

POKROČILÉ METODY KOMUNIKACE ODRAZEM OD MĚSÍČNÍHO POVRCHU V PÁSMU 10 GHz

Miroslav Kasal

ÚREL FEKT VUT v BRNĚ

kasal@feec.vutbr.cz

http://www.urel.feec.vutbr.cz/esl/files/EME/EME.htm

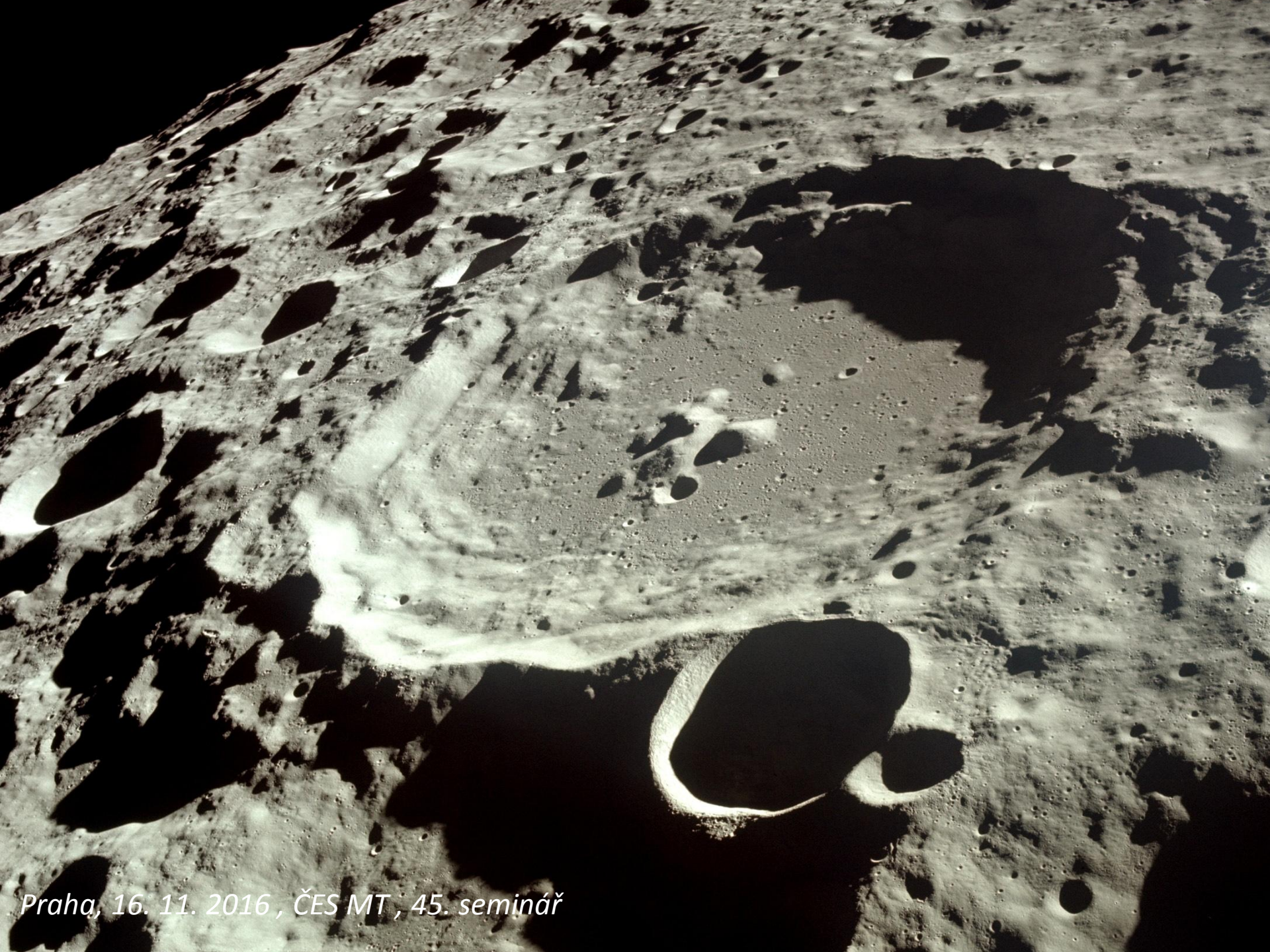
Praha, 16. 11. 2016 , ČES MT , 45. seminář

Přehled

- **Úvod**
- **Měsíční povrch jako odrazná plocha**
  - Rozšíření spektra odraženého signálu
  - Dopplerův posuv
  - Polarizace signálů
- **Digitální komunikace**
  - JT65
  - JT4
  - QRA64
- **Parametry komunikačních aparátů**
  - Anténa
  - Šumová teplota systému
  - Echo
  - Přesnost a stabilita frekvence
  - Kompenzace Dopplerova posuvu
- **Závěr**



Praha, 16. 11. 2016 , ČES MT , 45. seminář



Praha, 16. 11. 2016 , ČES MT , 45. seminář

- Koeficient odrazu k = 0,065

- Průměr Měsíce d = 3500 km

- Efektivní průřez s = $6{,}25.10^{11}$ m^2
  (ČR má rozlohu asi $7{,}9.10^{10}$ m^2)

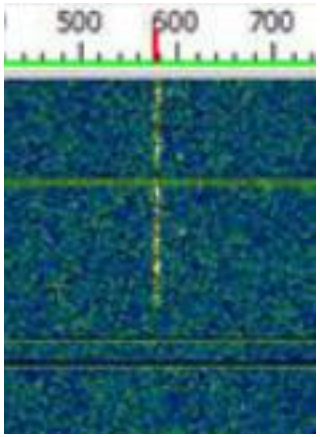
$$10\log\left(\frac{P_r}{P_t}\right) = 10\log\left(\frac{s\cdot\lambda^2}{(4\pi)^3 D^4}\right) \qquad \lambda = 3\,\mathrm{cm}$$

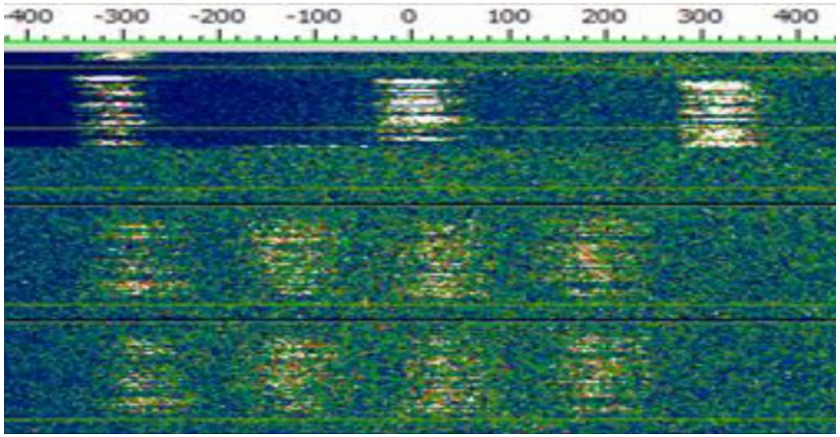
V perigeu je útlum EME ~ 287,5 dB
V apogeu je útlum EME ~ 289,8 dB

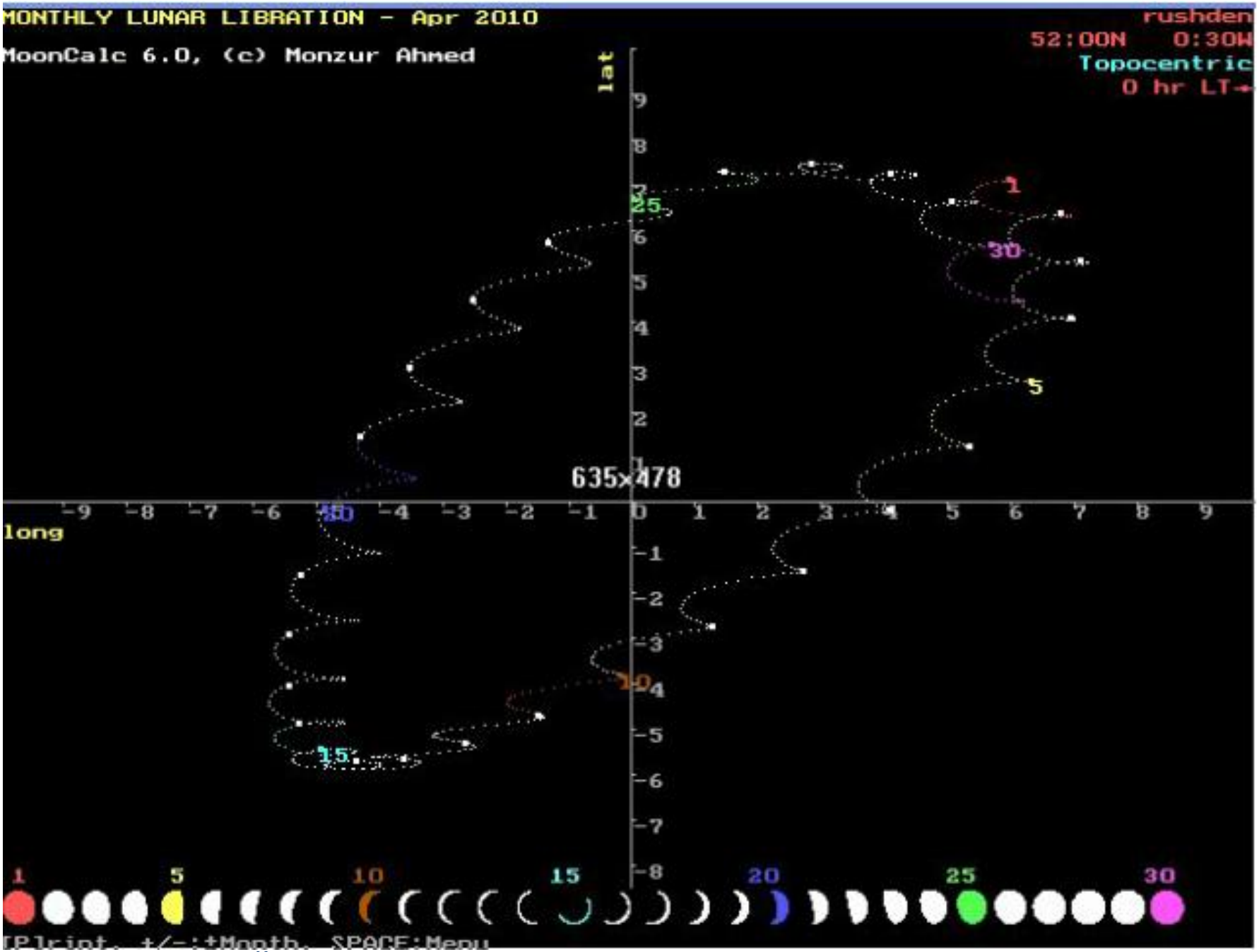
Rozšíření spektra odraženého signálu

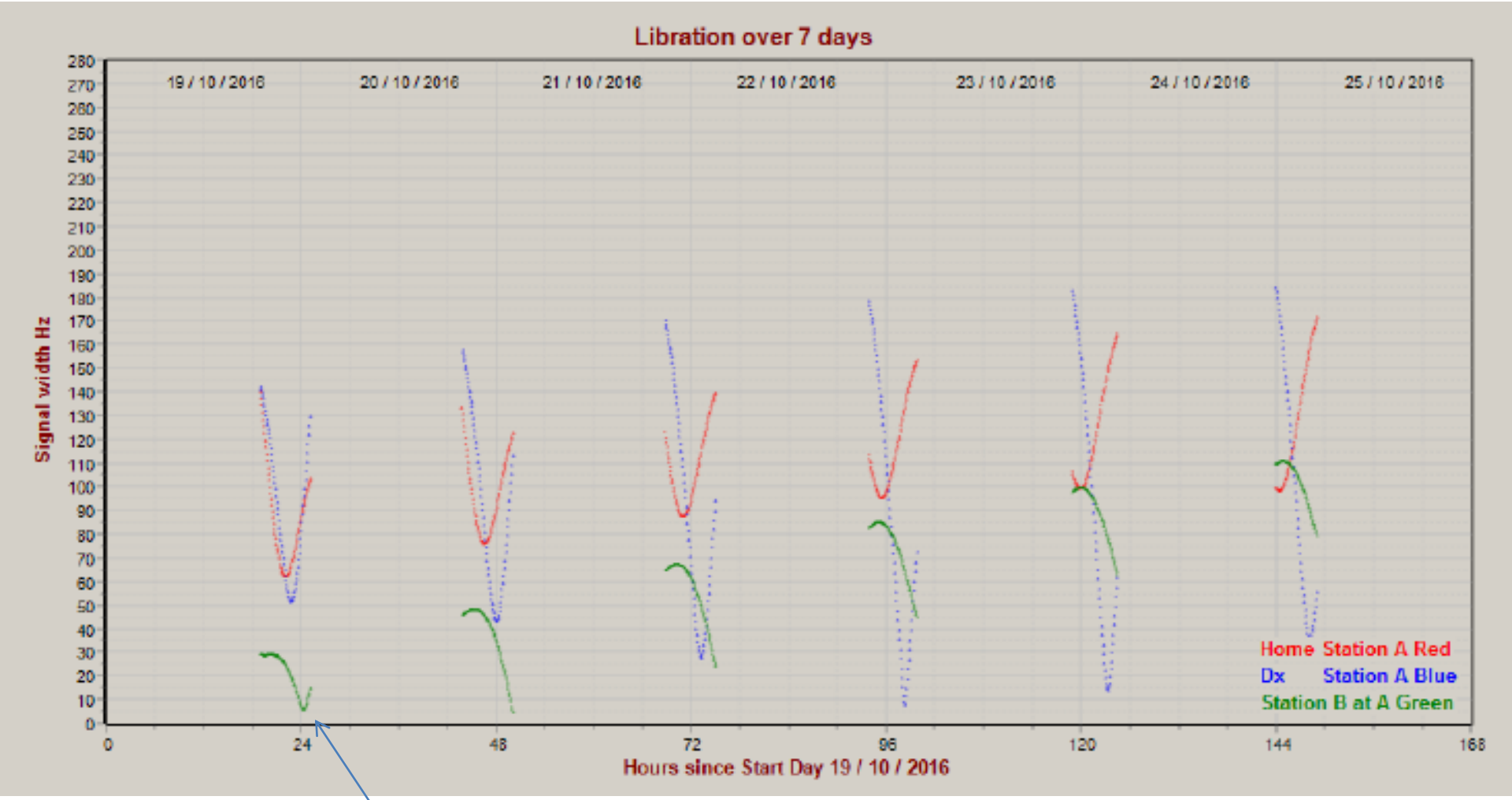
Librace Měsíce

- **délková (longitude)**
- **šířková (latitude)**
- **denní (diurnal)**
- **fyzická (physical)**



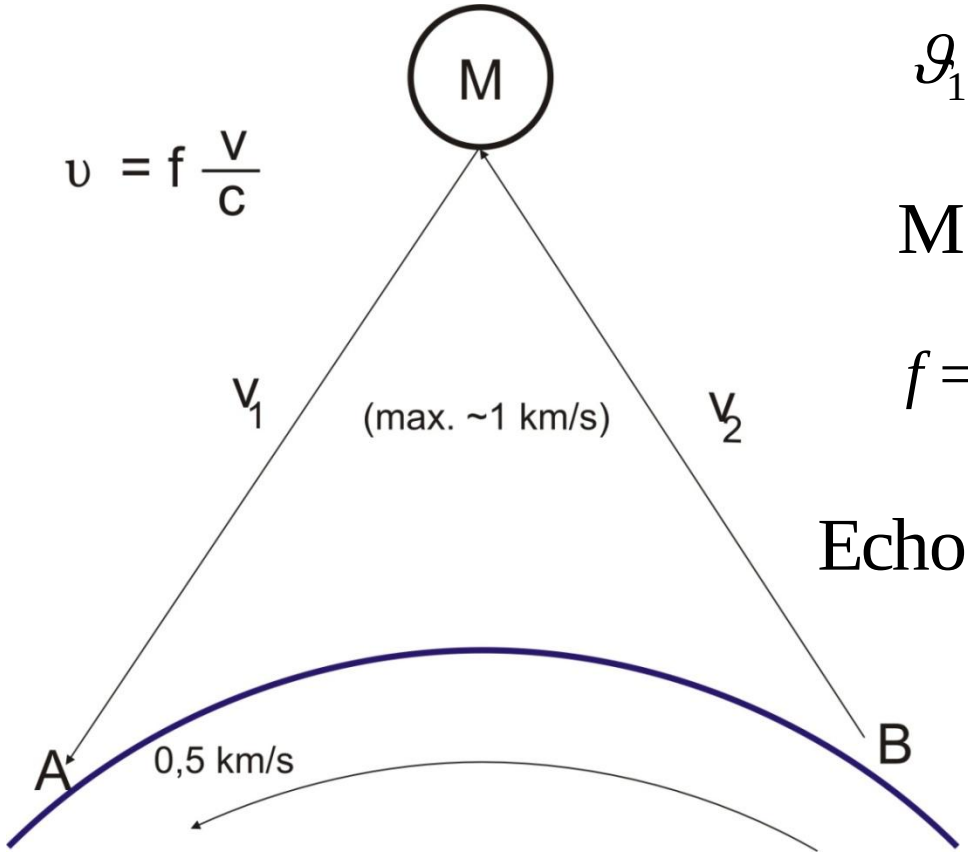



MONTHLY LUNAR LIBRATION - Apr 2010
MoonCalc 6.0, (c) Monzur Ahmed
rushden
52:00N 0:30W
Topocentric
0 hr LT
lat
long
635×478
1
5
10
15
20
25
30
[P]rint, +/-:tMonth, SPACE:Menu



Nejmenší „spread“ pro protějšek v Japonsku

Dopplerův posuv



$$\vartheta_1 = f\frac{v_1}{c} \qquad \vartheta_2 = f\frac{v_2}{c}$$

$$\text{Mutual} \Rightarrow \vartheta = \vartheta_1 + \vartheta_2$$

$$f = 10{,}4\ \text{GHz} \qquad DP = \pm 25\ \text{kHz}$$

$$\text{Echo B} \Rightarrow \text{Mutual-}\frac{\text{Echo A}}{2}$$

$$\text{Full Dopp} \Rightarrow F_{TX} - \vartheta \text{ and } F_{RX} + \vartheta$$

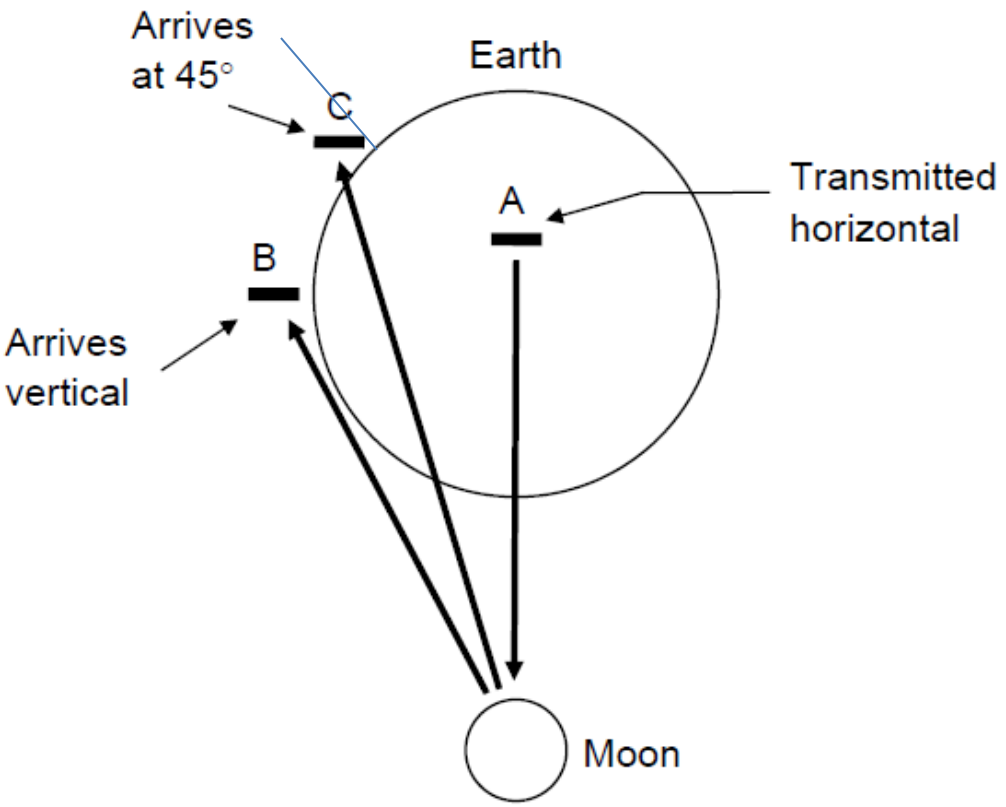
$$\text{Const Freq on the Moon} \Rightarrow F_{TX} - \frac{\vartheta}{2} \text{ and } F_{RX} + \frac{\vartheta}{2}$$

Polarizace signálů

Spatial Angle

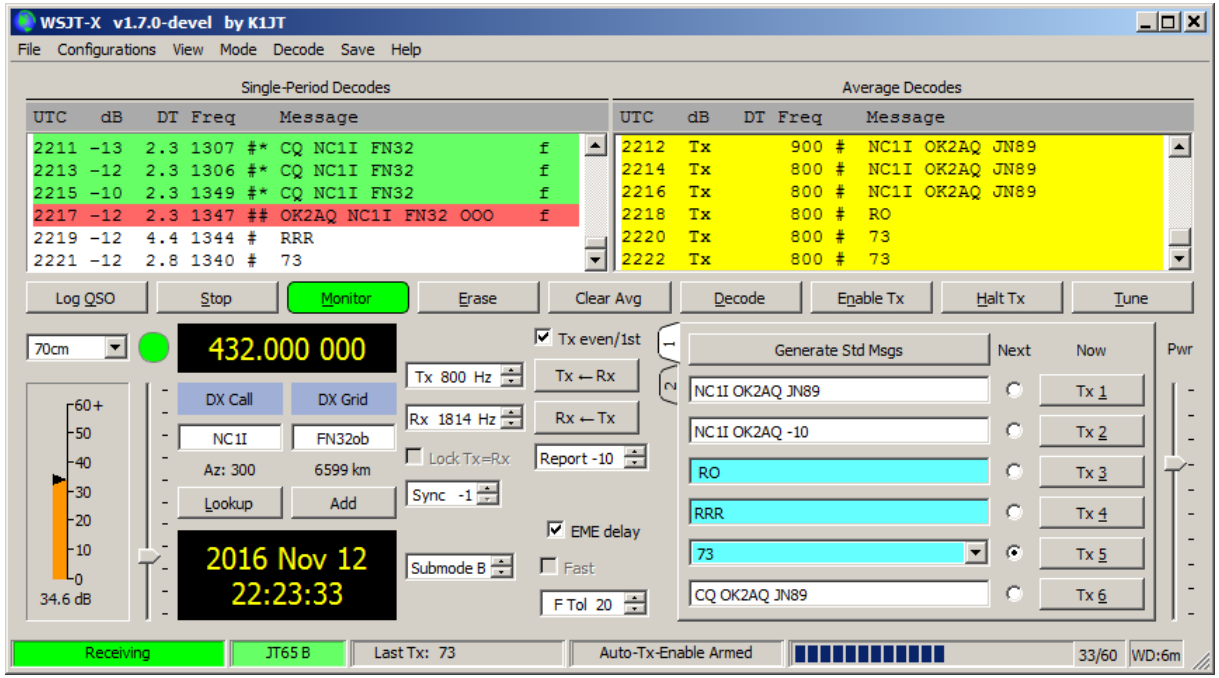
CP-CP versus LP-LP

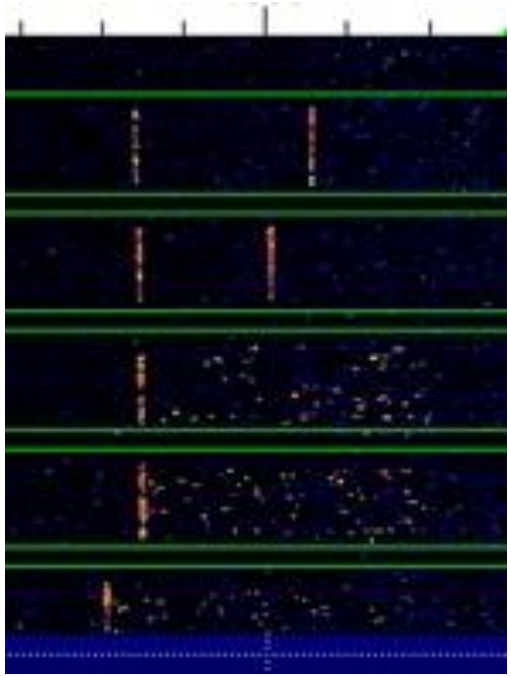
1,6 dB pro LP-LP
[6]



DIGITÁLNÍ KOMUNIKACE

Joseph H. Taylor, K1JT -
WSJT (Weak Signal communications, by K1JT) [7][14].

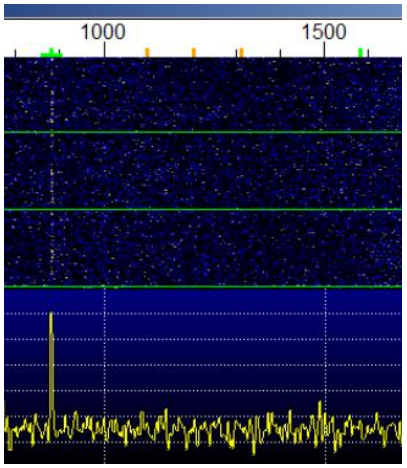




SNR až -28 dB (*Bn* = 2500 Hz) citlivost vůči CW je asi o 10 až 14 dB větší

JT65

- FSK - 65 tóny s konstantní amplitudou s fázovými přechody v nule
- ekvidistantní odstup 2,69 (JT65a) 5,38 (JT65b) a 10,77 Hz (JT65c)
- kódování je přesně uzpůsobeno předávané zprávě – volací znaky a lokátor
- zdrojové kódování – šest 12ti bitových symbolů
- FEC – RS přidáním 306 redundantních bitů – kódový poměr 378/72 = 5,25
- interleaving do matice 7 x 9 – Grayův kód menší citlivost na frekvenční nestabilitu
- jednominutová sekvence T/R – během 1 minuty se zpráva 5x opakuje
- synchronizace pseudonáhodným vektorem jako nejnižší 65. tón–½ času–nejjasnější
- Averaging – umožňuje dekódovat zprávu opakovaně vysílanou i s menším SNR

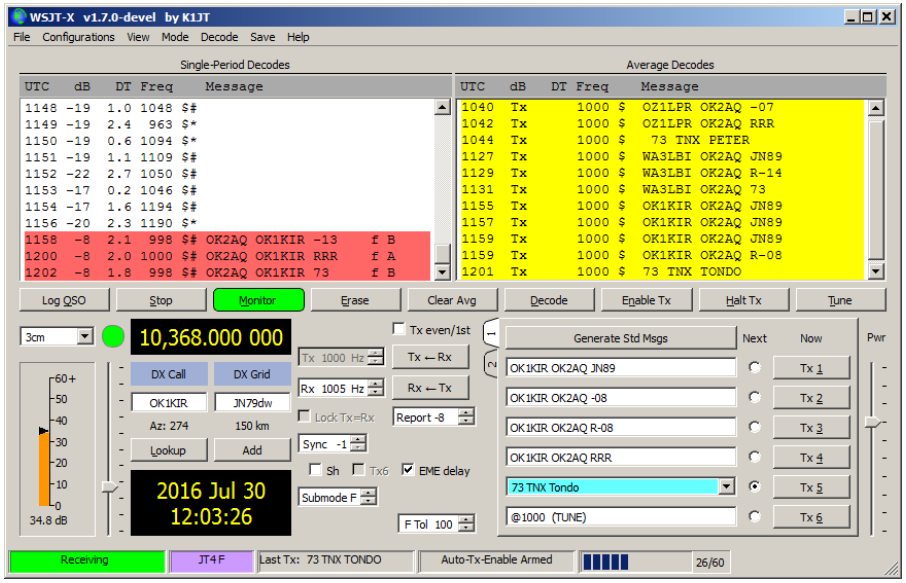


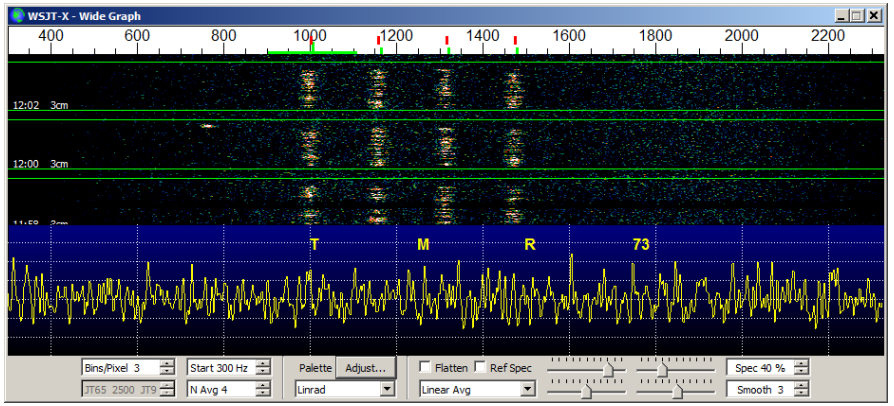
Single-Period Decodes

UTC	dB	DT	Freq	Message	
0710	-21	2.4	882	#*	
0710	-21	2.4	882	#* OK2AQ VK7MO QE37	d1*
0712	-20	2.4	882	#* OK2AQ VK7MO QE37	f
0714	-20	2.4	882	#*	
0714	-20	2.4	882	#* OK2AQ VK7MO R-29	d1*
0720	-22	2.4	882	#*	
0720	-22	2.4	882	#* OK2AQ VK7MO 73	d14

JT4

- FSK - 4 tóny s konstantní amplitudou s fázovými přechody v nule
- ekvidistantní odstup 4,375 (JT4a) až 315 Hz (JT4g), nejčastěji JT4f 158/630 Hz
- kódování je přesně uzpůsobeno předávané zprávě – volací znaky a lokátor
- zdrojové kódování – šest 12ti bitových symbolů stejně jako JT65
- ECC – robustní konvoluční kódování s délkou 32 bitů – kódový poměr ½ - 206 bitů
- jednominutová sekvence T/R
- synchronizace pseudonáhodným vektorem – LSB každého symbolu – není vidět
- Averaging – umožňuje dekódovat zprávu opakovaně vysílanou i s menším SNR





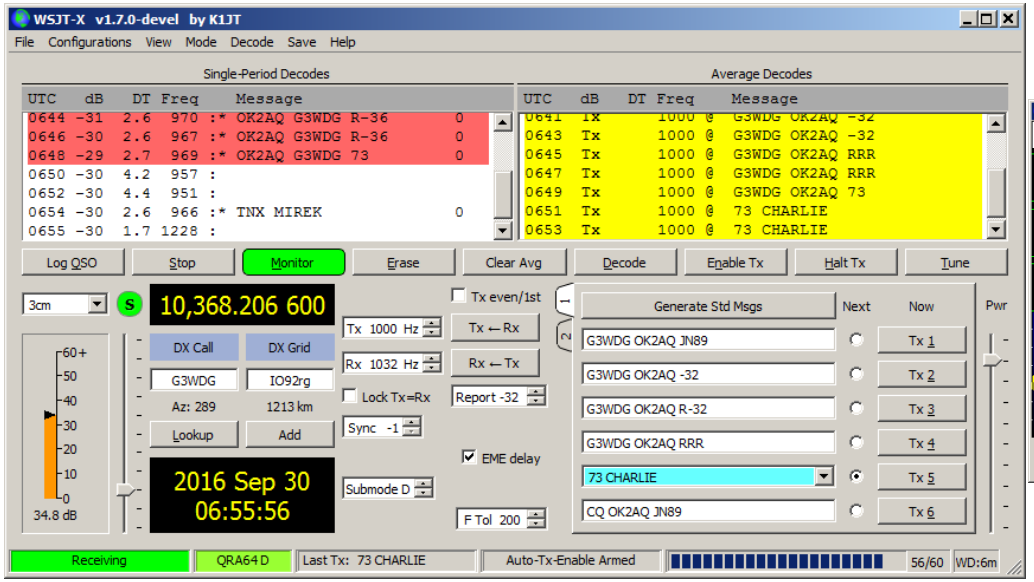
Tab. 1. Přehled módů WSJT pro EME [9]

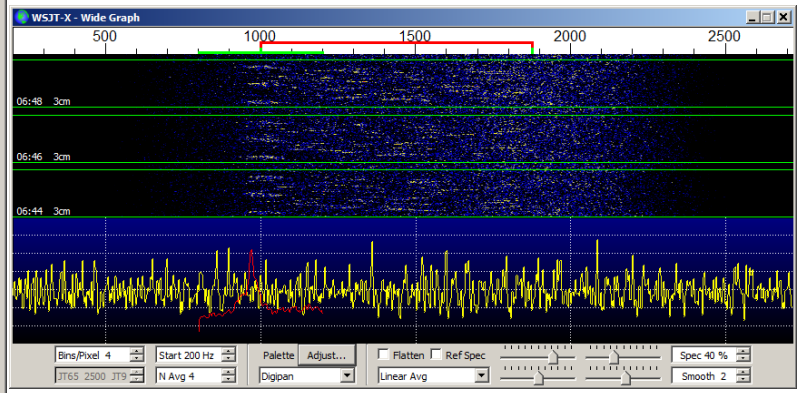
Mode	T/R (s)	Mod	FEC	Nsps	Baud	df (Hz)	BW (Hz)	cps	S/N (dB)
JT65A	60	65-FSK	RS(63,12)	4096	2.69	2.69	178	46.8	-25
JT65B	60	65-FSK	RS(63,12)	4096	2.69	5.38	355	46.8	-24
JT65C	60	65-FSK	RS(63,12)	4096	2.69	10.77	711	46.8	-23
JT4A	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	4.375	17.5	47.1	-23
JT4B	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	8.75	35	47.1	-22
JT4C	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	17.5	70	47.1	-21
JT4D	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	39.4	158	47.1	-20
JT4E	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	78.8	315	47.1	-19
JT4F	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	158	630	47.1	-18
JT4G	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	315	1260	47.1	-17

- generace tónů a vzorkování – zvuková karta PC
- původně sf = 11025 Hz, 16 bit a nyní u WSJT-X sf = 48000 Hz a 16 bitů rozlišení
- pro dekódování RS Koetter-Vardy dekodér, nyní Frank-Taylor dekodér
- zdrojové kódování – šest 12ti bitových symbolů stejně jako JT65
- WSJT umí i další módy JT9, WSPR.....

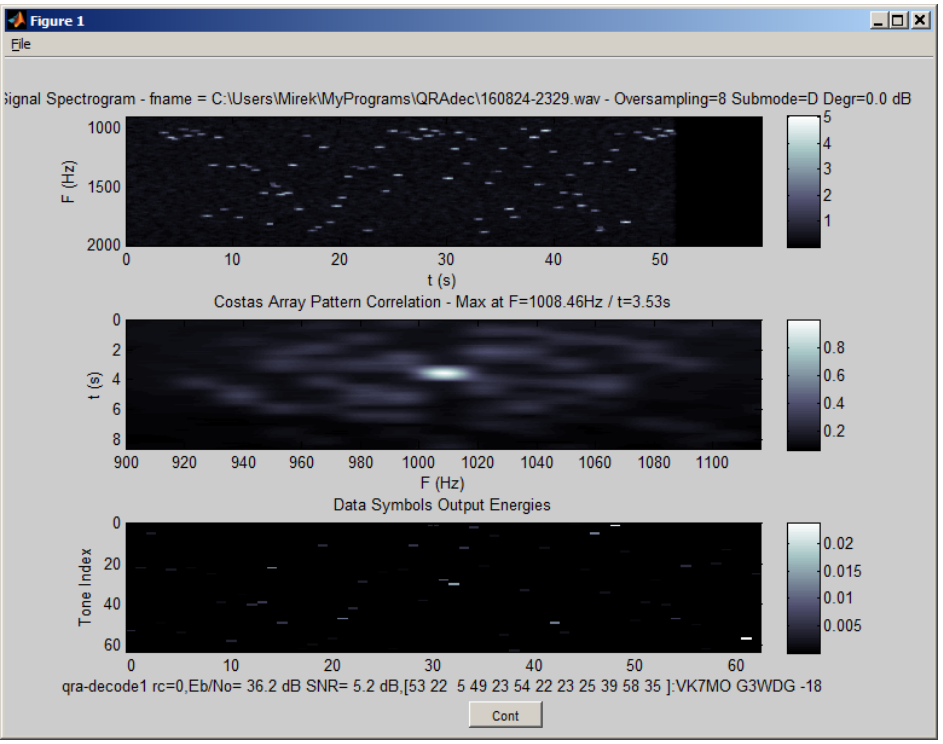
QRA64

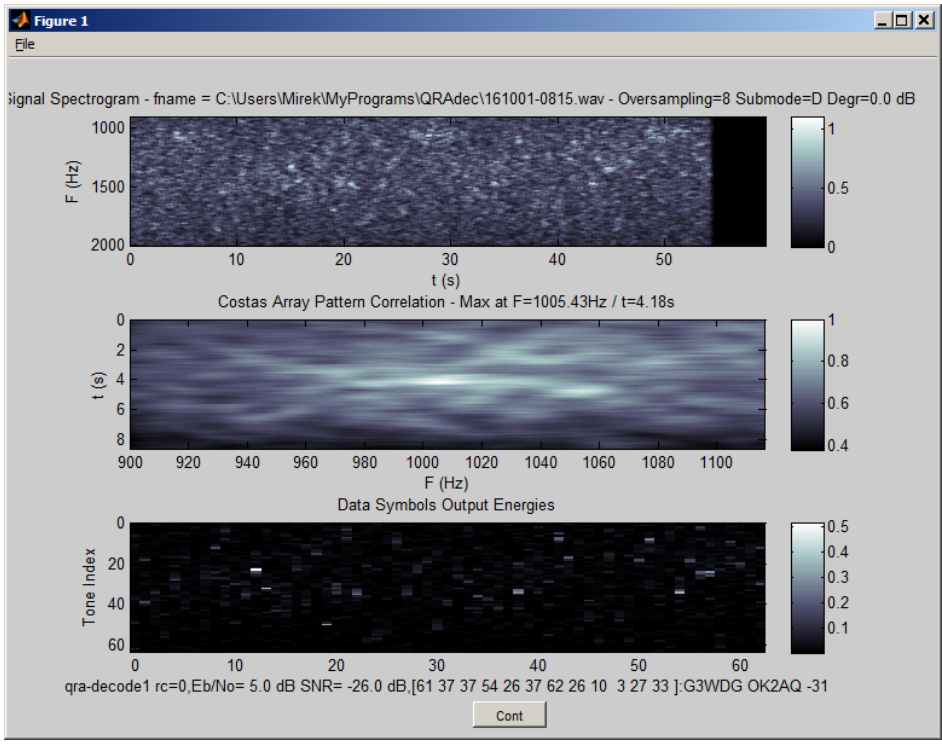
- po turbo kódech přišly LDPC, včetně nových metod dekódování
- Nico Palermo IV3NWV navrhl protokol a Joe Taylor jej implementoval do WSJT-X
- kódování Q-ary kódem je lepší než RS (63, 12) – lepší citlivost o 1,3 dB
- synchronizace Costasovým vektorem 7x7 – lepší citlivost o 1,9 dB
- nejsou k dispozici zkrácené zprávy a nepracuje se s databází call3.txt
- při dekódování jsou použity informace z předchozích relací
- Averaging – zatím není implementován (ale určitě bude)





MATLAB DEKODÉR QRA64





Parametry komunikačních aparátů

Antény



0,77 m / 2,4^{o}



1,8 m / 1,1^{o}



2,7 m / 0,8^{o}



4,2 m / 0,5^{o}



4,5 m / 0,5^{o}



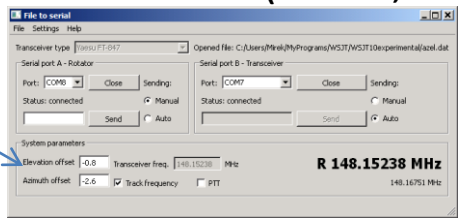
13 m / 0,2^{o}

1,8 m dish f/D = 0,38

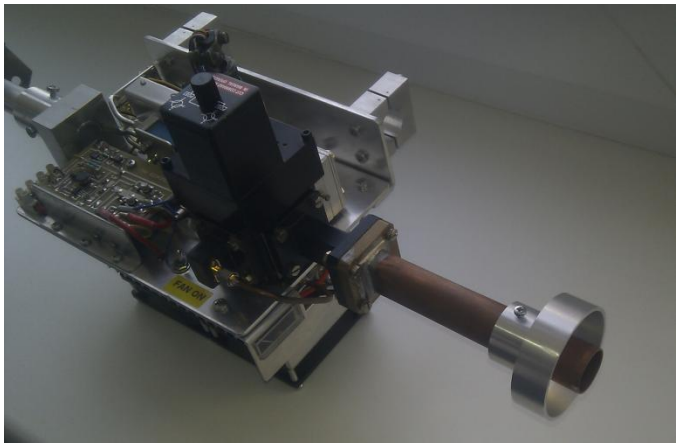
Polarizace, kompenzace „spatial“ offsetu (30^{o} -1,25 dB)

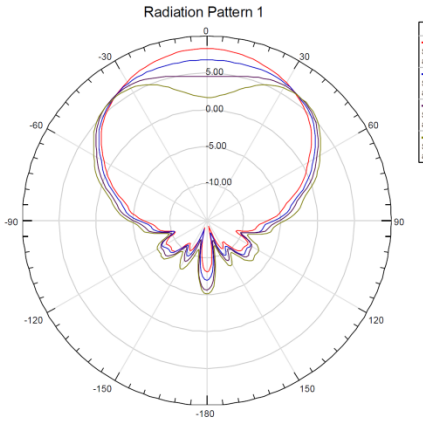
přesný „tracking“

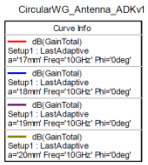
fázový střed ozařovače

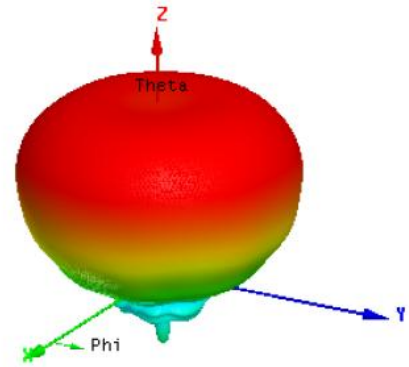


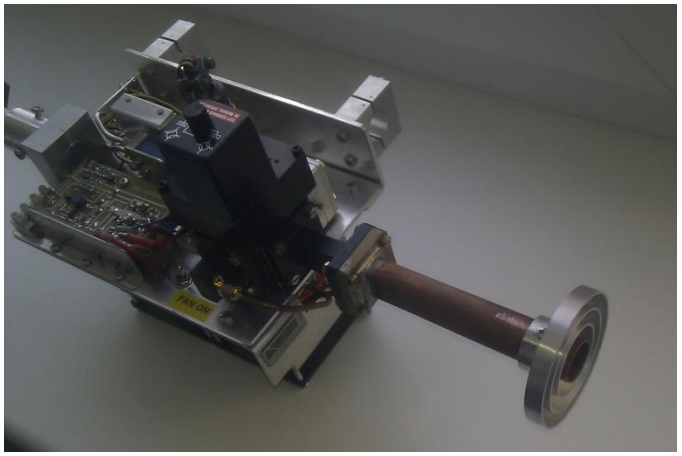


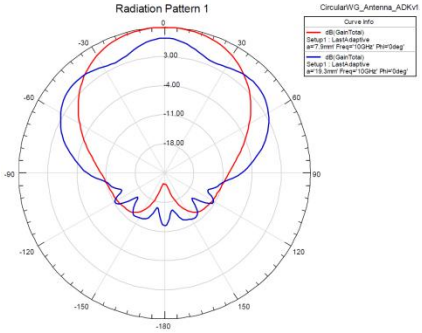


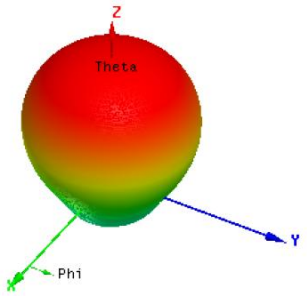


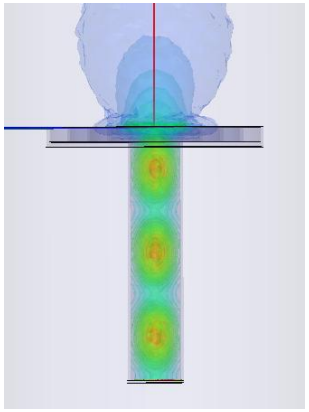




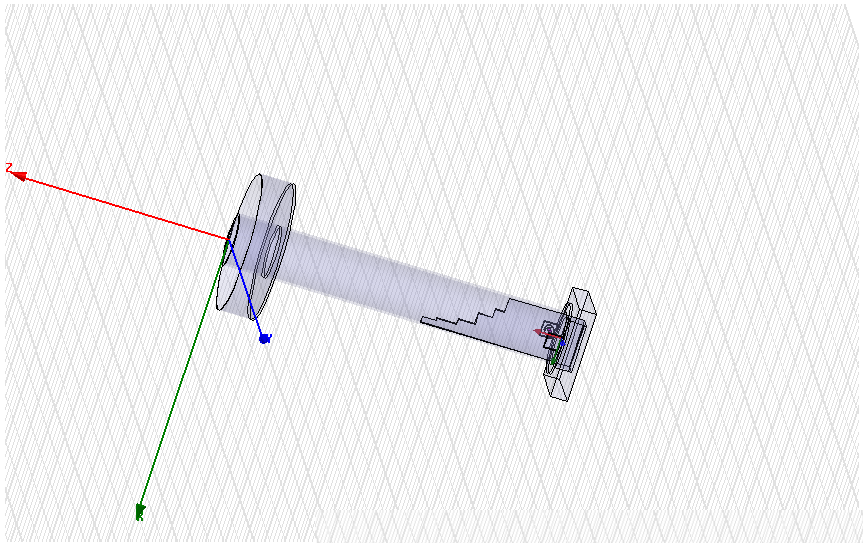




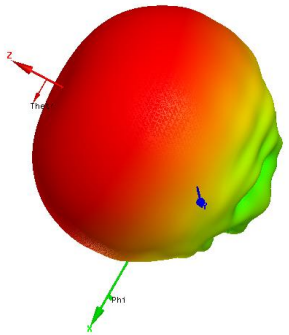


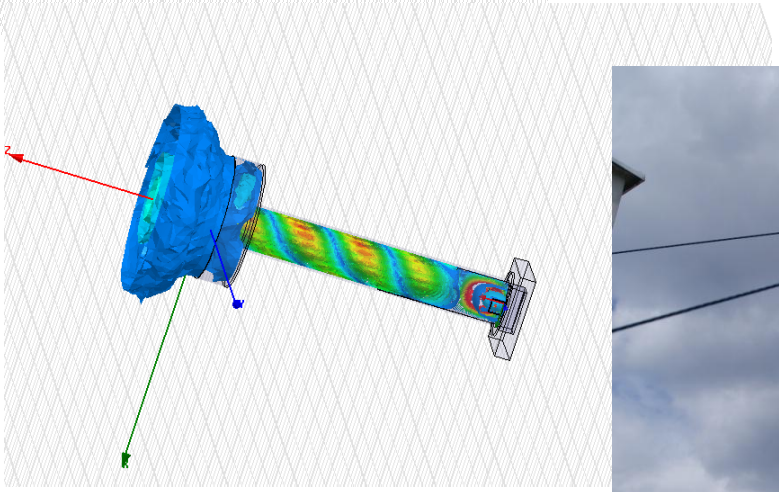


Ozařovač



RHCP - LHCP

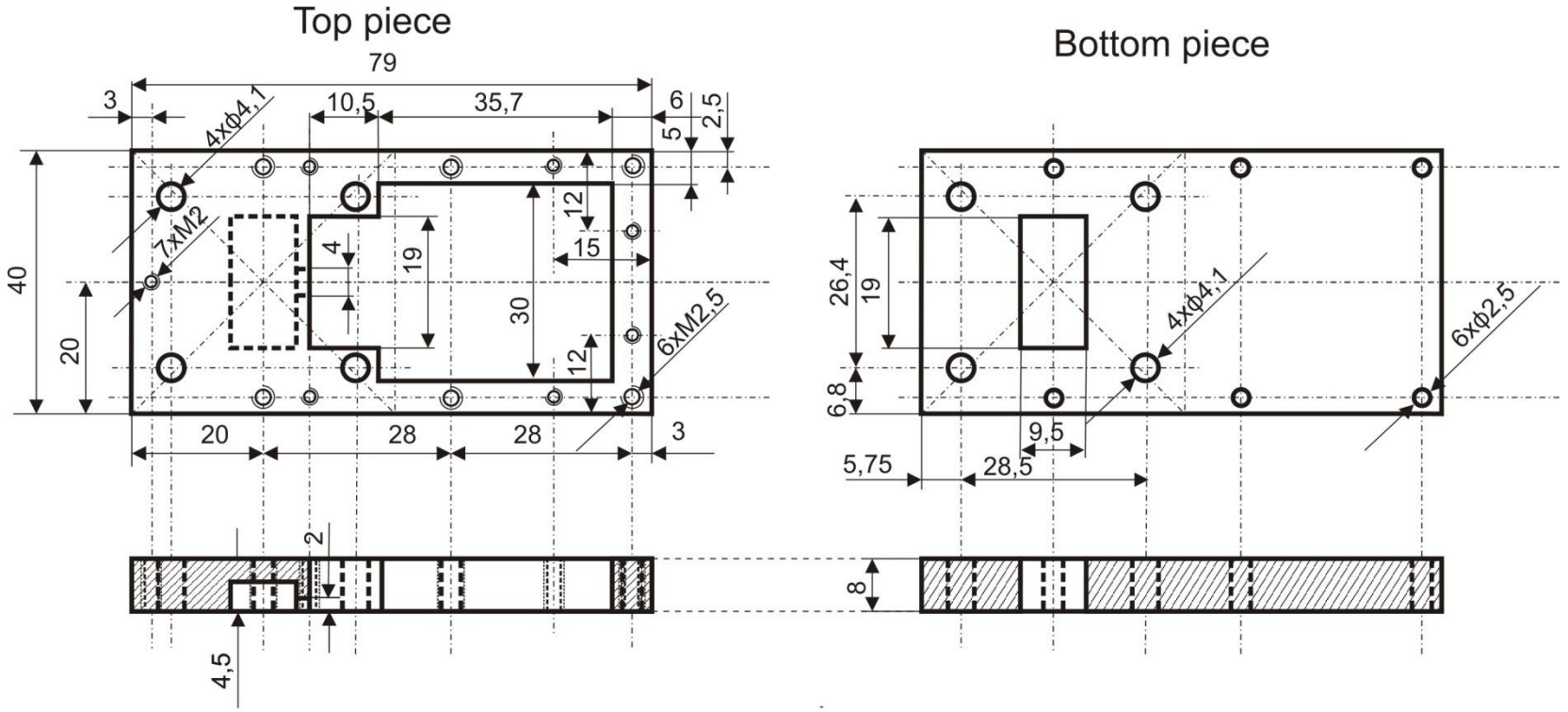


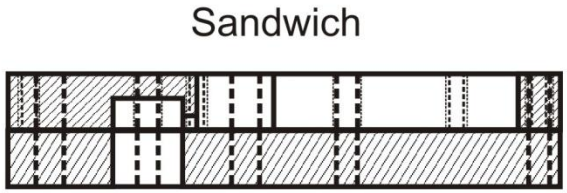


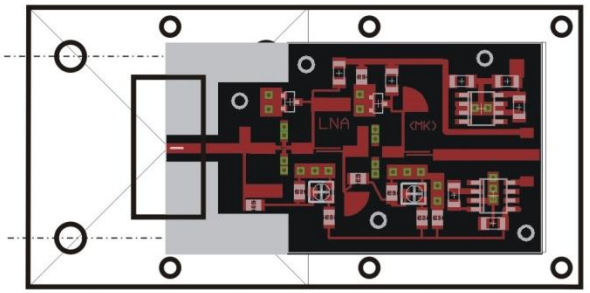
Otočná LP



ŠUMOVÁ TEPLOTA SYSTÉMU

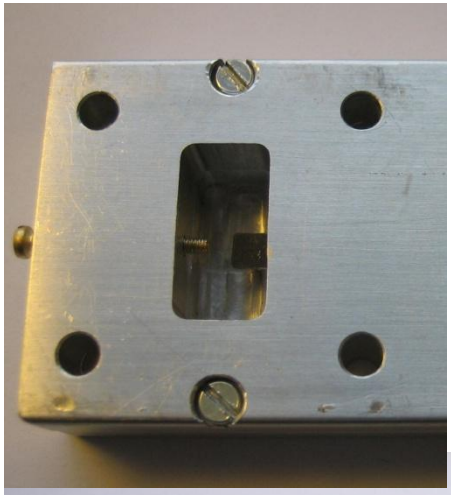


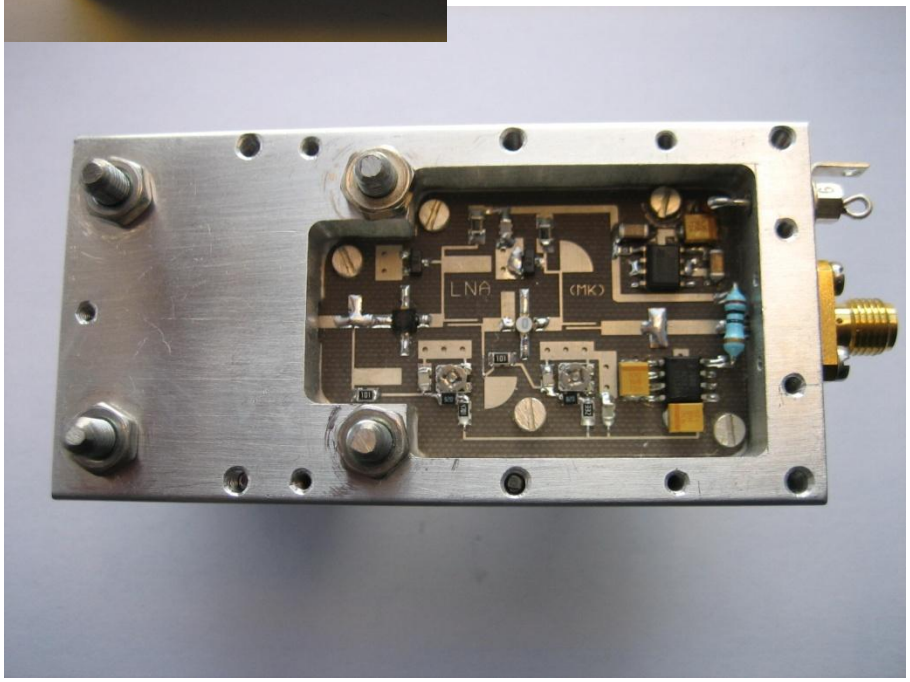


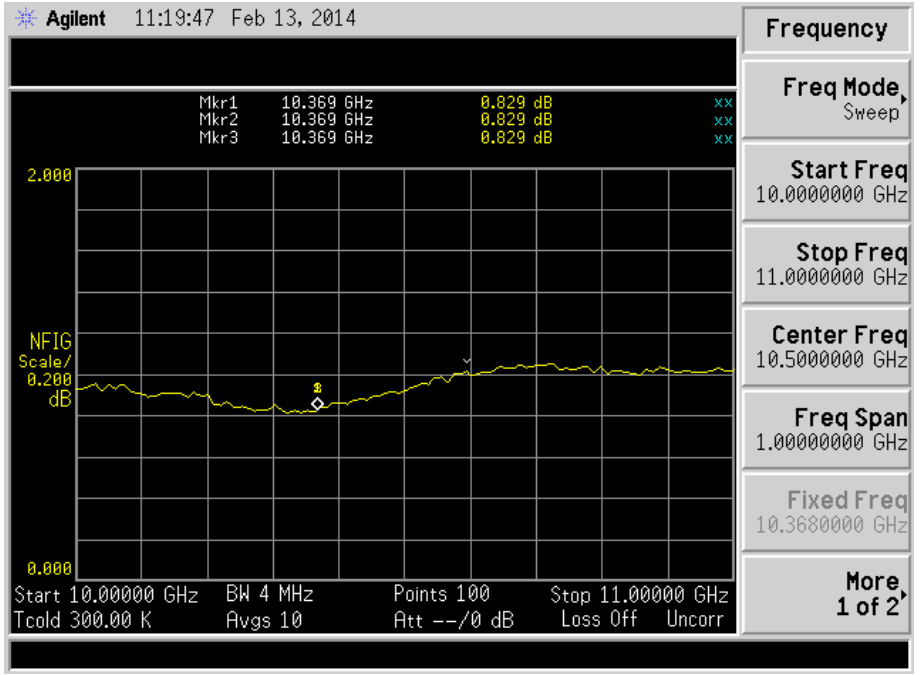


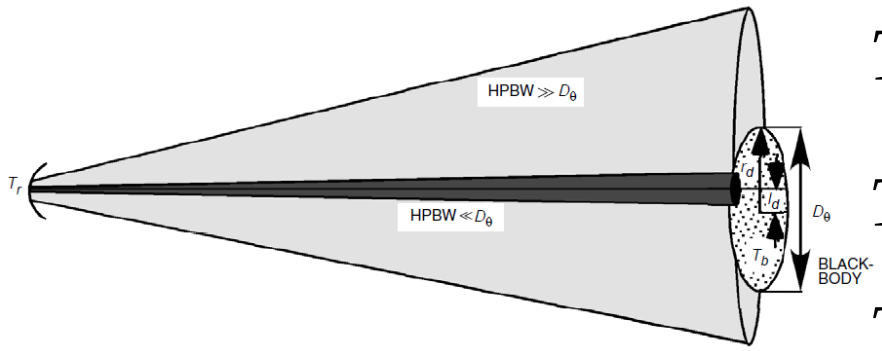
X-Band LNA (MK)

LNA




LNA
(MK)

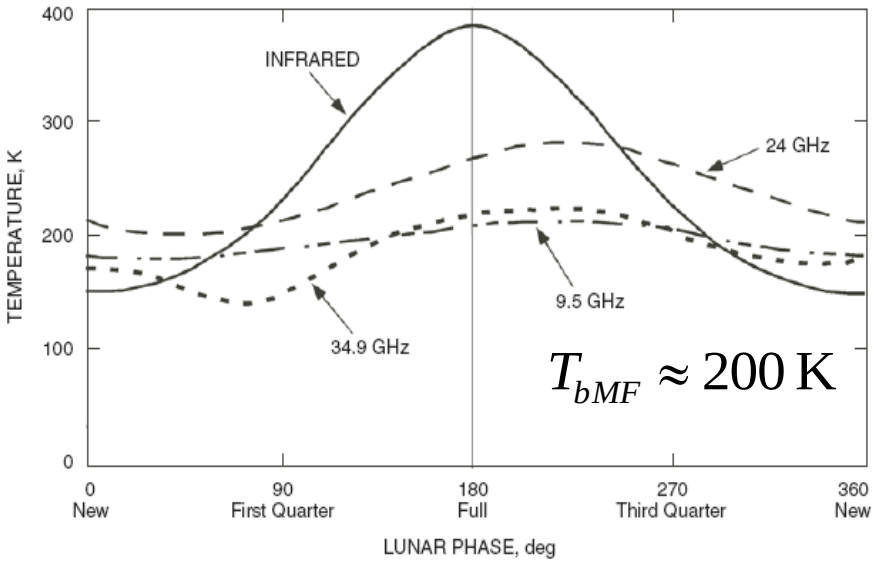

Agilent 11:19:47 Feb 13, 2014
Mkr1 10.369 GHz 0.829 dB
Mkr2 10.369 GHz 0.829 dB
Mkr3 10.369 GHz 0.829 dB
2.000
NFIG
Scale/
0.200
dB
0.000
Start 10.00000 GHz
Tcold 300.00 K
BW 4 MHz
Avgs 10
Points 100
Att --/0 dB
Stop 11.00000 GHz
Loss Off
Uncorr
Frequency
Freq Mode
Sweep
Start Freq
10.0000000 GHz
Stop Freq
11.0000000 GHz
Center Freq
10.5000000 GHz
Freq Span
1.00000000 GHz
Fixed Freq
10.3680000 GHz
More
1 of 2

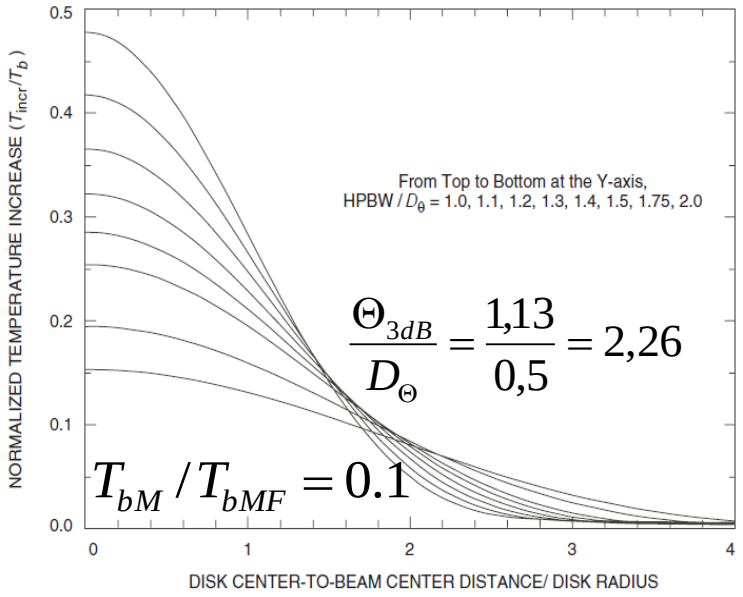


$$T_S = T_{SKY} + T_G + T_{bM} + T_{Rx}$$

$$T_{SCS}^{F=0,7dB} = 5 + 40 + 0 + 52 = 97\ \mathrm{K}$$

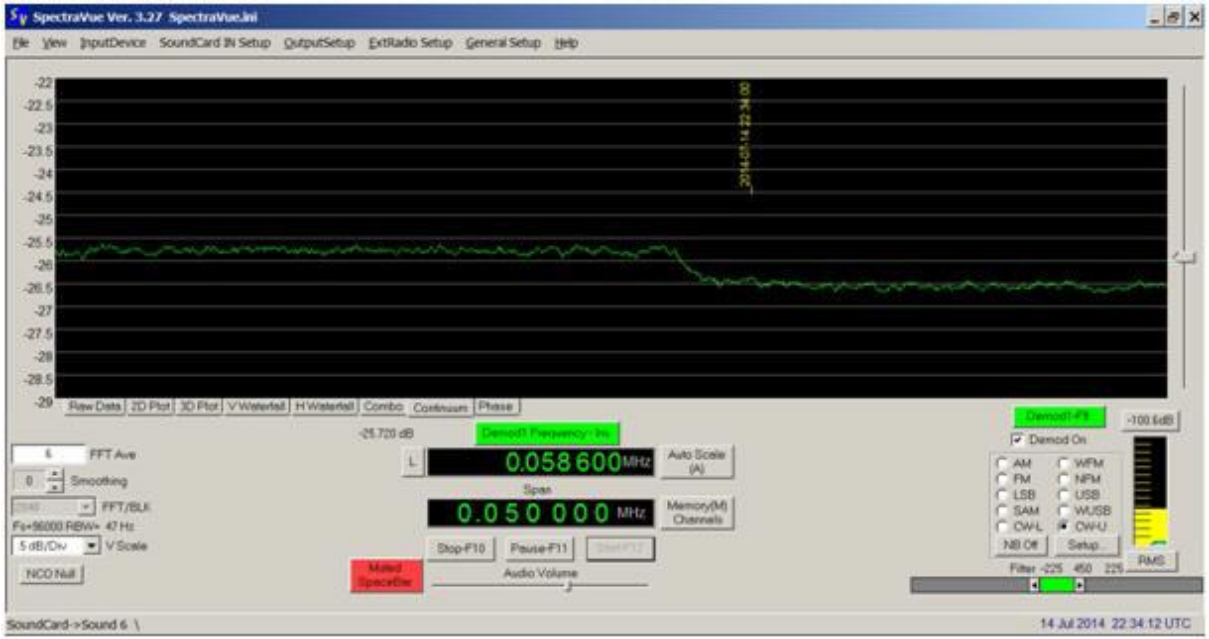
$$T_{Moon}^{F=0,7dB} = 5 + 40 + 20 + 52 = 117\ \mathrm{K}$$



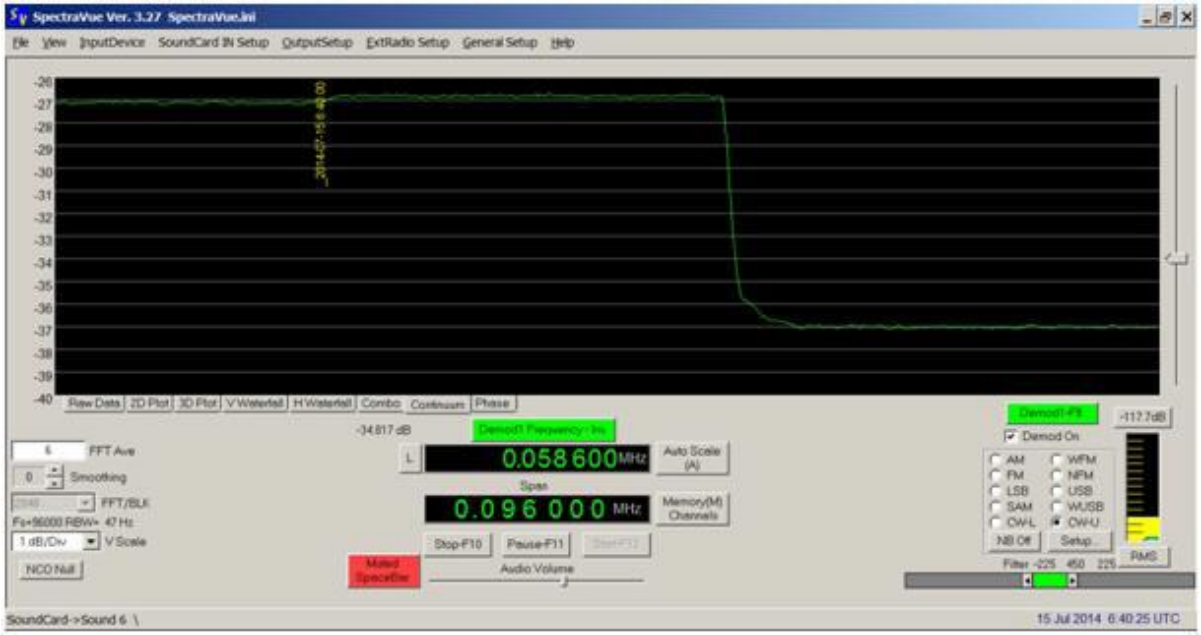


$$MN = 10\log(T_{Moon}/T_{CS}) = 10\log(117/97) = 0,81\,\mathrm{dB}$$

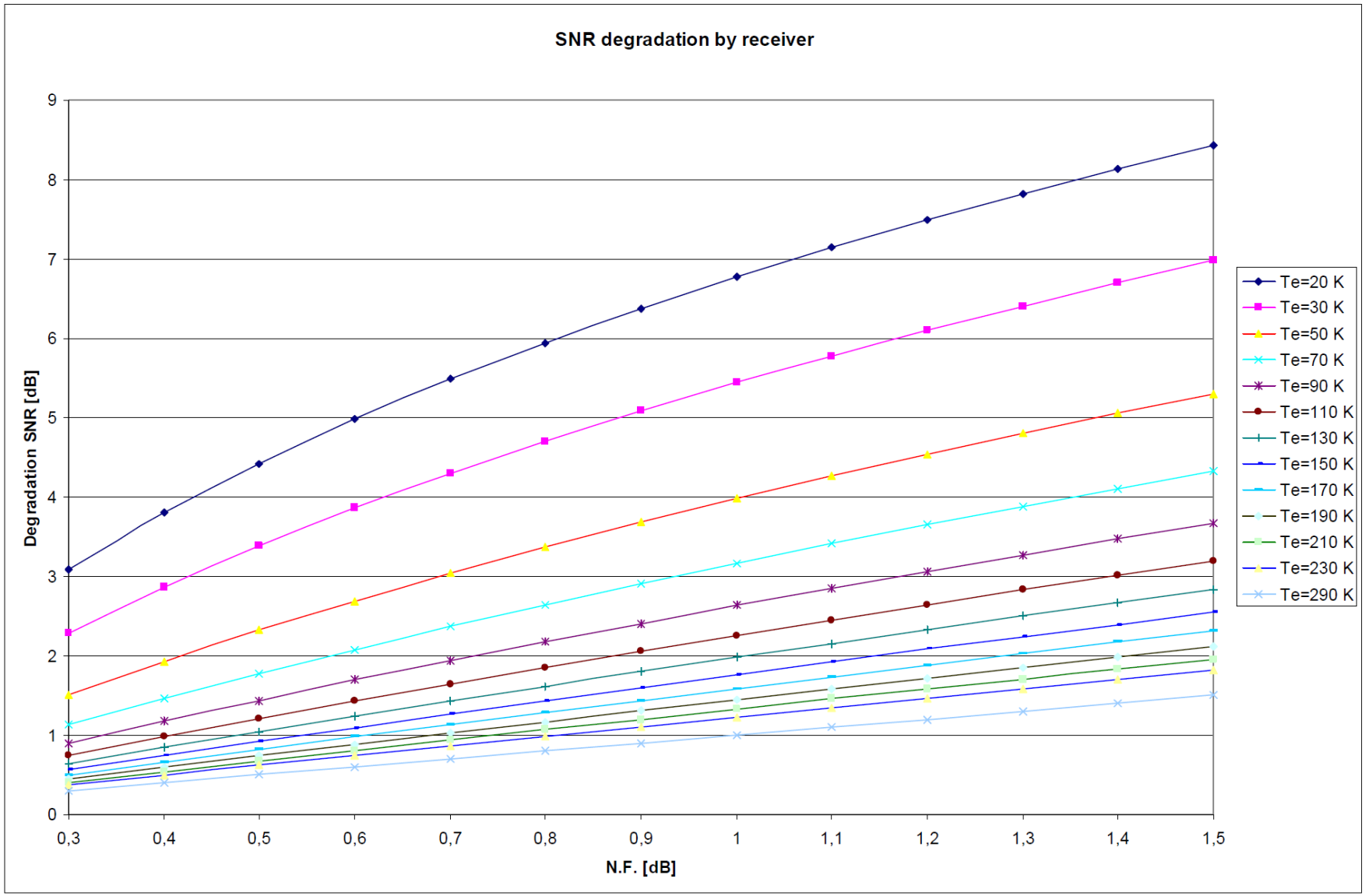
MN/CS


SpectraVue Ver. 3.27 SpectraVue.ini
File View InputDevice SoundCard IN Setup OutputSetup ExtRadio Setup General Setup Help
0.058 600 MHz
0.050 000 MHz
SoundCard->Sound 6 \
14 Jul 2014 22:34:12 UTC

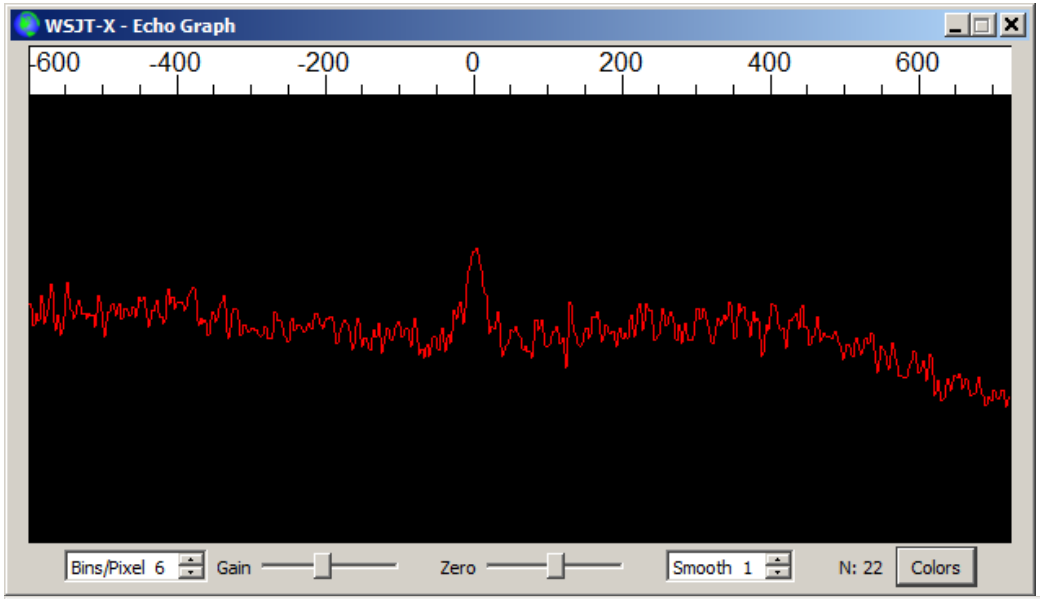
SN/CS

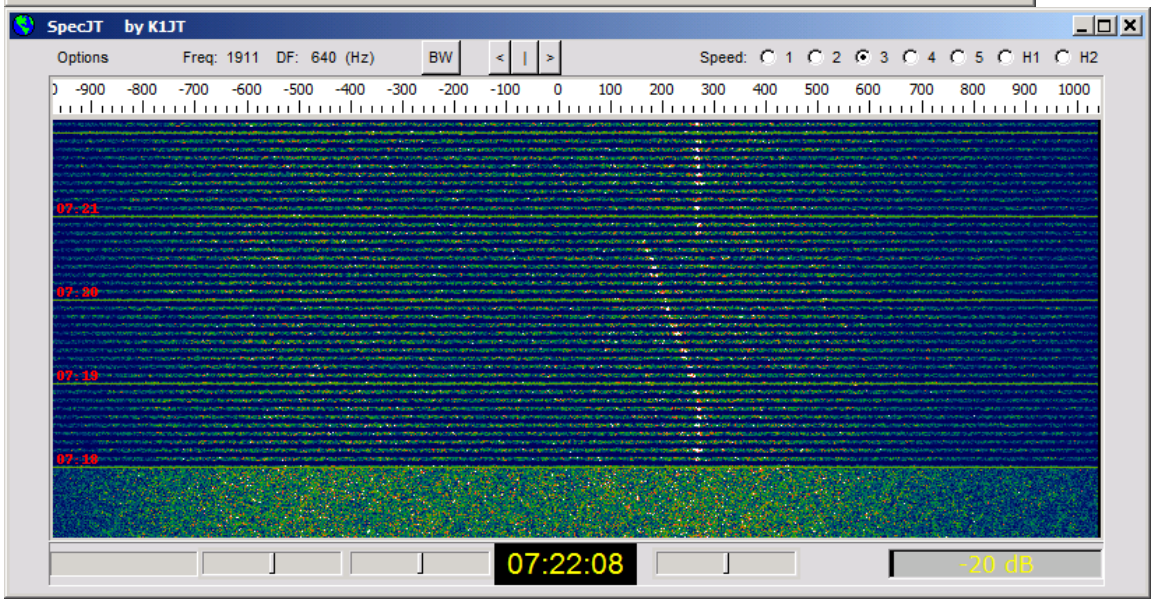

SpectraVue Ver. 3.27 SpectraVue.ini
File View InputDevice SoundCard IN Setup OutputSetup ExtRadio Setup General Setup Help
0.058 600 MHz
0.096 000 MHz
SoundCard->Sound 6 \
15 Jul 2014 6:40:25 UTC

$$T_S = T_{SKY} + T_G + T_{bM} + T_{Rx} = T_e + T_{Rx}$$



ECHO

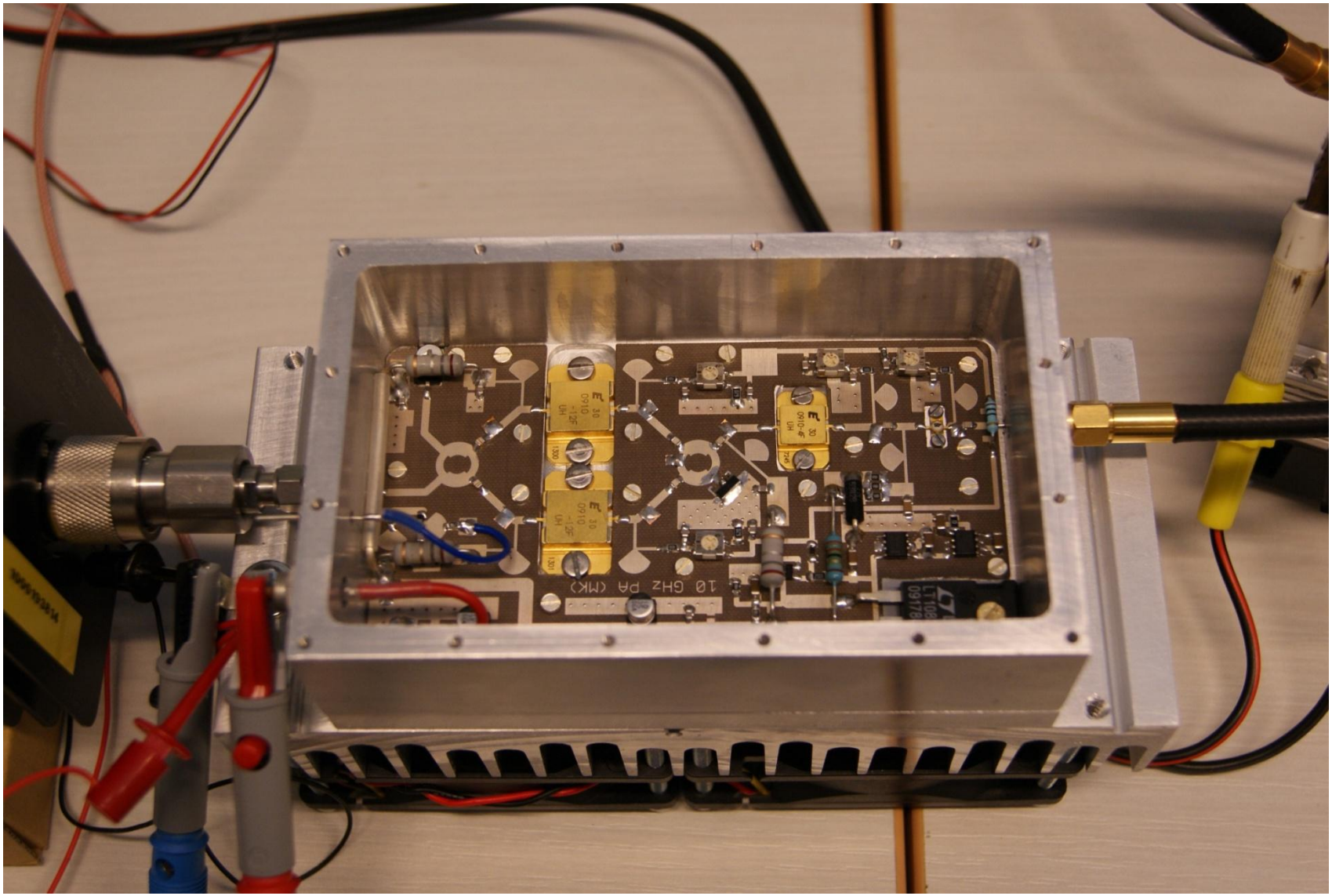




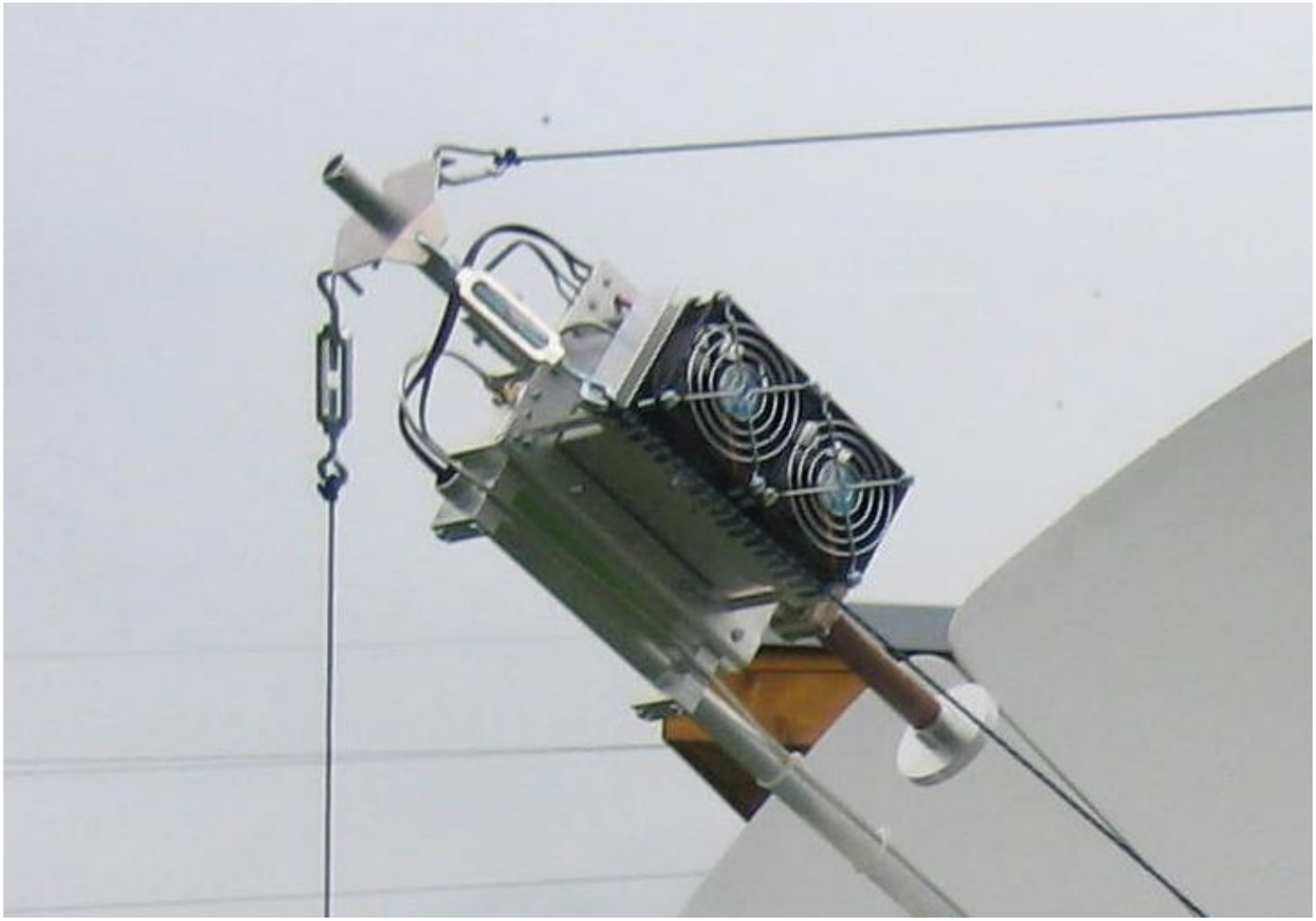
Větší „spread“
- averaging

Jednotlivé odrazy

SSPA



SSPA je v ohnisku s WG přepínačem a LNA



Absolutní přesnost a stabilita frekvence < 10^{-8}

Atomový oscilátor – Cesium (GPS) nebo Rubidium



Přesný oscilátor pro mikrovlnná zařízení
(maják nebo lokální oscilátor)

Mirek Kasal

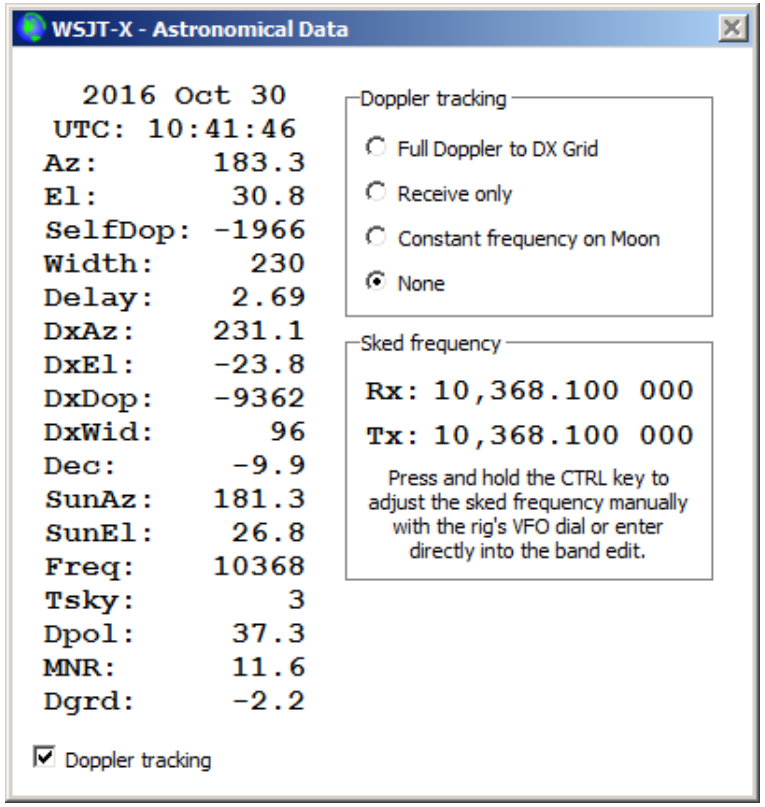


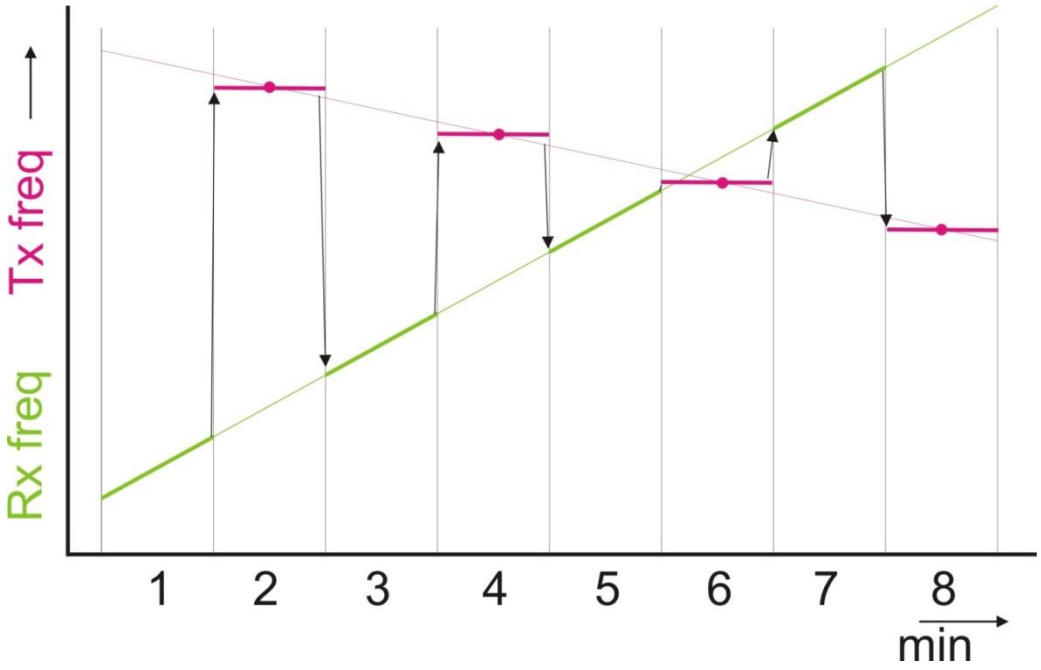


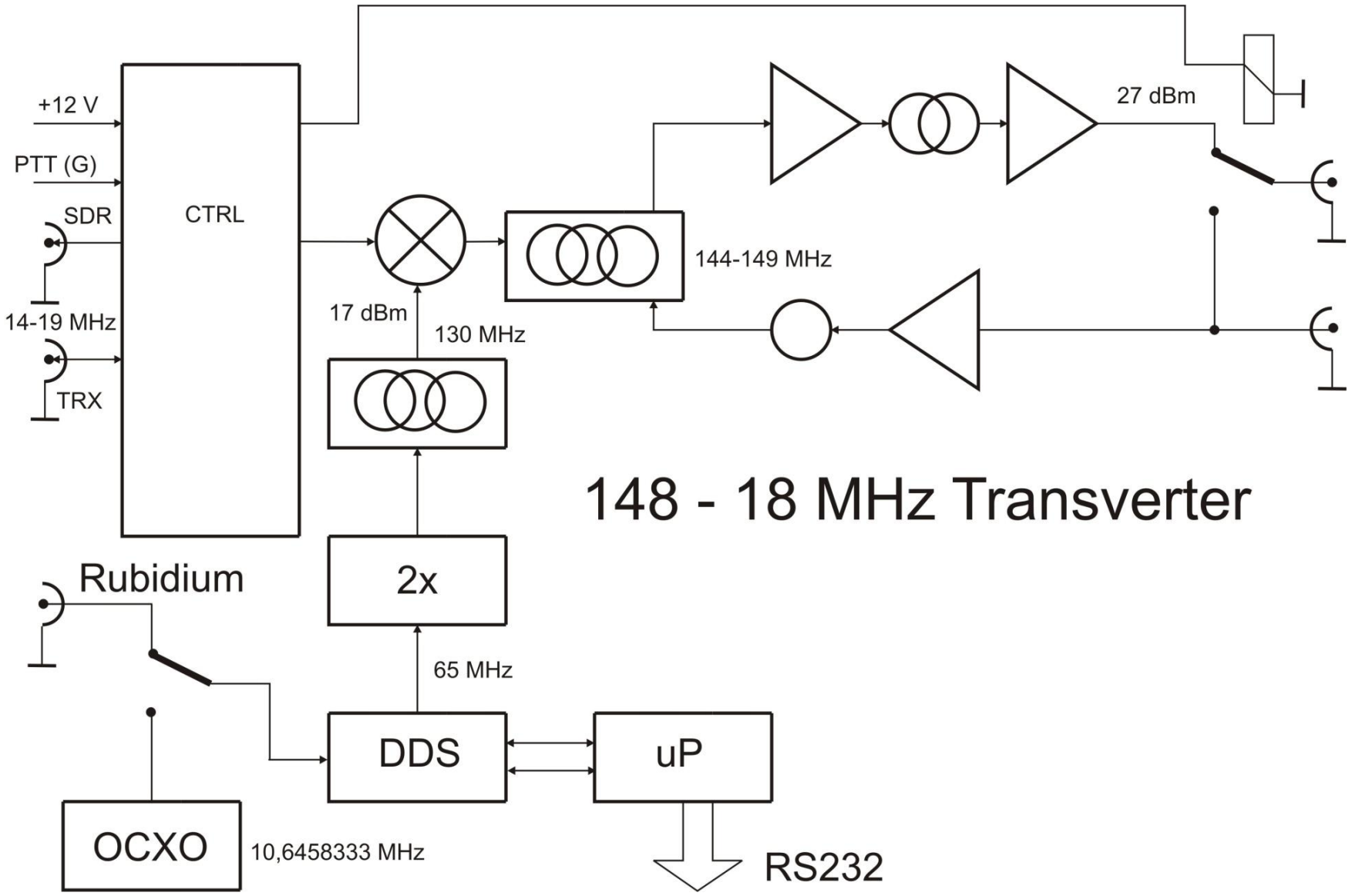
1PPS (D4)

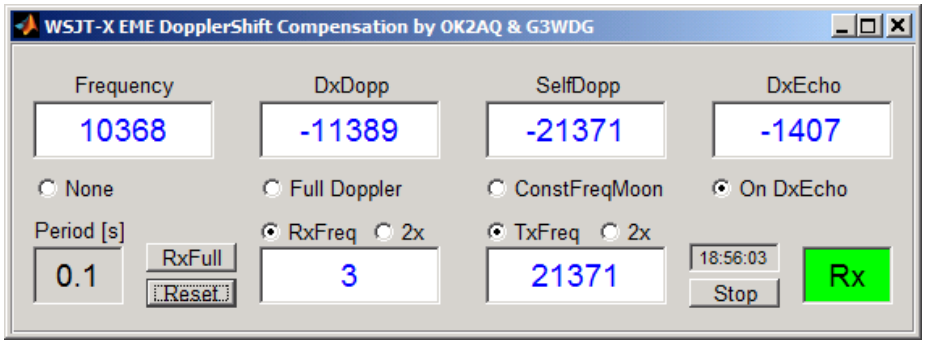
PC - čas musí být přesnější než 1s

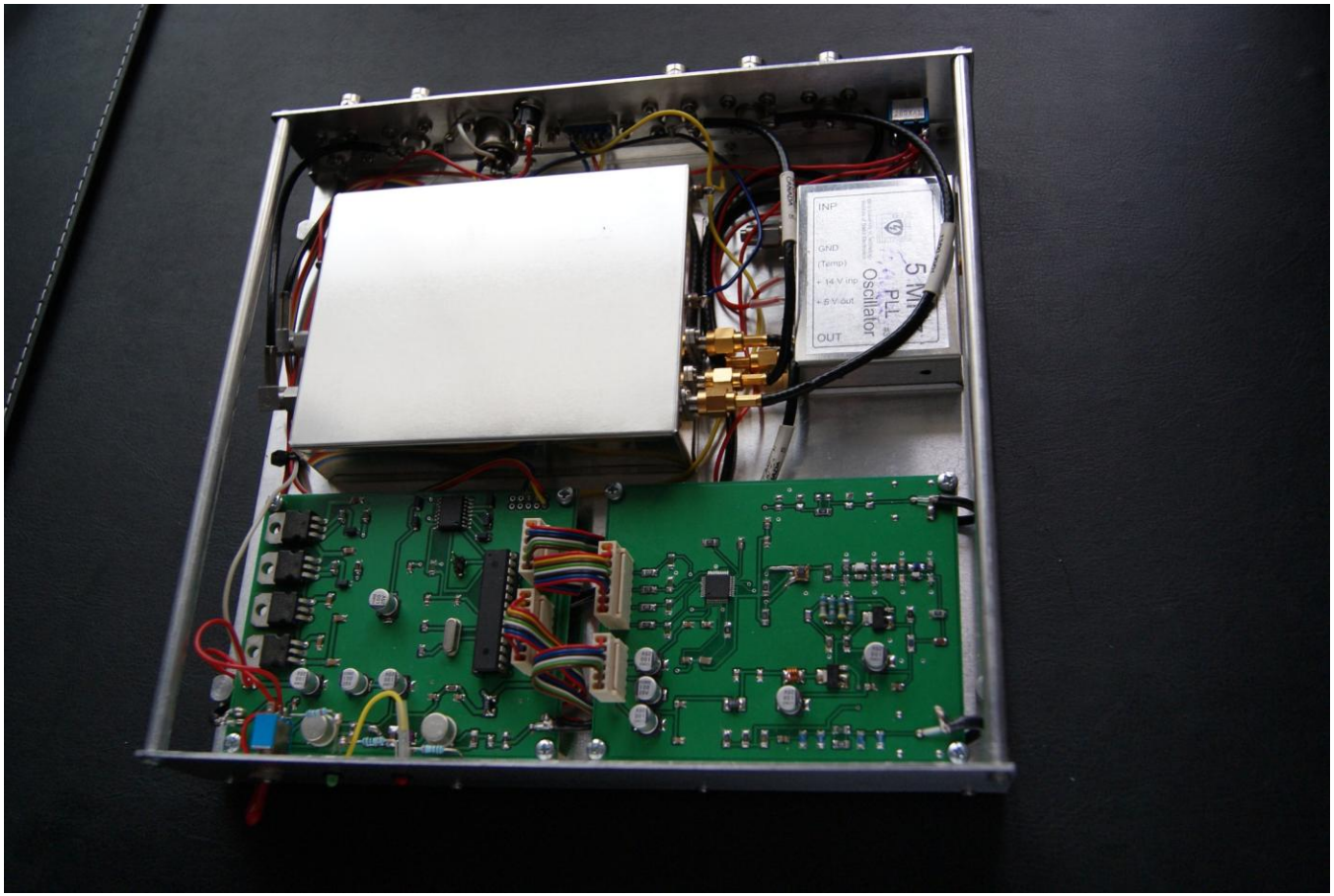
KOMPENZACE DOPPLEROVA POSUVU






+12 V
PTT (G)
SDR
14-19 MHz
TRX
CTRL
17 dBm
130 MHz
144-149 MHz
27 dBm
148 - 18 MHz Transverter
Rubidium
2x
65 MHz
DDS
uP
OCXO
10,6458333 MHz
RS232


WSJT-X EME DopplerShift Compensation by OK2AQ & G3WDG
Frequency
10368
DxDopp
-11389
SelfDopp
-21371
DxEcho
-1407
None
Full Doppler
ConstFreqMoon
On DxEcho
Period [s]
0.1
RxFull
Reset
RxFreq
2x
3
TxFreq
2x
21371
18:56:03
Stop
Rx


5 MHz
PLL
Oscillator

LITERATURA

[1] Fehrenbach, J., DJ7FJ: What is different on 10 GHz EME. http://home.planet.nl/~alphe078/whatis.htm

[2] McArthur, D., VK3UM: Libration Calculator. http://www.vk3um.com/libration%20calculator.html

[3] Kasal, M. Vliv přírody na satelitní komunikaci. In *Šíření elektromagnetických vln.* Praha: Česká elektrotechnická společnost, 2006, p. 15, ISBN: 80-02-01865-6

[4] Galuscak, R., OM6AA, Modderman, B., PE1RKI, Masek, V., OK1DAK, Hazdra, P., Mazanek, M., Pawlan, J., WA6KBL: Circular Polarization Feed for Space Communication on the 3 cm Band. DUBUS 3 and 4/2014, ISSN 1438-3705

[5] Jelinek, T., OK1DAI, Masek, V., OK1DAK, Karel, J., OK1VAO: OK1KIR Report from 10 GHz polarization test held on April2, 2006 http://www.sm5bsz.com/linuxdsp/usage/pol10ghz.htm

[6] Suckling, C., G3WDG: Experiences with CP on 10 GHz. http://www.eme2016.org/wp-content/uploads/2016/08/EME-2016-G3WDG-Presentation.pdf

[7] Taylor, J., K1JT: WSJT Home Page. http://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/

[8] Moncur, R., VK7MO, and Taylor, J., K1JT: Small Station EME at 10 and 24 GHz: GPS Locking, Doppler Correction, and JT4. http://physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/small_station_eme.pdf

[9] Taylor, J., K1JT: WSJT User Guide. http://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/doc/wsjt/

[10] Palermo, N., IV3NWV: Q-ary Repeat-Accumulate Codes for Weak Signals Communications. http://www.eme2016.org/wp-content/uploads/2016/08/EME-2016-IV3NWV-Presentation.pdf

[11] Kasal, M., OK2AQ: Nízkošumové zesilovače pro 10 GHz a jejich měření. http://www.vhf.cz/soubory/dokumenty/lna-10ghz.pdf

[12] Kasal,M., OK2AQ: EME na mikrovlnách s novými technologiemi. http://www.vhf.cz/soubory/dokumenty/2015-sem-7-uw-eme-nt.pdf

[13] Kasal, M., OK2AQ, Suckling, C., G3WDG: A New Method for Microwave EME Doppler Shift Compensation. DUBUS 1/2016, ISSN 1438-3705

[14] Taylor, J., K1JT: WSJT-X New Codes, Modes and Tools for Weak-Signal Communication. http://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/K1JT_EME_2016_Venice.pdf

DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST