

# RADIOMASERIT JA NIIDEN HAVAITSEMINEN

Janne Peltonen

Petri Kotilainen

URSAN LAITEPÄIVÄT 06.04.2024

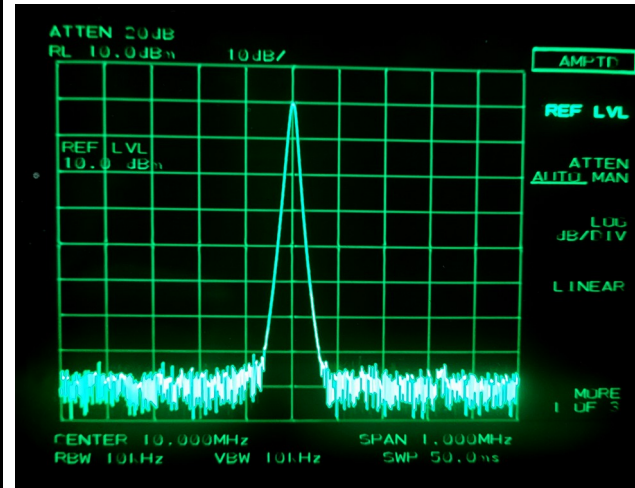
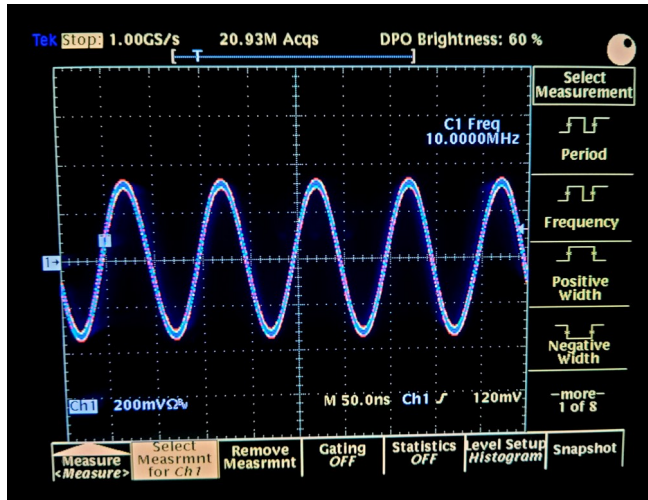
# SISÄLTÖ

- Mikä on astrofysikaalinen maseri?
  - Maser vs. laser
- Masereista yleisesti
  - Masertaajuudet ja -molekyylit
  - Otolliset olosuhteet maserille
  - Kohteet
- Maserien havaitseminen
  - Antenni
  - Vastaanotin
  - Signaalinkäsittely
- Maser havaintojen esittely
  - Hydroksyylimaserit 1.6GHz
  - Metanolimaserit 6.7GHz

# MIKÄ ON ASTRONOMINEN MASERI?

- Laser tuottaa koherenttia säteilyä stimuloidun emissioon avulla
- Maser tuottaa vastaavasti radiosäteilyä
- Molemmissa tapauksissa on kyseessä kvanttimekaaninen resonanssi
  - Atomit virittyvät ulkoisesta energiasta (esim vieressä säteilevä tähti)
  - Elektronit siirtyvät ulommalle kuorelle ja syntyy “käänteinen miehitys/population inversion” -tilanne
  - Valon itsensä ohjaamana viritystilat purkautuvat
  - Syntyy koherenttia säteilyä, jossa kaikella syntyneellä säteilyllä on sama taajuus ja vaihe

$$\Delta E = h \cdot \nu$$



# MASEREISTA YLEISESTI

- Masermolekyylit ja -taajuudet
- Hydroksyyli (OH)
  - 1612.231 MHz
- Metanoli (CH<sub>2</sub>OH)
  - 6668.518MHz
- Vesihöyry (H<sub>2</sub>O)
  - 22235 MHz
- Taajuus siirtyy Dopplerin takia melko paljon
- Tarkka hetkellinen taajuus pitää laskea
  - Havaintopaikka
  - Kellonaika
  - Päivämäärä
  - Kohteen suunta (RA&DEC)

Substance	Rest Frequency	Protected Segment
Deuterium (D <sub>1</sub> )	327.3840 MHz	327.0 - 327.7 MHz
Hydrogen (H <sub>1</sub> )	1420.406 MHz	1370.0 - 1427.0 MHz
Hydroxyl radical (OH)	1612.231 MHz	1606.8 - 1613.8 MHz
Hydroxyl radical (OH)	1665.402 MHz	1659.8 - 1667.1 MHz
Hydroxyl radical (OH)	1667.359 MHz	1661.8 - 1669.0 MHz
Hydroxyl radical (OH)	1720.530 MHz	1714.8 - 1722.2 MHz
Methylidyne (CH)	3263.794 MHz	3252.9 - 3267.1 MHz
Methylidyne (CH)	3335.481 MHz	3324.4 - 3338.8 MHz
Methylidyne (CH)	3349.193 MHz	3338.0 - 3352.5 MHz
Formaldehyde (H <sub>2</sub> CO)	4829.660 MHz	4813.6 - 4834.5 MHz
Methanol (CH <sub>2</sub> OH)	6668.518 MHz	6661.8 - 6675.2 MHz
Ionized Helium Isotope (3HeII)	8665.650 MHz	8660.0 - 8670.0 MHz
Methanol (CH <sub>3</sub> OH)	12.178 GHz	12.17 - 12.19 GHz
Formaldehyde (H <sub>2</sub> CO)	14.488 GHz	14.44 - 14.50 GHz
Cyclopropenylidene (C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> )	18.343 GHz	18.28 - 18.36 GHz
Water Vapour (H <sub>2</sub> O)	22.235 GHz	22.16 - 22.26 GHz

# MASEREISTA YLEISESTI

- Masereita esiintyy:
- Kehittyneet tähdet (punaiset ylijättiläiset, red hypergiant star)
  - V1489 Cygni
  - V0437 Sct
- Tähtien muodostumisalueet
  - IRAS 02232+6138 (G133.949)
- Planeetat
  - Jupiter
- Komeetat
- Supernovajäänteet
- Ekstragalaktiset lähteet
  - Megamaser

# MASEREISTA YLEISESTI

- Maserkohde voi säteillä usealla taajuudella samaan aikaan
- Eri molekyylit maseroivat tietyillä etäisyysalueilla tähdestä
  - SiO-maser 5..10 AU
  - Vesimaser 100..400 AU
  - Hydroksyylimaser 1000..10000 AU
- Maserin ilmiöitä
  - Säteilyn voimakkuus riippuu eksponentiaalisesti resonoivasta pituudesta - → "beaming" -ilmiö
  - Maseri voi olla saturoitunut tai ei-saturoitunut
    - Saturoituneessa intensiteetti kasvaa lineaarisesti
    - Ei-saturoituneessa intensiteetti kasvaa eksponentiaalisesti
- Kirkkaita kohteita
  - Jopa  $10^9$  Kelviniä (efektiivisesti, ei termisesti)
  - Polarisoituneita
  - Pyörivää tai lineaarista polarisaatiota
- Muuttuvia kohteita
  - Intensiteetti voi muuttua melko nopeasti (päivissä/kuukausissa)
  - Kaasun liike vs. beaming -ilmiö

# OH MASERKOhteita



MaserDB.net: database of astrophysical masers

Objects detected in OH with filter: peak\_1612>100 and dec>-10

[Download list as CSV](#) [Download list as ASTRO catalog](#)

Filter Clear

Object id	GC	Source name	l	b	Mean RA	Mean Dec	V <sub>mean</sub>	V <sub>peak</sub>	Det.	Frequency	F <sub>peak1612</sub>	F <sub>peak</sub>
			(deg.)	(deg.)	deg. (J2000)	deg. (J2000)		(km/s)		(MHz)	(Jy)	(Jy)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	>100
<a href="#">G26.543+0.618</a>	0	V0437 Sct	26.5435	0.6178	279.3854000	-5.3997220	13.300	12.000 .. 41.000	Y	1612; 1665; 1667	516.18	3.3
<a href="#">G31.012-0.219</a>	0	IRAS 18460-0151	31.0122	-0.2192	282.1789185	-1.8084485	112.100	110.300 .. 140.500	Y	1612; 1665; 1667	124.7	24.39
<a href="#">G72.400-7.535</a>	0	IRAS 20406+2953	72.3995	-7.5352	310.6912500	30.0683330	3.650	2.900 .. 4.800	Y	1612; 1665; 1667	191.7	0.55
<a href="#">G80.798-1.921</a>	0	V1489 Cyg	80.7982	-1.9211	311.6062500	40.1163055	-23.550	-28.500 .. -14.000	Y	1612; 1665; 1667	1921	1.1
<a href="#">G127.815-0.021</a>	0	V0669 Cas	127.8137	-0.0228	23.4604170	62.4463890	-65.700	-66.000 .. -43.900	Y	1612; 1665; 1667	318	0.6

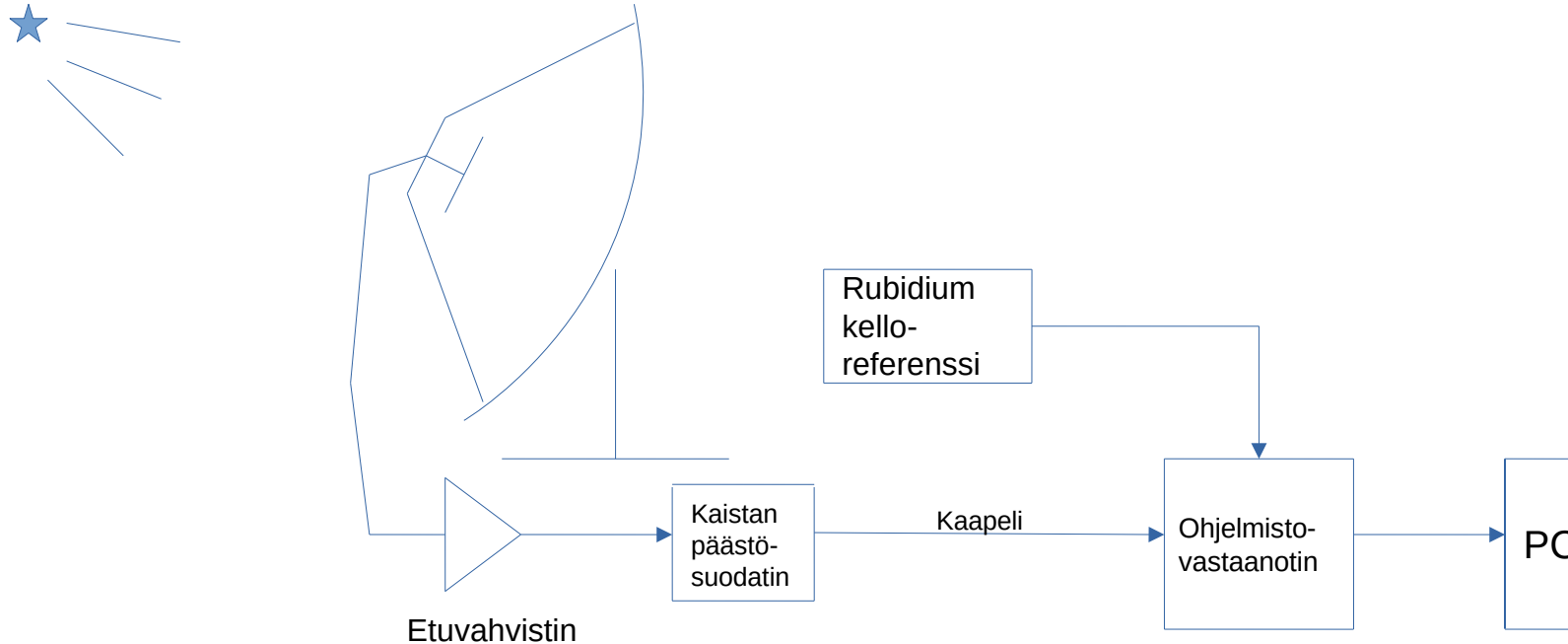
# MASERIEN HAVAITSEMISESTA

- Antenni
  - 4m paraboloidi
  - Kuvassa 1612 MHz syöttö paikallaan
  - Radiolaitteet puisen rungon sisällä
    - Etuvahvistin
    - Kaistanpäästösuodin



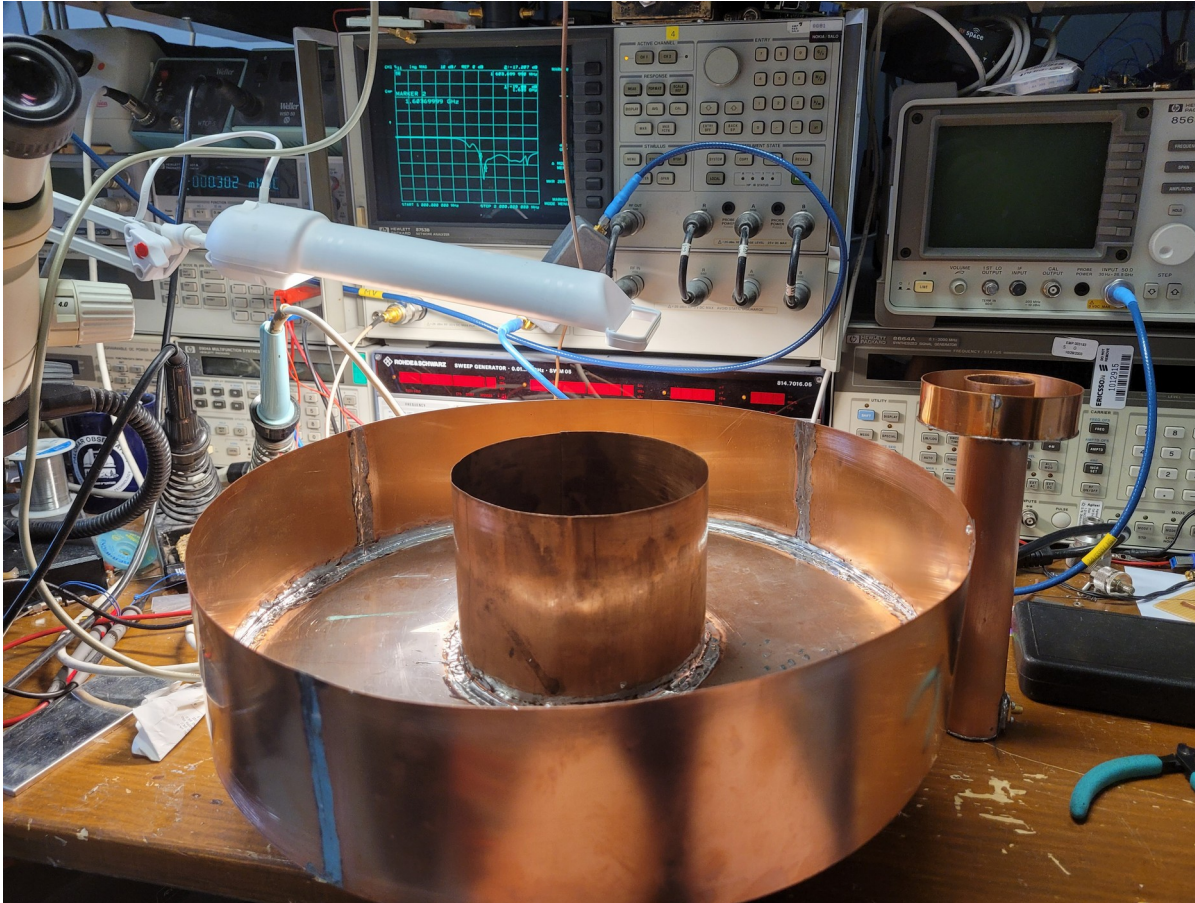


# VASTAANOTINSYSTEEMI

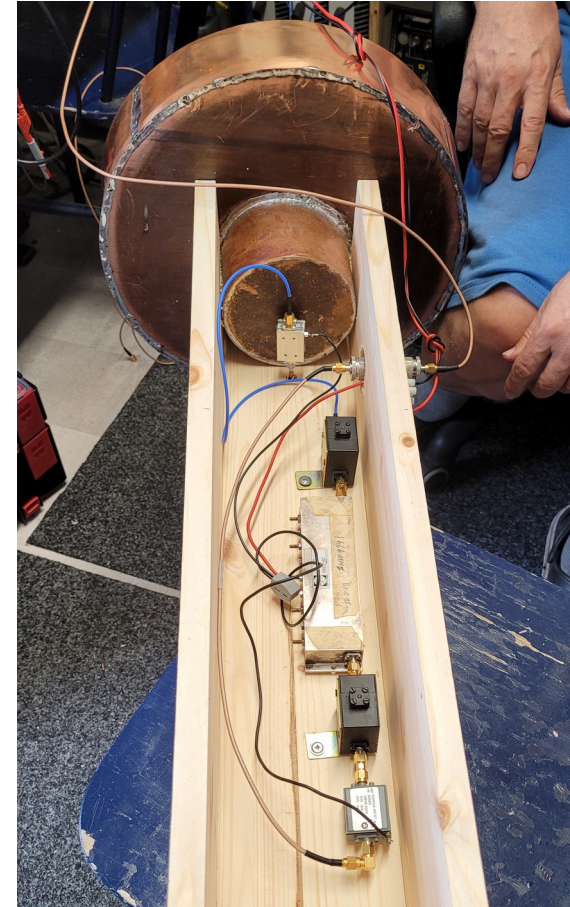


Periaatekuva 1.6GHz OH-vastaanottimesta

# RADIOLAITTEET OH MASERIN HAVAITSEMISEEN

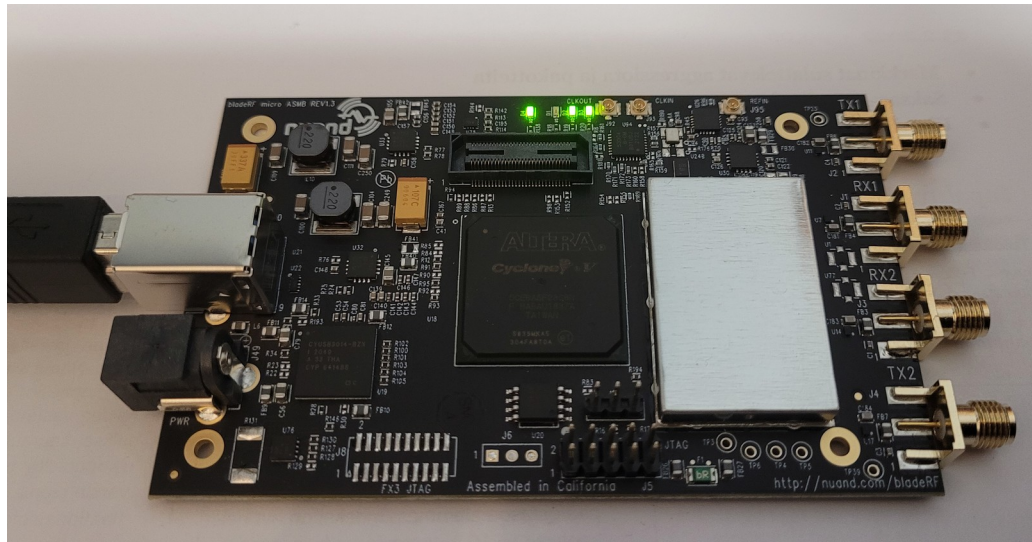
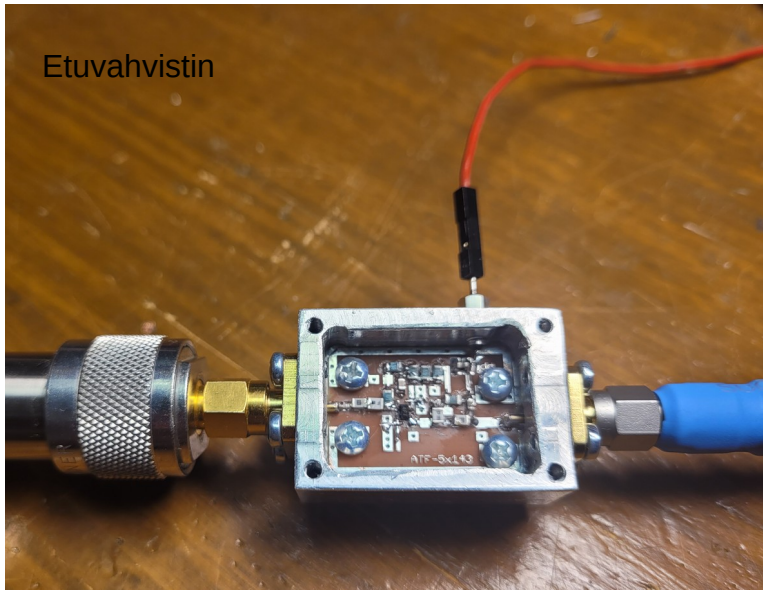


“Kumar”-syöttö  
Hattu optimoi säteilykuvion → hyvä hyötysuhde



Runko ja  
vahvistimet

# RADIOLAITTEET OH MASERIN HAVAITSEMISEEN



SDR-vastaanotin



- Systemikohinaluku noin 0.4dB / 40K



Syöttötorvi "coffee can feed"  
Halkaisija noin 0.77 aallonpituutta

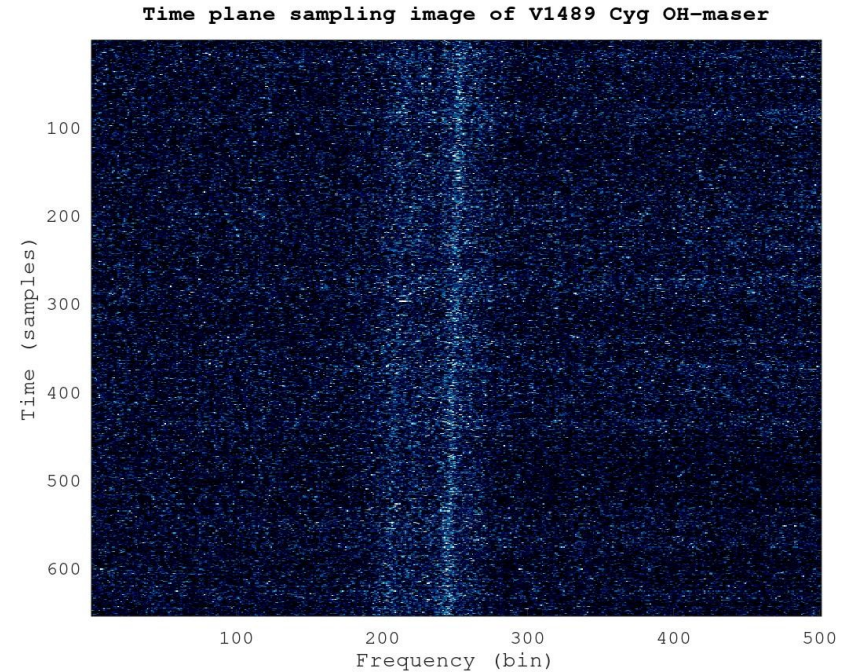
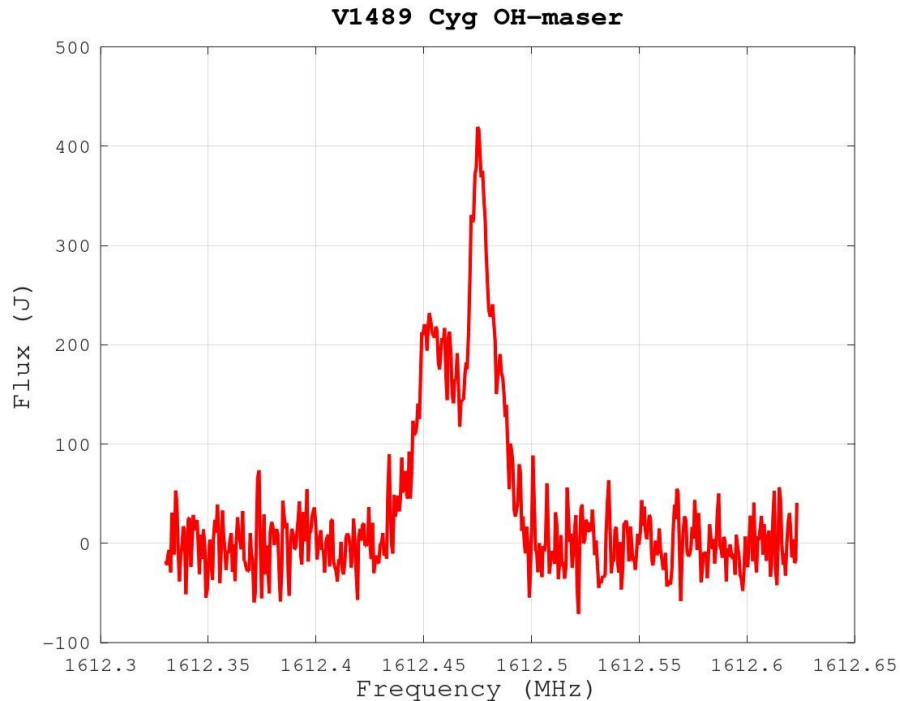
# HYDROKSYYLIMASER V1489 NML CYG

- **V1489 Cyg / NML Cyg**

- RA 20:46
- DEC 40:06 (korkealla elevaatiolla)
- Flux taulukosta 1921 Janskyä (380..500 J toisissa taulukoissa)
- MJD 59774.936 / 08.07.2022

- Kohde liikkuu meihin nähden

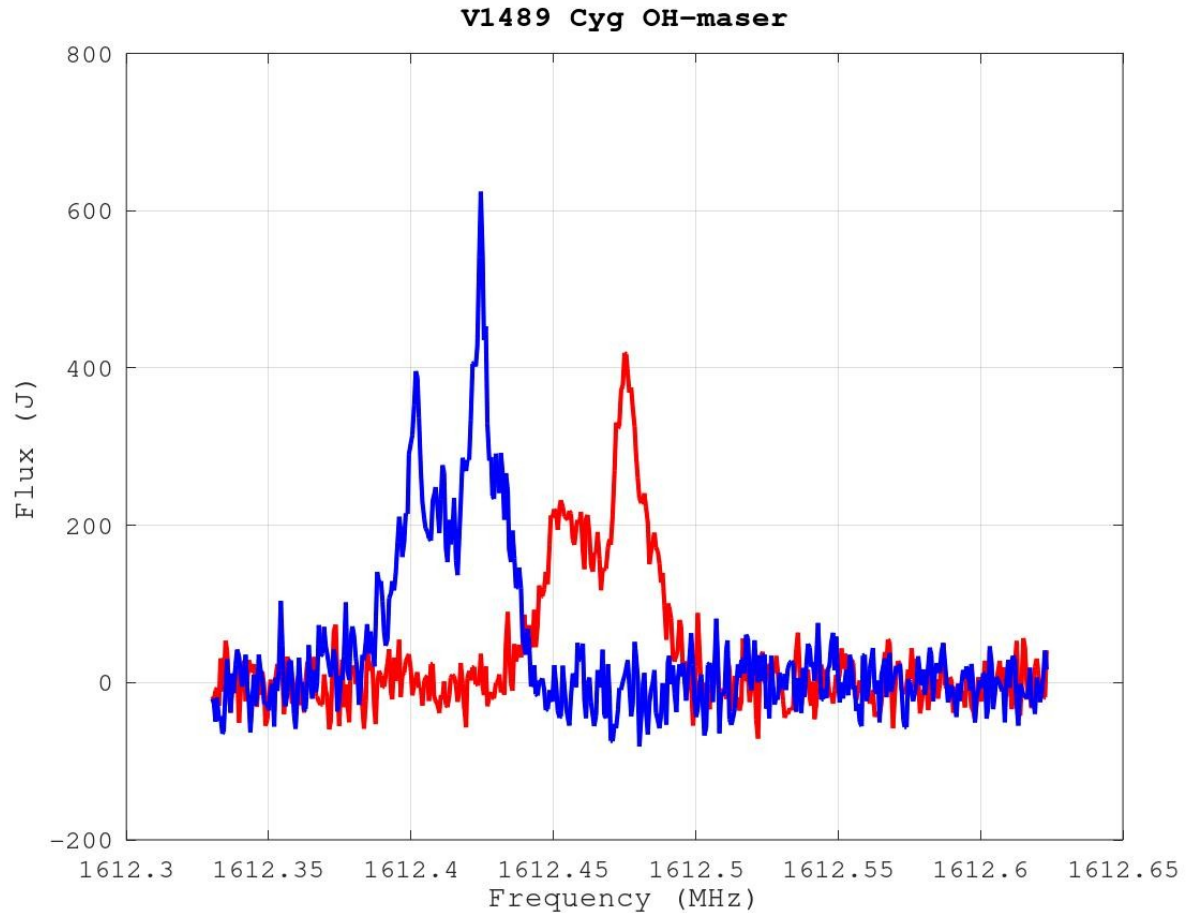
- Kohteen oma liike +13.3 km/s =+74 kHz
- Aurinkokunnan liike vs LSR +16.5km/s =+91 kHz
- Maan rataliike, doppler noin +15km/s =+82 kHz
- Maan pyörimisliike, doppler noin 3 kHz
- Doppler tässä noin **244 kHz**



# HYDROKSYYLIMASER V1489 NML CYG

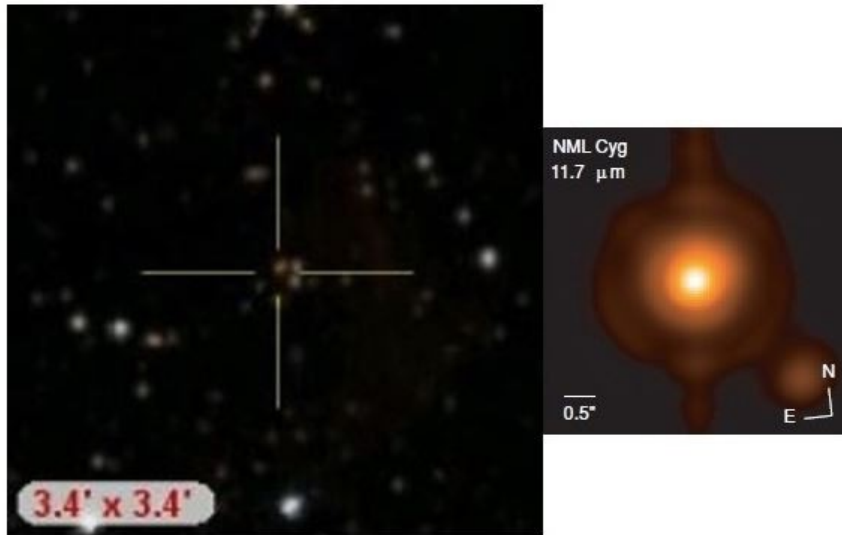
- V1489 Cyg

- Ensimmäinen mittaus ja myöhempi mittaus samassa kuvassa
- 19.07.2022 ja 08.09.2022
- Piikki on siirtynyt selvästi
- Myöhemmässä mittauksessa on selvästi vahvempi flux eli vuo
- 9.8.2022 mittausaika vain noin 3.5 tuntia
- 19.7.2022 data on koostettu neljästä mittauksesta, yhteensä 8.8 tuntia
- Siirtymää ei näissä kuvissa ole kompensoitu pois mittauksen ajalta
- Mitatut piikin paikat täsmäävät laskettuun paikkaan



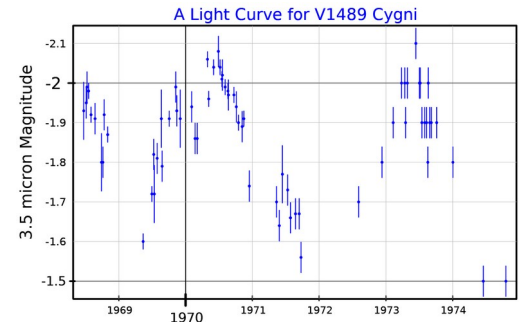
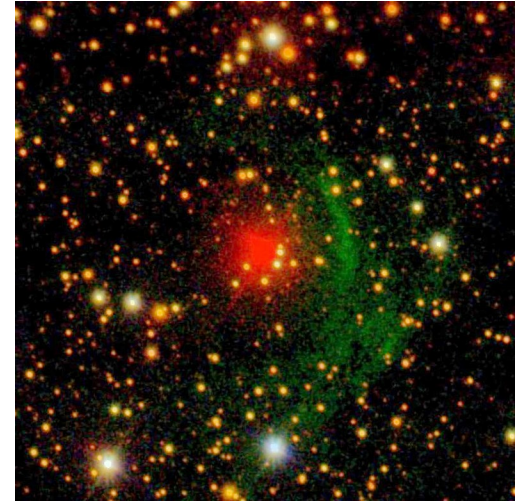
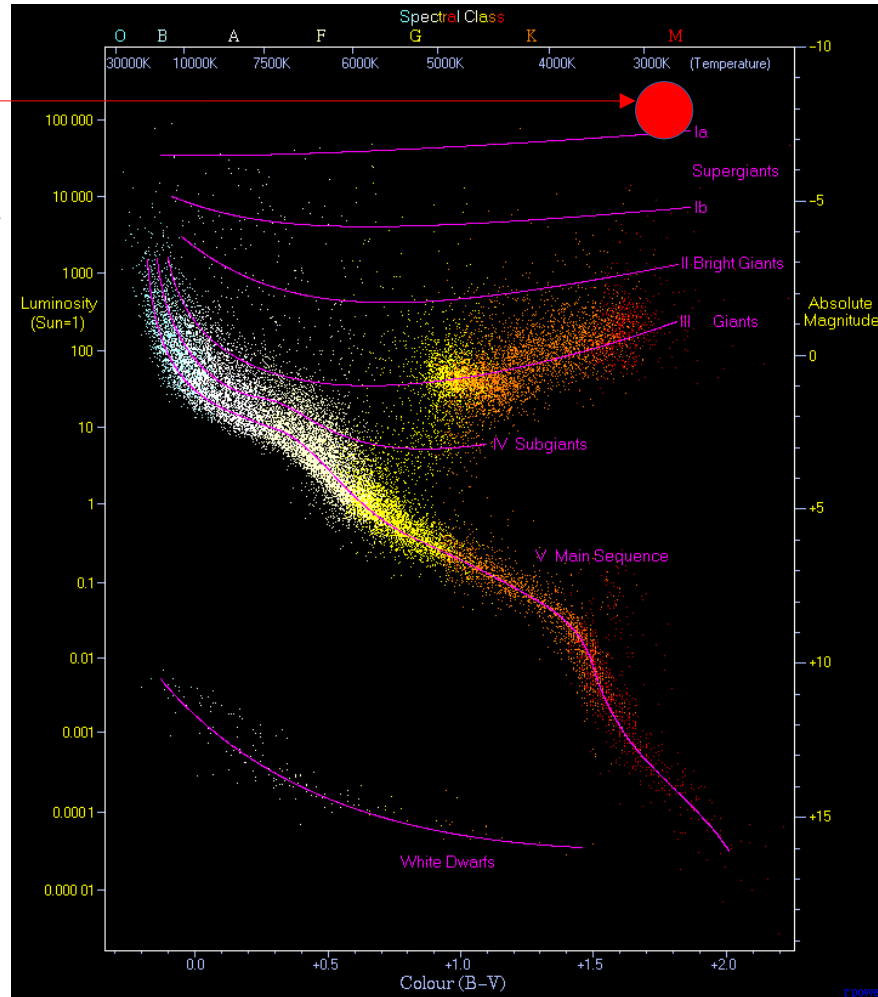
# HYDROKSYYLIMASER V1489 NML CYG

- V1489 Cyg / NML Cyg
  - Punainen ylijättiläinen, 1A-III
  - Muuttuva tähti, visuaalinen mag ~16.6
  - Etäisyys noin 5200 valovuotta
  - Säde 1600..2800 auringon sädettä (=Saturnuksen rata)
  - Hukkaa materiaa nopeasti
  - Ympärillä tomu/kaasukehä
  - Iso, kylmä, punainen ja kirkas (250000x Auringon kirkkaus)



# HYDROKSYYLIMASER V1489 NML CYG

- HR-kaavio
- NML Cygni
  - Aivan kaavion kulmassa
  - OH/IR-tähti
  - Spektriluokka-M
  - Kirkkausluokka 1A-III



# HYDROKSYYLIMASER V0437 SCT

- V0437 Sct (Kilpi/Scutum)
  - RA 18:37
  - DEC -05:26 (matalalla elevaatiolla)
  - Flux taulukossa 516 Janskyä
  - Maan rataliike kompensoitu kuvassa siirtämällä spektriä x-suunnassa

Mitattu taajuus vs. laskettu taajuus:

f1=1612.131e6; %f\_vla=1612.128

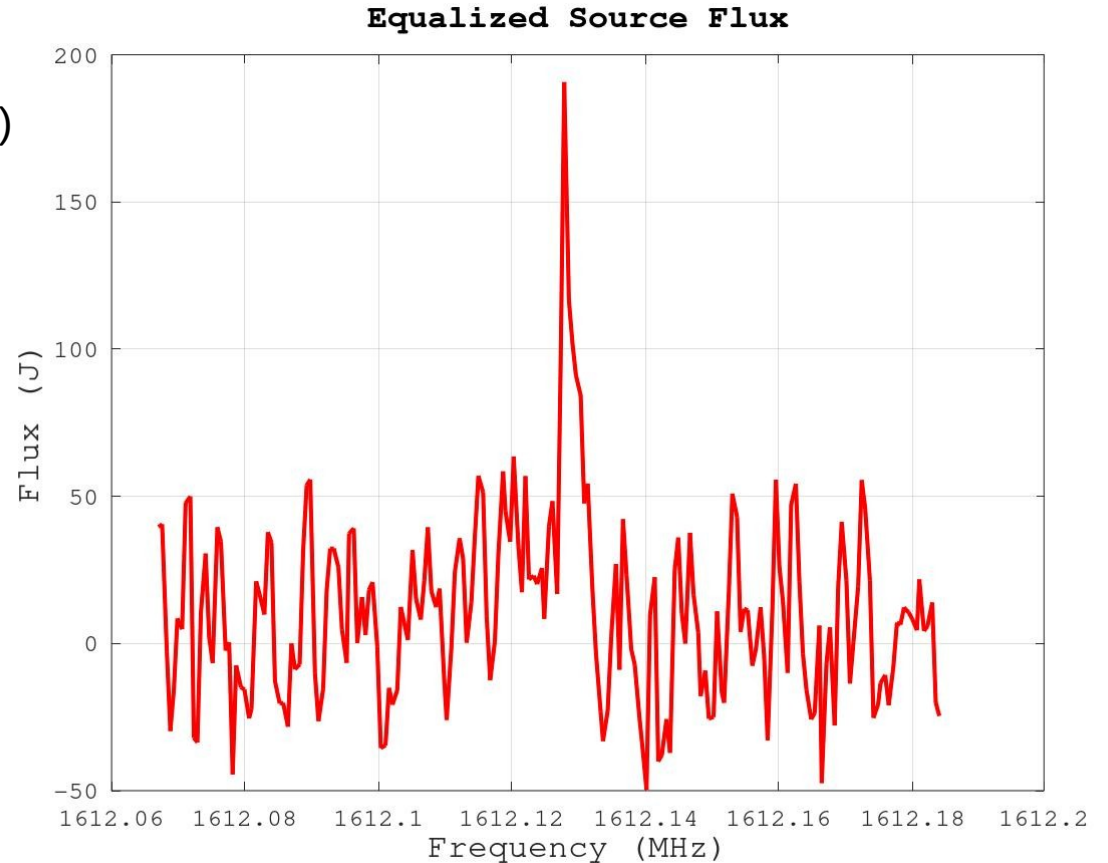
f2=1612.128e6; %f\_vla=1612.127

f3=1612.127e6; %f\_vla=1612.125

f6=1612.119e6; %f\_vla=1612.116

f7=1612.119e6; %f\_vla=1612.115

f9=1612.107e6; %f\_vla=1612.104



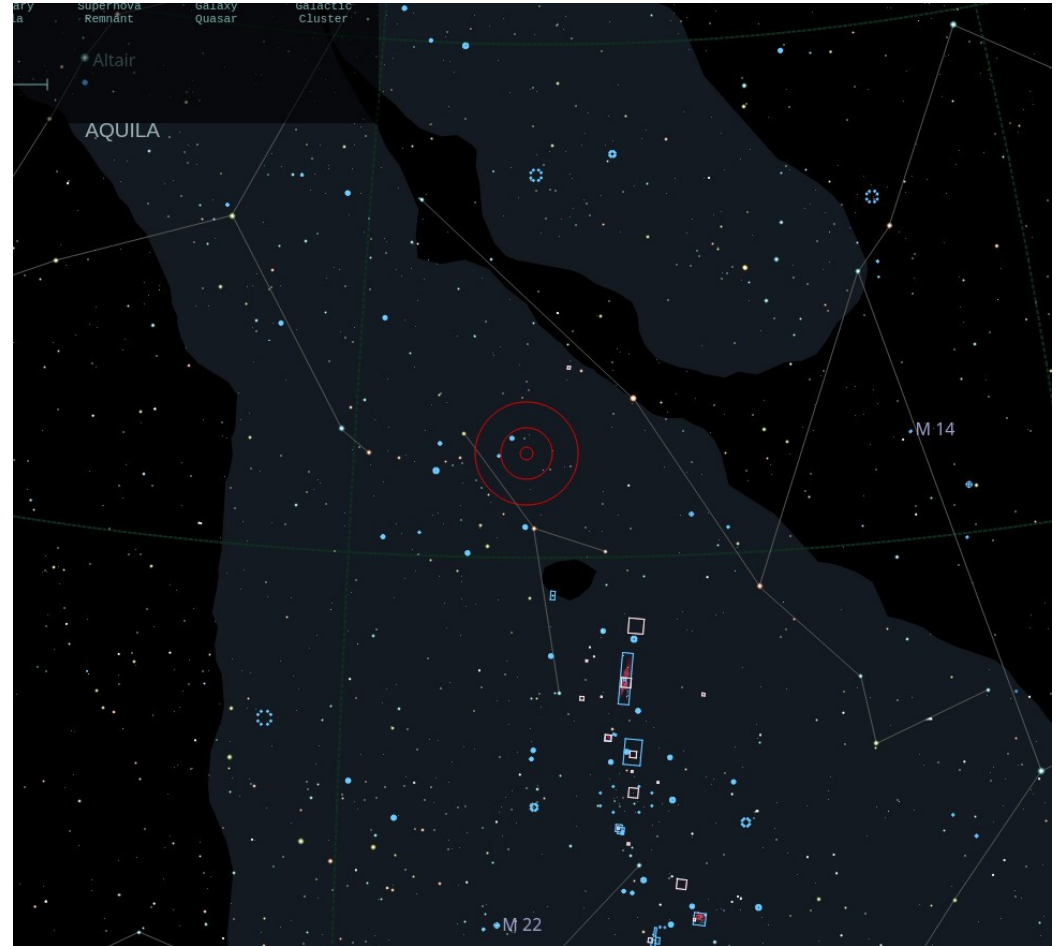
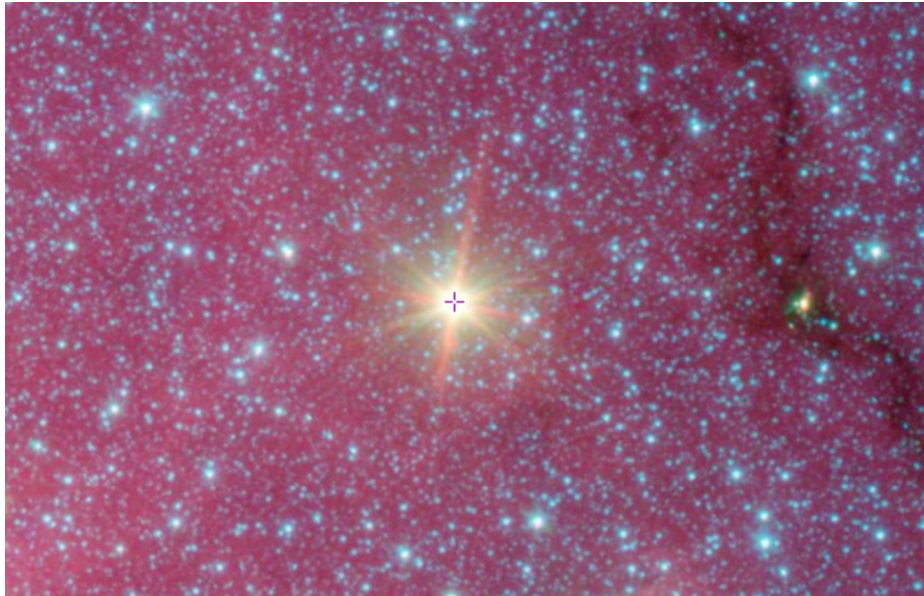


# HYDROKSYYLMASER V0437 SCT

- V0437 Sct (Kilpi/Scutum)

- Punainen jättiläinen
- Säde noin 860 auringon sädettä
- OH/IR-tähti

GLIMPSE 360/Spitzer Space Telescope



# MASERIN SPEKTRIN MUODOSTUMINEN

- V1489 ja V0437 tähtityypin kaksoisspektrin muodostuminen

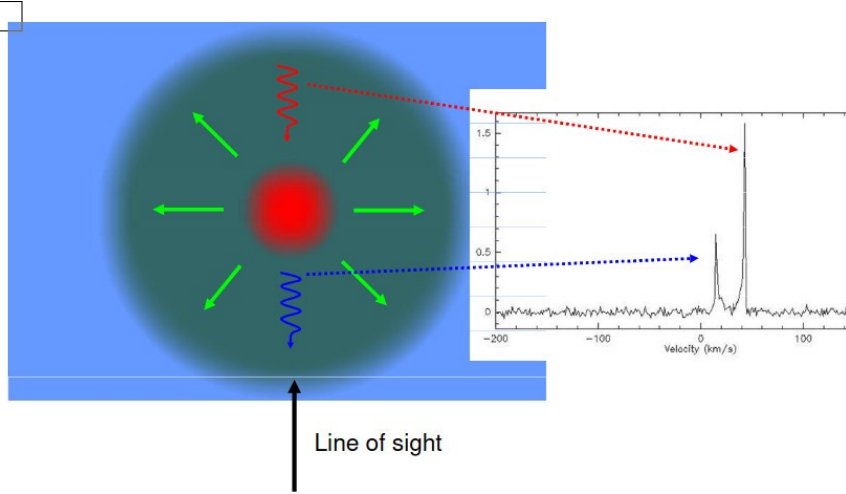


Figure 3: Formation of the double maser line towards AGB stars

[https://astropeiler.de/sites/default/files/Astropeiler\\_Story\\_5.pdf](https://astropeiler.de/sites/default/files/Astropeiler_Story_5.pdf)

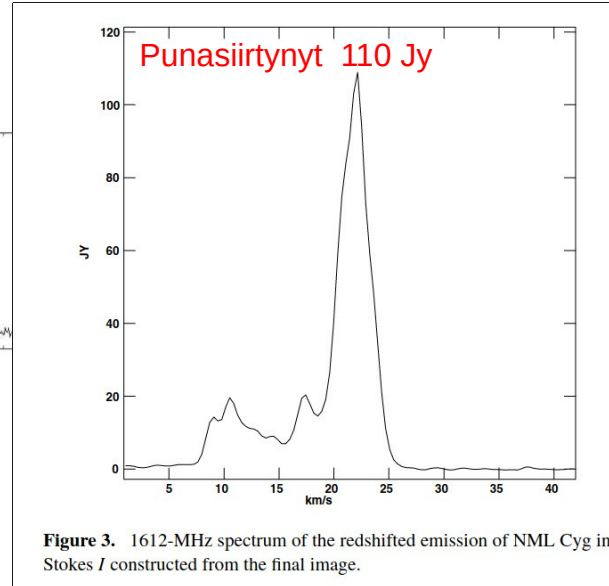


Figure 3. 1612-MHz spectrum of the redshifted emission of NML Cyg in Stokes I constructed from the final image.

Mon. Not. R. Astron. Soc. **348**, 34–45 (2004)

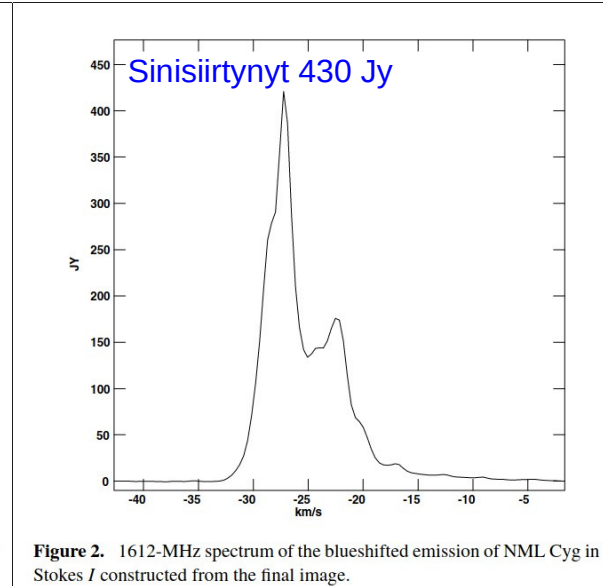


Figure 2. 1612-MHz spectrum of the blueshifted emission of NML Cyg in Stokes I constructed from the final image.

\* Tähdien radiaalinopeuden voi laskea piikkien keskiarvona

## First polarimetric images of NML Cyg at 1612 and 1665 MHz

S. Etoke\* and P. Diamond\*

Jodrell Bank Observatory, Macclesfield, Cheshire SK11 9DL

Accepted 2003 October 28. Received 2003 October 24; in original form 2003 June 17

# DOPPLERSIIRTYMÄN LASKENTA

- VLA arrayn ohjelma: <http://www.vla.nrao.edu/astro/guides/dopset/>

## Online Dopset Tool

The Dopset Tool can be used to calculate absolute (sky) frequencies given a position, an epoch, a rest frequency, and velocity information.

The LST day is a term dating back to the VLA days. It can be calculated from the Modified Julian Date (MJD) as follows:

$$\text{LST Day} = 6572.1572917 + 1.002737909350759 * \text{MJD}$$

Right Ascension (J2000): Hours  Minutes  Seconds

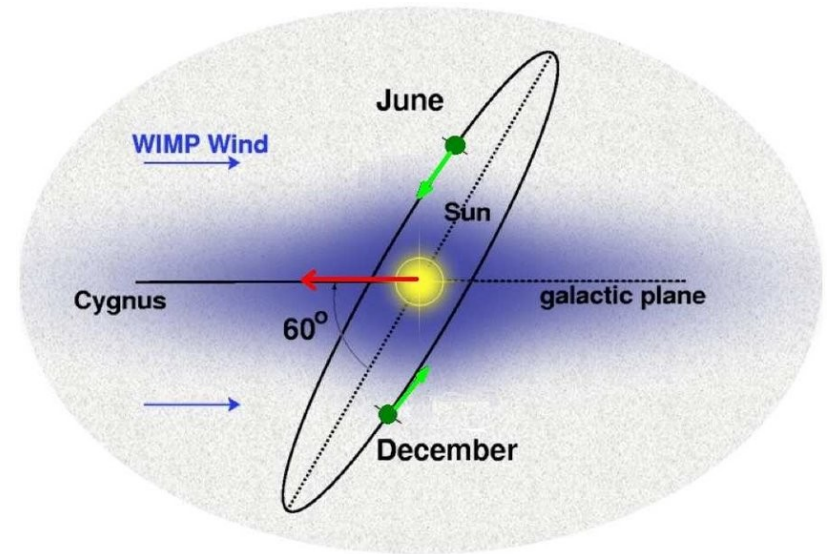
Declination (J2000): Degrees  Minutes  Seconds

line rest frequency (MHz):

velocity (km/s):  Frame: LSR  Heliocentric   
Type: radio  optical

LST day:  Hours  Minutes  Seconds

Calculate Frequency



$$30e3 * \cos(60) = 15 \text{ km/s}$$

# DOPPLERSIIRTYMÄN LASKENTA

## Online Dopset Result

**observed frequency = 1612.105620 MHz**

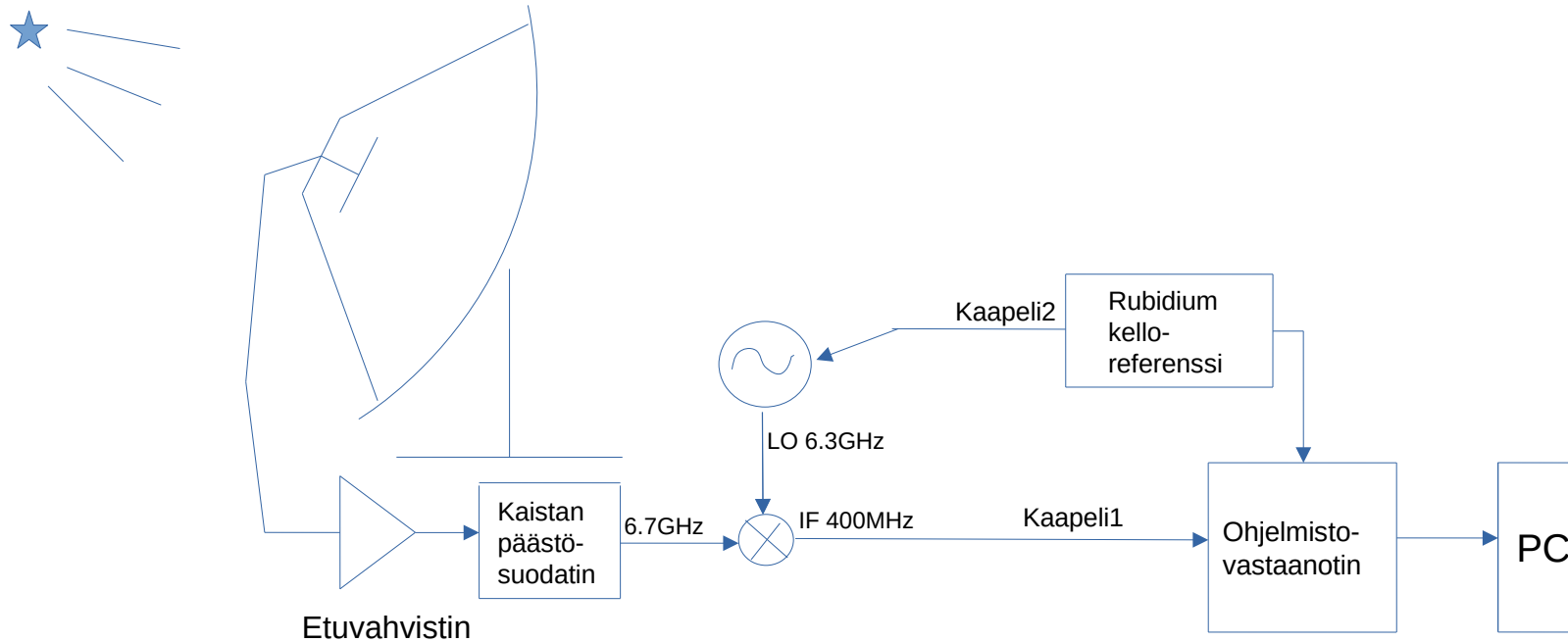
**your input LST day and time = 66568 08:00:00**

**calendar UTC date/time for your input LST = 2022-09-11T10:36:00**

**current LST day and time = 66617 12:43:17**

**current calendar UTC date/time = 2022-10-29T17:21:40**

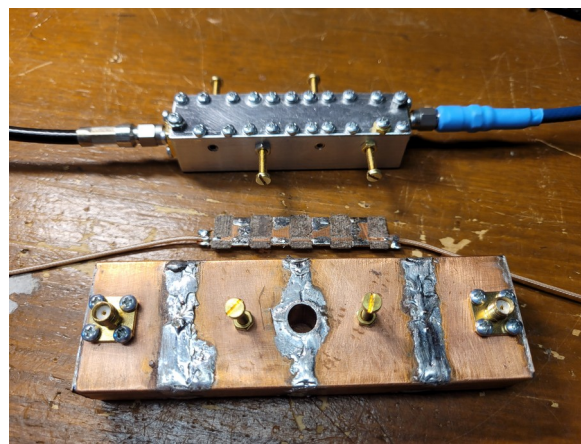
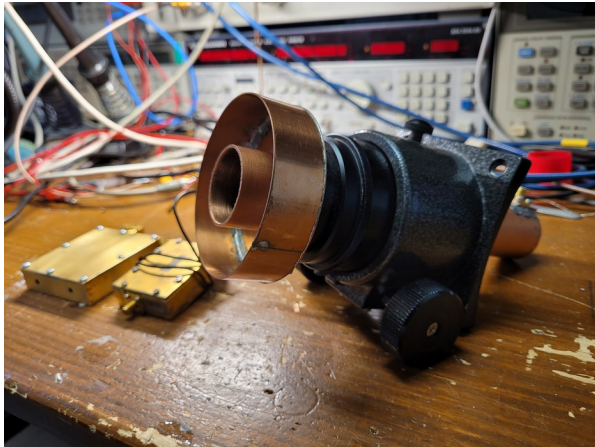
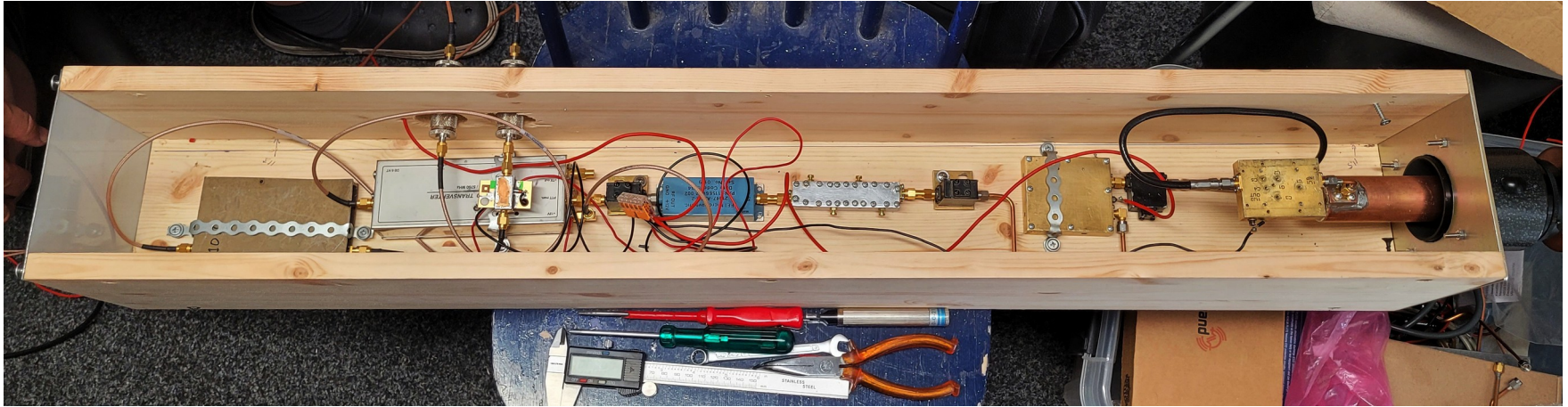
# VASTAANOTINSYSTEEMI 6.7GHz



Periaatekuva 6.7GHz Metanoli-vastaanottimesta

# METANOLIMASERIN HAVAITSEMINEN

- Metanolimaserin vastaanotin **6.7GHz V1**



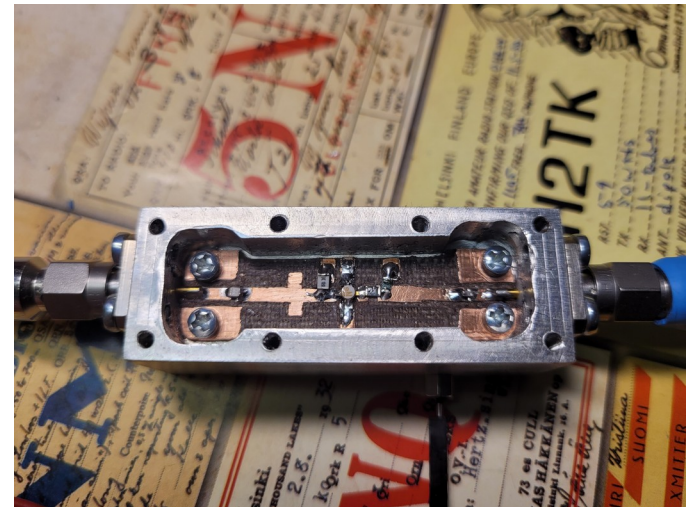
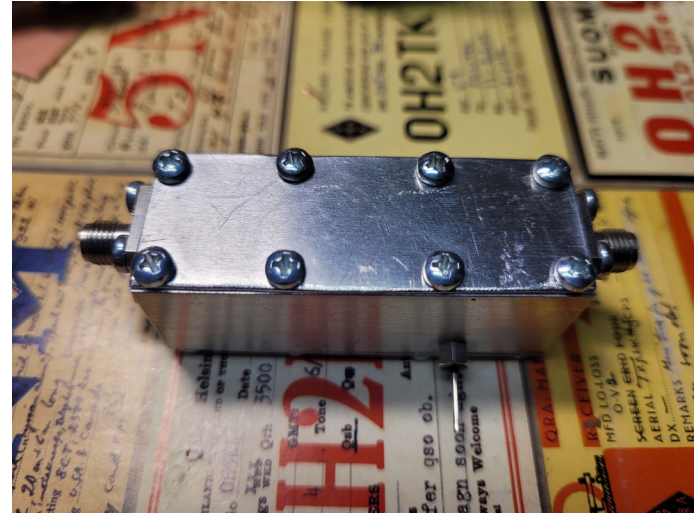
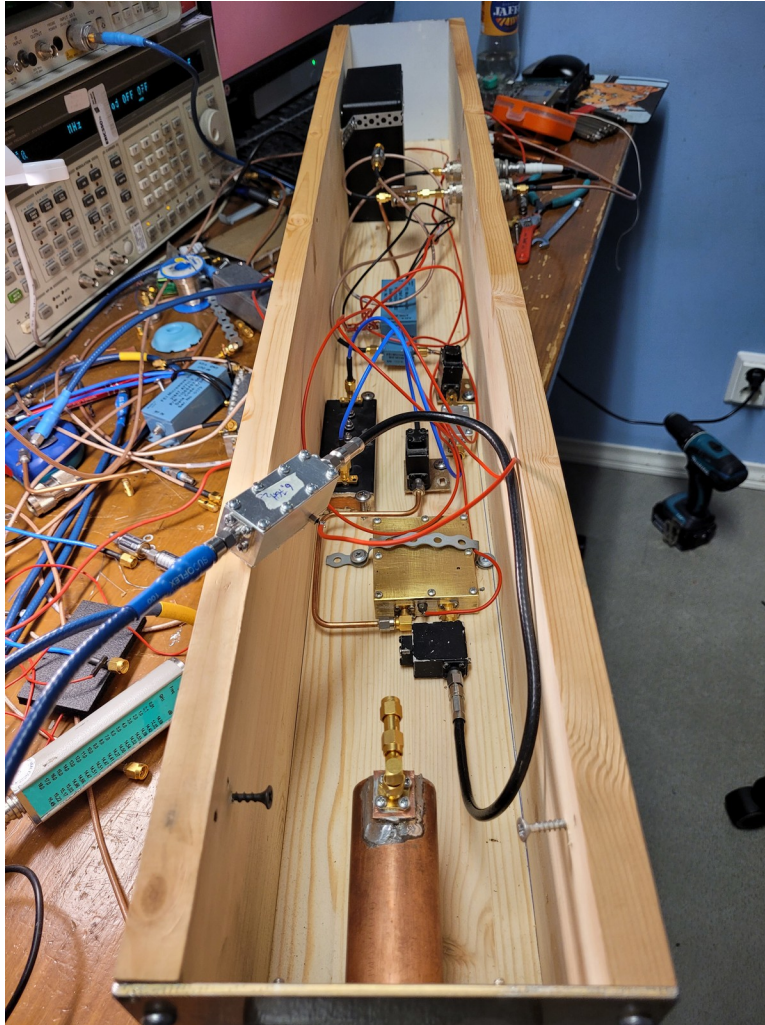
# METANOLIMASERIN HAVAITSEMINEN

- Metanolimaserin vastaanotin 6.7GHz, kesällä 2022



# METANOLIMASERIN HAVAITSEMINEN

- RX V2
- kevät 2023



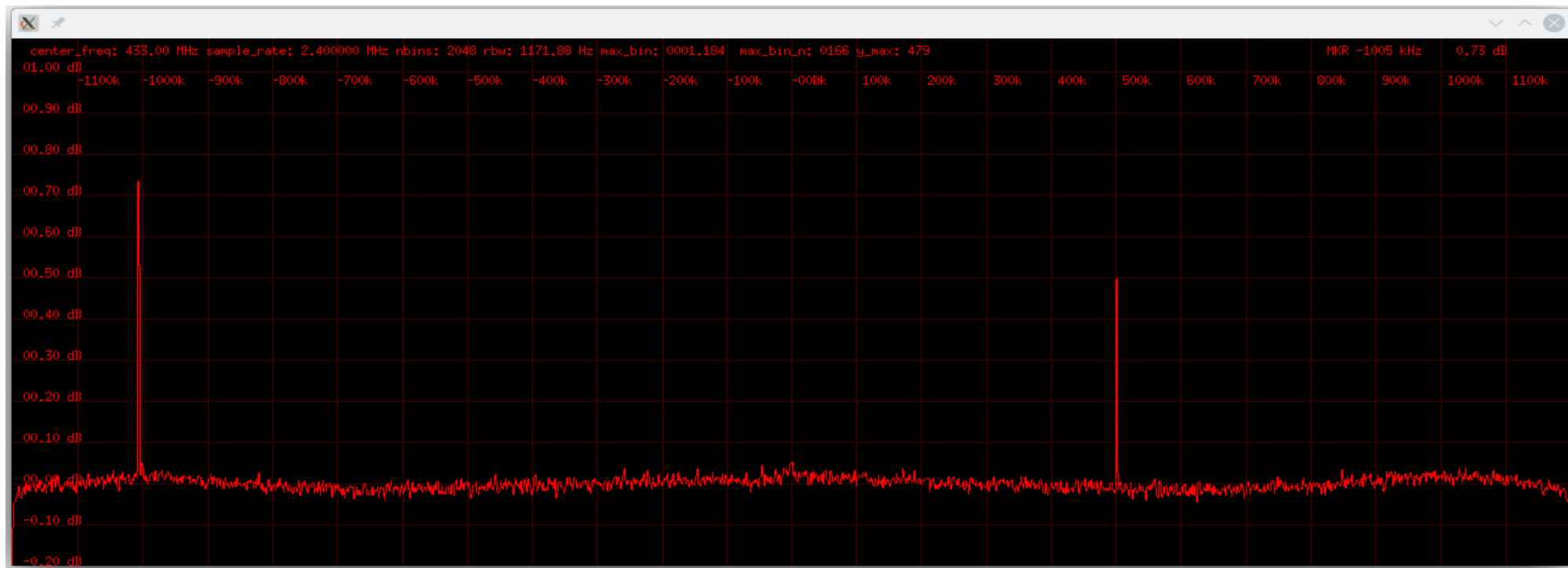


# METANOLIMASERIN HAVAITSEMINEN

- Systemkohinaluku on noin 1.2dB / 100K



# METANOLIMASER RX V2 6.7GHz



Ohjelmistoradion **testausta:**

\* Vasemmalla ei haluttu "spurri" 432MHz

\* Oikealla 433.5MHz testisignaali generaattorista

# METANOLIMASERIEN TIETOKANTA



MaserDB.net: database of astrophysical masers

Objects detected in CH<sub>3</sub>OH (Class II) with filter: peak\_6>500 and dec>-21

[Download list as CSV](#)

[Download list as ASTRO catalog](#)

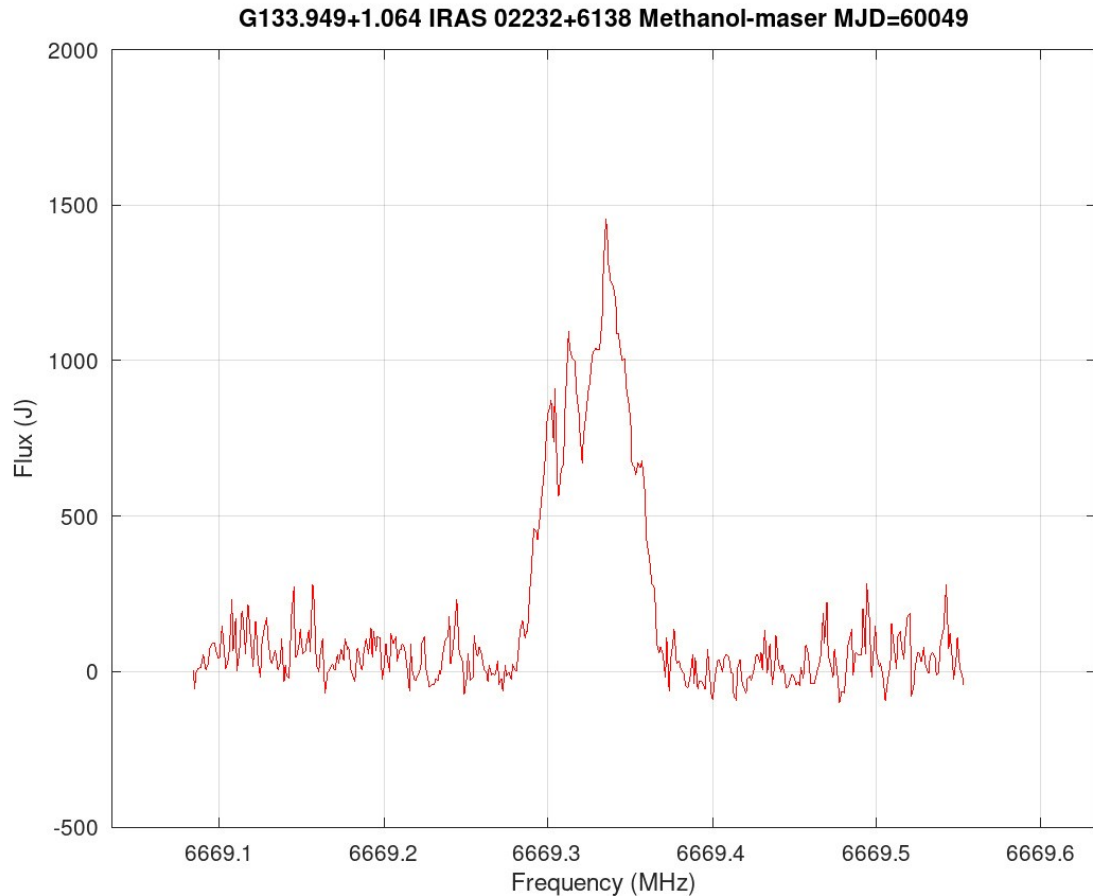
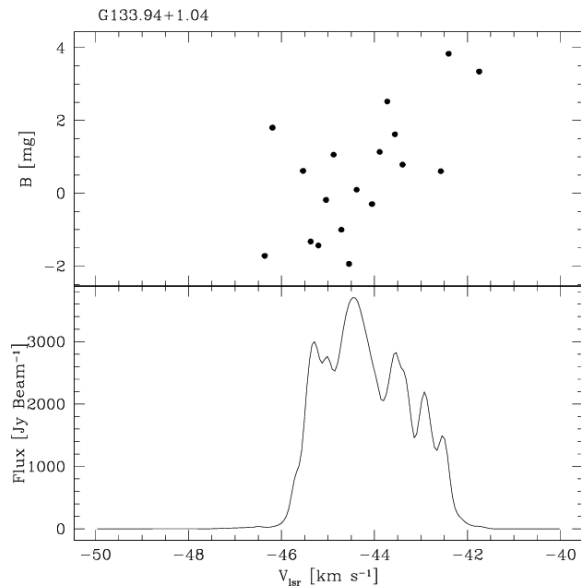
Filter

Clear

Object id	GC	Source name	l	b	Mean RA	Mean Dec	V <sub>mean</sub>	V <sub>peak</sub>	Det.	F <sub>peak,6</sub>	F <sub>peak,12</sub>
			(deg.)	(deg.)	deg. (J2000)	deg. (J2000)		(km/s)		(Jy)	(Jy)
<a href="#">G9.621+0.195</a>	0	IRAS 18032-2032	9.6210	0.1953	271.5616220	-20.5255830	1.300	-88.720 .. 6.430	Y	5196	401
<a href="#">G10.472+0.027</a>	0	IRAS 18056-1952	10.4723	0.0273	272.1591775	-19.8643590	72.495	57.000 .. 76.310	Y	823	17
<a href="#">G12.681-0.182</a>	0	012.68-00.18	12.6810	-0.1824	273.4783750	-18.0293230	57.000	49.000 .. 60.730	Y	583.12	16.5
<a href="#">G23.010-0.411</a>	0	023.010-0.411	23.0076	-0.4106	278.6682595	-9.0121870	75.000	69.460 .. 98.160	Y	538	28
<a href="#">G25.709+0.044</a>	0	025.71+00.04	25.7095	0.0438	279.5131250	-6.4041670	95.600	89.760 .. 96.000	Y	607	213.7
<a href="#">G35.200-1.737</a>	0	IRAS 18592+0108	35.2002	-1.7373	285.4400000	1.2257220	43.230	39.000 .. 46.030	Y	965.2	109
<a href="#">G49.488-0.387</a>	0	IRAS 19213+1424	49.4879	-0.3854	290.9306620	14.5095670	57.770	48.000 .. 73.600	Y	979	21
<a href="#">G81.876+0.782</a>	0	81.87+0.78	81.8775	0.7838	309.6534290	42.6331970	8.400	3.470 .. 336.190	Y	543.06	
<a href="#">G109.871+2.114</a>	0	IRAS 22543+6145	109.8713	2.1141	344.0755580	62.0303890	-3.775	-40.400 .. -1.300	Y	1420	
<a href="#">G133.949+1.064</a>	0	IRAS 02232+6138	133.9488	1.0651	36.7695330	61.8737600	-44.860	-48.000 .. -42.880	Y	3880	
<a href="#">G188.946+0.887</a>	0	IRAS 06058+2138	188.9461	0.8874	92.2239150	21.6415770	10.675	3.050 .. 99.200	Y	733.96	235

# METANOLIMASERI G133.949/IRAS 02232+6138

- Tähtenmuodostumisalue W3
- Draco/Lohikäärme (~Joutsenen ja Pikkuotavan välissä)
- Etäisyys noin 6400 vv
- Kuva alla Effelsberg 100m
- Kuva oikealla Janne&Petri 4m



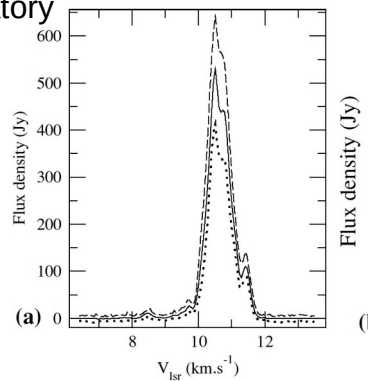
# METANOLIMASERI G188.946/IRAS 06058+2138

- Orionin yläpuolella

- Kuva alla:

Hartebeesthoek Radio Astronomy

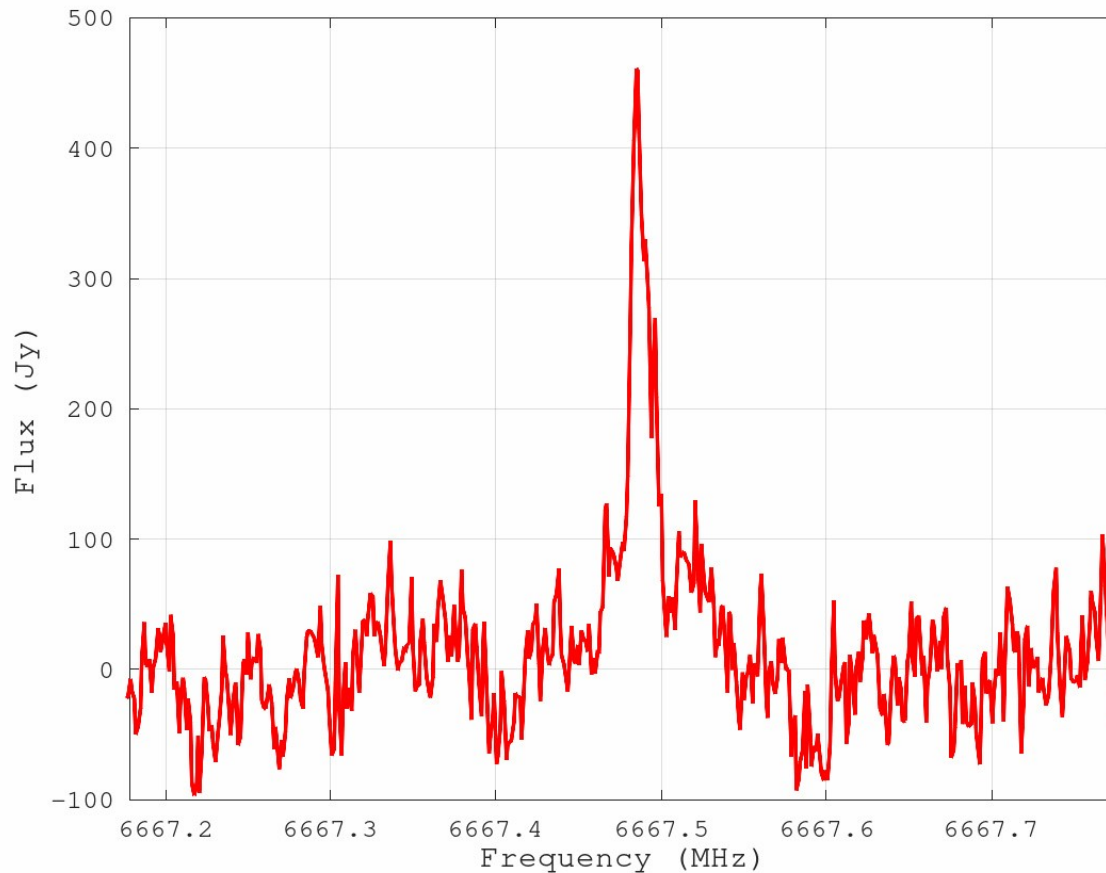
Observatory



Kuva: Glimse

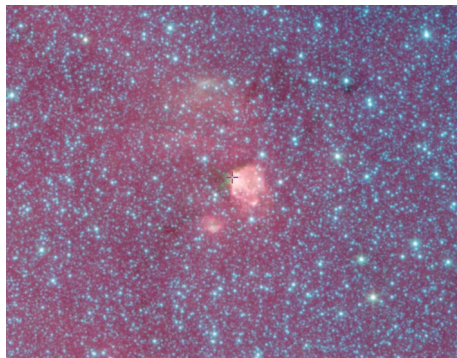
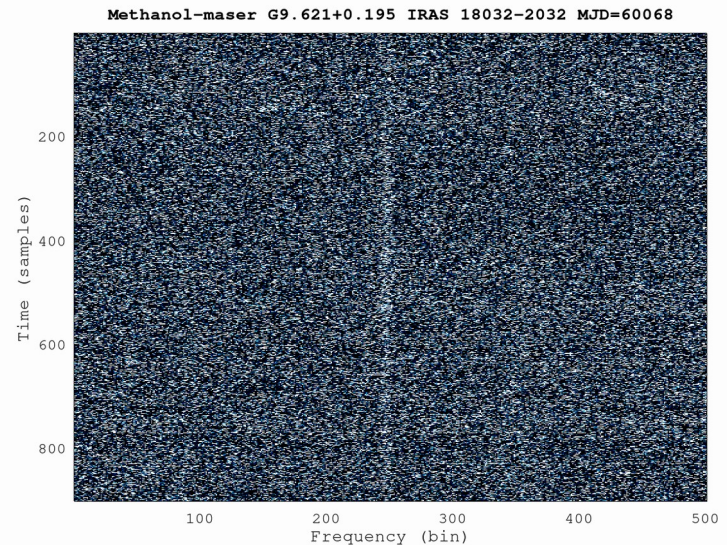
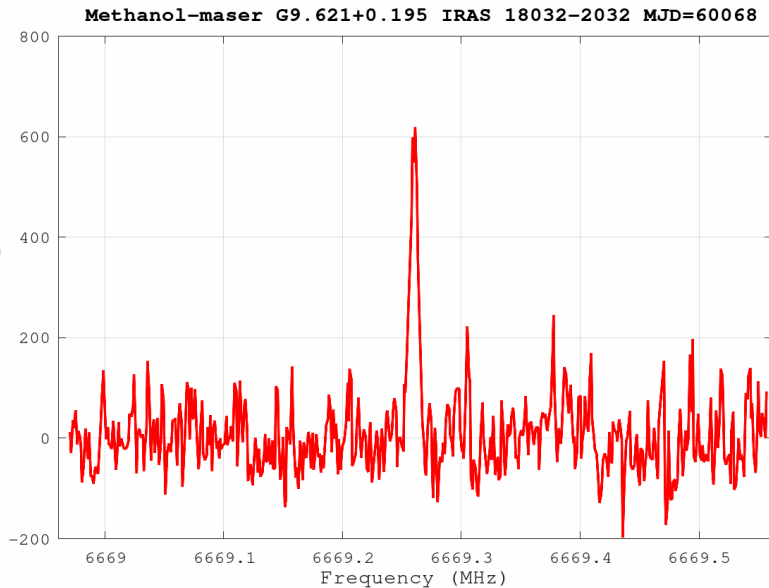
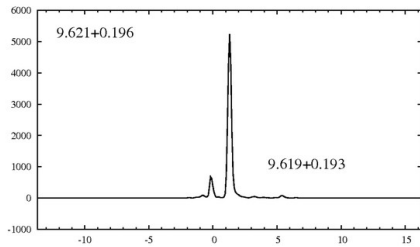
260

Methanol-maser G188.946+0.887 IRAS 06058+2138 MJD=60066



# METANOLIMASERI G9.621/IRAS 18032-2032

- Scutum/Kilpi
- Kotkansumun alapuolella
- Kuva alla: Parkes Observatory 64m

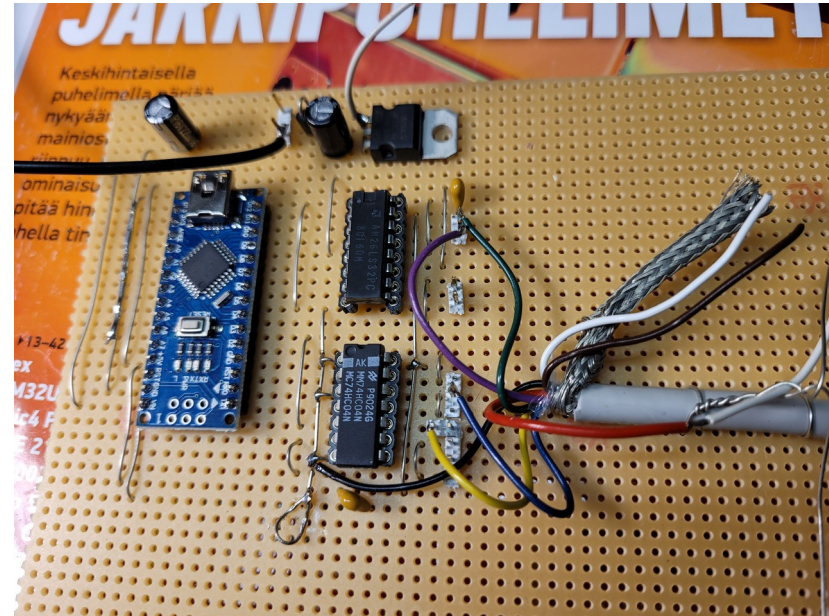


Kuva: Glimse  
360

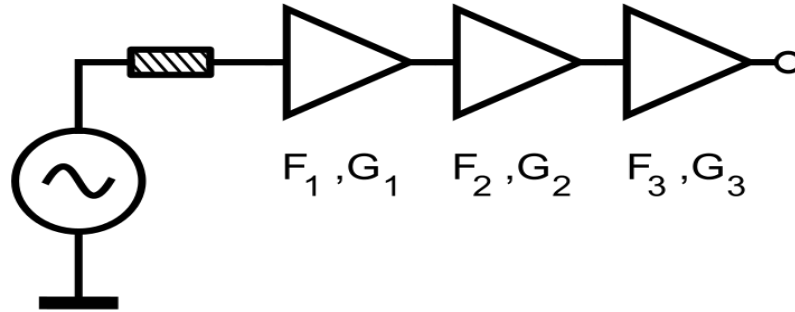
- **Tämä voi olla ensihavainto tästä maserista Suomessa?**
- Sijaitsee hyvin matalalla (dec -20.5 astetta)
- Ilmeisesti kohde jää puurajan alle Metsähovissa

# ANTENNIN PARANNUKSLIA

- Suuntaustarkkuuden parantaminen
  - Absoluuttianturit laitettiin inkrementtianturien tilalle
  - Tarkkuuden paraneminen mahdollisti metanolimaserin havaitsemisen (antennin keila hyvin kapea)
  - AZ ja EL -akselien välinen kulma ei ollutkaan 90 astetta → Laskennallinen korjaus



# RADIOTEKNIIKKAA



$$F_{\text{total}} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}}$$

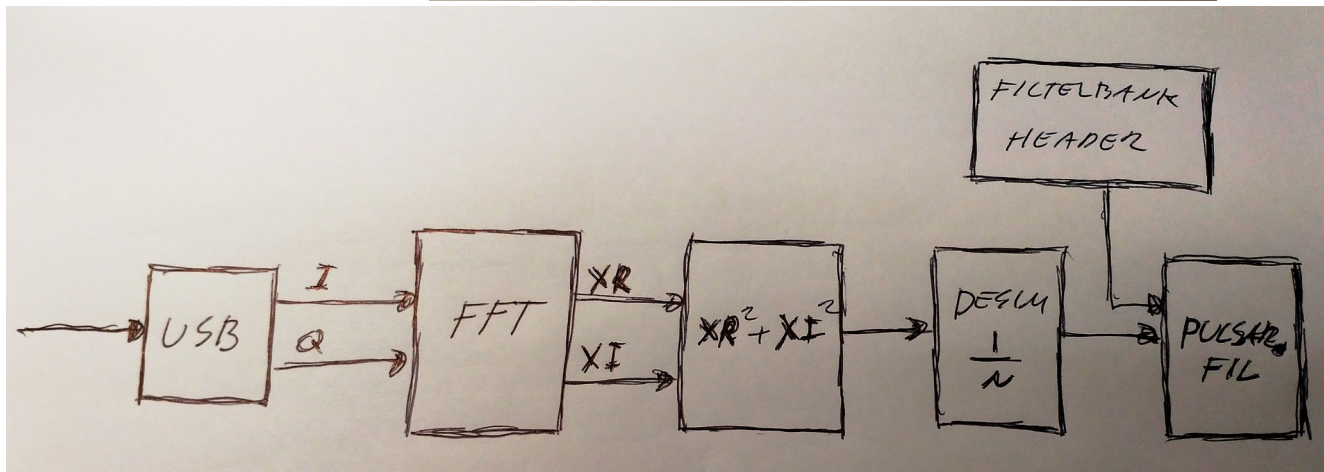
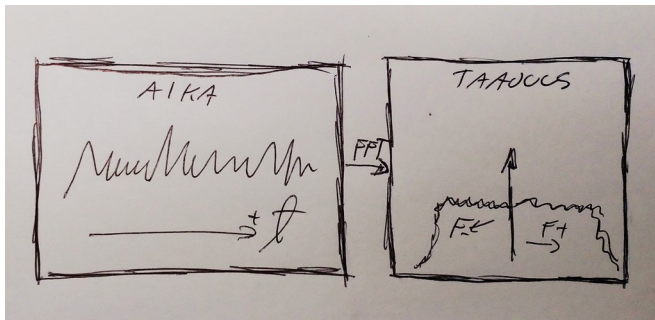
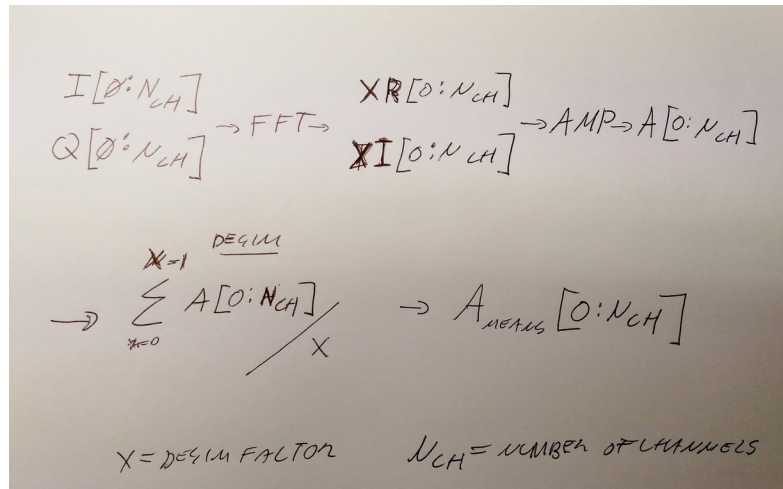
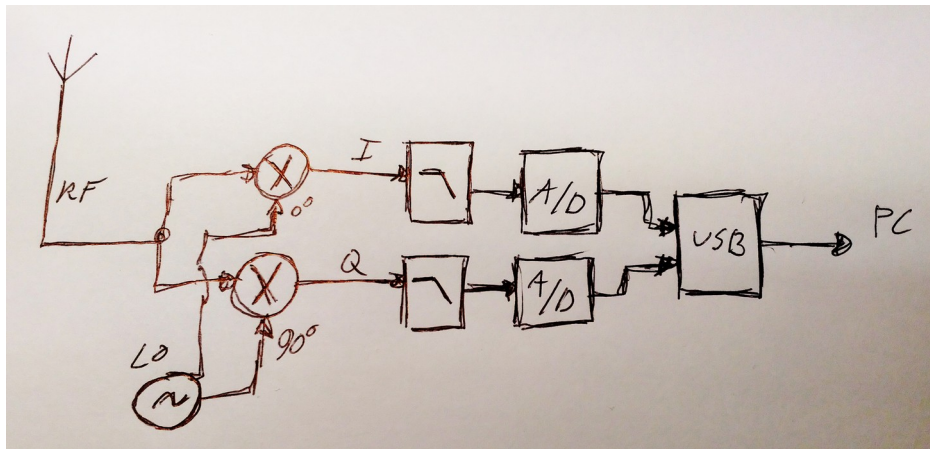
F on lineaarinen kohinaluku (ei dB)

G on lineaarinen vahvistus (ei dB)

→ Ketjussa ensimmäisen vahvistimen kohinaluku on olennaisin ja sen tulee olla mahdollisimman pieni.

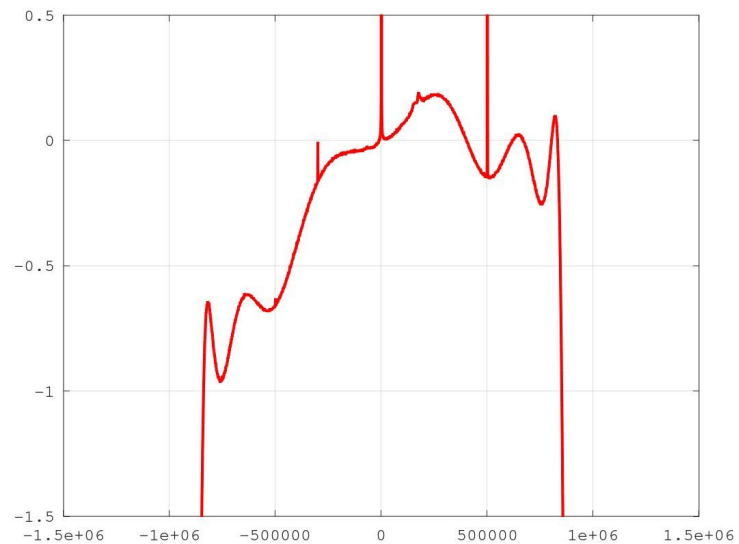
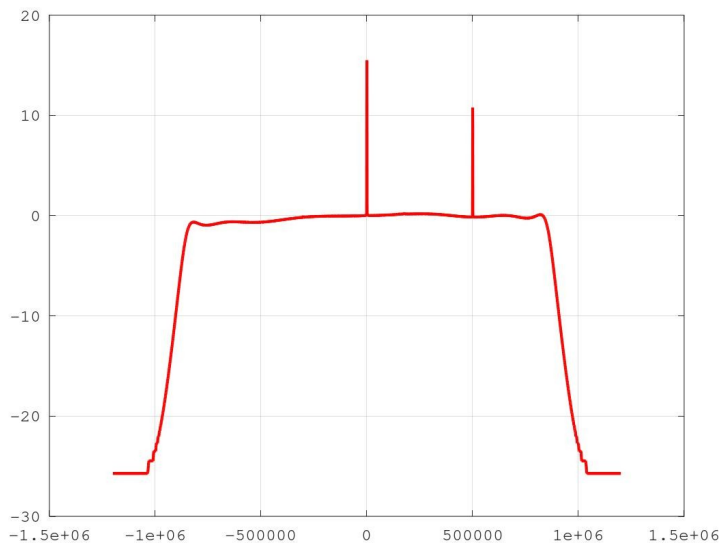


# SIGNAALINKÄSITTELY



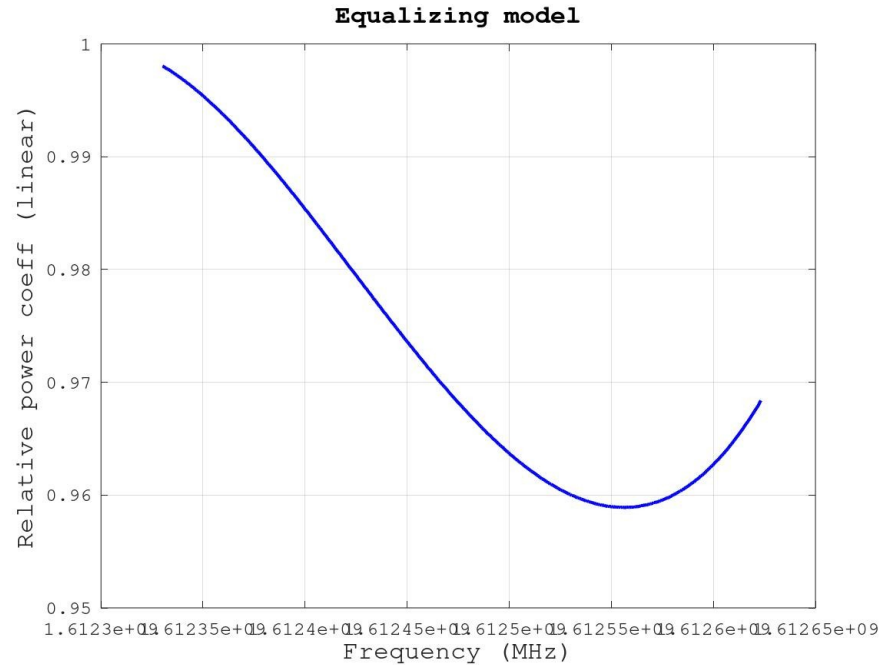
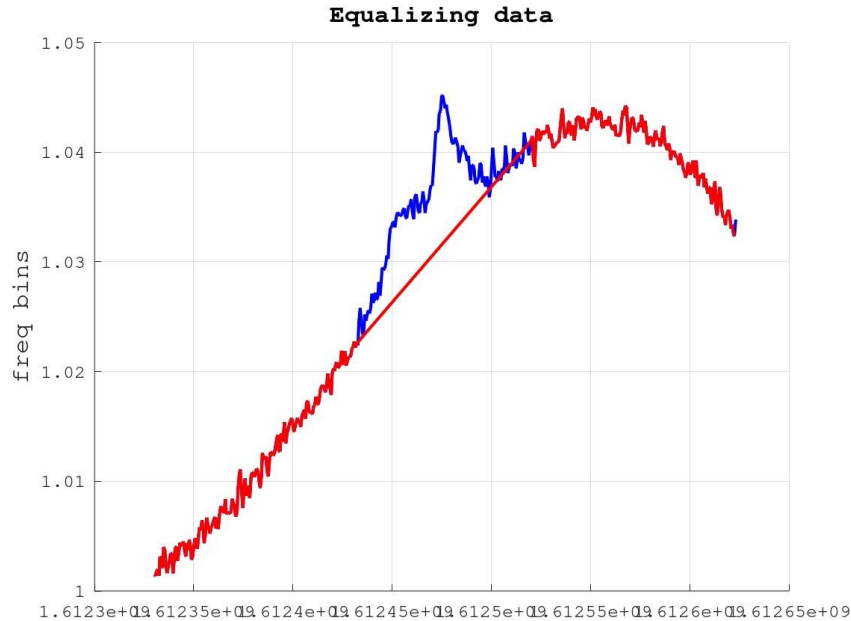
# SIGNAALINKÄSITTELY

- Ensin signaali näytteistetään aikatasossa
- Aikatason signaali muunnetaan taajuustasoon FFT:llä
  - 4096 bin
  - Samplerate 2.4MHz -  $\rightarrow$  rbw $\sim$ 568Hz
- Talletetaan spektrin kertoimet sopivalla keskiarvoituksella
  - Talletus noin 68s välein
- Lopullinen keskiarvoitus tehdään jälkiprosessointina Octavella (=Matlab)



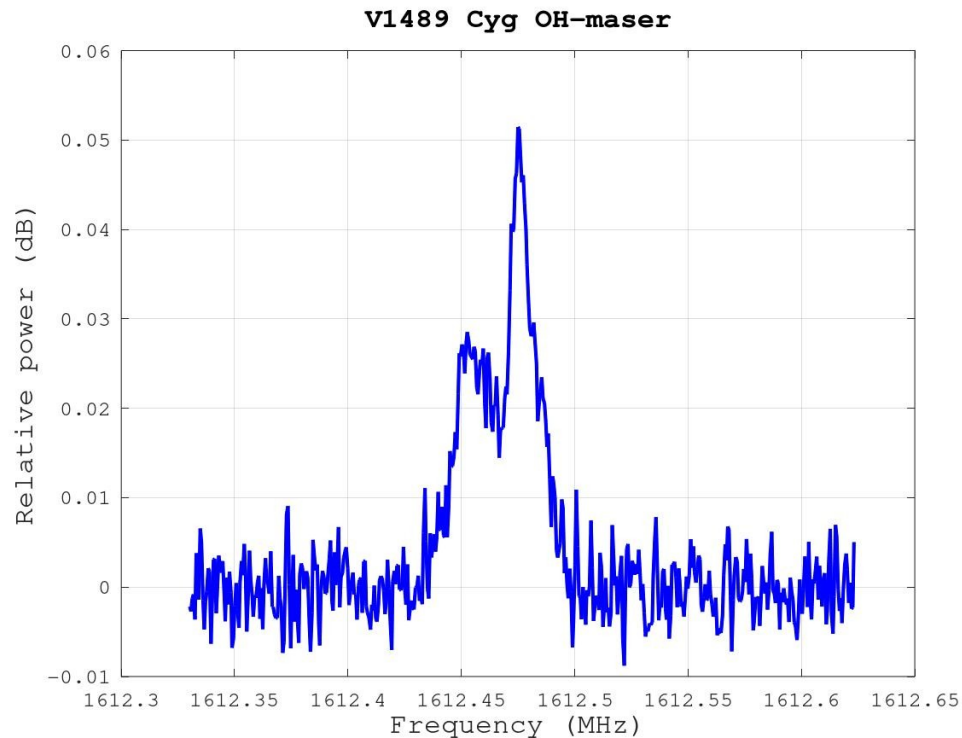
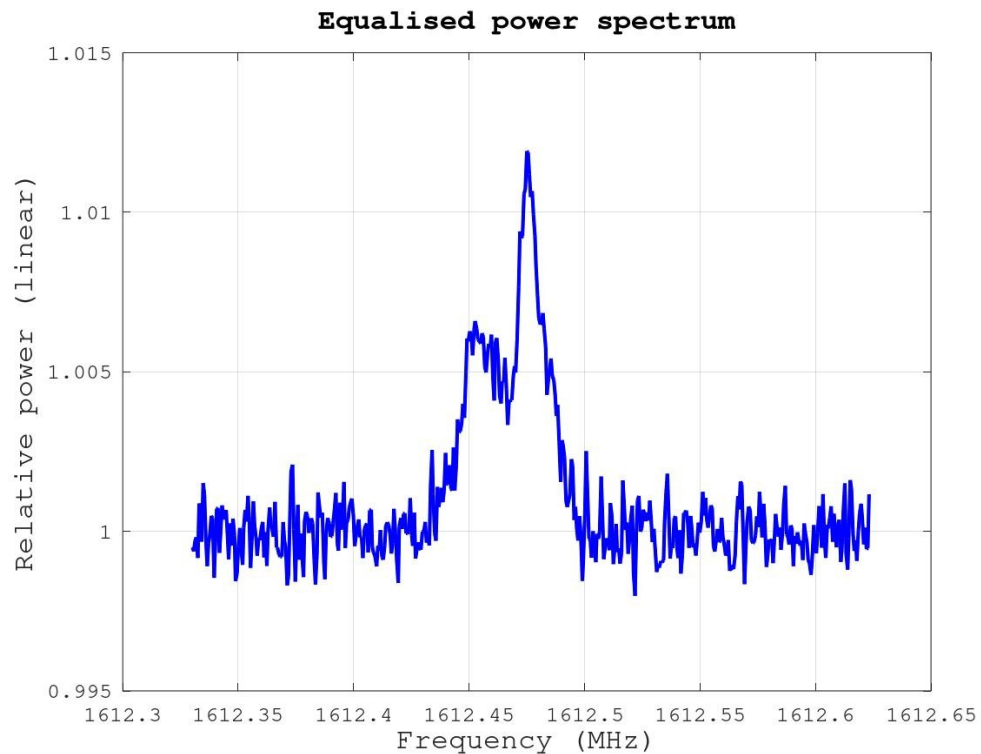
# SIGNAALINKÄSITTELY

- Signaalitason vaihtelu normalisoidaan pois Octavessa
  - Radio-osien vahvistuksen vaihtelu poistuu
- Taajuustason ekvalisointi Octavessa 3.-asteen polynomisovituksella (polyfit)
  - Polynomimalli lasketaan huomioiden vain kohinadata (kuvassa punainen osuus). Ei itse piikkiä.



# SIGNAALINKÄSITTELY

- Ekvalisoinnin jälkeen spektri on suoristunut ja maserin piikki näkyy hyvin



KIITOS KUULIJOILLE..