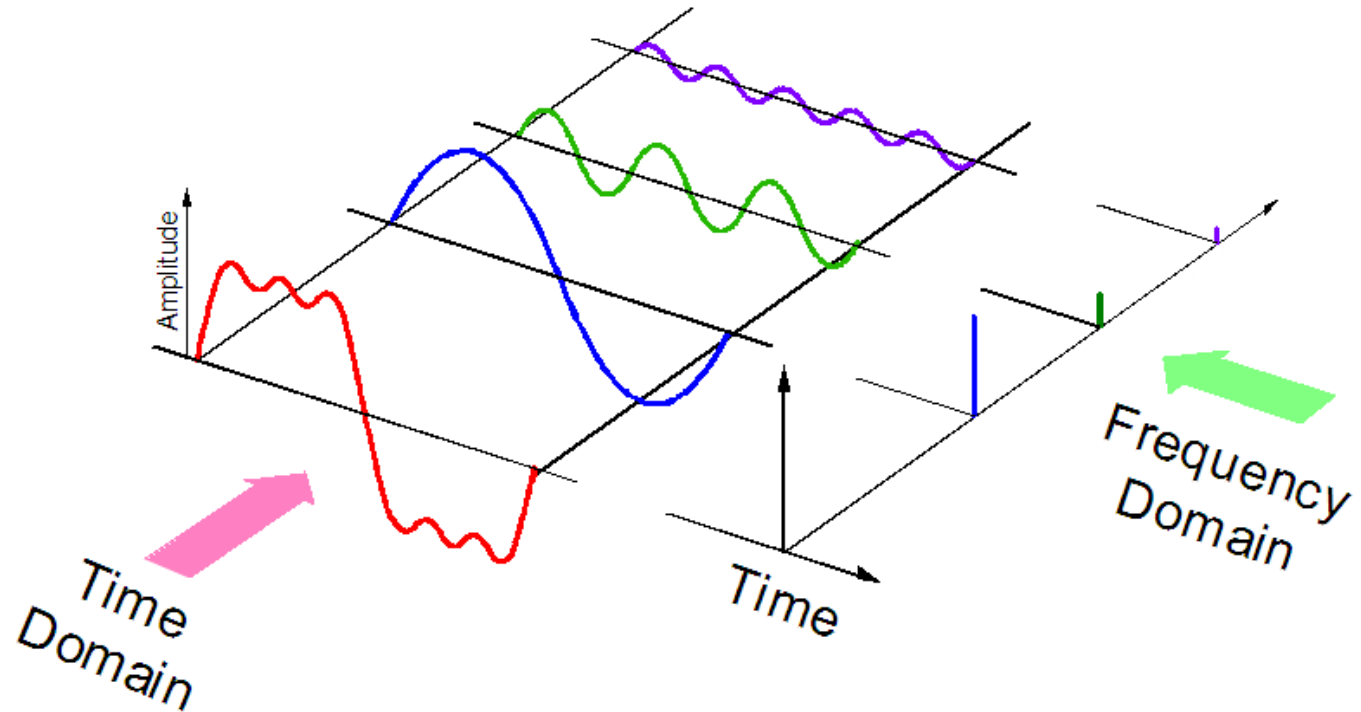
Kalibroinnin jälkeen



Kursorit mittaamisen apuna

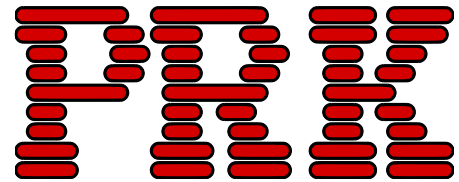


Aika- ja taajuustasot



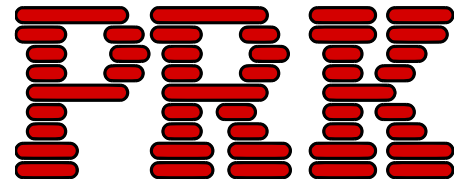
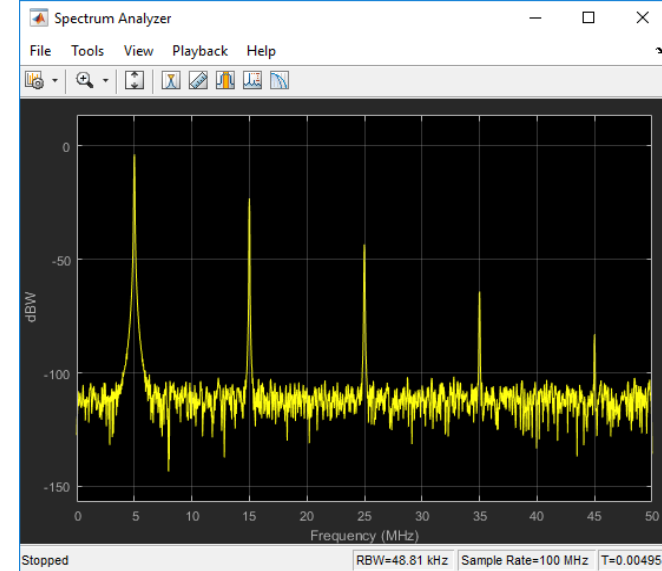
Oskilloskooppi

Spektrianalysaattori



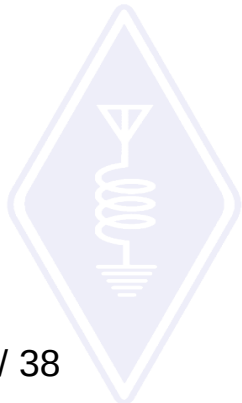
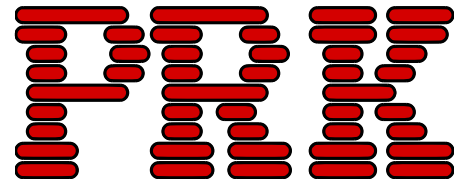
Spektrianalysaattori

- Esittää tulevan signaalin amplitudin taajuuden funktiona
- RF-mittausten ”yleismittari”
- Yleensä ns. pyyhkäisevää tyyppiä
 - Myös reaaliaika-, FFT- ja hybridi-FFT -tyyppisiä
- Pyyhkäisystä säädettävissä alku- ja lopputaajuus tai keskitaajuus ja pyyhkäisyikkuna (SPAN)
- Referenssitaso, sisäinen ja ulkoinen vaimennus/vahvistus



Spektrianalysaattori jatkuu

- Kursorit (marker), peak search
- Resoluutiokaistanleveys (RBW)
 - Välitaajuussuodattimen kaistanleveys
- Videokaistanleveys (VBW)
 - Ilmaistun signaalin alipäästösuodattimen kaistanleveys
- Pistetaajuustila (zero span)
- Mittauskohteita:
 - Taajuusspektri (taajuus ja amplitudi), särö, kohina, ...
- ”DC-piikki”
- Ei tarkkuusmittalaite!
Taajuuslaskuri ja tehomittari erikseen
- Huomioi tulon maksimiteho ja jännitteenkesto!!
- Usein **0,2 – 1 W** ja **0 VDC**(!)

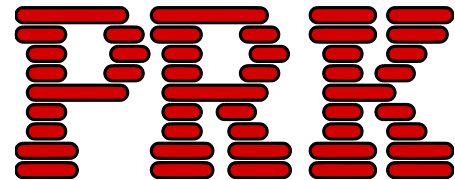
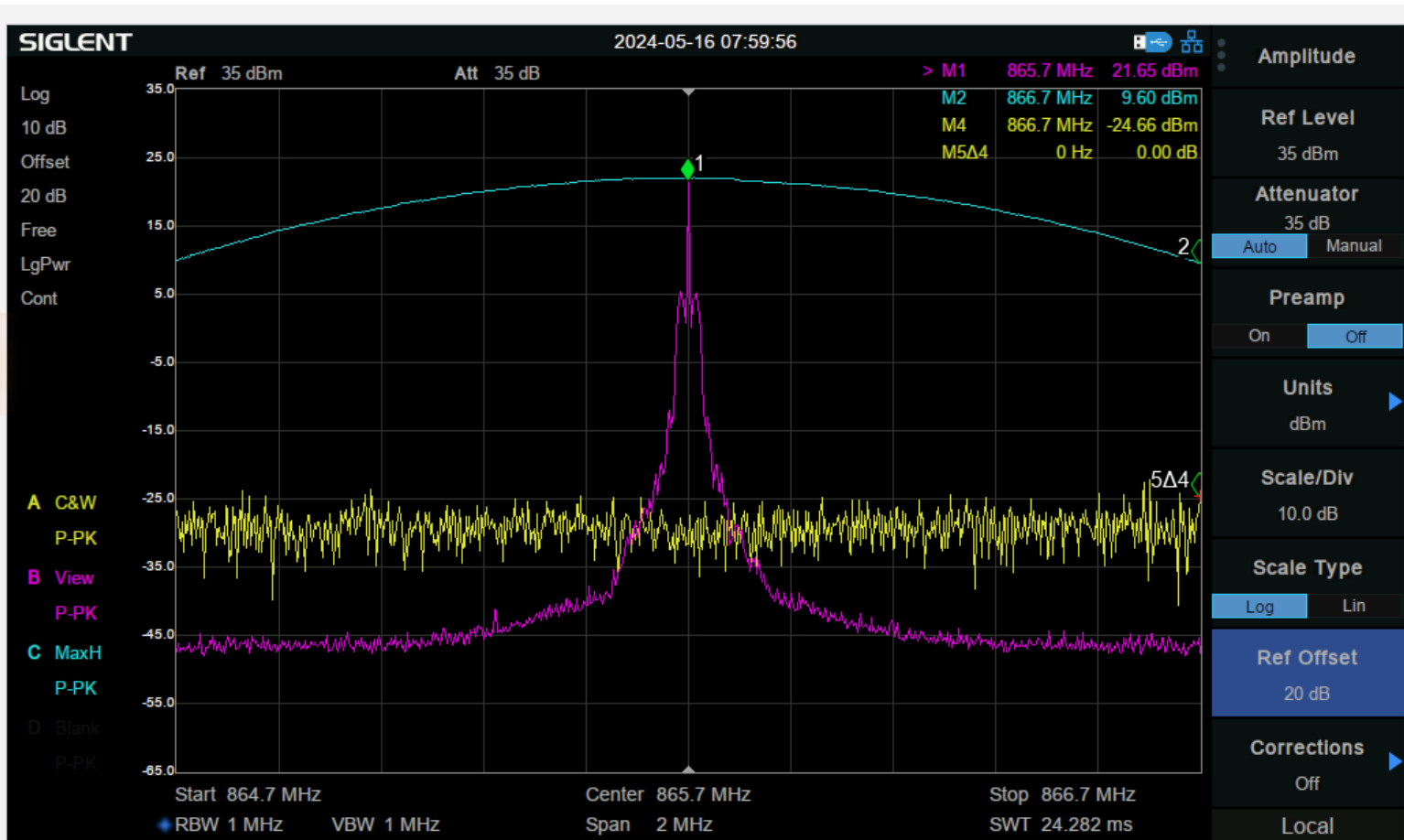




PAK

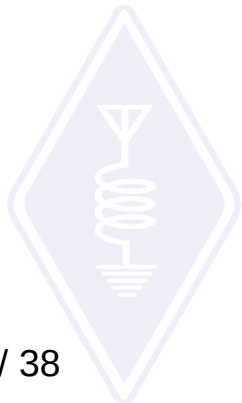
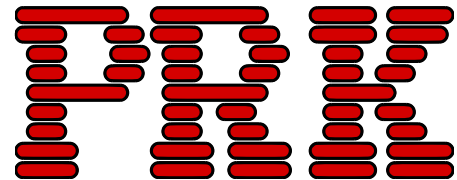
Reaaliaikainen, 1 kHz RBW, 1 MHz RBW

- 20 dB vaimennin



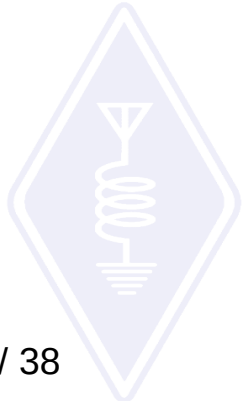
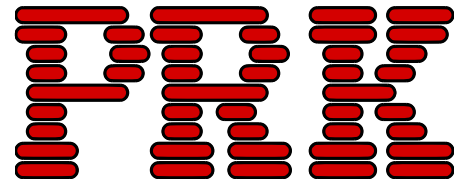
Seurantageneraattori

- Tracking generator
- Käytetään pyyhkäisevän spektrianalysaattorin kanssa
- Lähtötaajuus seuraa spektrianalysaattorin pyyhkäisytaajuutta
 - Voidaan käyttää skalaaripiirianalysaattorin tavoin
 - Joihinkin mittauksiin tarvitaan sopiva mittasilta



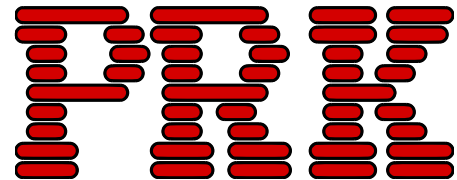
Taajuuslaskuri

- Mittaa signaalin taajuutta
 - Jaksoja aikaikkunassa, tai jakson pituus
 - Erityisen korkeilla taajuuksilla käytetään esijakajaa tai sekoitetaan alemmalle taajuudelle mitattavaksi



RF-keinokuorma, -vaimennin

- Keinokuorma siirtolinjan terminointiin
 - Lähettimien ja vahvistimien testaukset, ilman antennia käyttäminen
 - Käyttämättömien porttien terminointi
 - Liitin, tehonkesto, taajuusalue, impedanssi
- Vaimennin signaalin vaimentamiseen
 - Mittalaitteiden tulot, ...
 - Liittimet, vaimennus, tehonkesto, taajuusalue, impedanssi



RF-keinokuorma, -vaimennin



<https://www.becenrf.com/wp-content/uploads/2019/01/25W-N-K-dummy-load-3-800x800.jpg>



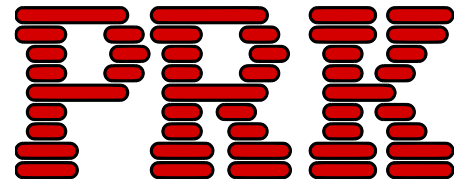
<https://www.topwavetelecom.com/uploads/202027924/1000w-dummy-load49198263537.jpg>



https://en.wikipedia.org/wiki/File:RF_Attenuator_30dB_5W.jpg

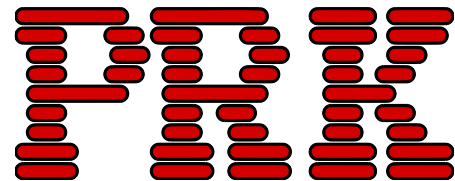


<https://annew-tech.com/wp-content/uploads/2003/02/Manual-knob-variable-attenuator-6G-2W-10dB-SMA-Female-Connector.jpg>



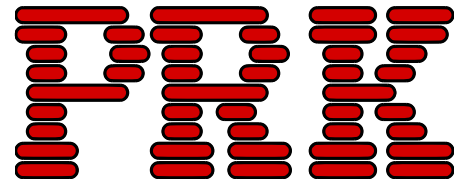
RF-tehomittari

- Mittaa kokonaistehoa tuloportissa
 - Perinteisesti keinokuorma, jonka lämpenemistä seurataan vrt. kalorimetri
- Myös yhden taajuuden tehoa mittaavia taajuusselektiivisiä malleja
- Voidaan myös esittää ajan funktiona
- Huomaa mittapään maksimiteho ja maksimi käyttöaikasuhde!!



S-mittari

- Radion etupaneelista/näytöstä löytyvä signaalitasomittari
- Voidaan lukea suoraan arvo RST-raporttiin
- Tarkkuus yleensä lähinnä suuntaa-antava
- Yksi S-yksikkö = 6dB
- HF- ja VHF+-taajuuksilla eri referenssitaso
 - S9 = -73dBm (HF) tai S9 = -93dBm (VHF+)



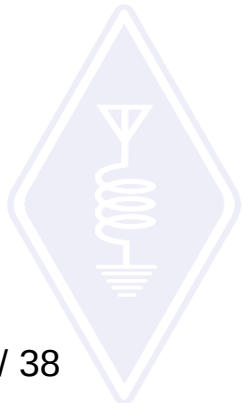
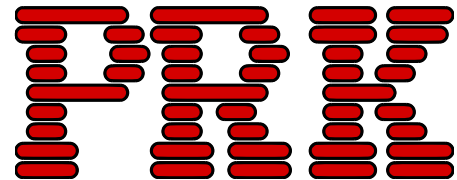
SWR-mittari

- SWR = (Voltage) Standing Wave Ratio
- Mittaa (antenniin) lähtevää ja sieltä palaavaa tehoa, sekä SWR-arvon
- $SWR \geq 1$ (eli 1:1)
- $SWR \leq 2$ (2:1) → antenni jotakuinkin vireessä, paluuvaimennus 10 dB.
- Lisää Antennit ja siirtojohdot -luennolla



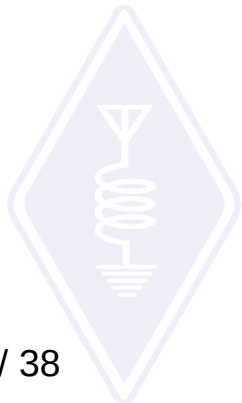
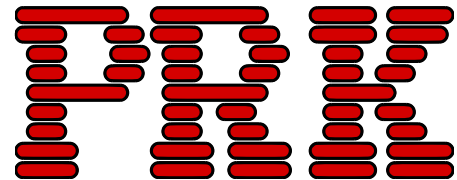
Piirianalysointori

- Mitataan sähköisten verkkojen S-parametreja
 - Siirtojohdot, suodattimet, antennit, vahvistimet, ...
- Skalaari- tai vektoripiirianalysointori
 - Mittaa pelkkää amplitudia tai amplitudia ja vaihetta
 - VNA: ”Kompleksi-impedanssimittari”
- Virhetermit kalibroitava pois aina käyttötilanteen muuttuessa
 - Kalibrointikitti, yleensä SOLT (Short, Open, Load, Thru) -kalibrointi
- S11: heijastunut teho / sovitus
- S21: vahvistus (portti 1 lähettää, portti 2 vastaanottaa)

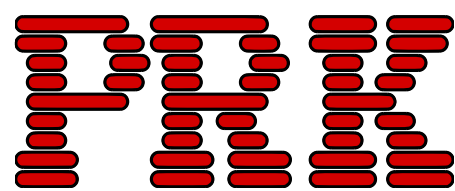
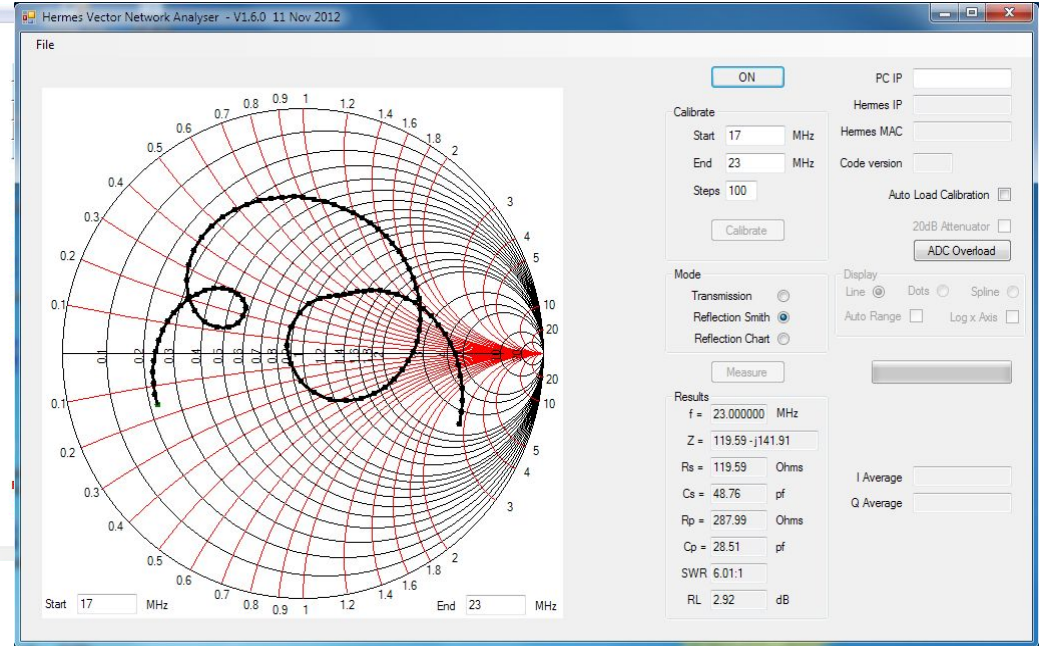
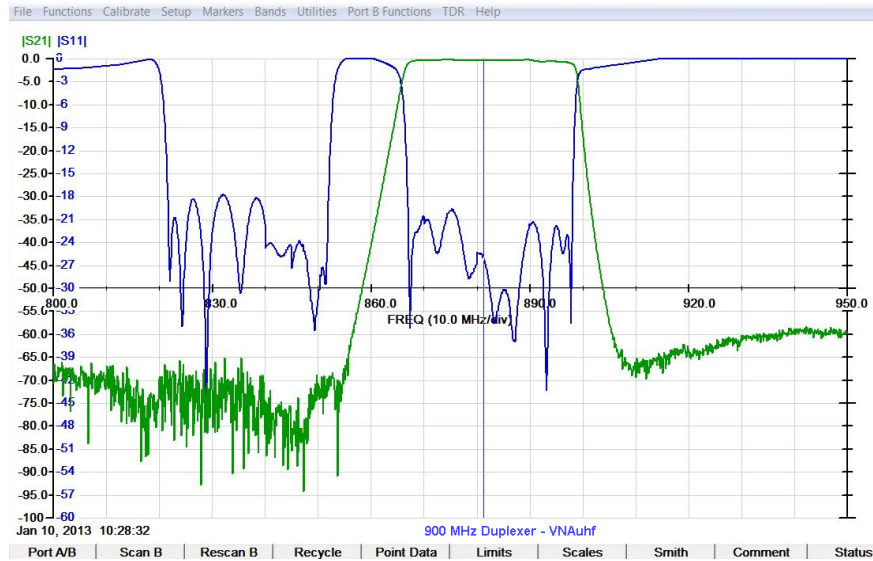


Piirianalysointori jatkuu

- Huomioi tuloissa maksimiteho ja -jännite, varsinkin vahvistimia mitattaessa!!
- Piirianalysointorit ovat erityisen herkkiä staattiselle sähkölle!!
 - Poista staattinen sähkö oikosulkemalla mittauskohde joka kerta, **erityisesti kytkiessä antennia!**



Piirianalysaattori esimerkkikuvat



Softaradiot (SDR)

- Hintaisekseen yllättävän hyödyllisiä mittareita
 - RTL-SDR maksaa noin 50€
- Lähettääkö laite?
- Millä taajuudella, onko lähete moduloitua, vaihtuuko teho?

