

# Puolijohde lineaariset



OH8LQ  
Jari Ojala

# Kaupalliset lineaariset

- Markkinoille on tullut viime vuosina paljon eri valmistajien kaupallisia lineaarisia.
- Lähes kaikissa käytetään Ampleon:n tai NXP:n valmistamia LDMOS-fettejä.



JNE...

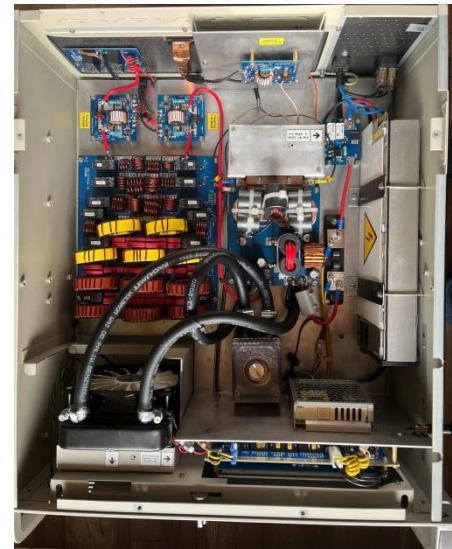
# Puolivalmiit rakennussarjat

- Rakennussarjat sisältävät usein valmiiksi kootut piirilevyt ja kotelon osat
- VK-AMPS, RF-Kits, Mercury yms.
- Lisäksi monia yksittäisiä piirikortteja, joista voi itse koota vahvistimen.



# Itse rakennetut

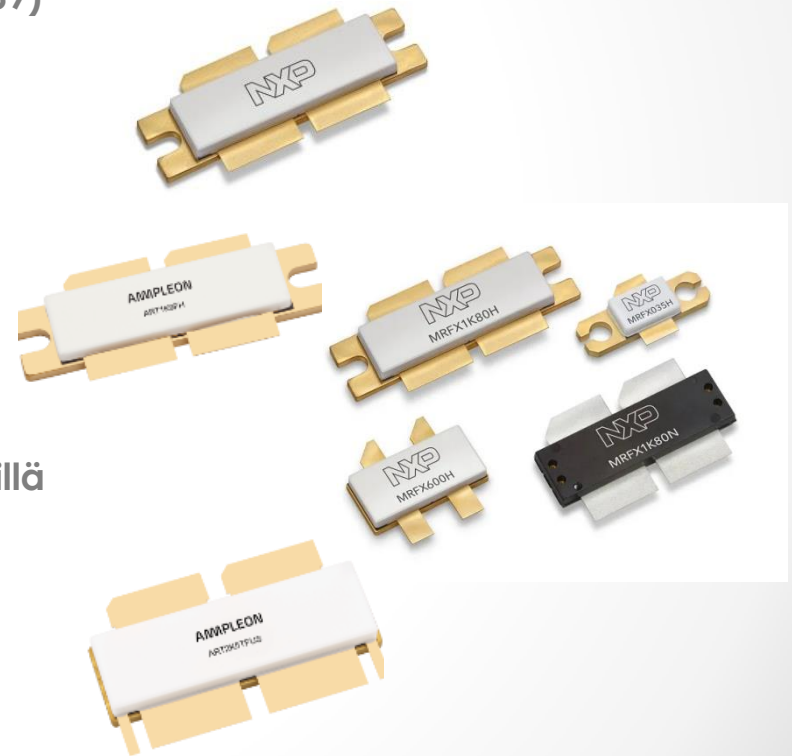
- Verkon syövereistä löytyy myös paljon selostuksia erilaisista projekteista
- Osaan saatavilla piirilevy yms. osia
- Kytkenäkaaviot ladattavissa
- Kuvia toteutuksesta ja rakenteista



- [www.w6pql.com](http://www.w6pql.com) , <https://projects.dj0abr.de/> , [www.oh8lq.com](http://www.oh8lq.com)

# LDMOS FET

- **BLF188xx** **BLF189XRB**
  - $V_{ds}$  50 V, 1400 W (188) (poistuva?), 1900 W (189)
- **ART1K6FH**
  - $V_{ds}$  55 V, 1600 W
- **MRFX1K80xx**
  - $V_{ds}$  65 V, 1800 W (Ei suositella uusiin)
- **ART2K0FE**
  - $V_{ds}$  65 V, 2000 W
- **ART2K5TFUS**
  - $V_{ds}$  75 V, 2500 W
  - Sisäinen lämpötila sensori kummallakin Fetillä
- **Vds kasvaa kokoajan**
  - Enemmän tehoa
  - Korkeampi impedanssi (OUT)
  - Parempi luotettavuus
  - Virta  $I_{ds}$  pienenee
  - [NXP:n video mitä etua korkeampi Vds antaa](#)



Kehityksen perässä ei pysy...

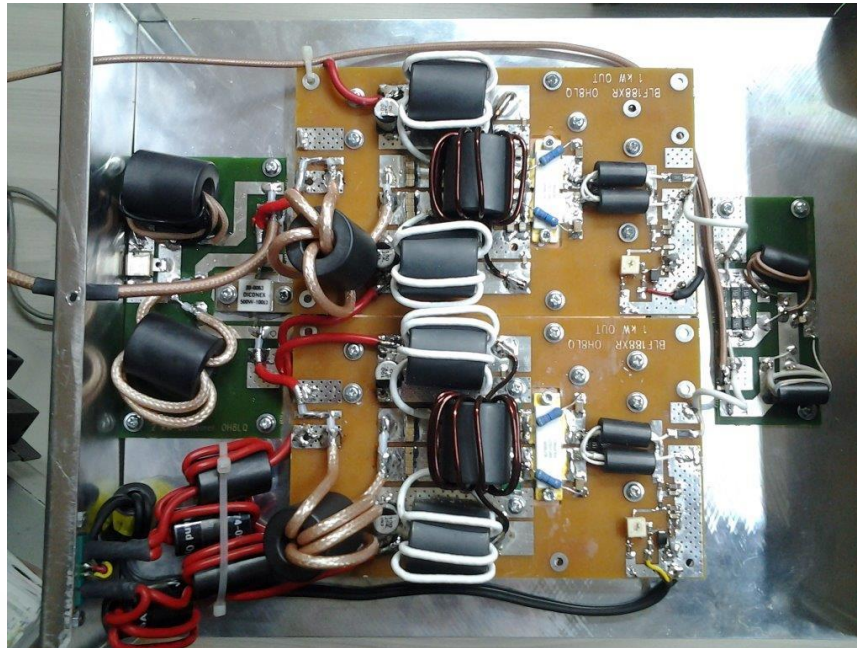
# LDMOS FET

- **Kiinalaiset halvat kopiot**
  - Ei erota päällisin puolin helposti, erot pieniä.
  - Eivät vastaa sähköisiltä arvoiltaan alkuperäisiä
  - Hinta noin puolet aidon hinnasta (ebay)
- **Omakohmainen kokemus**
  - BLF188 kesti  $V_{ds}$  jännitettä vain 25 V → ja välähti
- ***Mitä opin tästä? → Ostetaan komponentit luotettavista lähteistä!***



# 1. LDMOS vahvistin

- [Ensimmäinen opiskeluversion 2xBLF188](#)



# 1,5 kW ilmajäähdytys

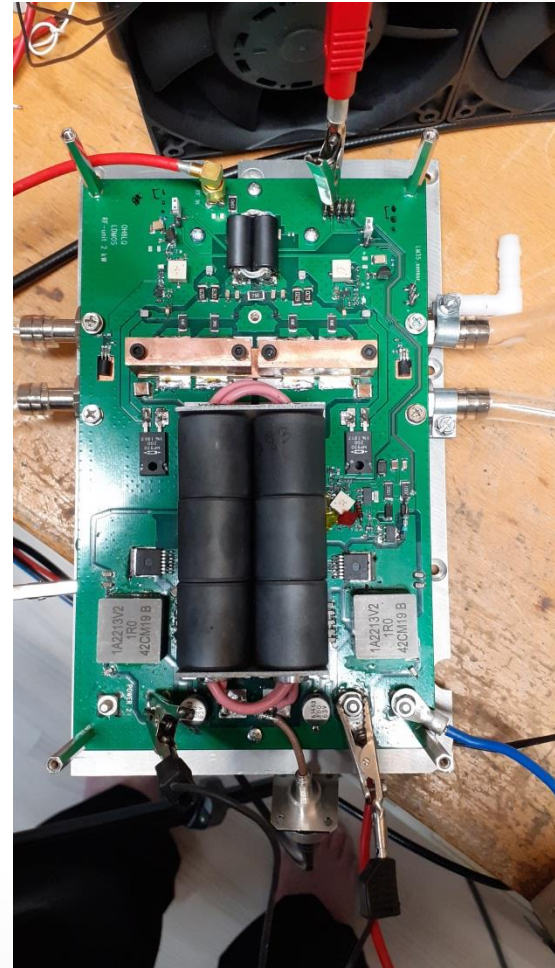
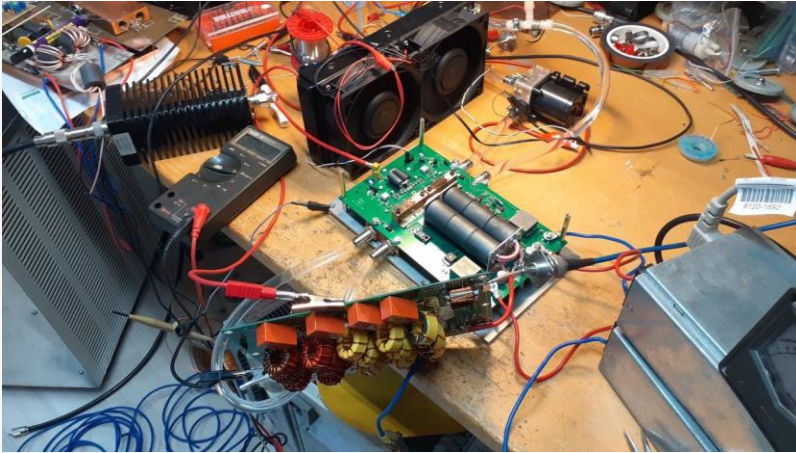
- Koteloituna ja käytössä...





# 1,5 kW nestejäähdytteinen

- Moduuli ja nestejäähdytys



# Yhden Lineaarisen tarina...

- Vähintään 1,5 kW ulos
- Ilmajäähdytys
- Jatkuva "key down" pitkään?!
- Hyötysuhteella ei niin merkitystä
- Mekaaninen koko, ei mallia "mobile"
- 50 V:n käyttöjännite  $V_{ds}$
- Kolmivaihe virtalähde
- Kosketusnäyttö graafisella käyttöliittymällä
- Jne...



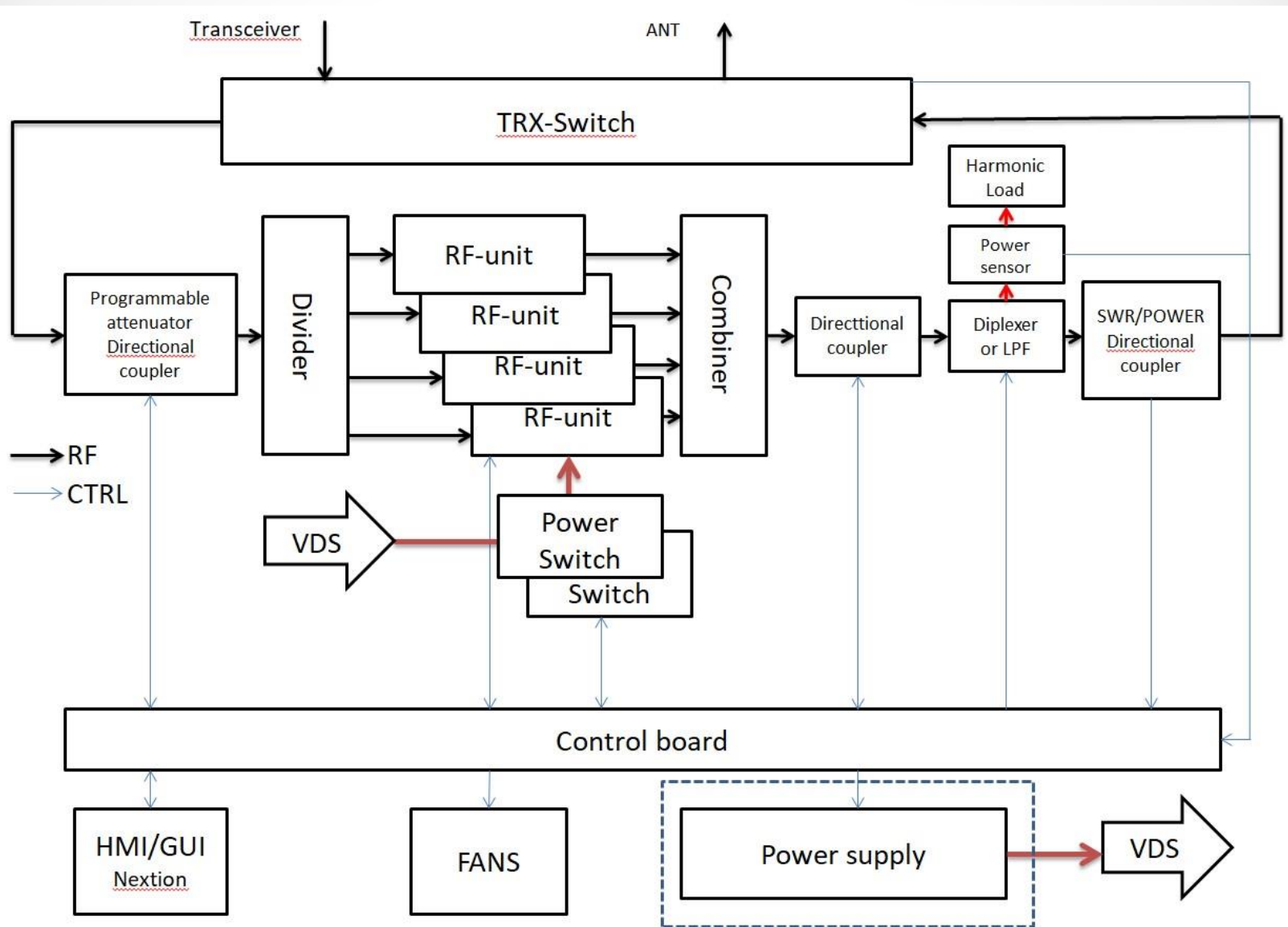
# Mitä tarvitaan?

Tässä aluksi haastetta?

- Jäähdytys elementit
- RF- moduulit, montako 2-4??
- Filterit LPF→diplexer
- Ohjaukortti ja suojaukset
- TRX-kortti
- Combiner
- Divider
- kotelo

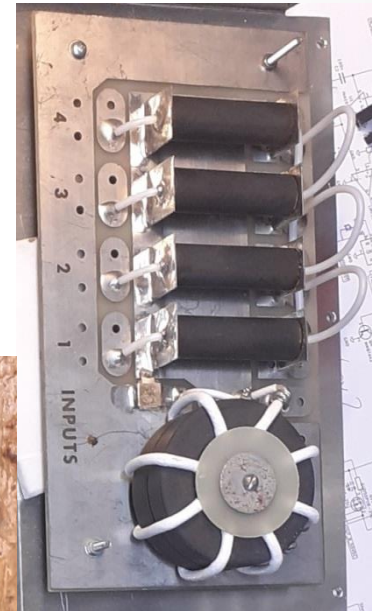
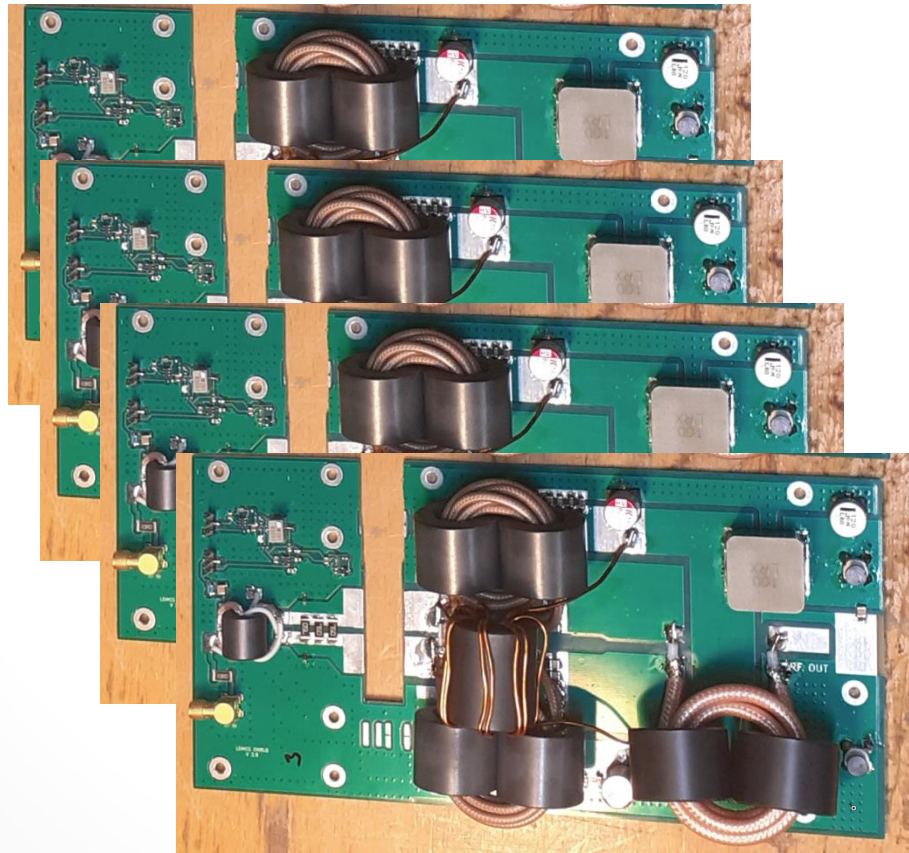
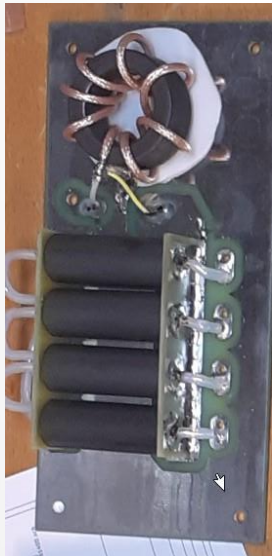


# Lineaarisen lohkokaavio



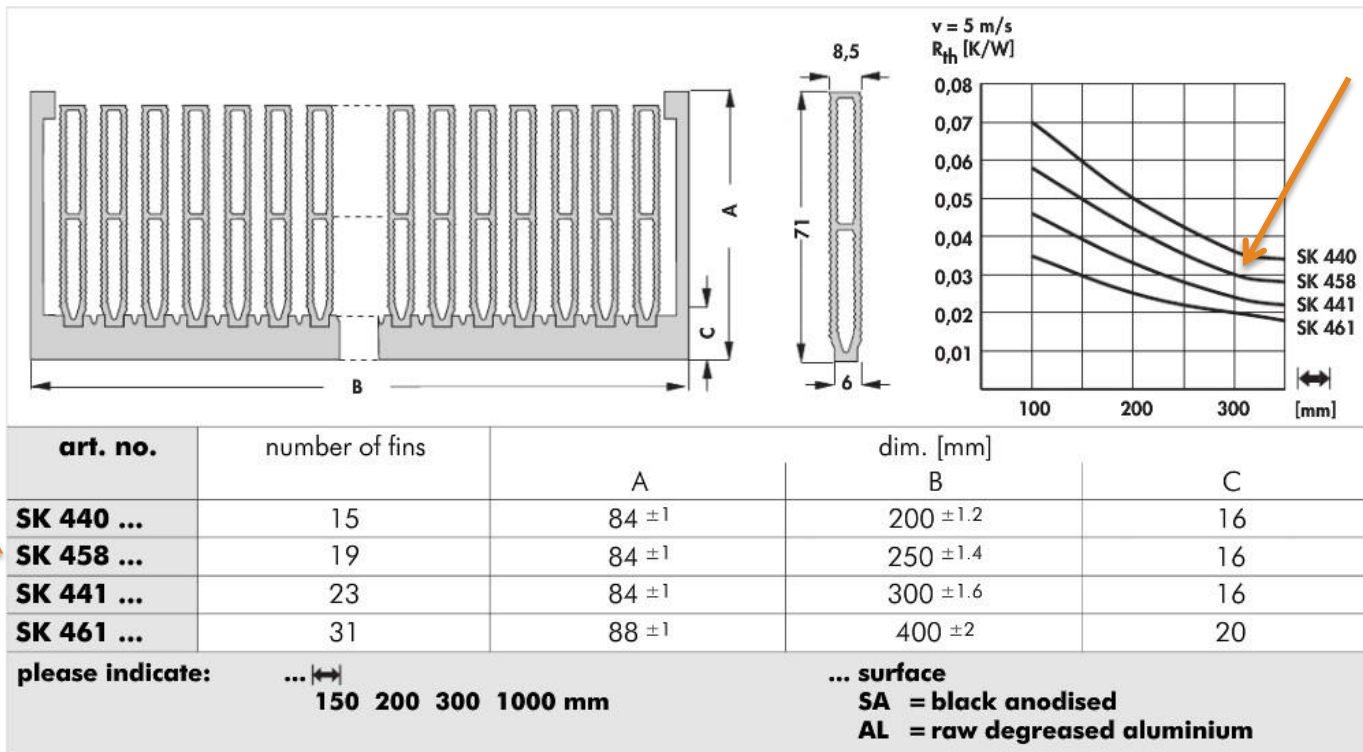
# RF-osa

- Neljä LDMOS-vahvistinta, combiner ja divider



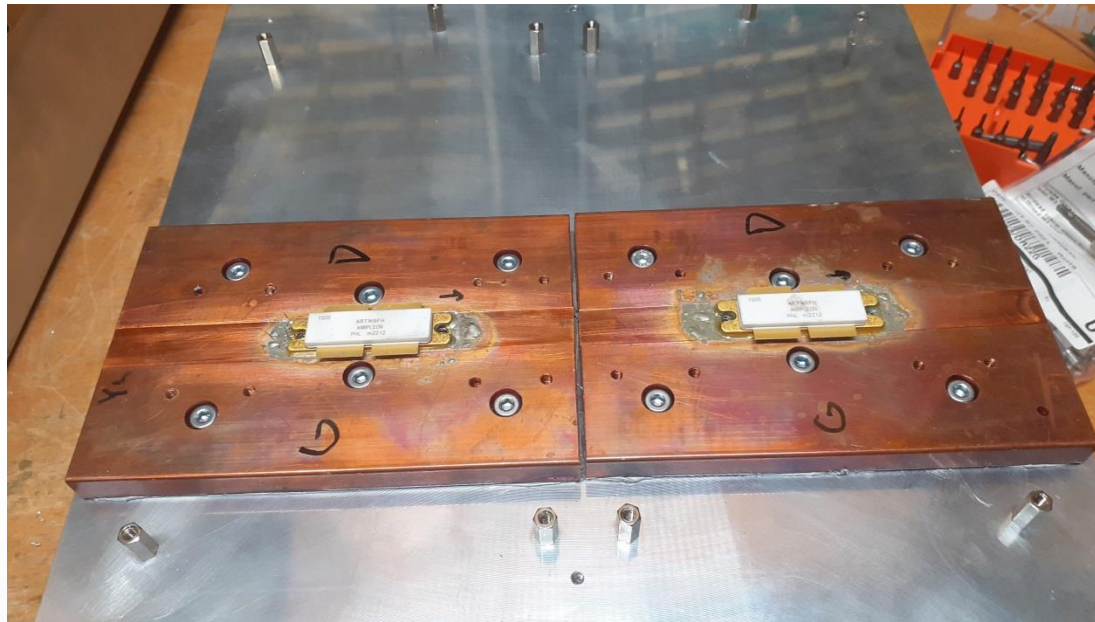
# Jäähdytyslevy

Fisherelektronik



# Jäähdytyslevvyt

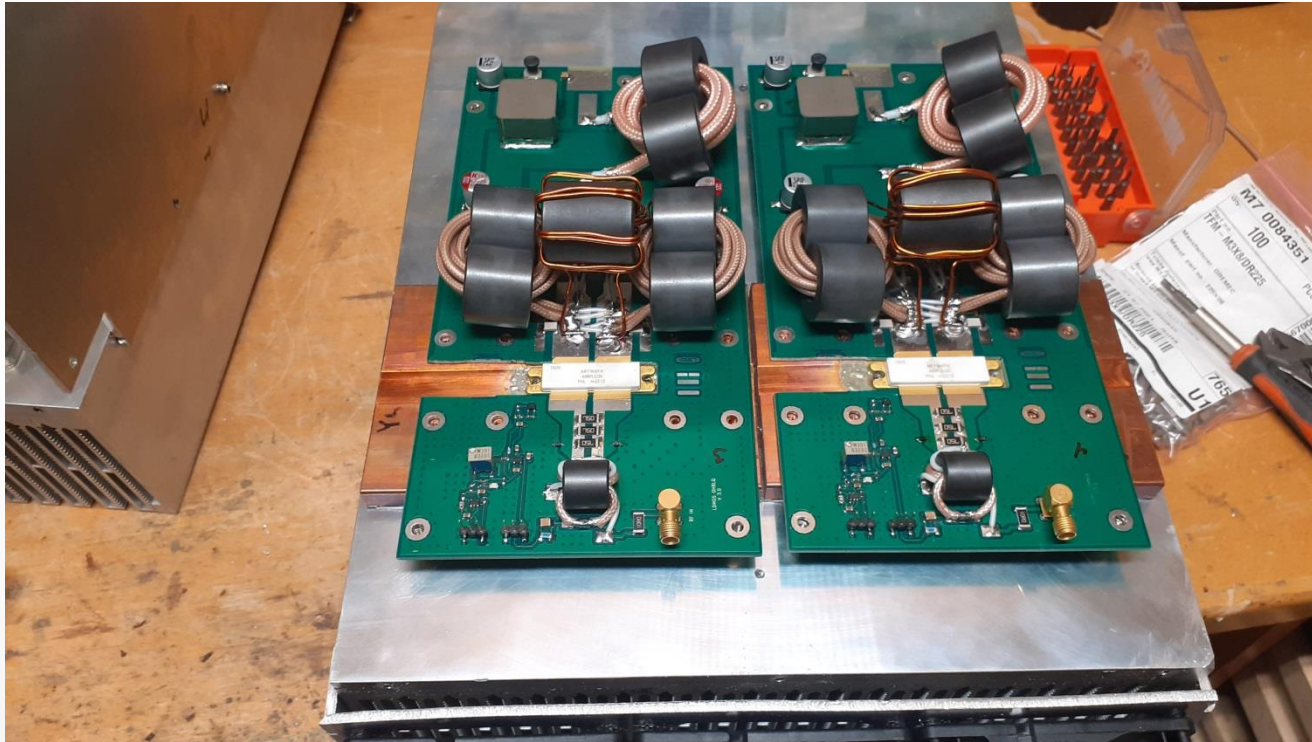
- LDMOS juotettuna kupariin
  - Parempi lämmönjohtavuus
  - Hyvä johtavuus FET:n Source



[Video juottamisesta](#)

# Moduulit jäähdytyslevyllä

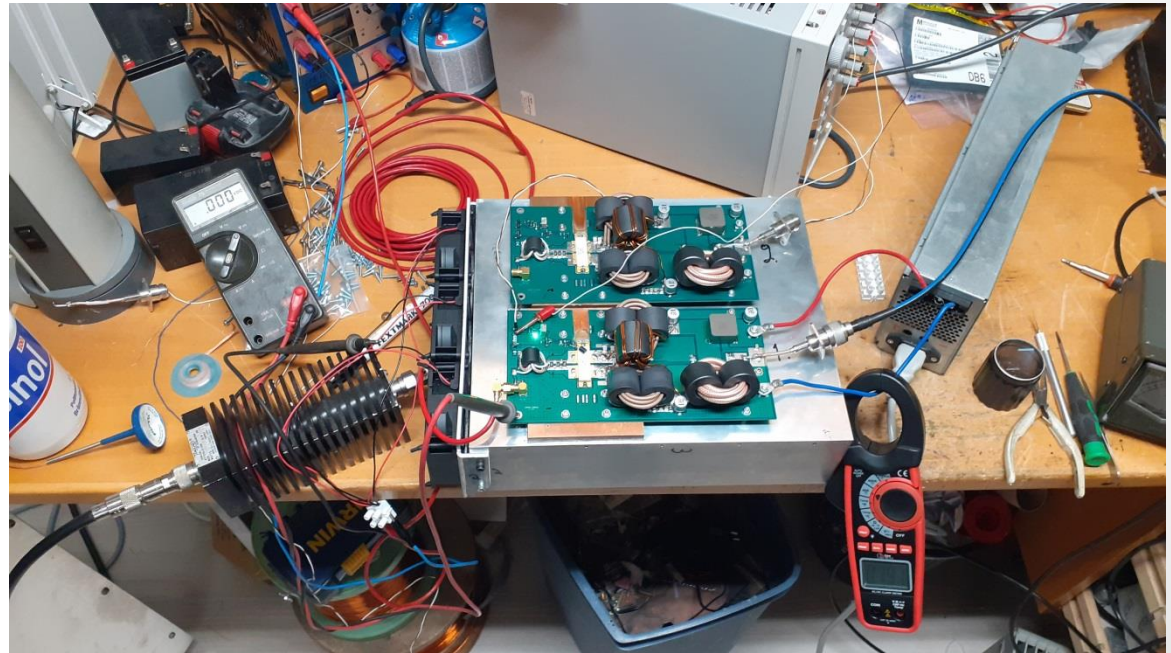
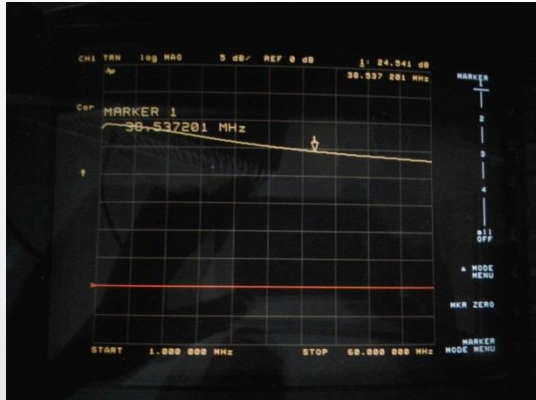
- Kaksi moduulia





# Levyjen testaus

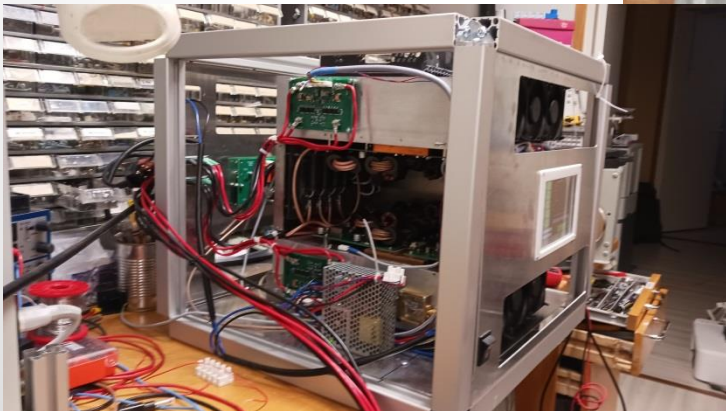
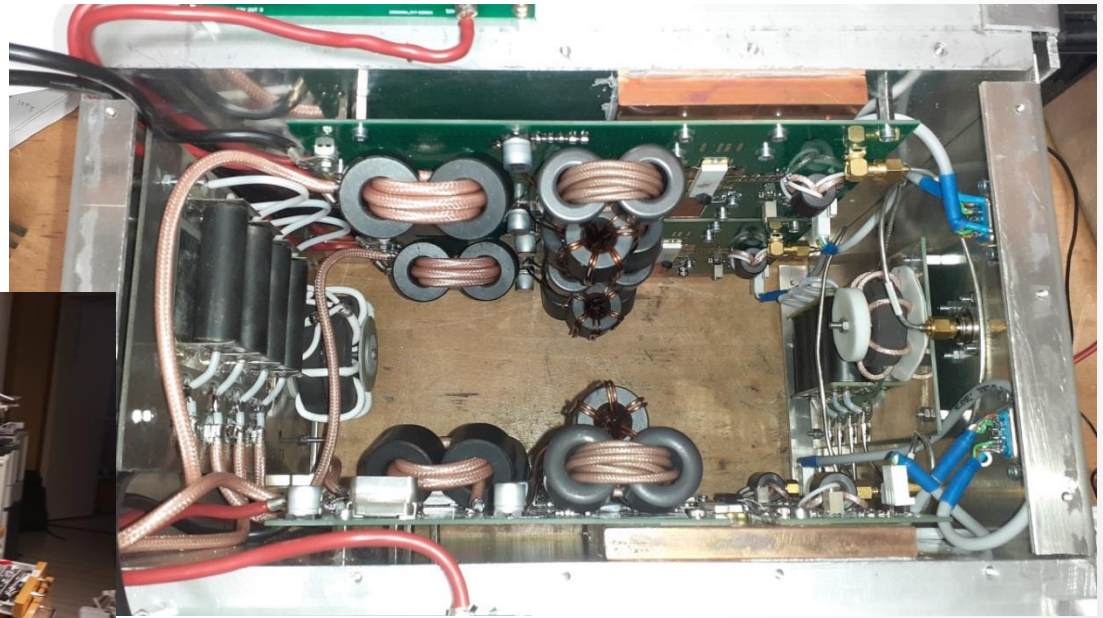
- Jokainen moduuli testattu erikseen
  - Bias
  - Ids virrat
  - Hyötysuhde
  - Vahvistus



Jos yhden moduulin vahvistus on n.30 dB.  
Paljonko on neljällä? Ohjaus → 1,5kW? →0,4 W

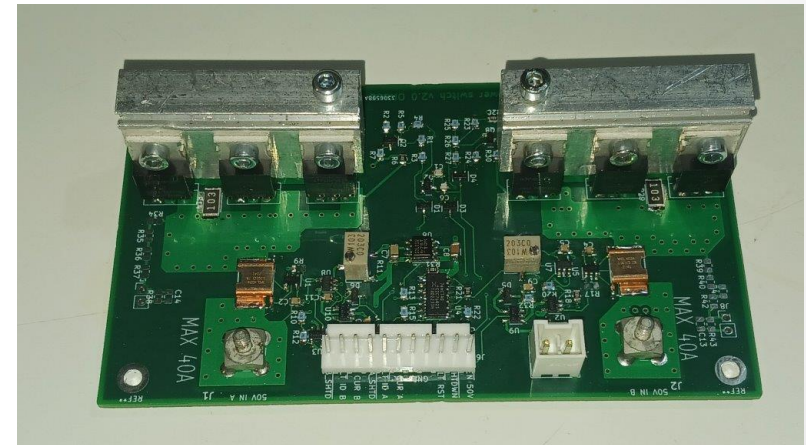
# RF-osan levyt koteloituna

- Kaksi jäähdytyslevyä koottuna
- 4xART1K6 RF-moduulit
- Splitter 4 to 1
- Divider 1 to 4



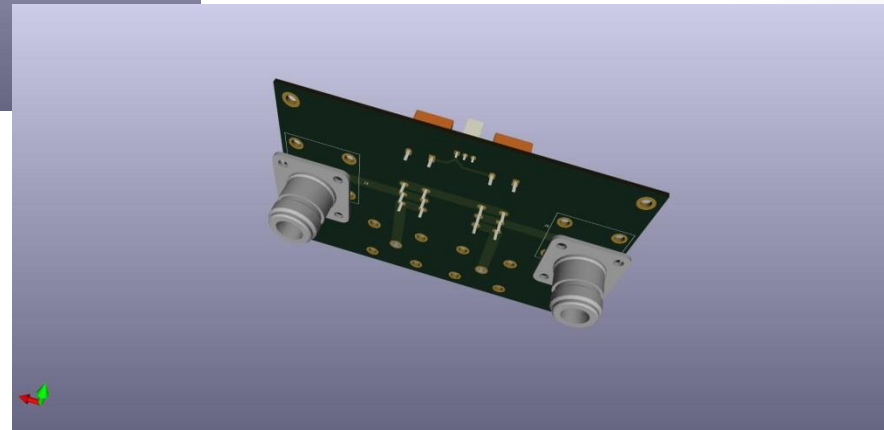
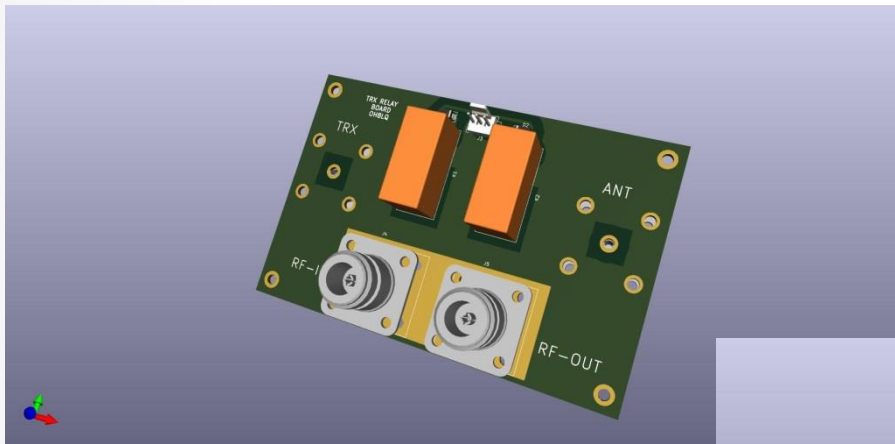
# Ylivirtasuojaus

- Kortilla
  - Virranmittaus
  - Jännitteenmittaus
  - Virtakatkaisu



# TRX-Rele

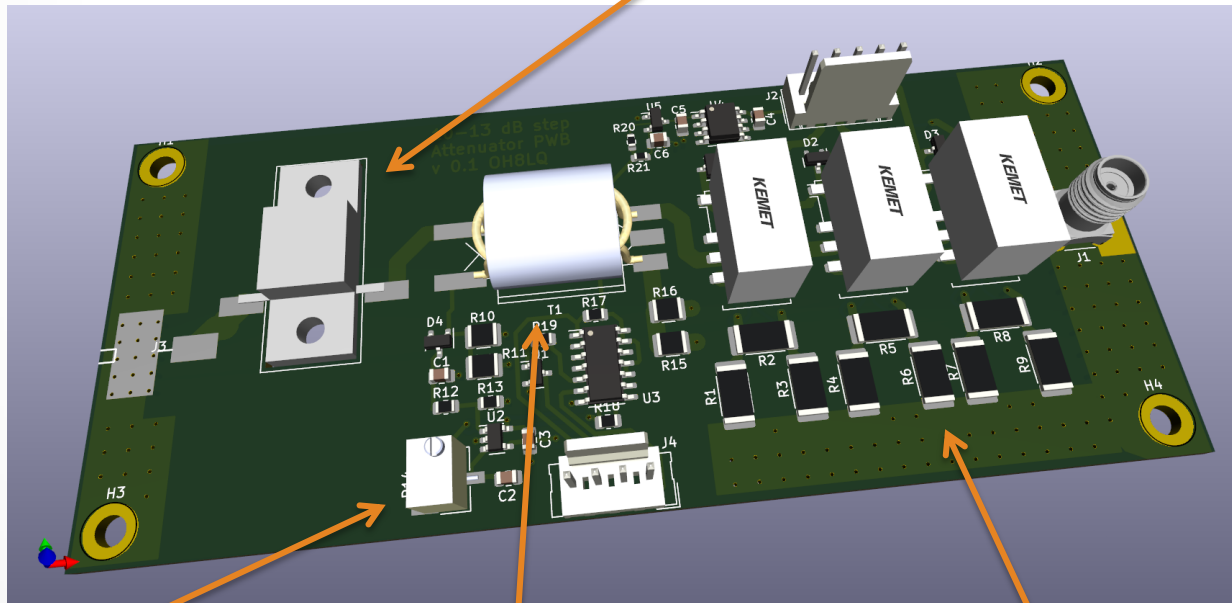
Perusreleillä



# Vaimennin ja yliohjauksen valvonta

- Vaimennin 10-13 dB
- Yliohjaus katkaisu

Kiinteä vaimennin  
Esim. 10 dB



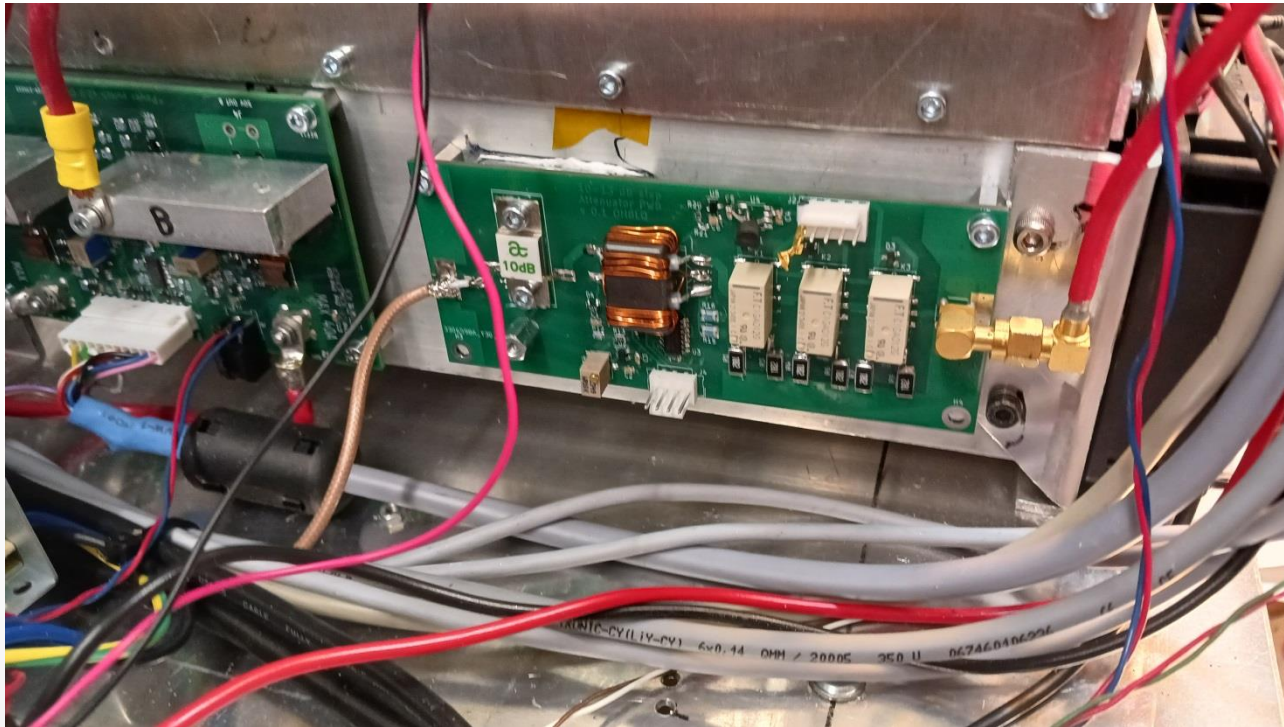
Ohjauksen  
rajan asetus

Ohjaustehon mittaus

3 x 1 dB vaimennin

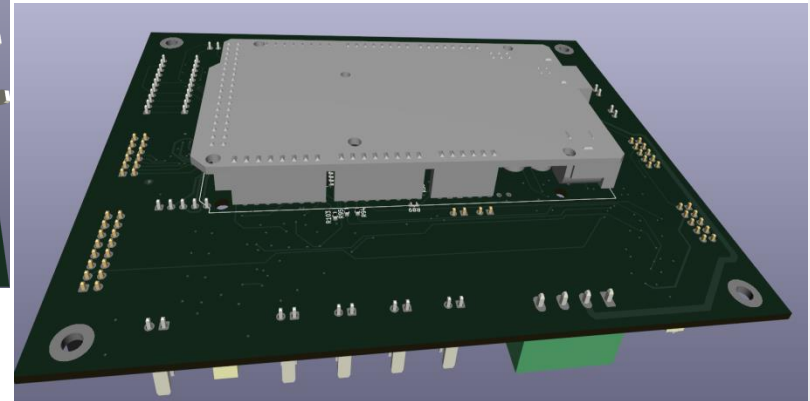
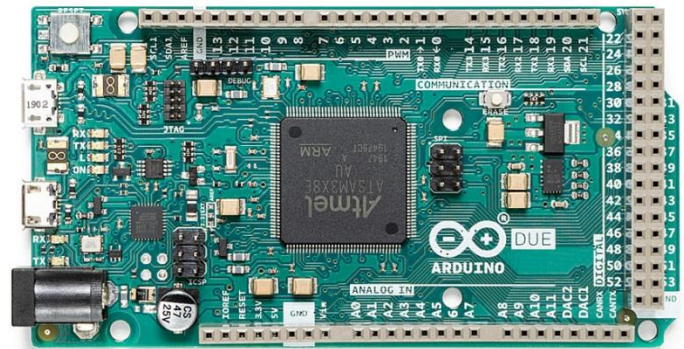
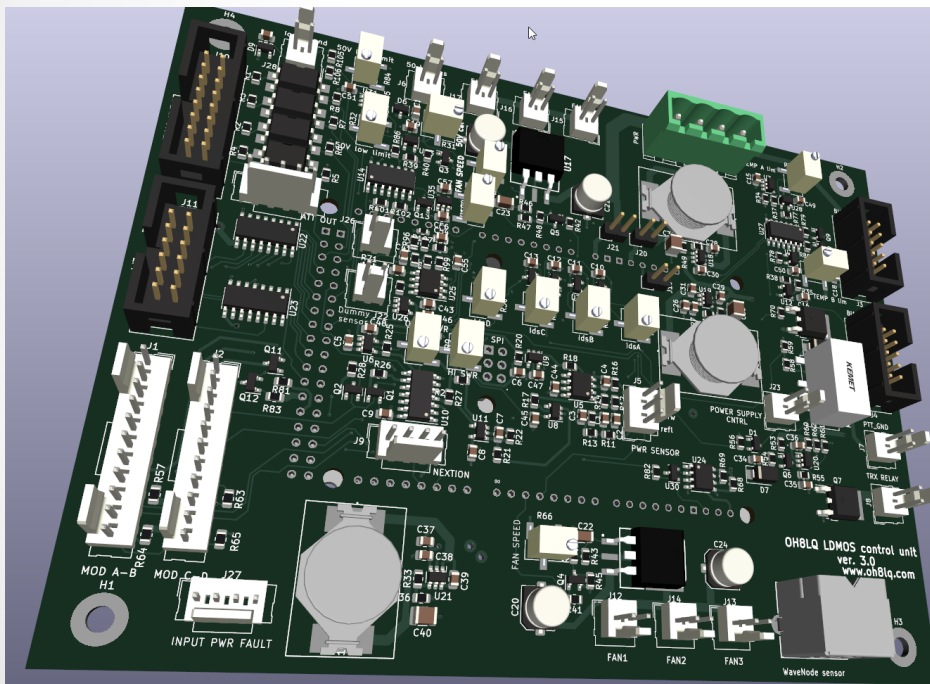
# Vaimennin ja yliohjauksen valvonta

- Vaimennin 10-13 dB
- Yliohjaus katkaisu



# Ohjainkortti

- Ohjainkortti ja Arduino DUE tai 2650 Mega

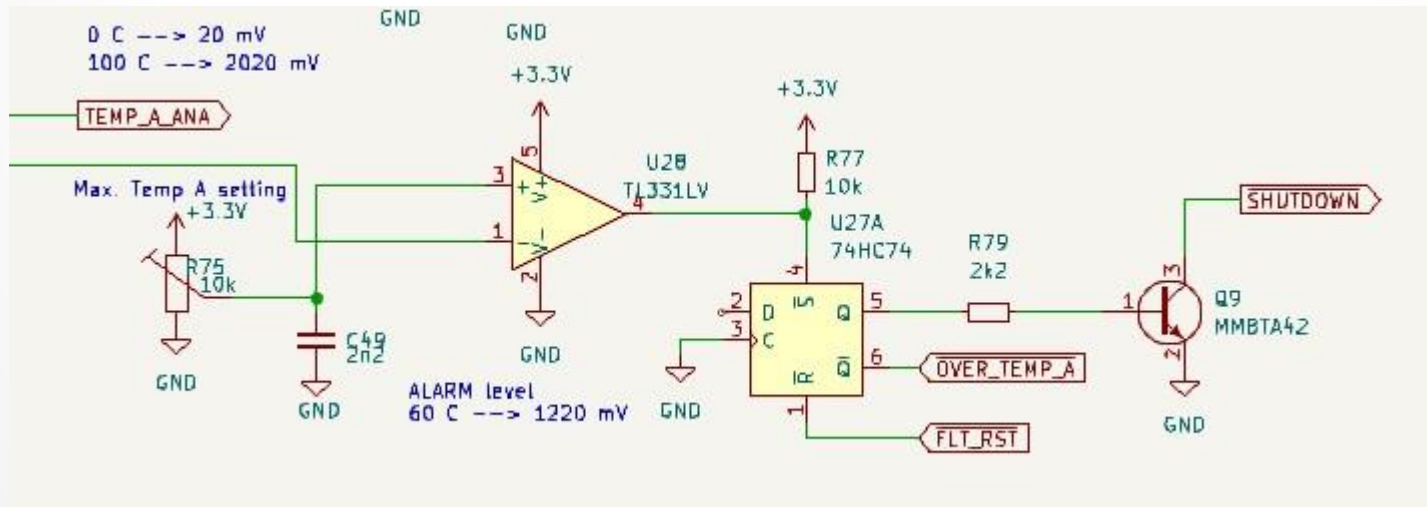


[Kyt Kentäkaavio](#)

Arduino DUE [Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU](#)

# Hälytykset ja katkaisut

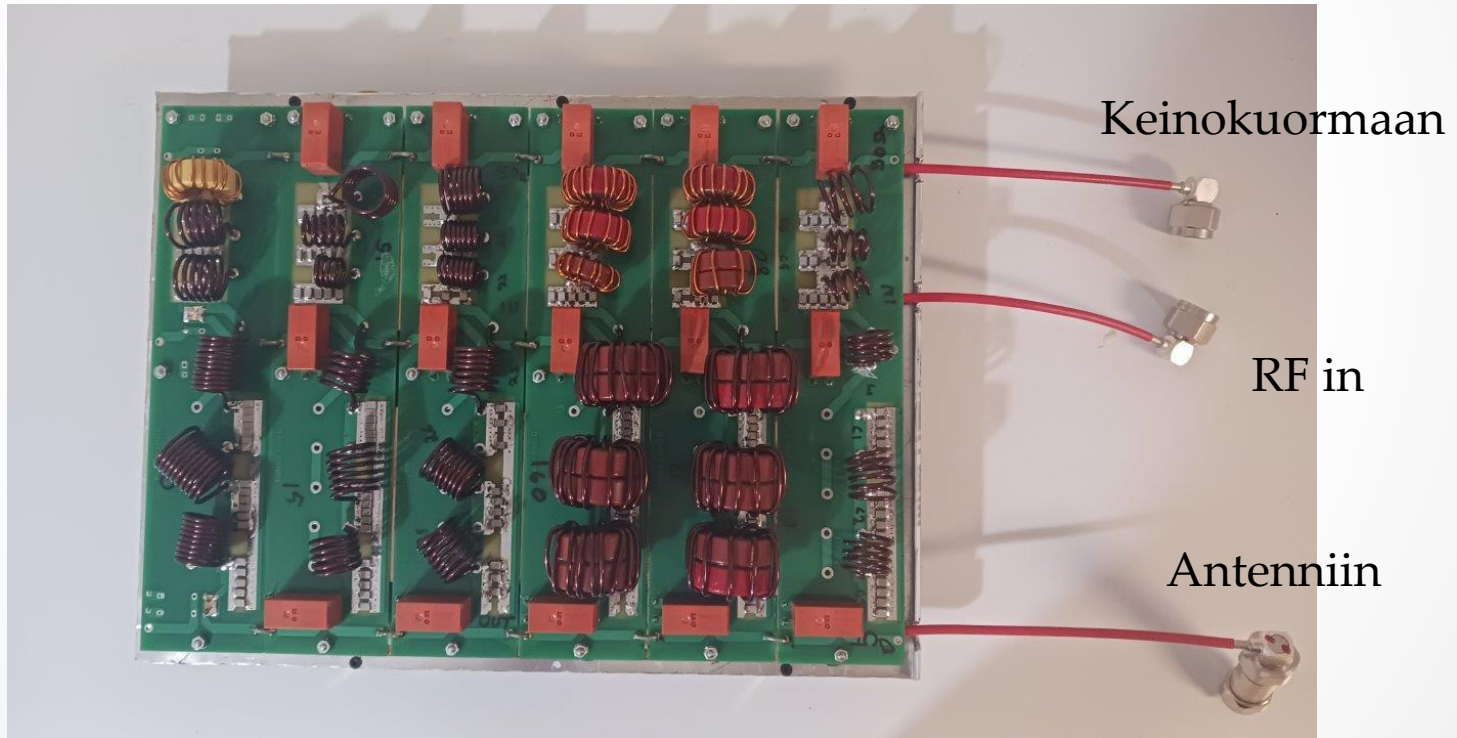
- Kaikki nopeutta vaativat toiminnot on rakennettu raudalla, prosessori liian hidask?





# LPF eiku diplexer

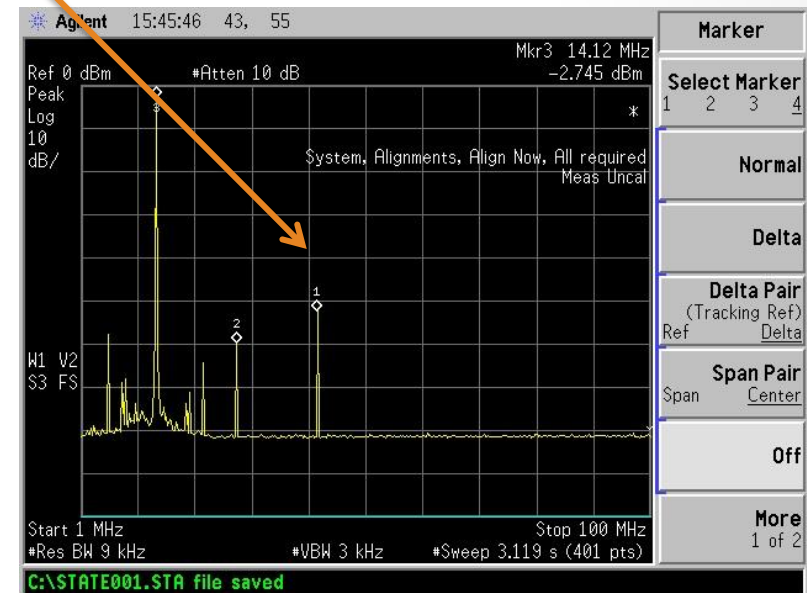
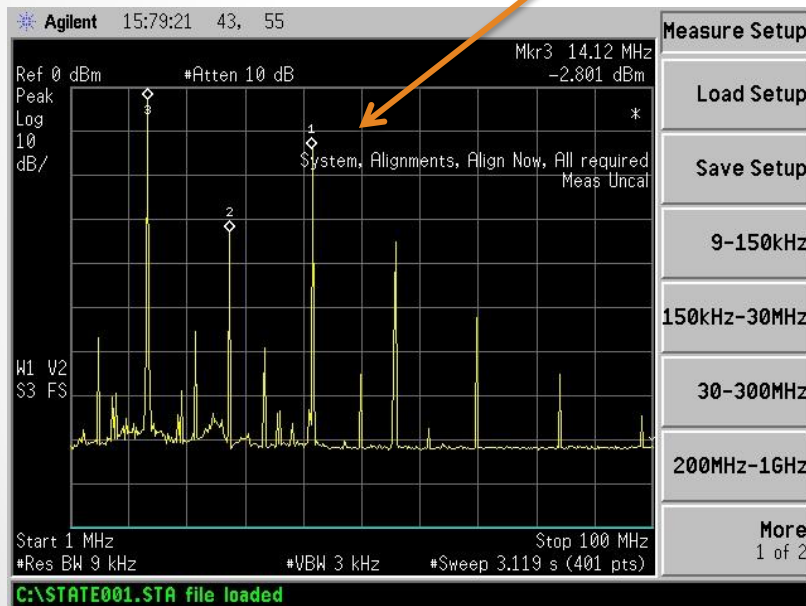
- Kuuden bandin diplexer



# Miksi diplexer

- Ohjaamaan harmoniset keinokuormaan (harmonic load), eikä lämmittämään RF-moduulia tai alipäästö filteriä

3. harmoninen



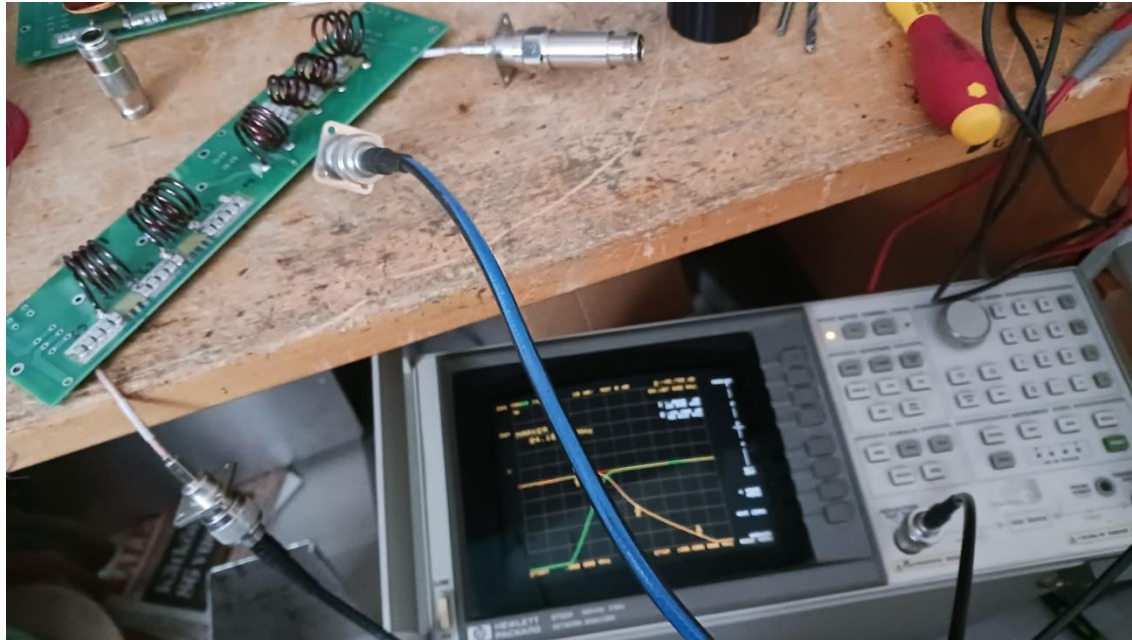
20 m:n signaali ilman suodatinta

20 m:n signaali suodattimen ANT portista



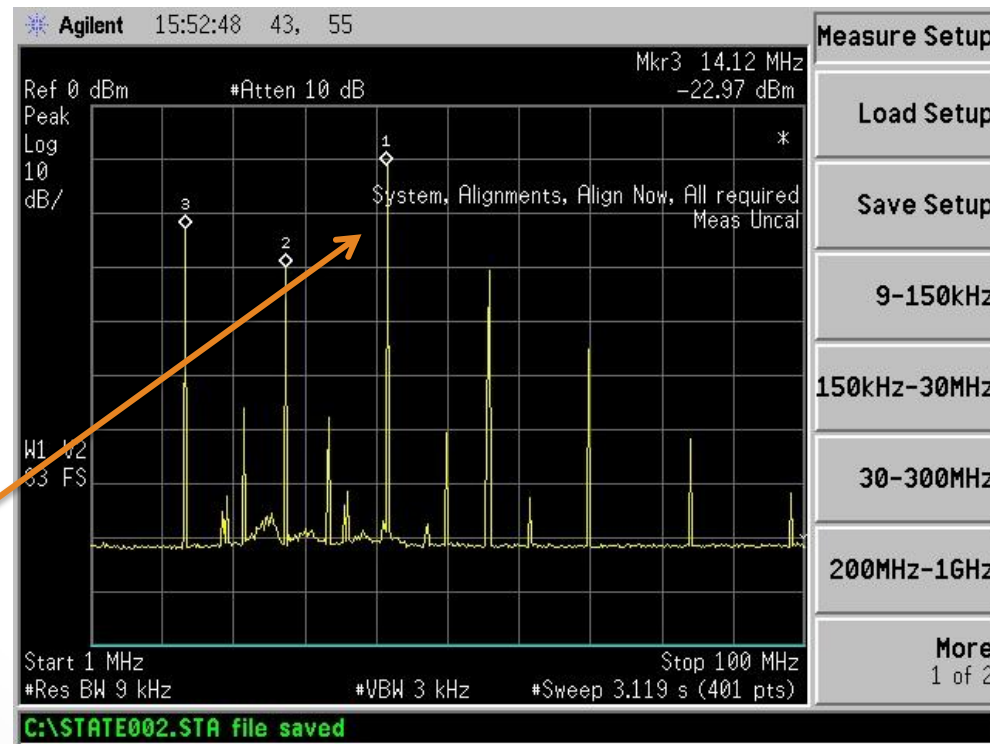
# 20 m:n diplexer

- Testaus ja viritys VNA:lla



# Mitä menee keinokuormaan?

- Meneehän sinne jotain...



Huomaa 3.  
harmoninen

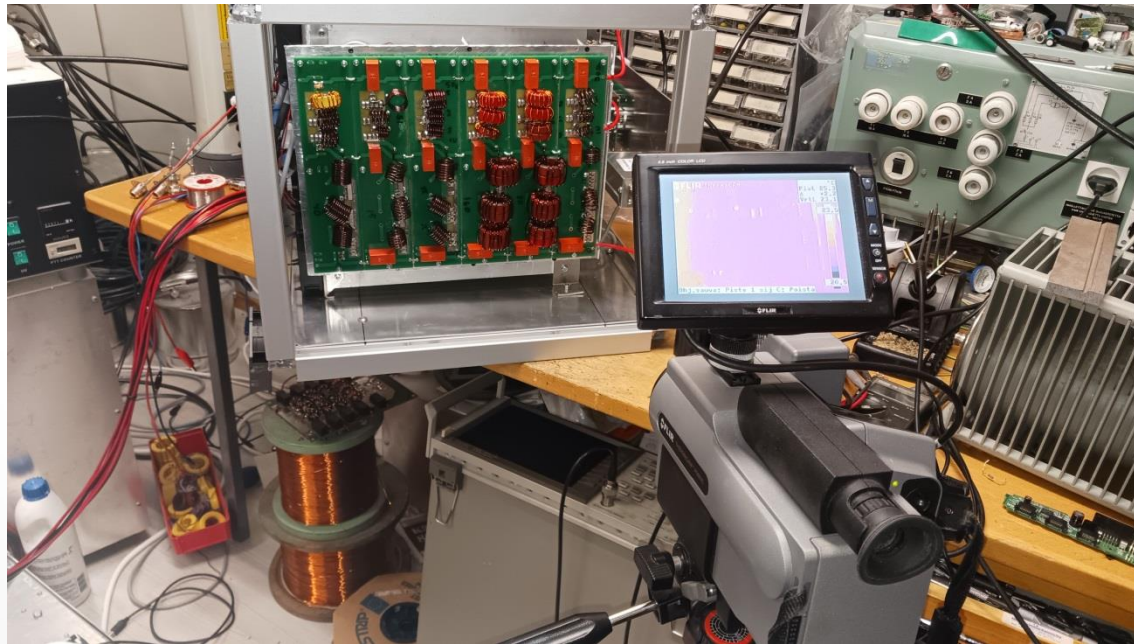
# Harmonis kuorma

- Riittävän iso keinokuorma (harmonic load)



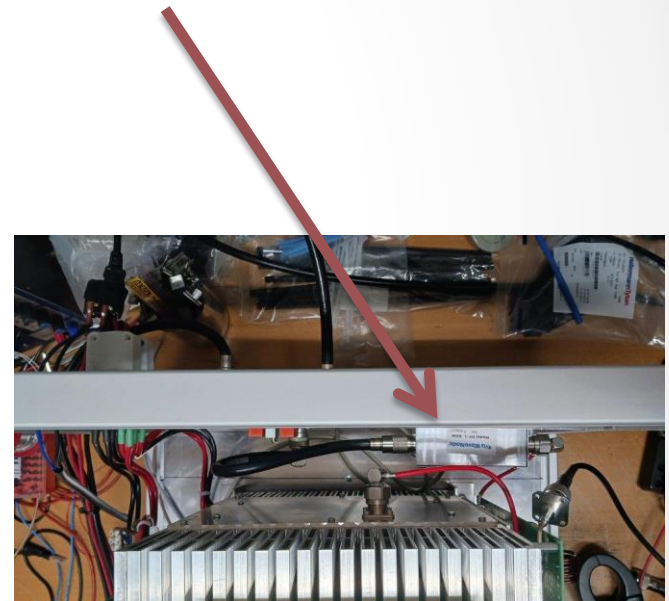
# Lämpöjen tarkistus

- Jokaisen diplexerin tarkistus lämpökameralla täydellä teholla



# Teho/SWR anturi (directional coupler)

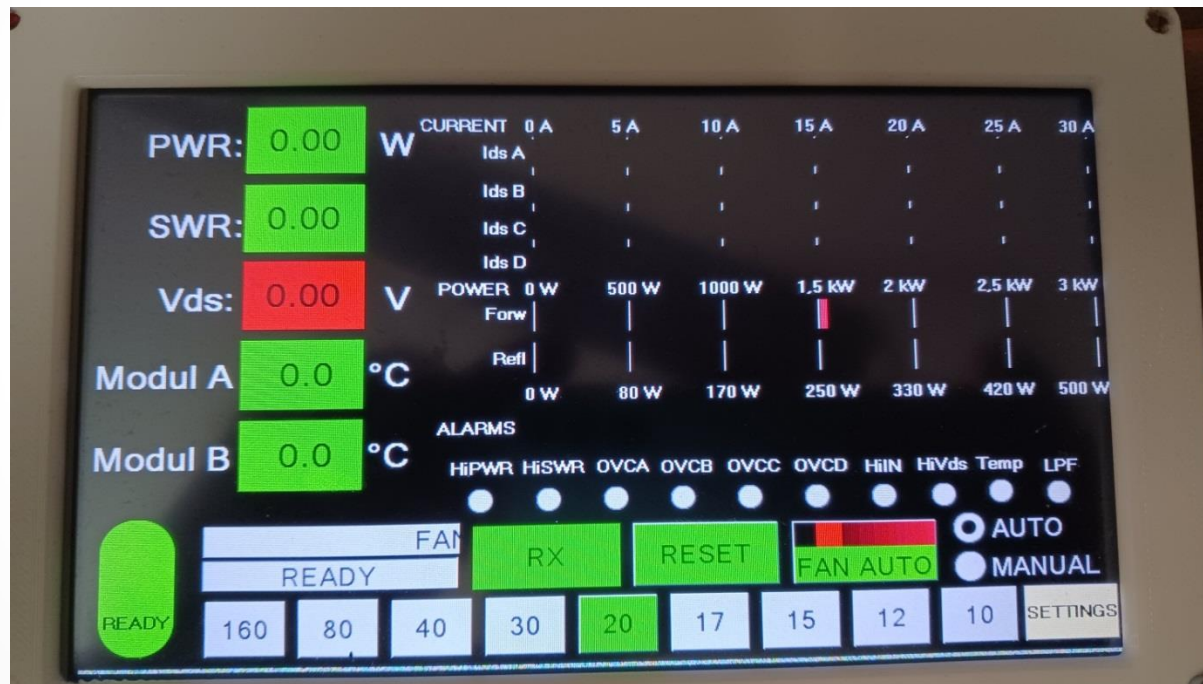
- Wavenode kaupallinen sensori





# Kosketusnäyttö ja käyttöliittymä

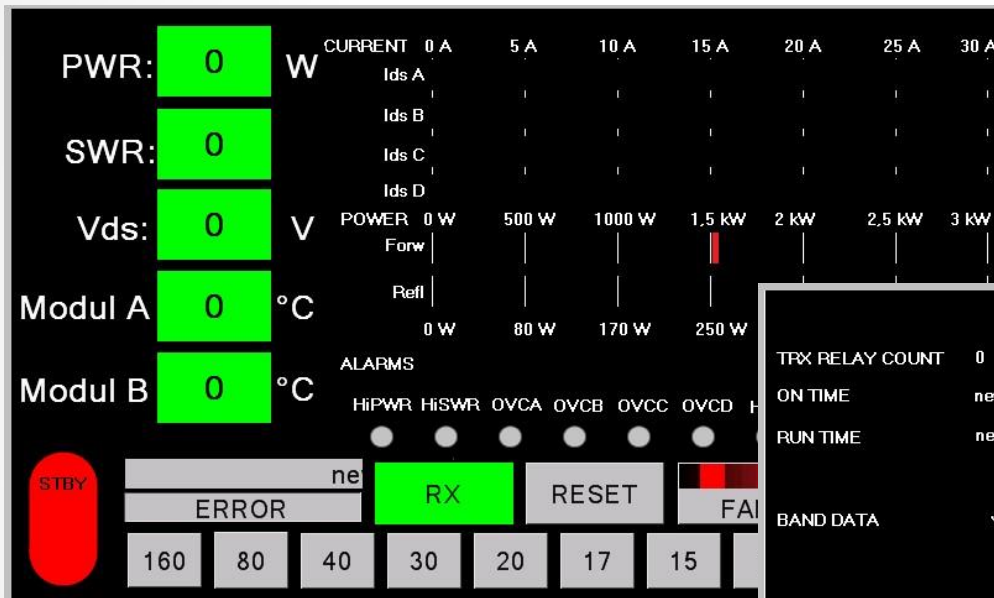
- Nextion kosketusnäyttö



[Video käyttöliittymästä](#)

# Käyttöliittymä

Päänäkymä



Asetusnäkymä

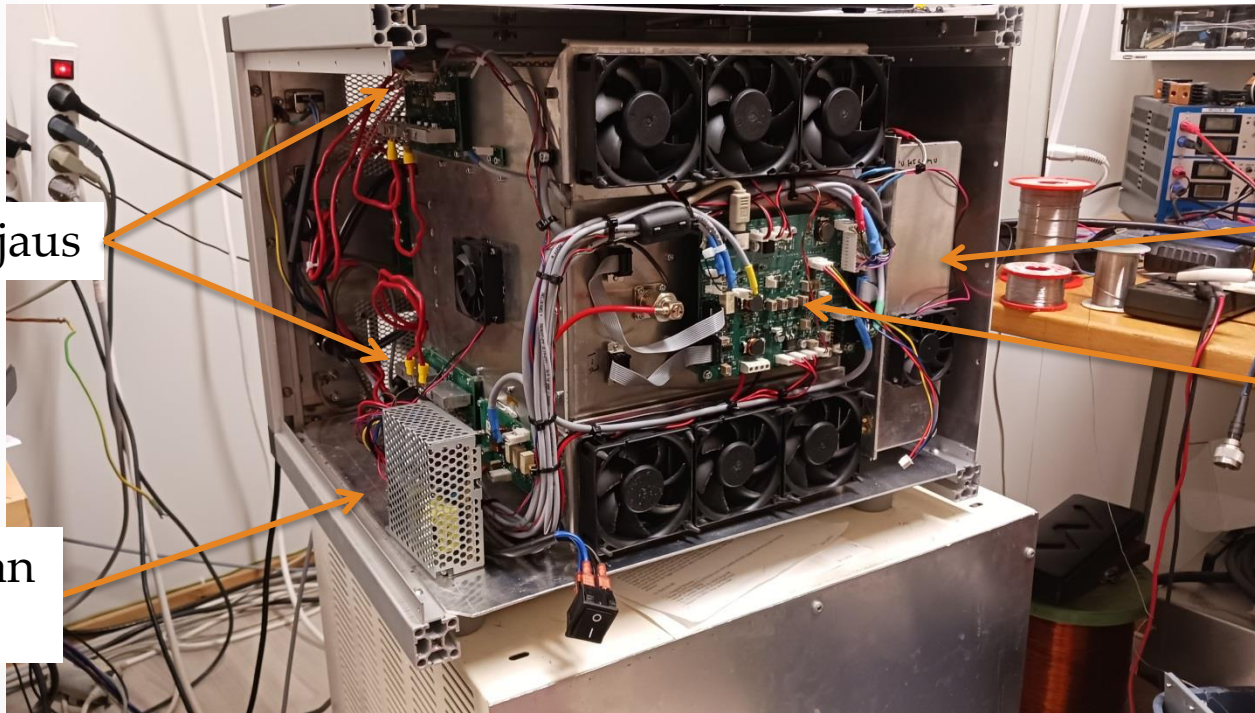


Ohjelmisto kehittyy  
kokemuksien mukana

+ muita näkymiä

# Kootaan palaset yhteen

Tuloksena linukka?



Ylivirtasuojaus

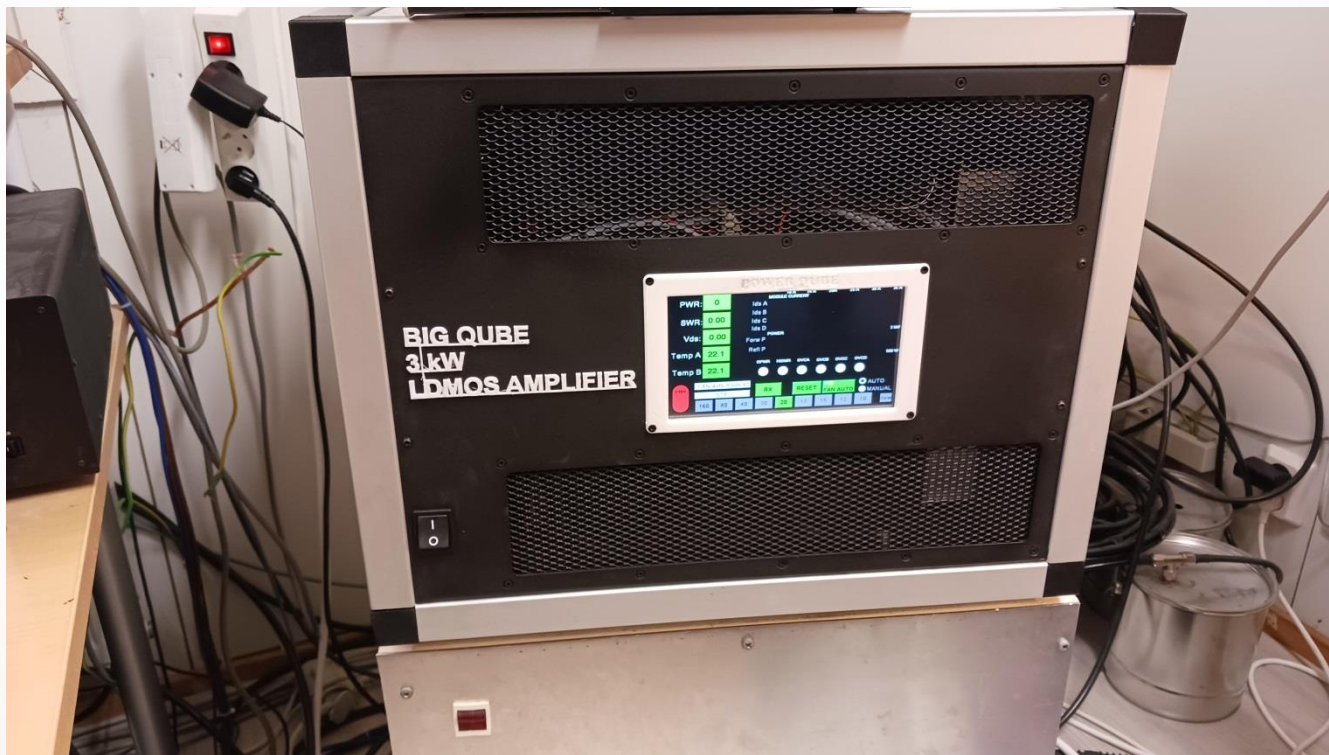
Diplexer

Ohjainkortti

Elektroniikan  
virtalähde

# Kootaan palaset yhteen

Tuloksena linukka?



Valmis vahvistin  
Painoa n. 30 kg

# Virtalähde 48-55 V

Kolmivaiheinen virtalähde 3x Huawei R4850G2



Kolme virtalähdettä rinnan tarkoittaa lähes 200 A

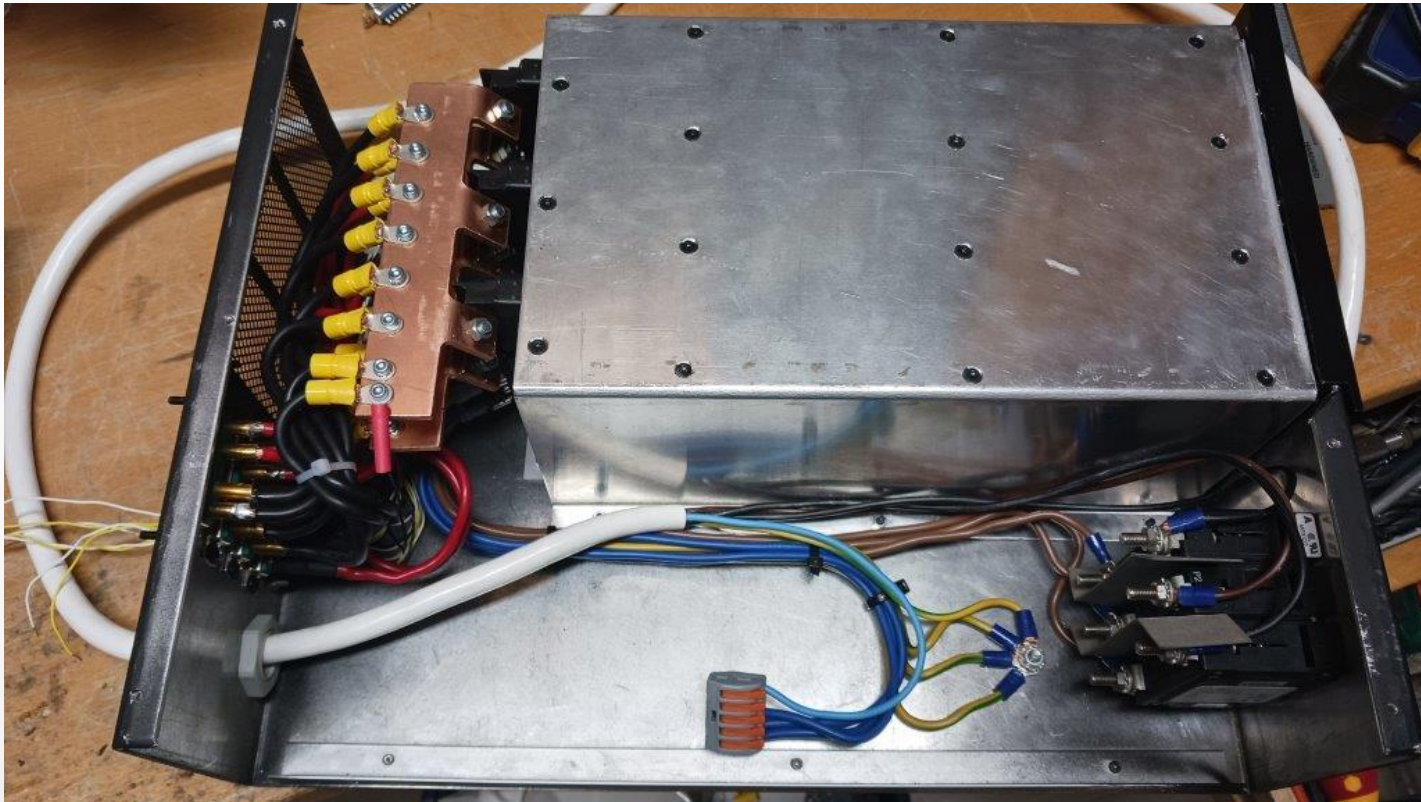
# Virtalähde

- [Huawei R4850G2](#) 42-58 V 50-61 A n. 3 kW
  - CAN-väylä
    - Jännitteen asetus/mittaus
    - Virta asetus/mittaus
    - Yms.
  - Digitaalinen ON/OFF
  - Hyötysuhde 96 %
  - Paino 2 kg
  - Hot-plug
  - Edullinen ?
  - A long term short circuit is allowed.



# Kolmivaiheisesti kytketyt virtalähteet

- Kolme virtalähdettä kytkettynä **tähteen**
- Toimii myös muilla virtalähdetyypeillä



# Vahvistimen ja virtalähteen kytkentä

- Vahvistimen ja virtalähteen välillä voi kulkea reilusti yli 100 A:n virta

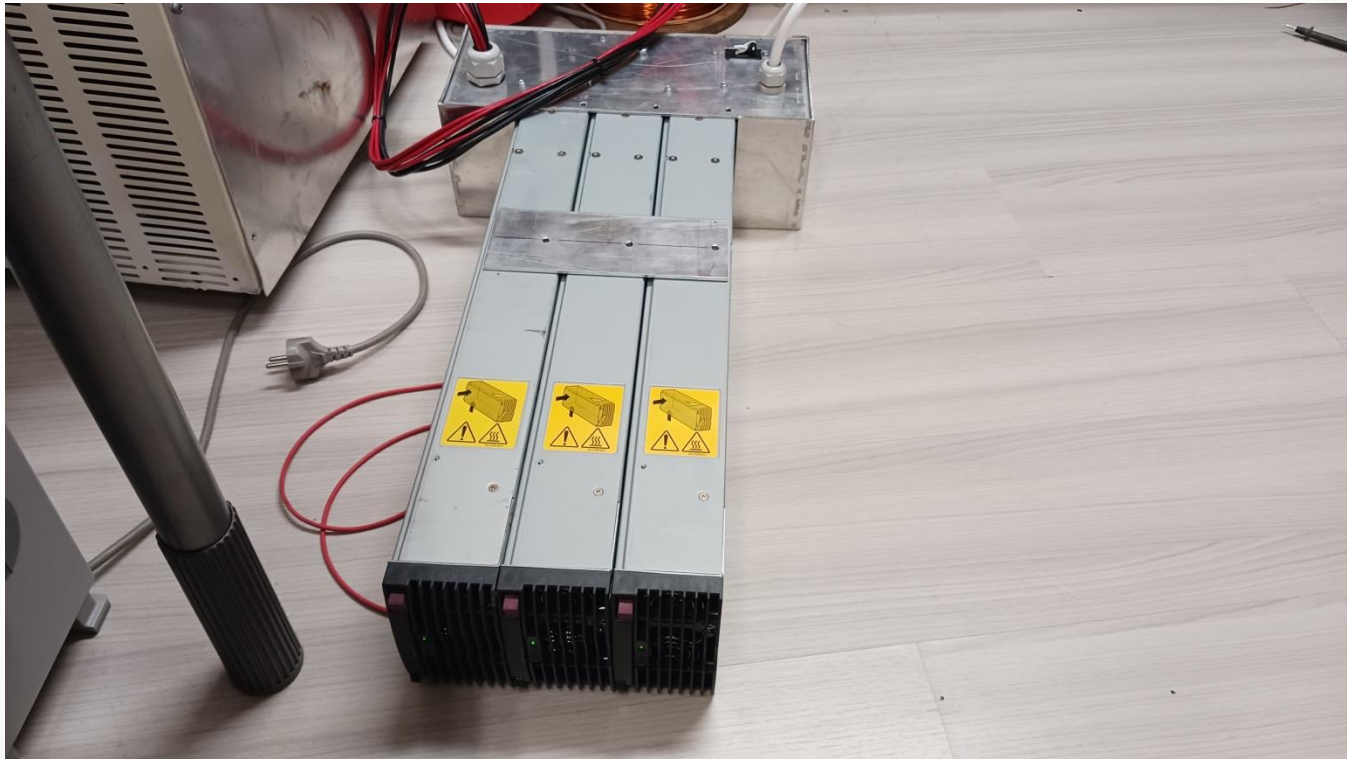


Liittimessä 40 A/pinni



# ESP120

- ESP120 Virtalähteet kytkettynä rinnan



# Miksi kolmevaiheinen?

- Saadaan riittävästi kuormitettavuutta
- Ei aiheuta vinokuormaa
  - Ei vilku valot koko mökissä ja naapureilla...



# Mitä tekisin toisin?

- Ehkä vaihtaisin Fetit [MRFX1K80H](#) tai [ART2K0FE](#):aan
  - 65 V:n  $V_{ds}$  → pienemmällä virralla sama teho
  - Mistä virtalähde? Löytyykö edullisia 60 V:n ja yli hakkureita?!



# Kokemuksia

- Reilu vuosi takana kovaa käyttöä
- Ei ongelmia, kisat on workittu loppuun saakka
- Ei lämpö ongelmia, harvoin jäähdytyslevyn pinta lämpenee yli 45 C.



Kiitos mielenkiinnosta!  
Jari OH8LQ