

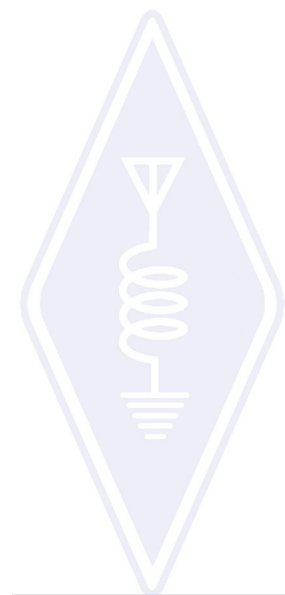
Radioamatöörikurssi 2018

Polyteknikkojen Radiokerho
Mittalaitteet

11.5.2023

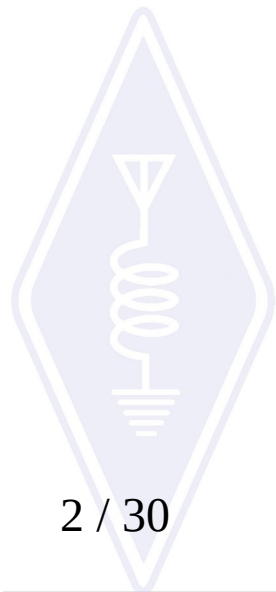
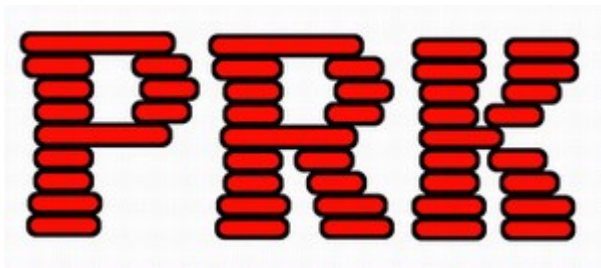
Juha, OH2EAN

PRK



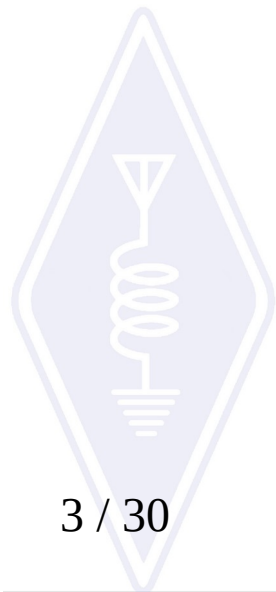
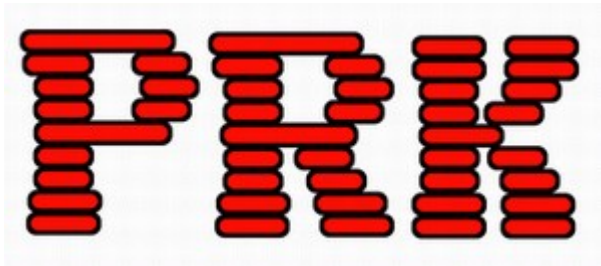
Illan aiheet

- Yleisimmät mittalaitteet
- Radioamatööreille tärkeitä laitteita



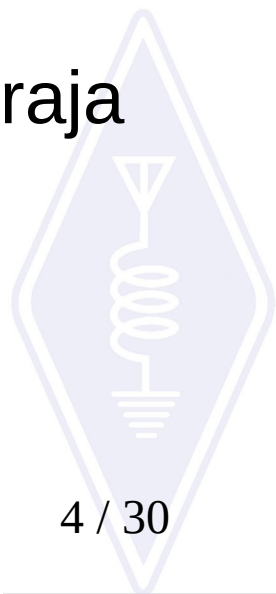
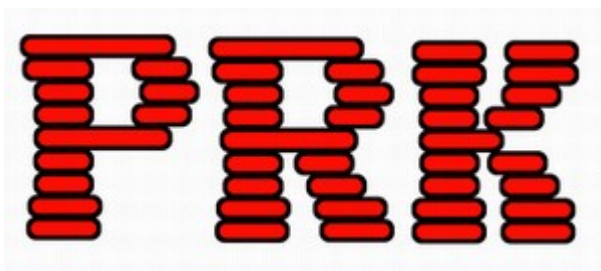
Miksi mittalaitteita?

- Mittalaitteiden käyttötarkoitus?
 - Varmistetaan laitteiden oikea toiminta
 - Selvitetään laitteiden toimimattomuuden syy



Teholähteet

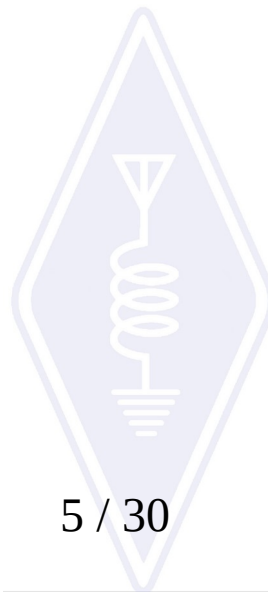
- Lähes kaikki laitteet tarvitsevat sähköä toimiakseen
- Jännitelähde
 - Ulostulo vakiojännitteinen, voi olla myös säädettävä
 - Esim. laitteiden omat teholähteet
- Virtalähde
 - Ulostulossa vakiovirta, jännitteellä kuitenkin yläraja
 - Lähinnä LED-valaisimissa



Laboratorioteholähde

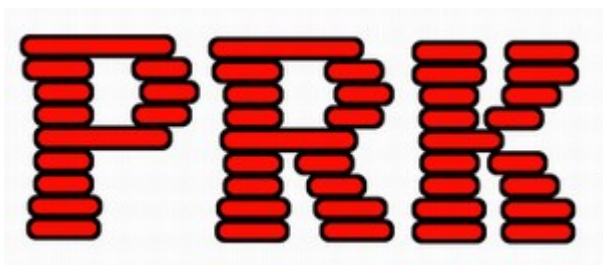
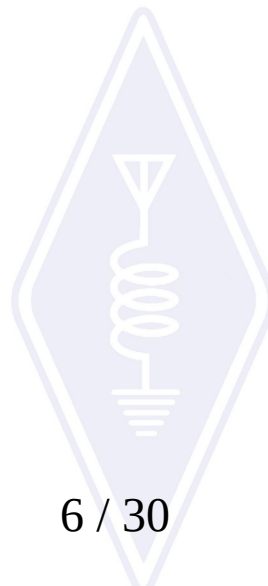
- Säädettävä lähtöjännite ja maksimivirta
- Virtarajan ylittyessä yleensä jännite laskee
- Joskus maksimiteho voi rajoittaa virtaa
 - Maksimijännitteellä ei yhtä suurta lähtövirtaa kuin pienemmällä jännitteellä
- Voi olla useampia lähtöjä
 - Riippumattomia tai toista jännitettä seuraavia

PAK



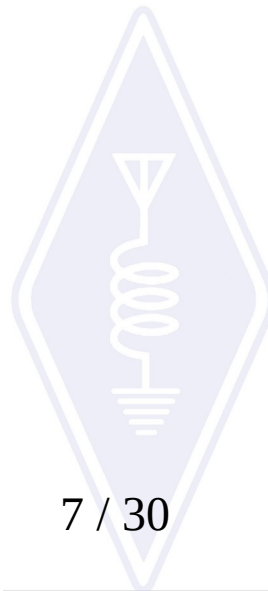
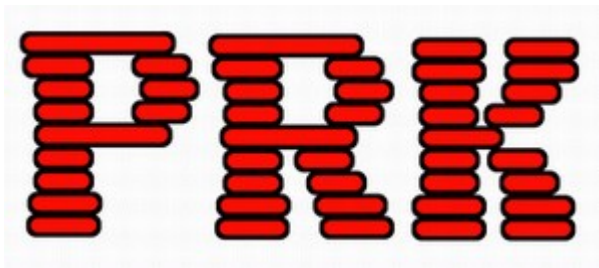
Keinokuorma

- Kiinteitä ja säädettäviä, aktiivisia
 - Aktiiviset: vakiojännite, vakiovirta, vakioteho, vakioresistanssi
- Esim. teholähteiden testaamiseen ja mittaamiseen
- Yleensä DC:lle/AC:lle, olemassa myös RF:lle

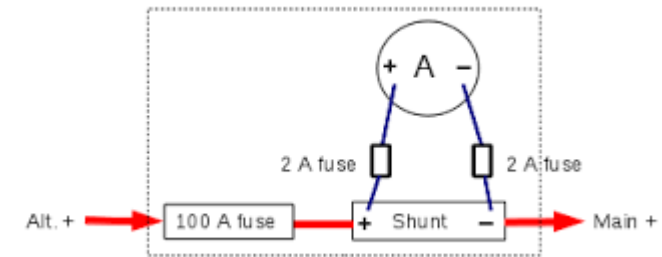


Jännitemittari

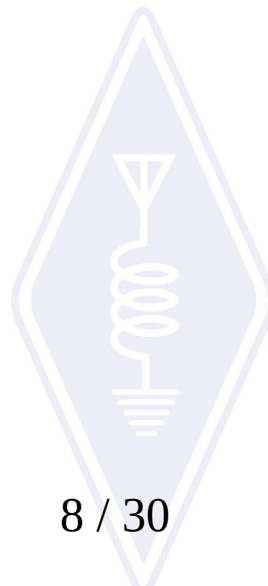
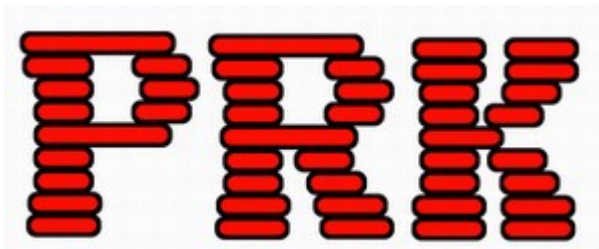
- Tasa- ja vaihtojännitteelle, TrueRMS
- Suuri tuloimpedanssi, jopa $>100\text{ M}\Omega$
 - Ei yleensä vaikuta mitattavaan kytkentään
- Suurilla jännitteillä voi käyttää ulkoista jännitteenjakajaa
 - Mittarin maksimijännite ja mittaussluokka huomioitava!
- Erikoiskäyttöiset
 - Korkeajännite, RF-jännite



Virtamittari

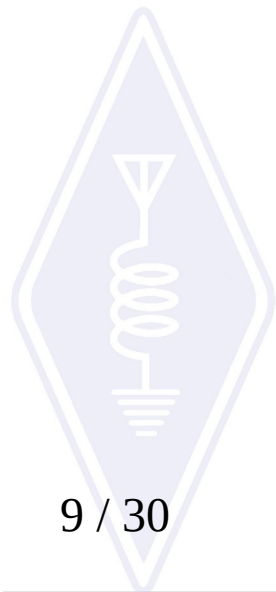
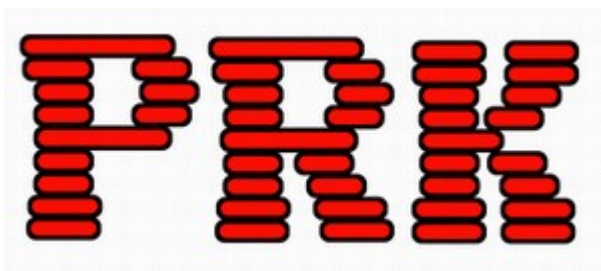


- Tasa- ja vaihtovirralla
- Kytetään sarjaan mitattavan piirin kanssa
 - Pieni tuloimpedanssi
 - Isoille virroille käytettävä sivuvirta- eli shunttivastusta
- Pihtivirtamittari, virtamuuntaja
 - Mittaa johtimen läpi virtaavan virran ilman galvaanista yhteyttä
 - Perustuu magneettikentän mittaamiseen



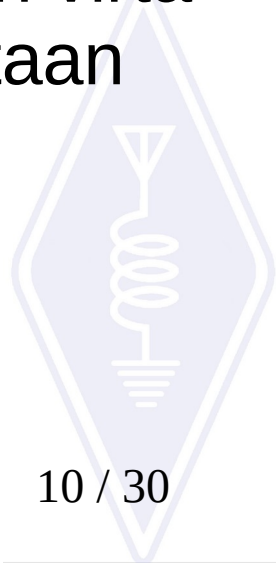
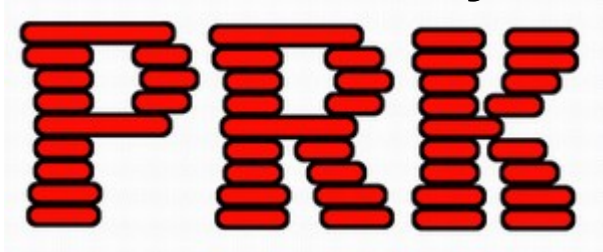
Tehomittari

- Yhdistetty jännite- ja virtamittari
- Yleisimmin pistorasiamallinen tai sähköliittymän mittauskeskuksen kiinteä mittari



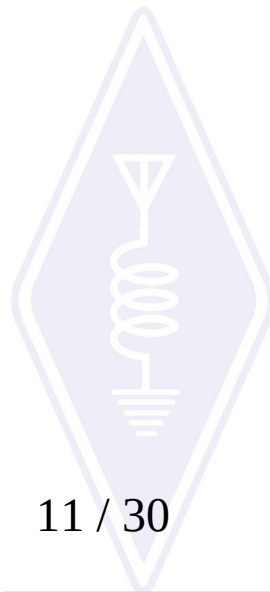
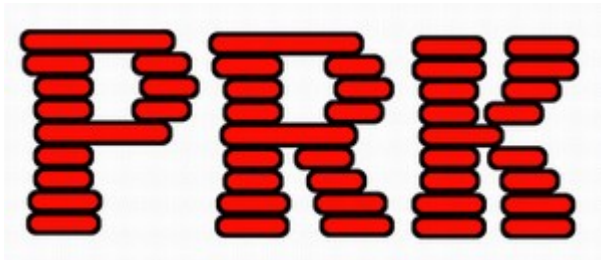
Resistanssimittari

- 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!!



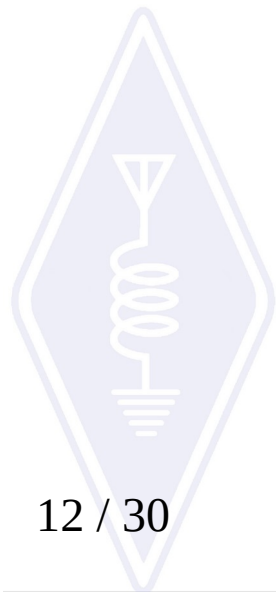
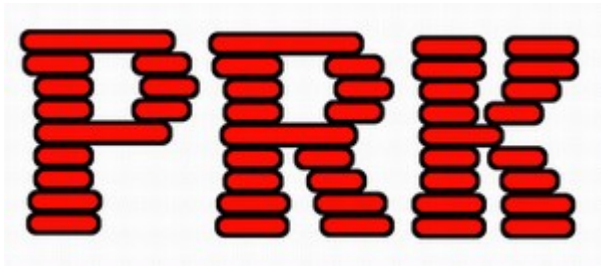
Kapasitanssimittari

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



Induktanssimittari

- Syötetään tunnettu korkeataajuinen virta kelan läpi ja mitataan jännite kelan yli
 - 4-johdinmittauksella tarkempi tulos



LCR-mittari

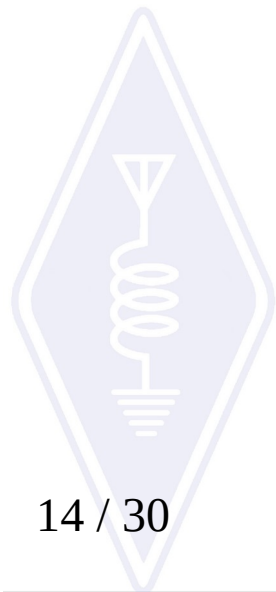
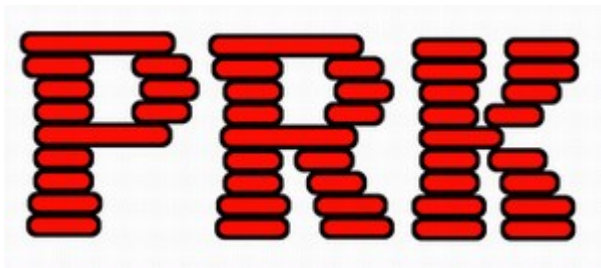
- Yhdistetty kapasitanssi-, induktanssi- ja resistanssimittari
 - Mittaa kaikkia suureita, paremmat mittarit jopa useampaa samaan aikaan
- Usein mittausvirran taajuus valittavissa
- 2- ja/tai 4-johdinmittaus
- Mahdollisuus esijännittää mitattava piiri

PAK



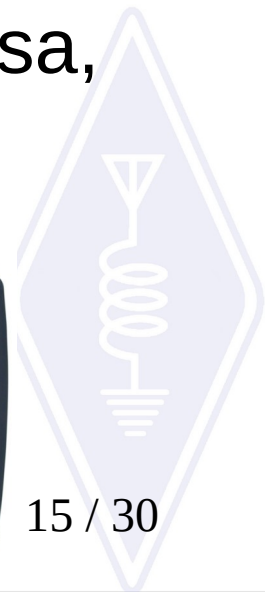
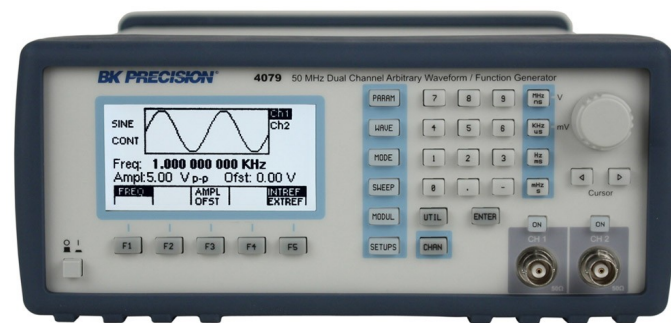
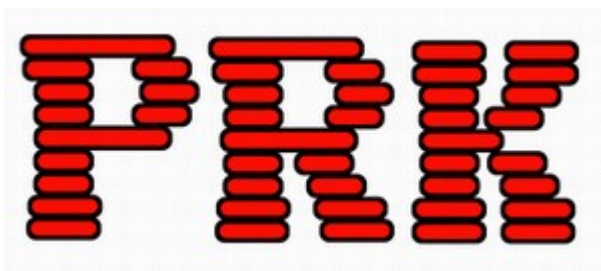
Yleismittari

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



Funktiogeneraattori

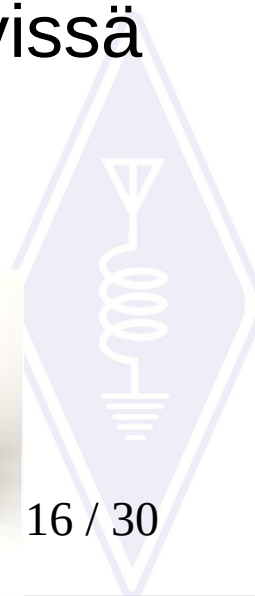
- Tuottaa erilaisia aaltomuotoja säädettävällä taajuudella ja amplitudilla
 - Yleensä muutamiin (kymmeneen) megahertzeihin asti
 - Yleisimmät aaltomuodot sini-, kantti-, kolmio- ja saha-aalto
 - Jotkut mallit kykenevät myös arbiträärisiin aaltomuotoihin (Arbitrary waveform generator, vector signal generator)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



Signaaligeneraattori

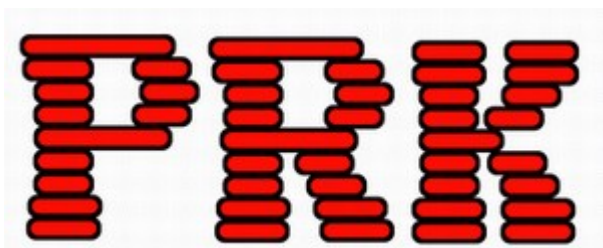
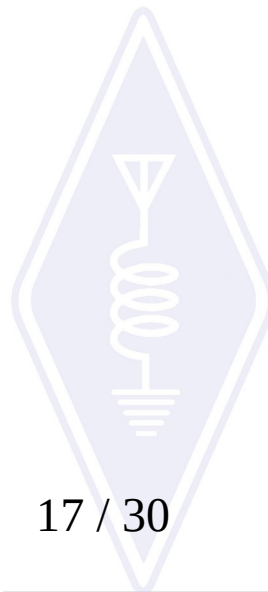
- Tuottaa RF-taajuista signaalia (siniaalto)
- Taajuus ja amplitudi säädettävissä
 - Myös pyyhkäiseviä malleja (taajuus ja/tai teho)
- Yleensä sisäinen säädettävä modulaattori (AM ja FM)
 - Usein myös ulkoinen modulaatiolähde kytkettävissä
 - Nykyään IQ-tulo melko yleinen

PAK



Pulssigeneraattori

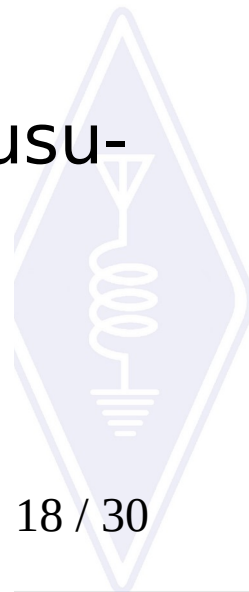
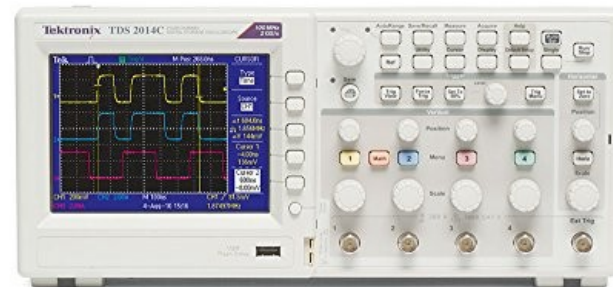
- Tuottaa pulsseja
- Pulssien tiheys, kesto, amplitudi ja pulssisuhde säädettävissä
- Muiden laitteiden synkronoituun liipaisuun
- TDR-signaalilähteenä (Time Domain Reflectometer)



Oskilloskooppi

- Esittää tulevan signaalin jännitteen ajan funktiona
- Näytöllä asteikkoruudukko, pyyhkäisynopeus ja tulon amplitudi säädettävissä (V/div, s/div)
- Tulo AC- ja DC-kytkettävissä, tuloimpedanssi yleensä $1\text{M}\Omega$, joskus myös kytkettävä 50Ω terminointi
- Yleensä 2-4 tuloa/kanavaa ja liipaisintulo
- Mittauskohteita:
 - Amplitudi, taajuus, jaksonaika, aaltomuoto, nousu- ja laskuaika, särö, ...

PAK



Oskilloskooppi jatkuu

- Liipaisin (trigger), XY-tila
- Kaistanleveys
- Analoginen, digitaalinen, PC-liitännäiset
- Kursorit, matematiikkatoiminnot, muisti
- Mittapäät yleensä 10x vaimentavia, myös 1x, 100x ja 1000x
 - Koukku mittapään kärjessä helpottaa joitain mittauksia, ei kuitenkaan sovellu suurille taajuuksille
 - Mittapään maadoitusjohdin muodostaa sarjakelan (alipäästösuodatin) korkeammilla taajuuksilla
 - Erytisen herkille kytkennöille ns. aktiivimittapää
 - Differentiaaliset mittapäät, esim. korkeille jännitteille

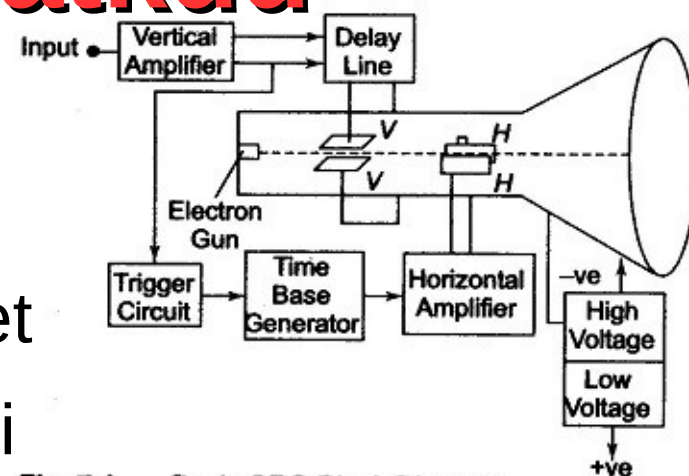
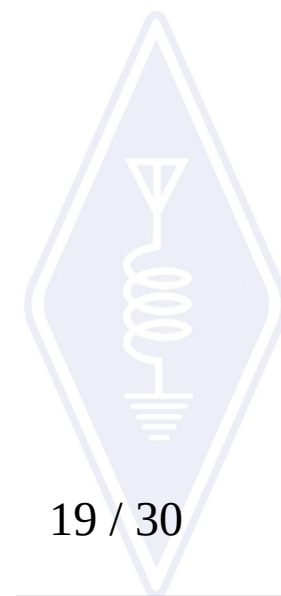
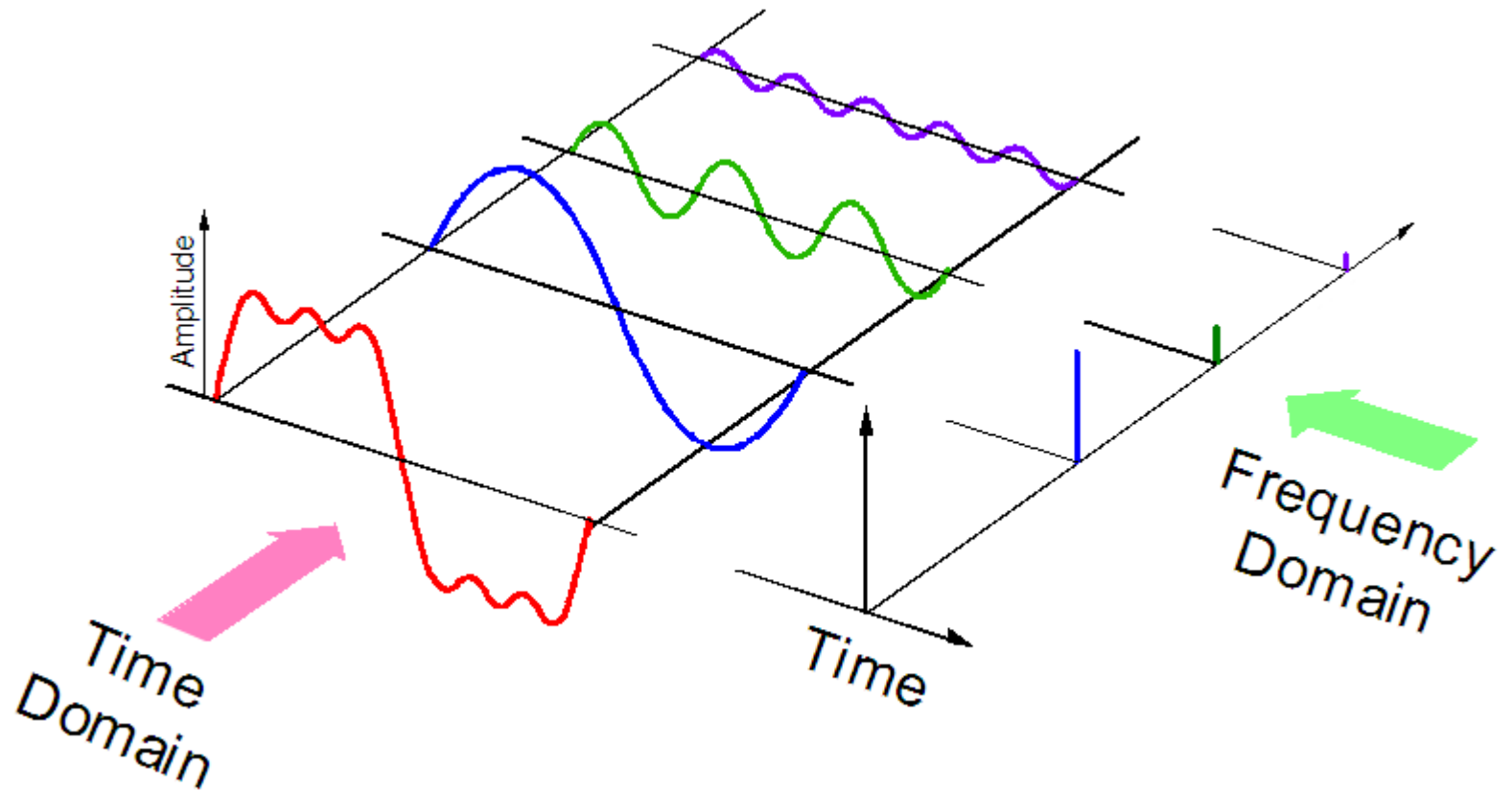


Fig. 7.4 Basic CRO Block Diagram

PAK

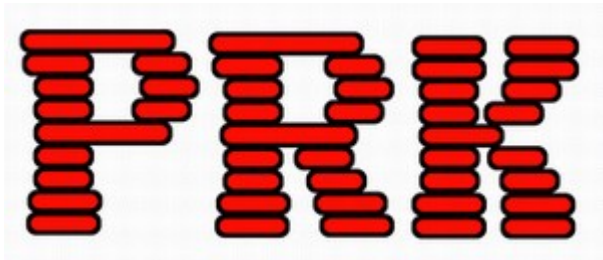


Aika-taajuustaso



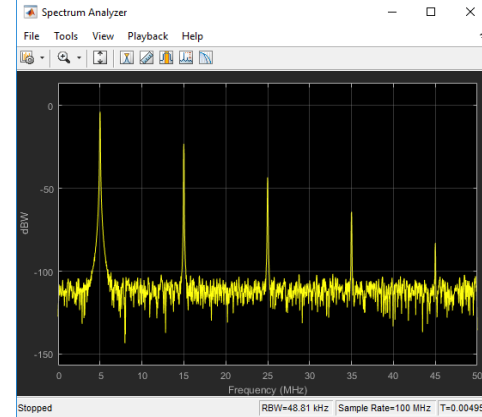
Oskilloskooppi

Spektrianalysaattori

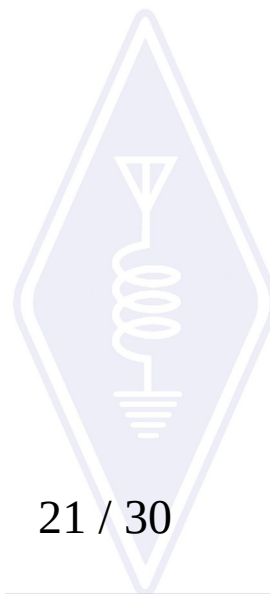


Spektrianalysaattori

- 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



PAK



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(!)**

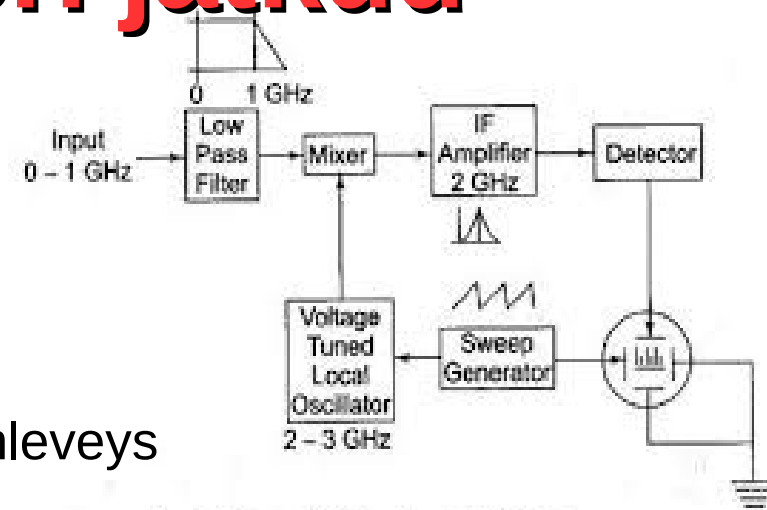
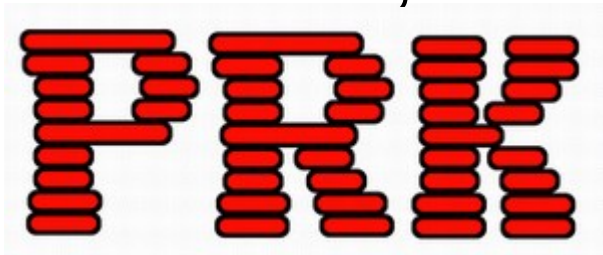
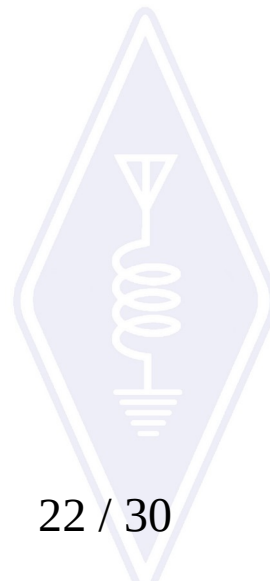
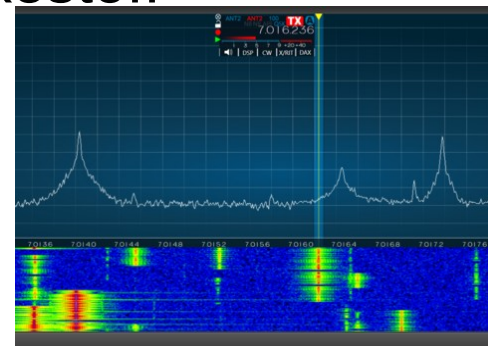
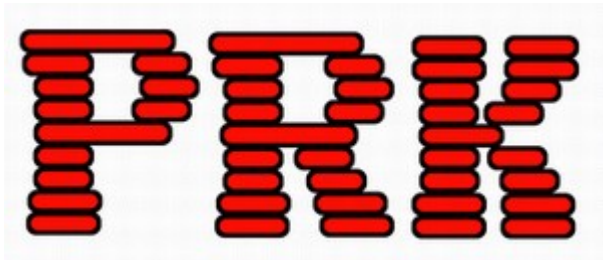
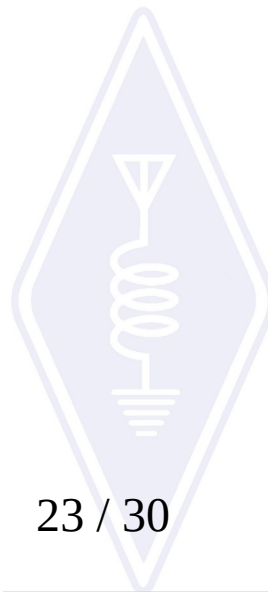


Fig. 9.13 RF Spectrum Analyzer



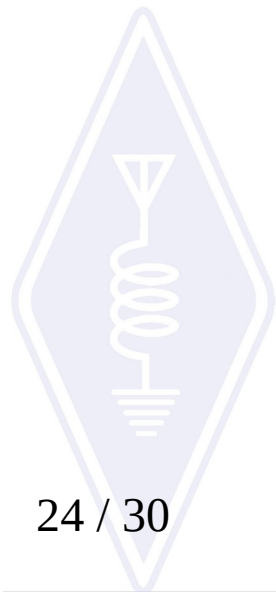
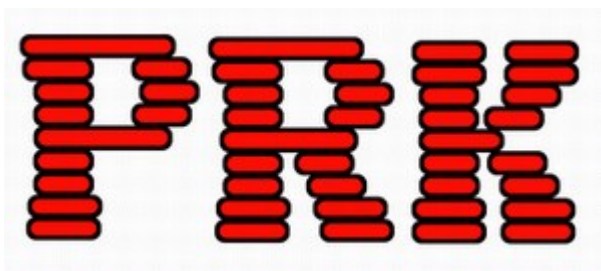
Taajuuslaskuri

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



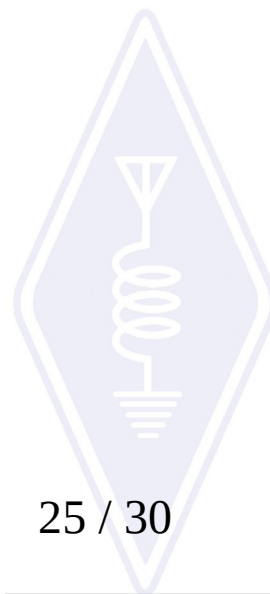
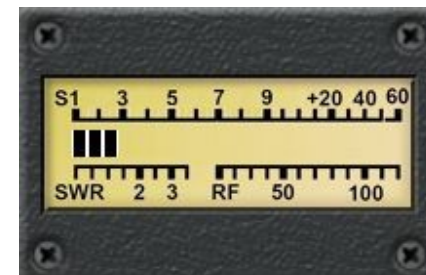
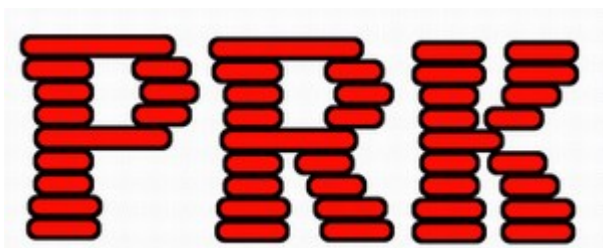
RF-tehomittari

- 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!!



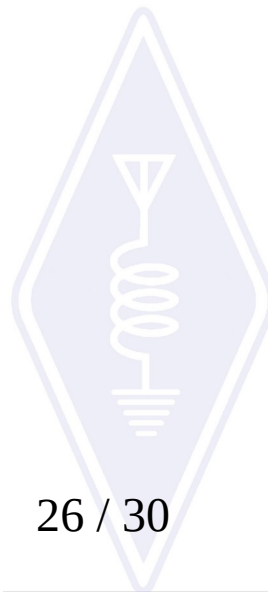
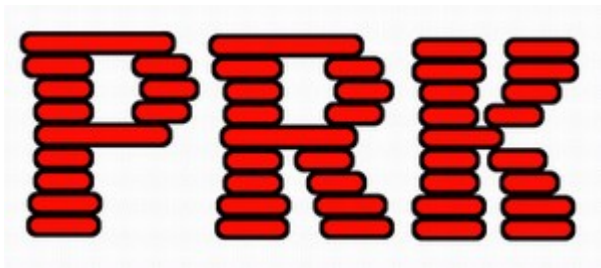
S-mittari

- 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+)



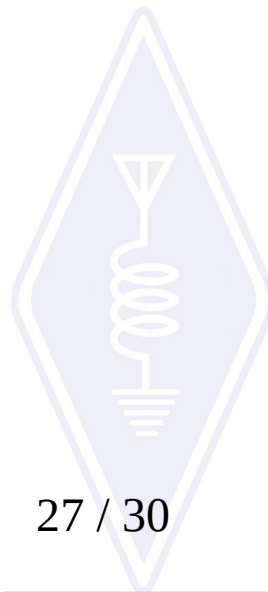
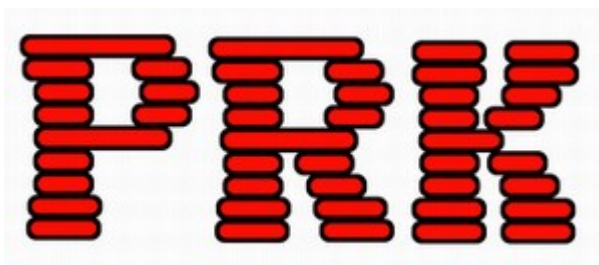
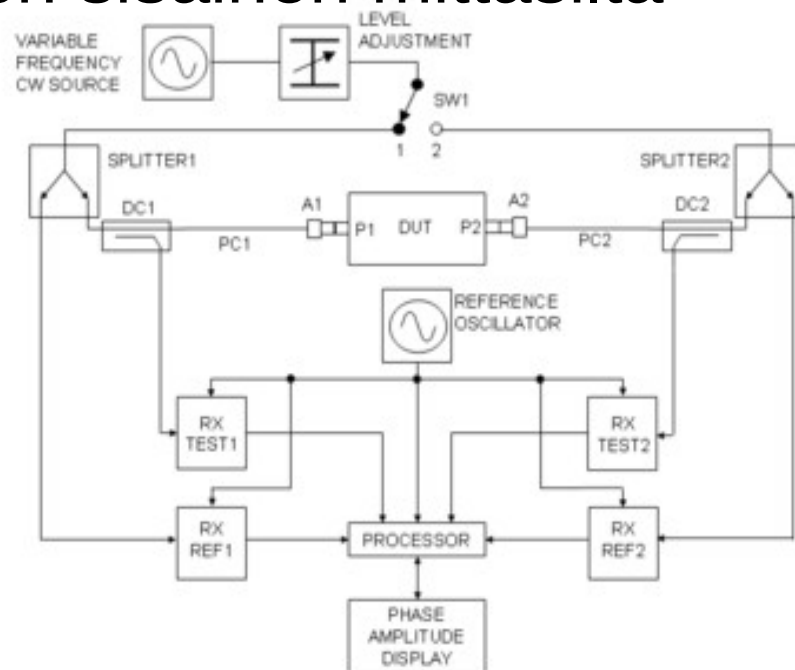
SWR-mittari

- Mittaa (antenniin) lähtevää ja sieltä palaavaa tehoa, sekä ilmoittaa näiden lisäksi SAS- eli SWR-arvon
- $SWR \geq 1$ (eli 1:1)
- $SWR \leq 2$ (2:1) → antenni ~vireessä, voi lähettää
- Lisää Antennit ja siirtojohdot -luennolla



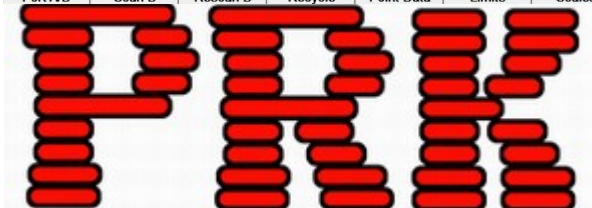
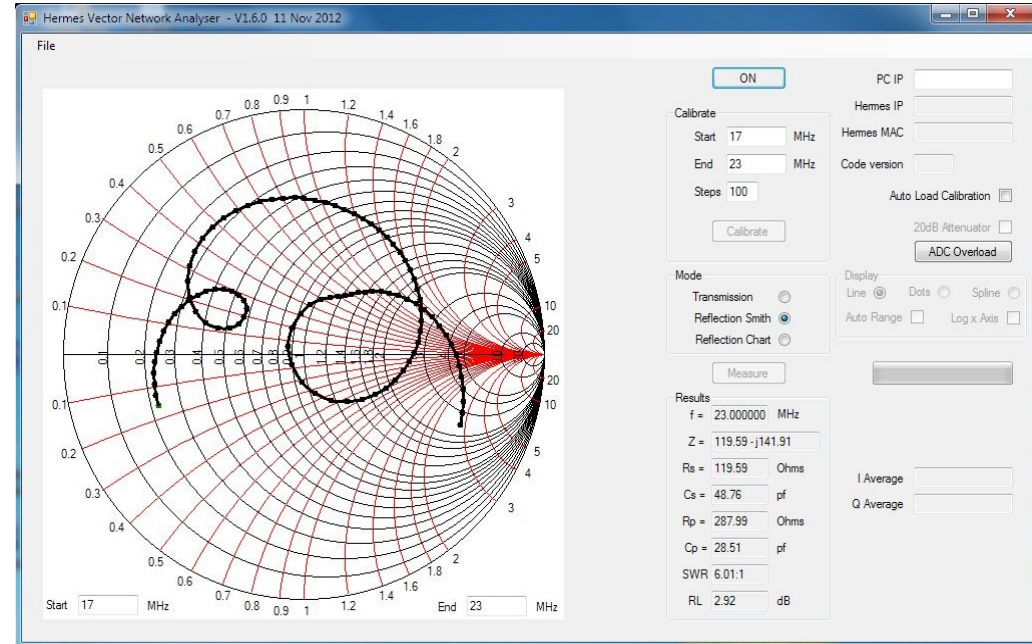
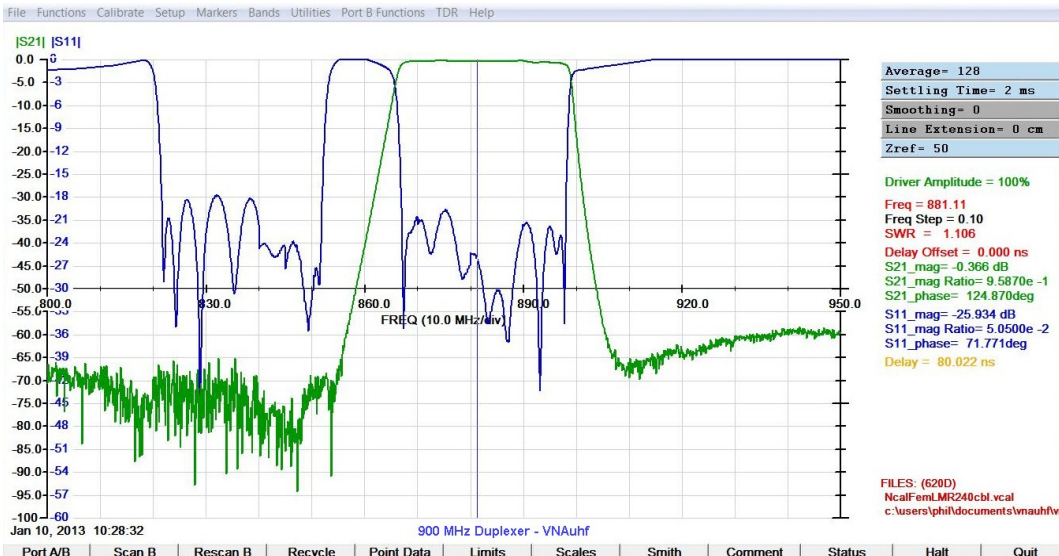
Piirianalysoitsattori

- Mitataan sähköisten verkkojen S-parametreja
 - Siirtojohtot, suodattimet, antennit, vahvistimet, ...
- Skalaari- tai vektoripiirianalysoitsattori
 - Mittaa pelkkää amplitudia tai amplitudia ja vaihetta
 - VNA: ”Kompleksi-impedanssimittari”
- Yleensä jonkunlainen sisäinen mittasilta



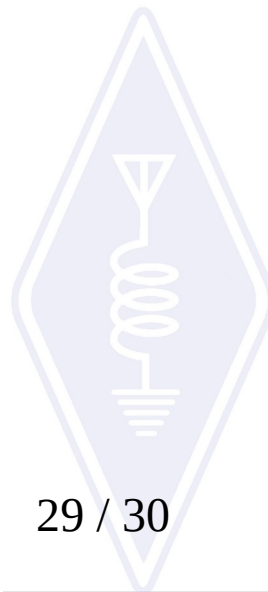
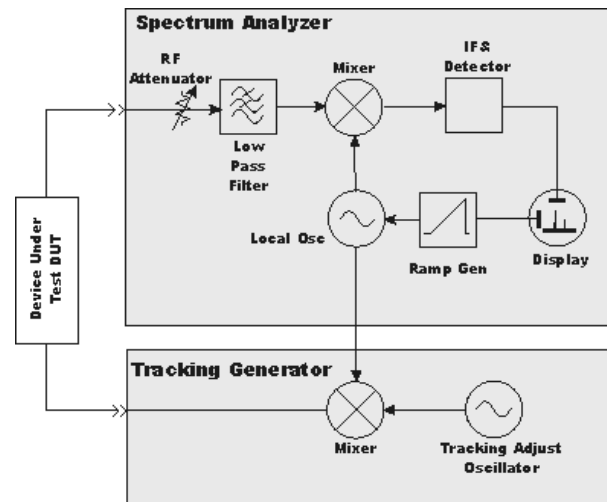
Piirianalysoittori jatkuu

- Virhetermit kalibroitava pois aina käyttötilanteen muuttuessa
 - Kalibroitikitti, yleensä SOLT (Short, Open, Load, Thru) -kalibrointi
- Huomioi tuloissa maksimiteho ja -jännite, varsinkin vahvistimia mitattaessa!!
- Piirianalysoittorit ovat erityisen herkkiä staattiselle sähkölle!!
 - Poista staattinen sähkö oikosulkemalla mittauskohde joka kerta, **erityisesti kytkiessä antennia!**



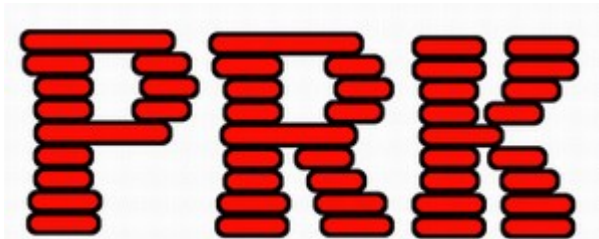
Seurantageneraattori

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



RF-keinokuorma, -vaimennin

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



<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>