

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>

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**



Pardubice, 18. 10. 2017 , XXVII. RADIOKOMUNIKACE



- Koeficient odrazu $k = 0,065$
- Průměr Měsíce $d = 3500 \text{ km}$
- Efektivní průřez $s = 6,25 \cdot 10^{11} \text{ m}^2$
(ČR má rozlohu asi $7,9 \cdot 10^{10} \text{ m}^2$)

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

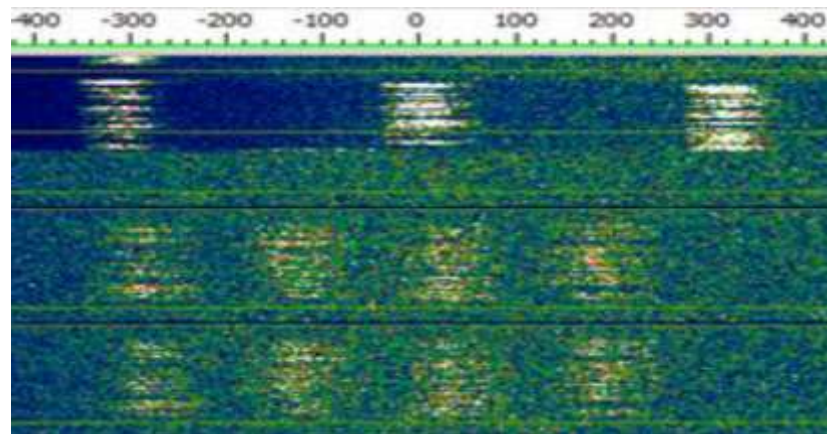
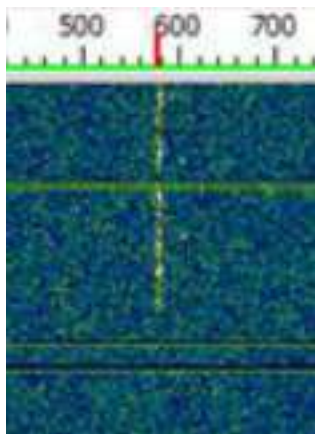
V perigeu je útlum EME $\sim 287,5 \text{ dB}$

V apogeu je útlum EME $\sim 289,8 \text{ dB}$

Rozšíření spektra odraženého signálu

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

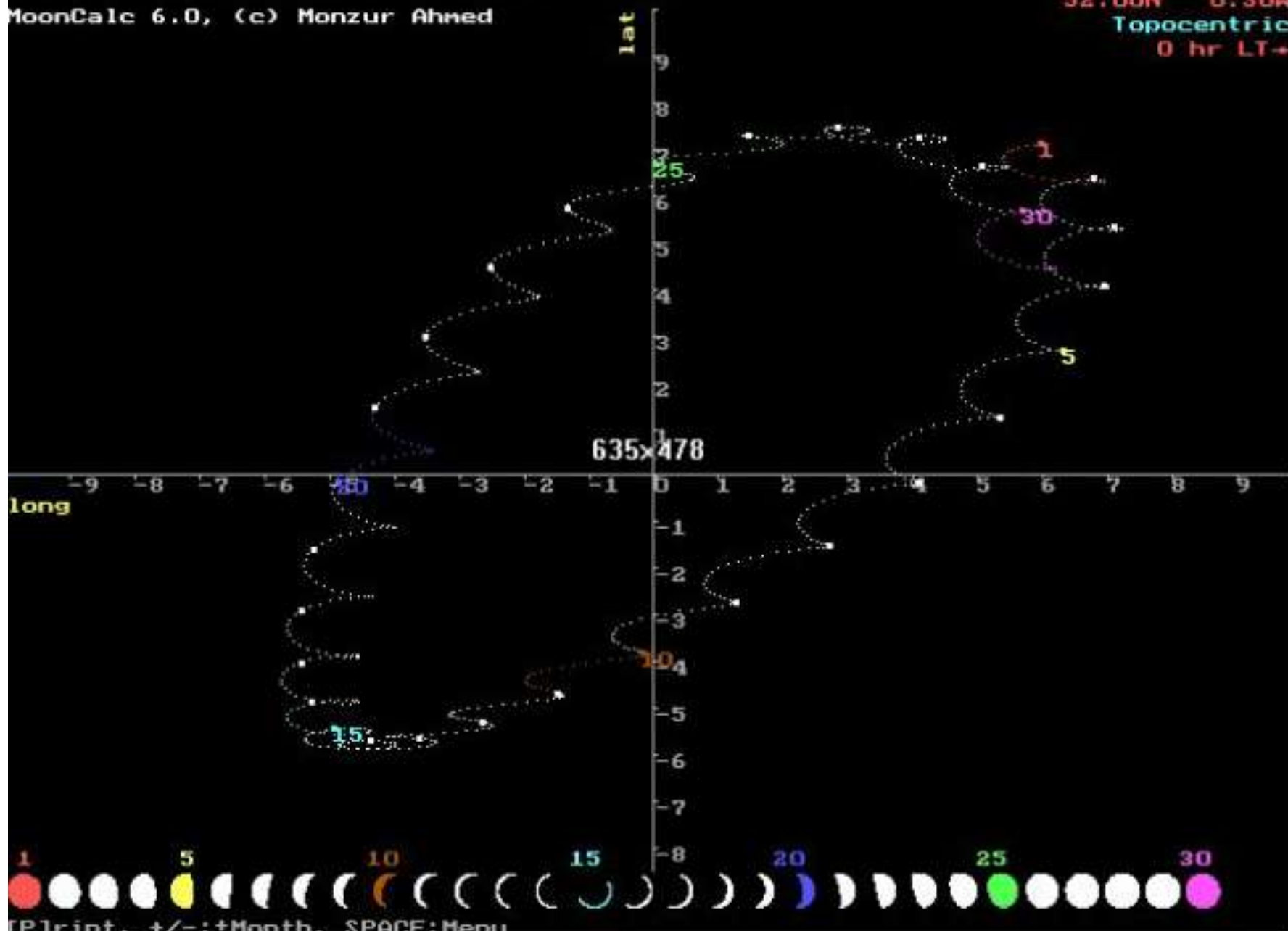
Librace Měsíce

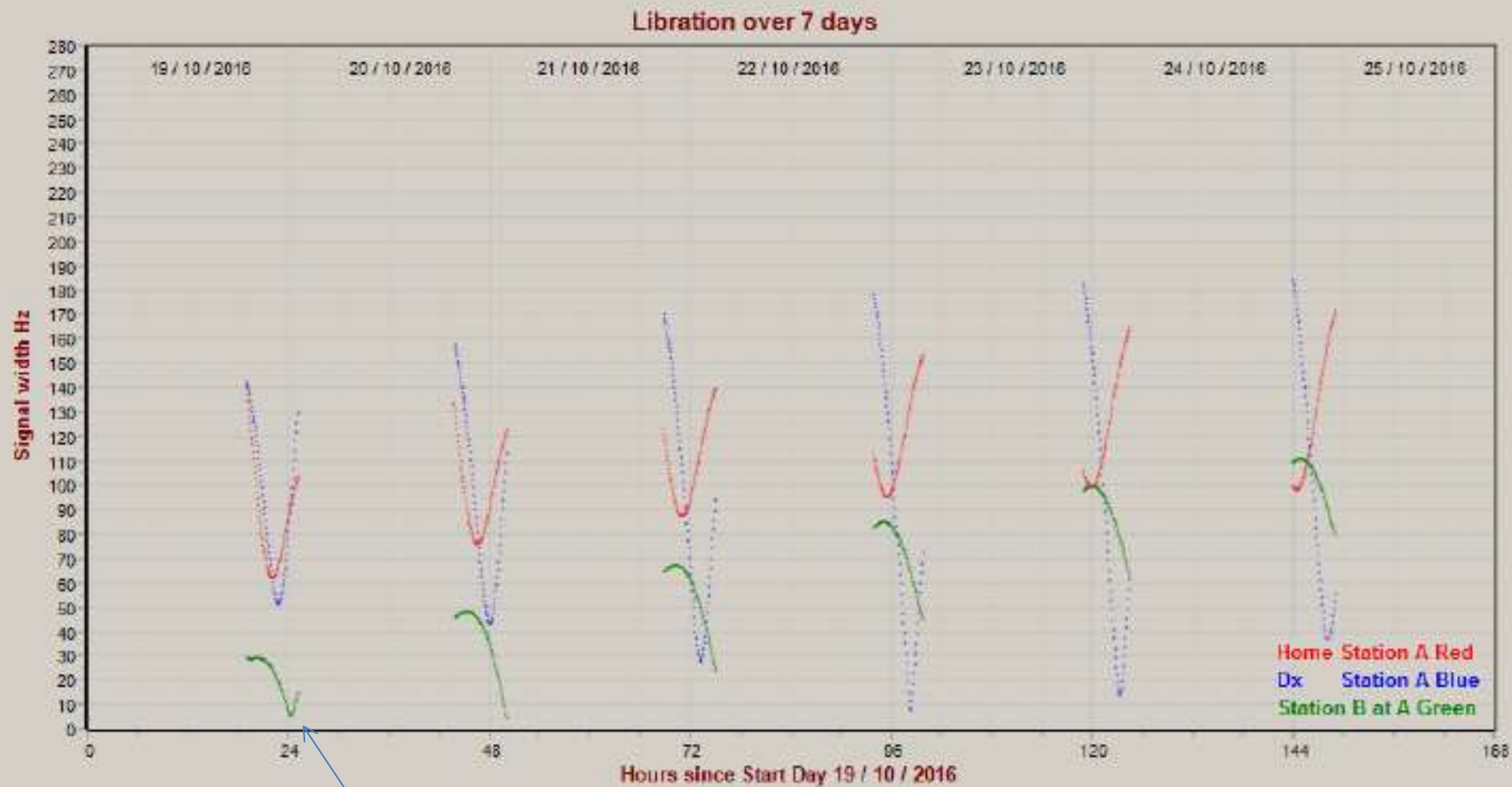


MONTHLY LUNAR LIBRATION - Apr 2010

MoonCalc 6.0, (c) Monzur Ahmed

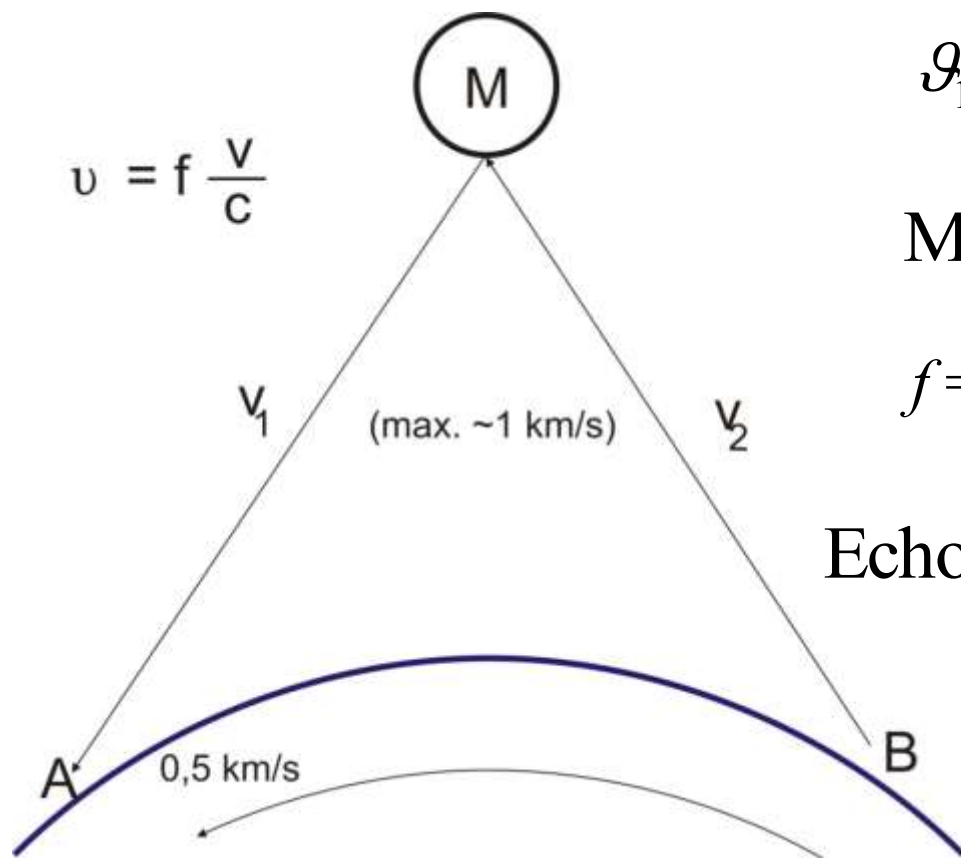
rushtden
52:00N 0:30W
Topocentric
0 hr LT+





Nejmenší „spread“ pro protějšek v Japonsku

Dopplerův posuv



$$\mathcal{D}_1 = f \frac{v_1}{c} \quad \mathcal{D}_2 = f \frac{v_2}{c}$$

$$\text{Mutual} \Rightarrow \mathcal{D} = \mathcal{D}_1 + \mathcal{D}_2$$

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

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

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

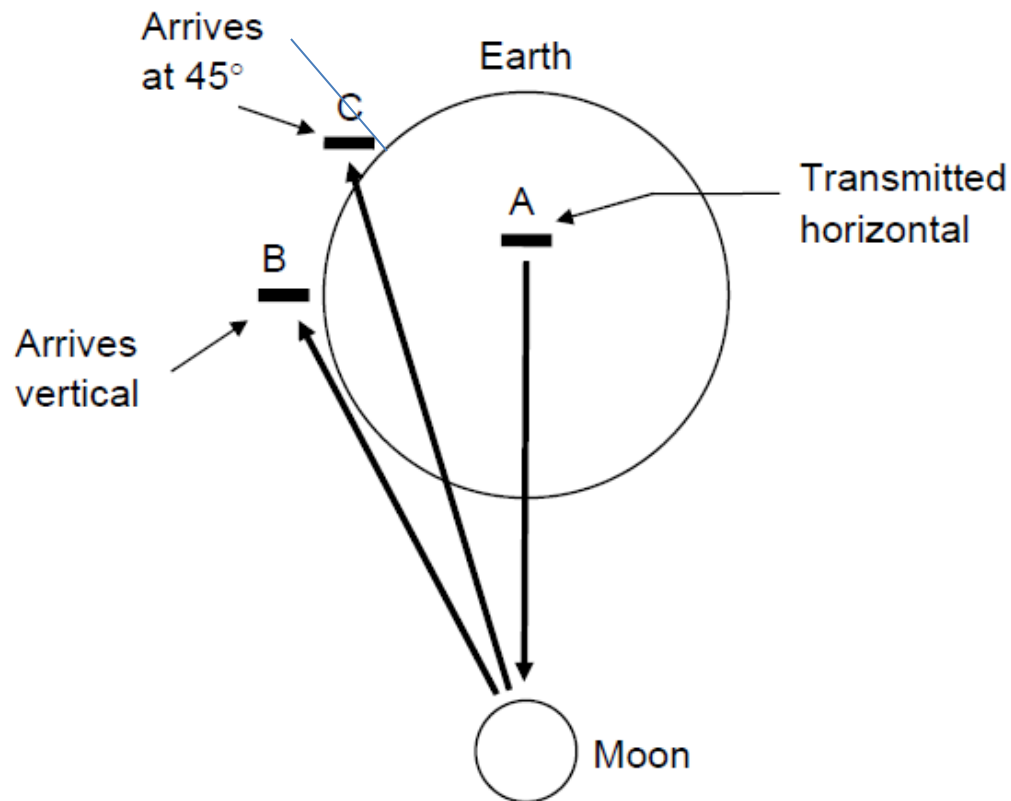
$$\text{Const Freq on the Moon} \Rightarrow F_{TX} - \frac{\mathcal{D}}{2} \text{ and } F_{RX} + \frac{\mathcal{D}}{2}$$

Polarizace signálů

Spatial Angle

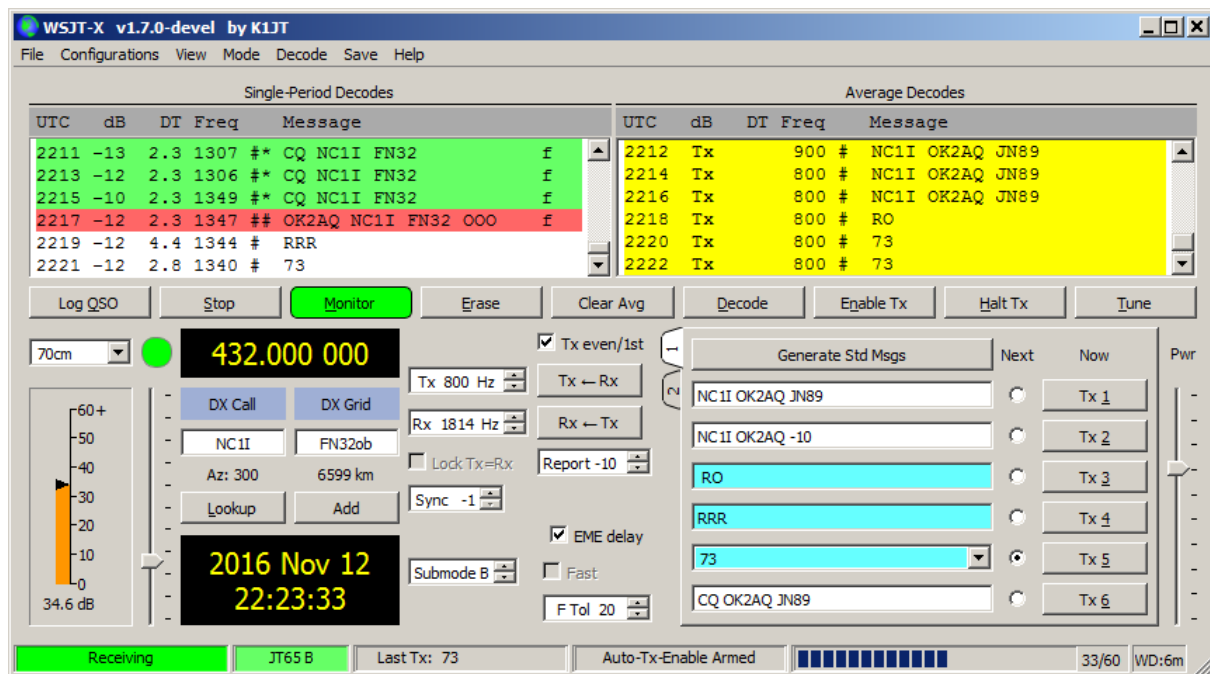
CP-CP versus LP-LP

1,6 dB pro LP-LP
[6]



DIGITÁLNÍ KOMUNIKACE

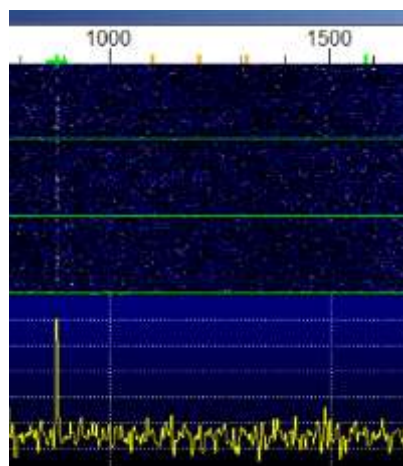
Joseph H. Taylor, K1JT -
WSJT (Weak Signal communications, by K1JT) [7][14].



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

JT65

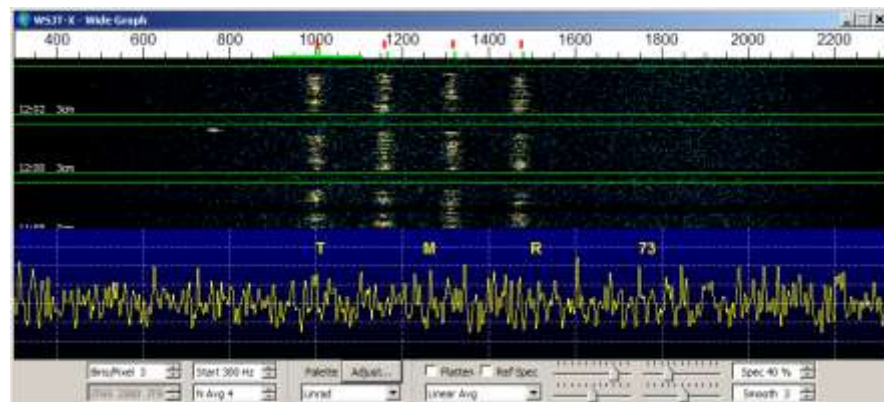
- FSK - 65 tóny s konstantní amplitudou s fázovými přechody v nule
- ekvidistantní odstup 2,69 (JT65a) 5,38 (JT65b) a 10,77 Hz (JT65c)
- kódování je přesně uzpůsobeno předávané zprávě – volací znaky a lokátor
- zdrojové kódování – šest 12ti bitových symbolů
- FEC – RS přidáním 306 redundantních bitů – 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– $\frac{1}{2}$ času–nejjasnější
- Averaging – umožňuje dekodovat zprávu opakovaně vysílanou i s menším SNR



Single-Period Decodes					
UTC	dB	DI	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 $\frac{1}{2}$ - 206 bitů
- jedninutová sekvence T/R
- synchronizace pseudonáhodným vektorem – LSB každého symbolu – není vidět
- Averaging – umožňuje dekodovat zprávu opakovaně vysílanou i s menším SNR



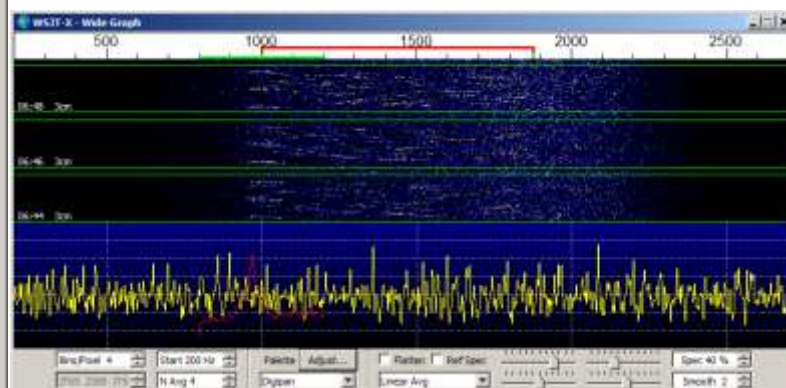
Tab. 1. Přehled módů WSJT pro EME [9]

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

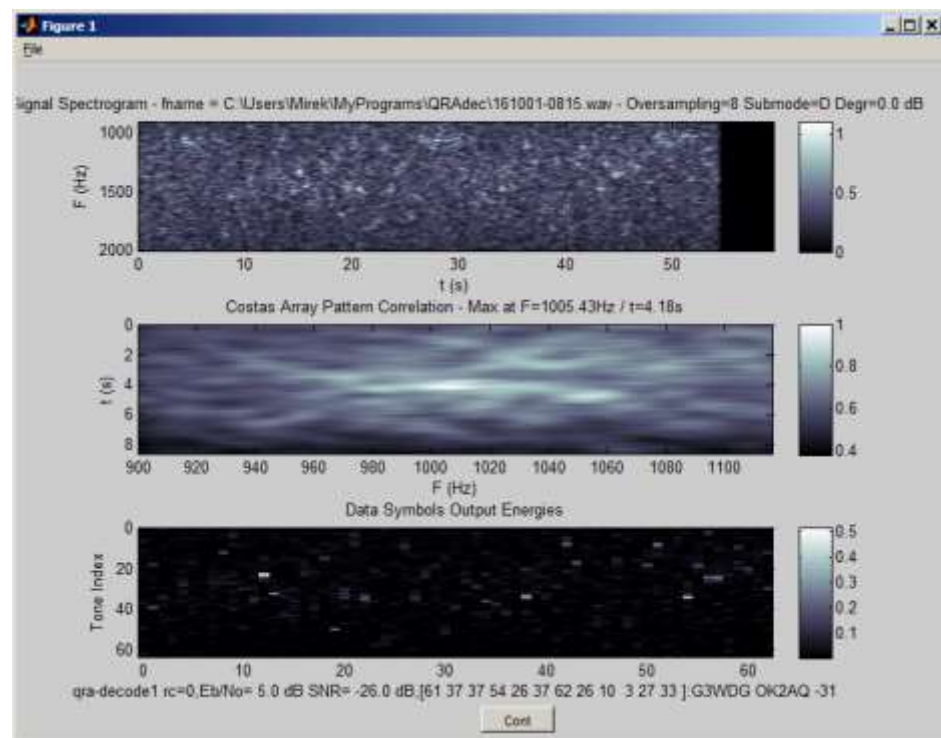
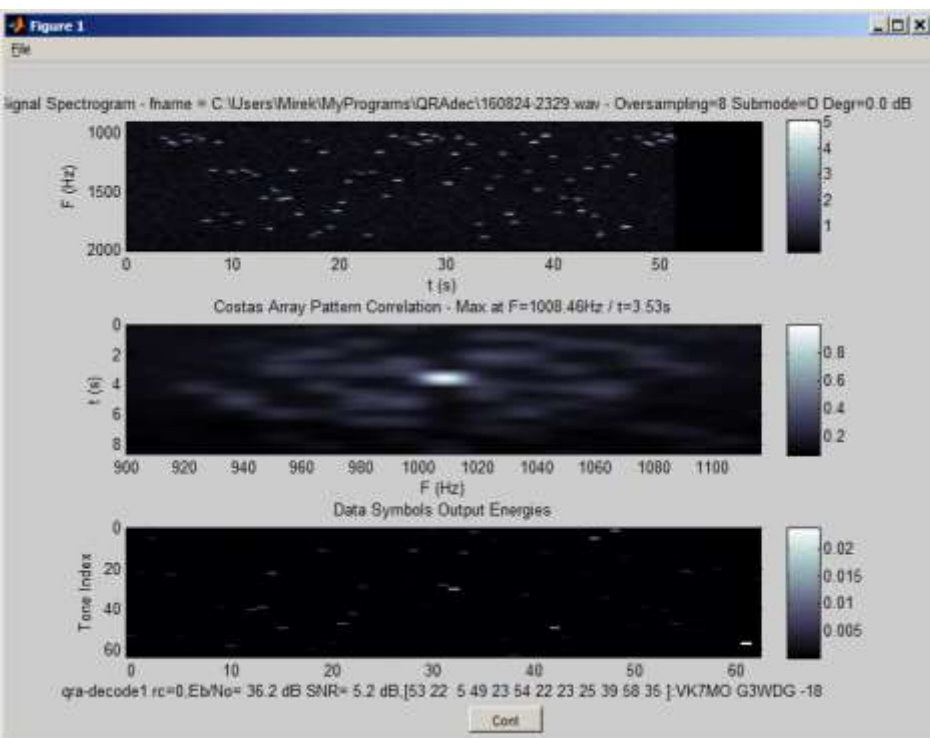
- generace tónů a vzorkování – zvuková karta PC
- původně sf = 11025 Hz, 16 bit a nyní u WSJT-X sf = 48000 Hz a 16 bitů rozlišení
- pro dekódování RS Koetter-Vardy dekodér, nyní Frank-Taylor dekodér
- zdrojové kódování – šest 12ti bitových symbolů stejně jako JT65
- WSJT umí i další módy JT9, WSPR.....

QRA64

- po turbo kódech přišly LDPC, včetně nových metod dekódování
- Nico Palermo IV3NWW 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°



1,8 m / 1,1°



2,7 m / 0,8°



4,2 m / 0,5°



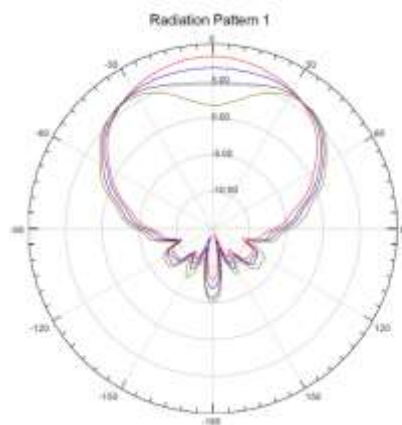
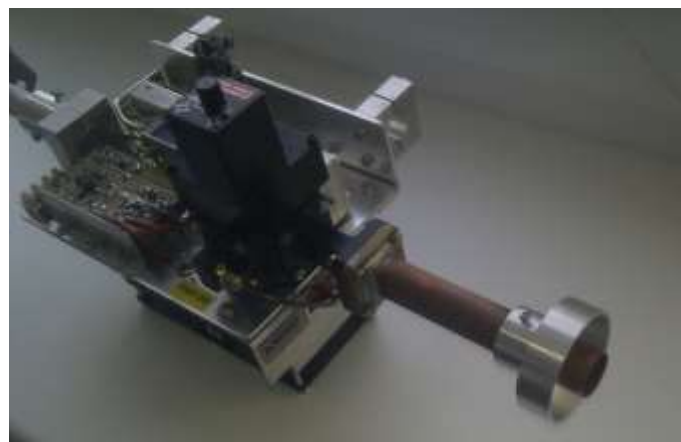
4,5 m / 0,5°



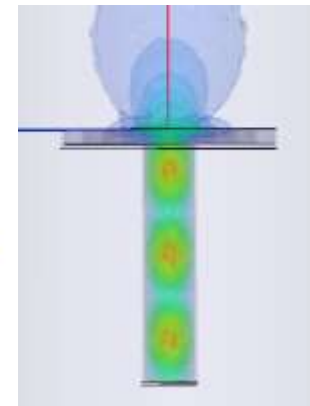
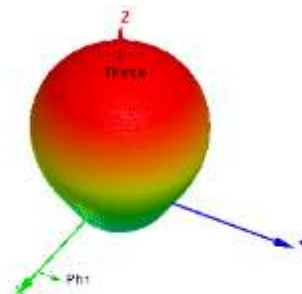
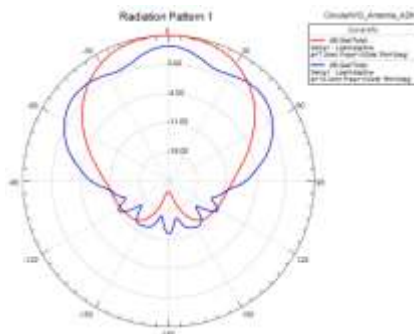
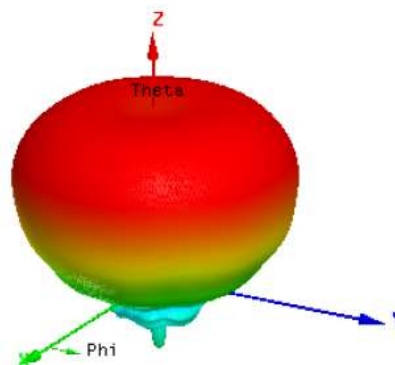
13 m / 0,2°

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

Polarizace, kompenzace „spatial“ offsetu (30° -1,25 dB)
přesný „tracking“
fázový střed ozařovače



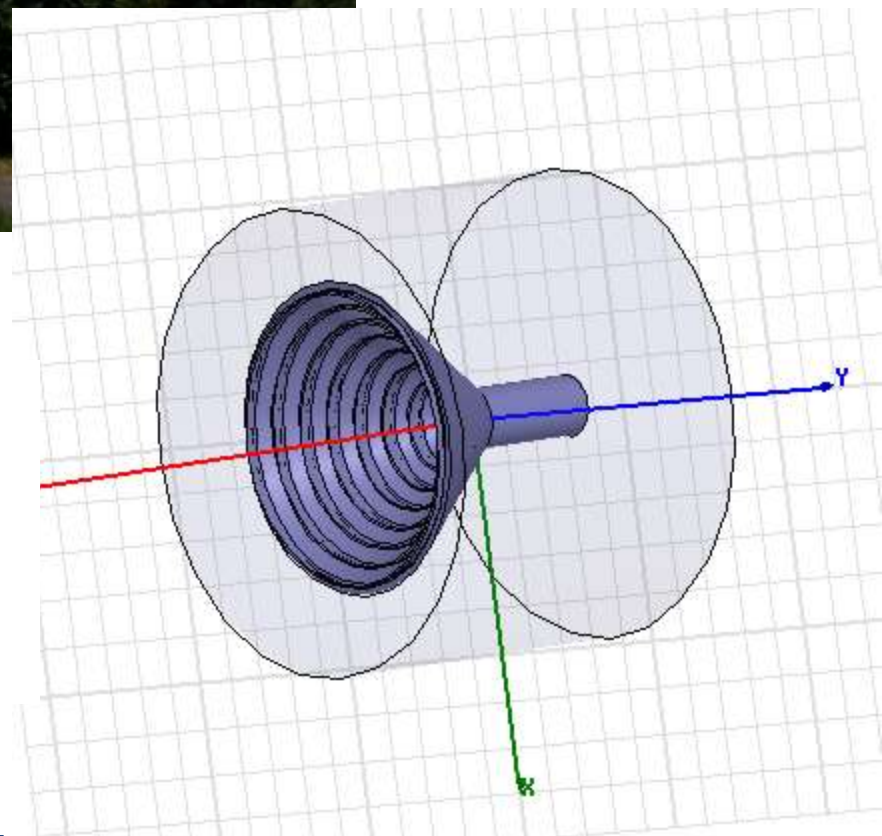
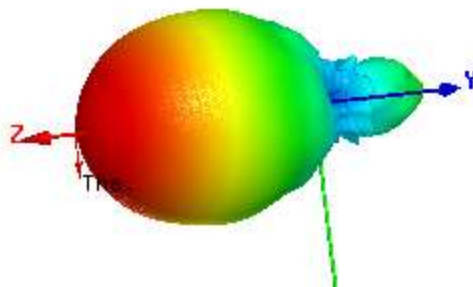
Circular Antenna_ADIK1	
Gain (dB)	
0.00	0.00
1.00	0.00
2.00	0.00
3.00	0.00
4.00	0.00
5.00	0.00
6.00	0.00
7.00	0.00
8.00	0.00
9.00	0.00
10.00	0.00
11.00	0.00
12.00	0.00
13.00	0.00
14.00	0.00
15.00	0.00
16.00	0.00
17.00	0.00
18.00	0.00
19.00	0.00
20.00	0.00



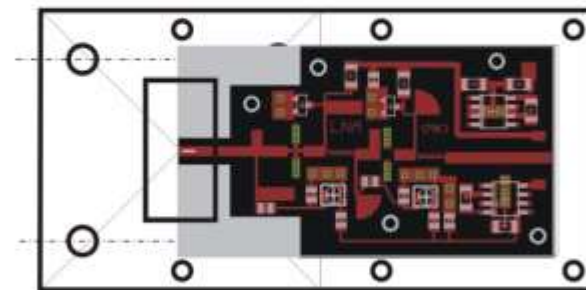
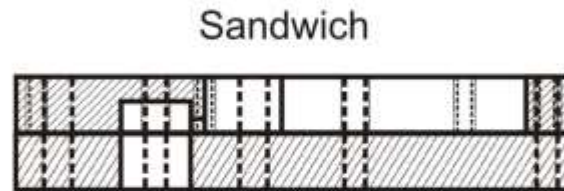
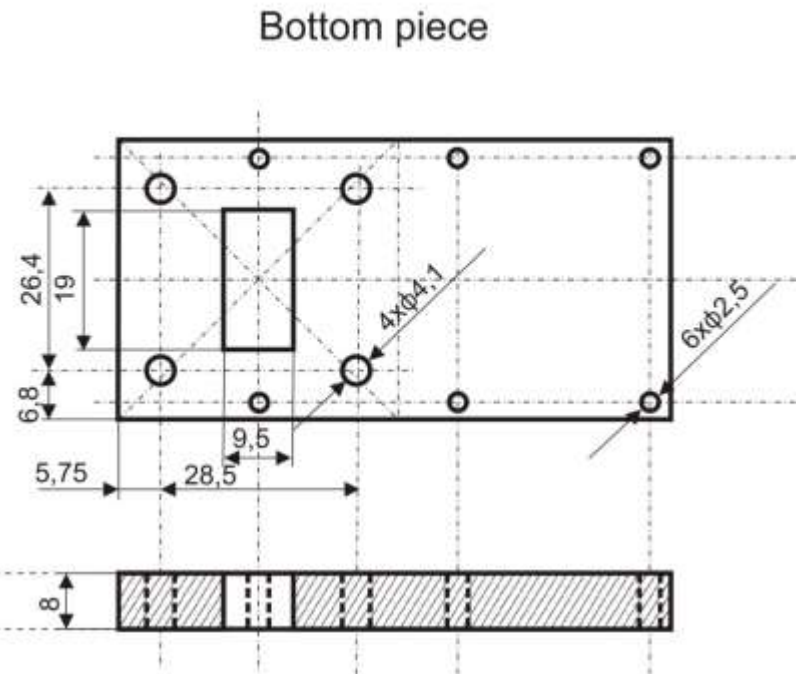
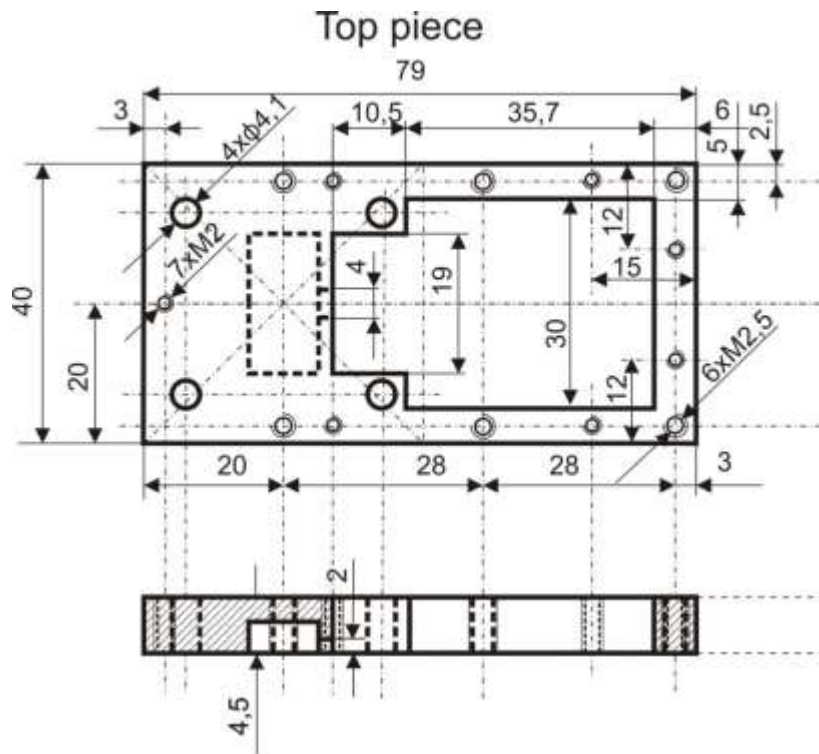


1,2 m
offset dish

$$f/D = 0,8$$

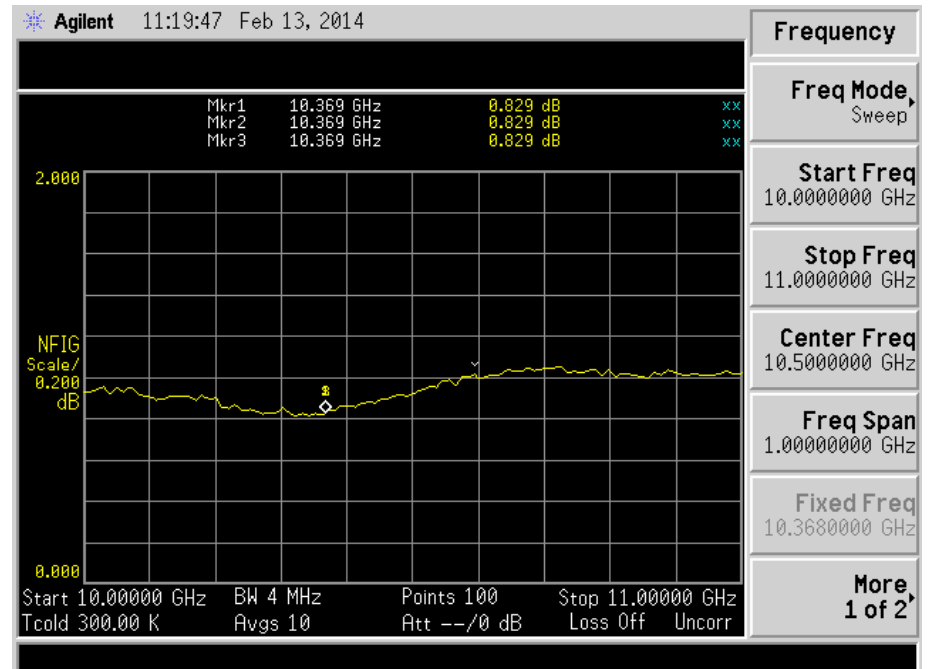
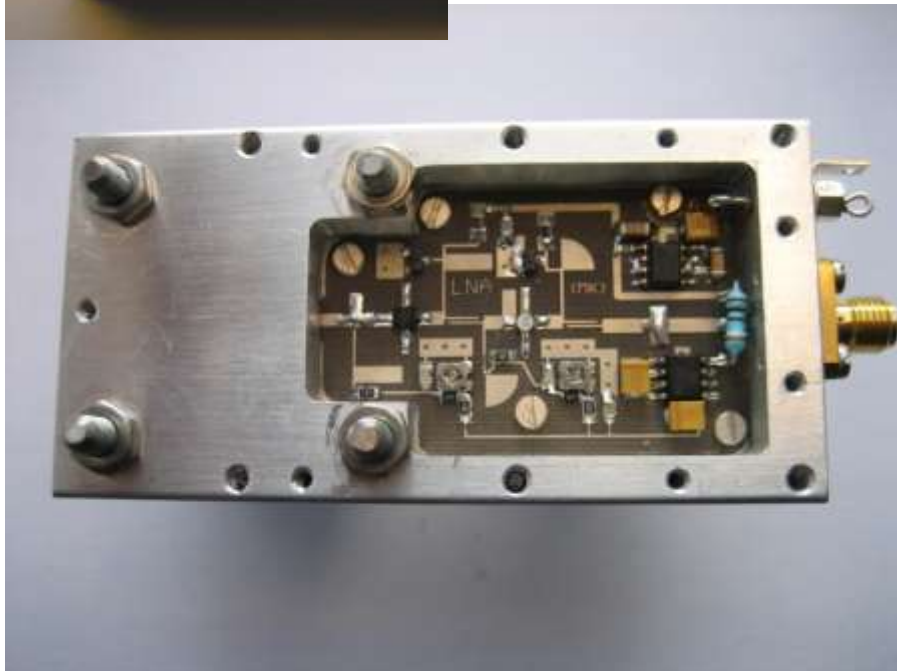


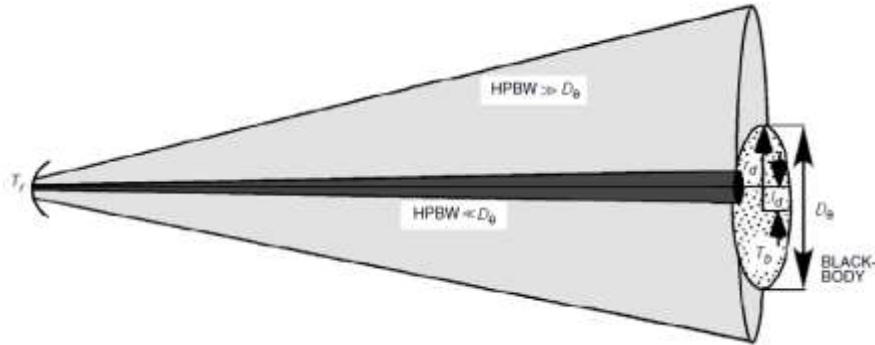
ŠUMOVÁ TEPLOTA SYSTÉMU



X-Band LNA (MK)

LNA

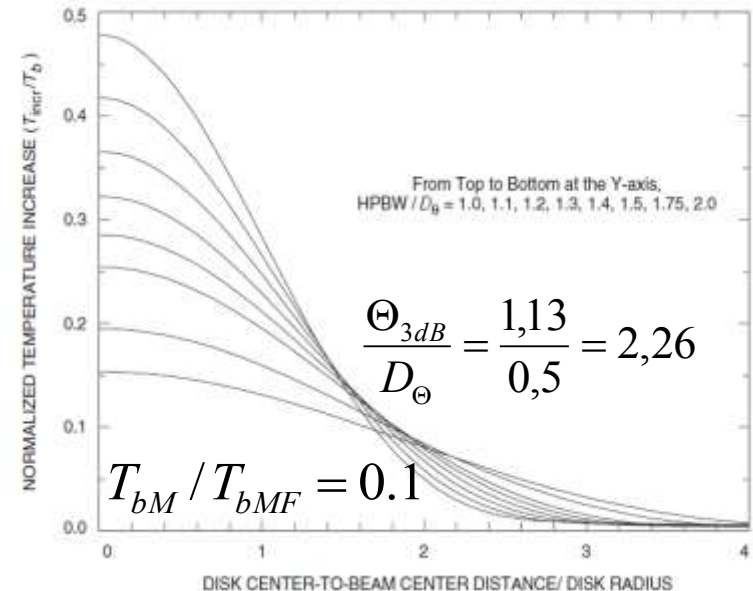
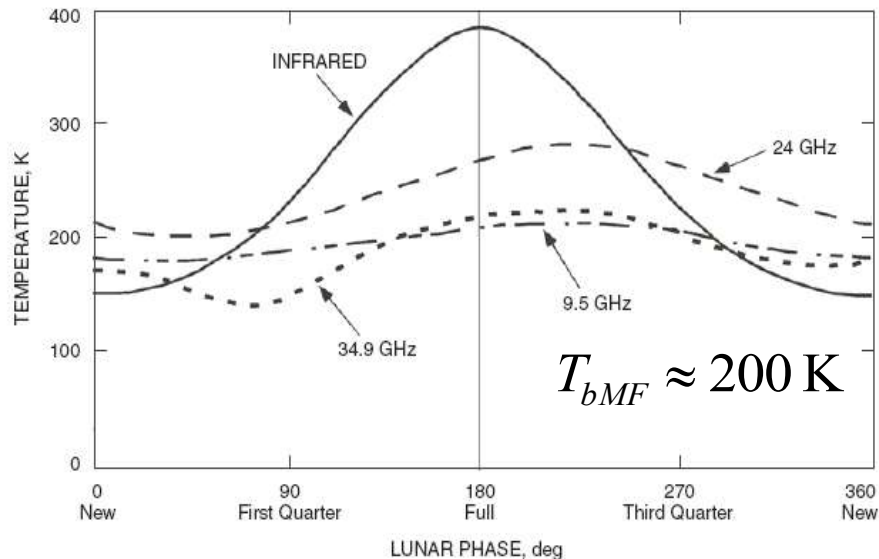




$$T_S = T_{SKY} + T_G + T_{bM} + T_{Rx}$$

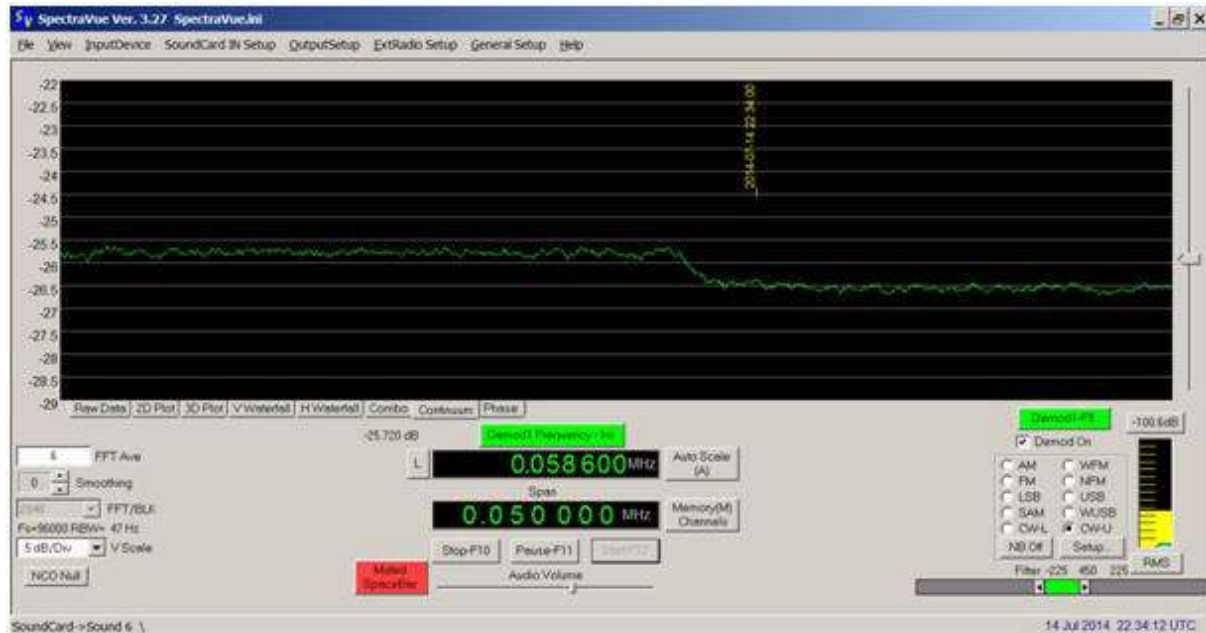
$$T_{SCS}^{F=0,7dB} = 5 + 40 + 0 + 52 = 97 \text{ K}$$

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

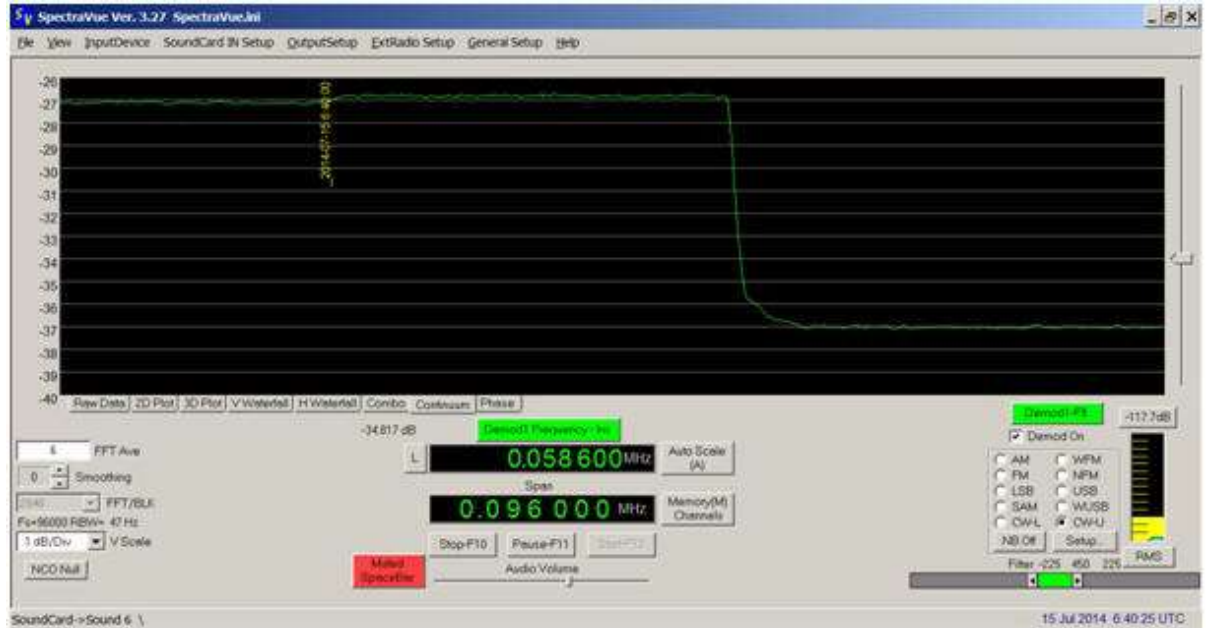


$$MN = 10 \log(T_{Moon} / T_{CS}) = 10 \log(117 / 97) = 0,81 \text{ dB}$$

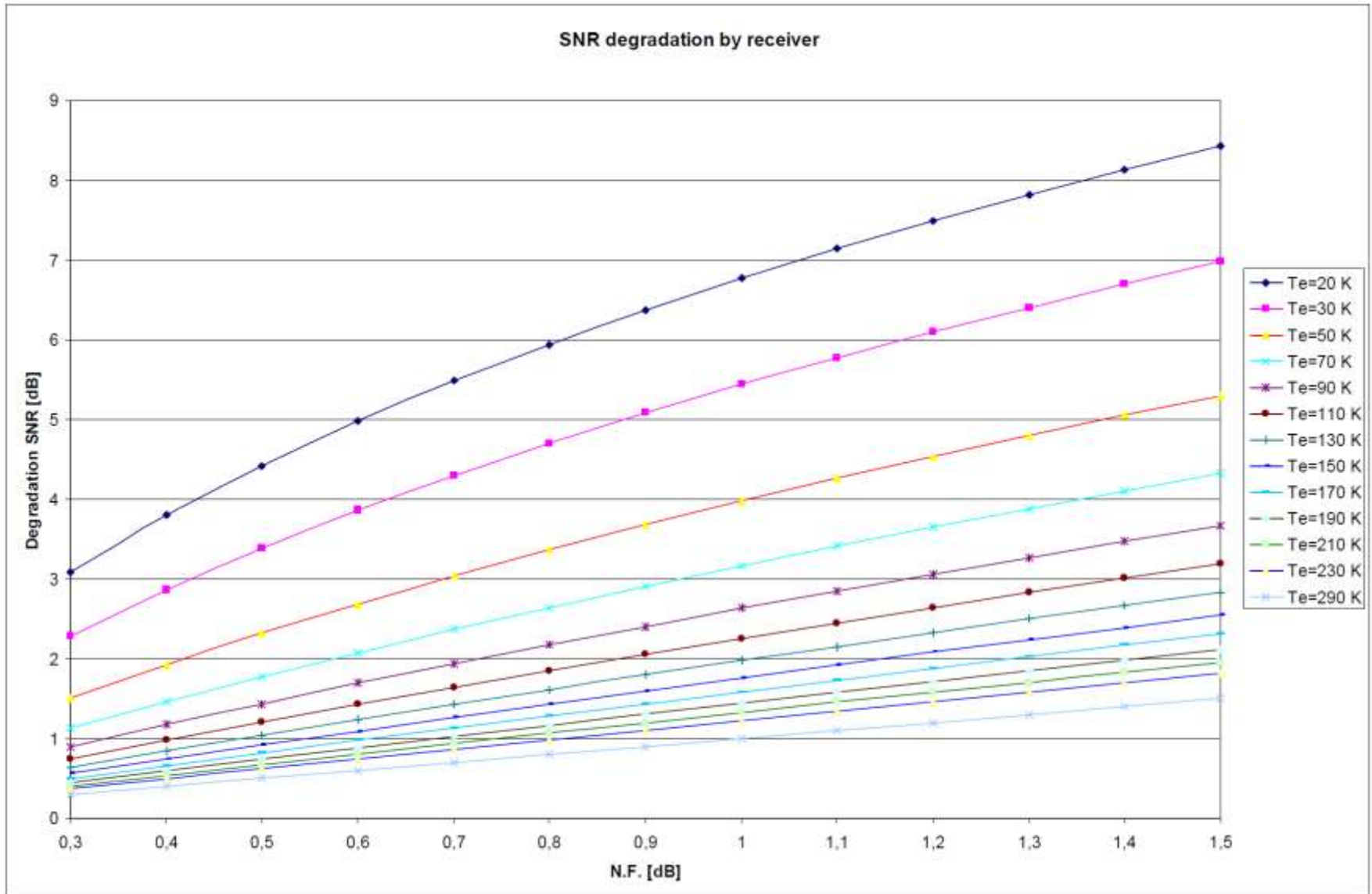
MN/CS



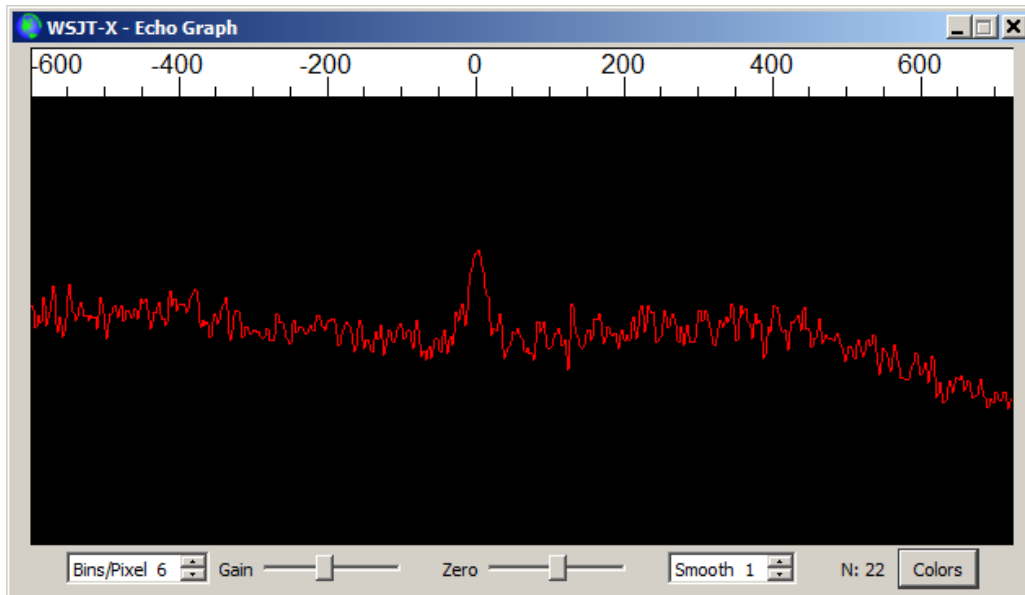
SN/CS



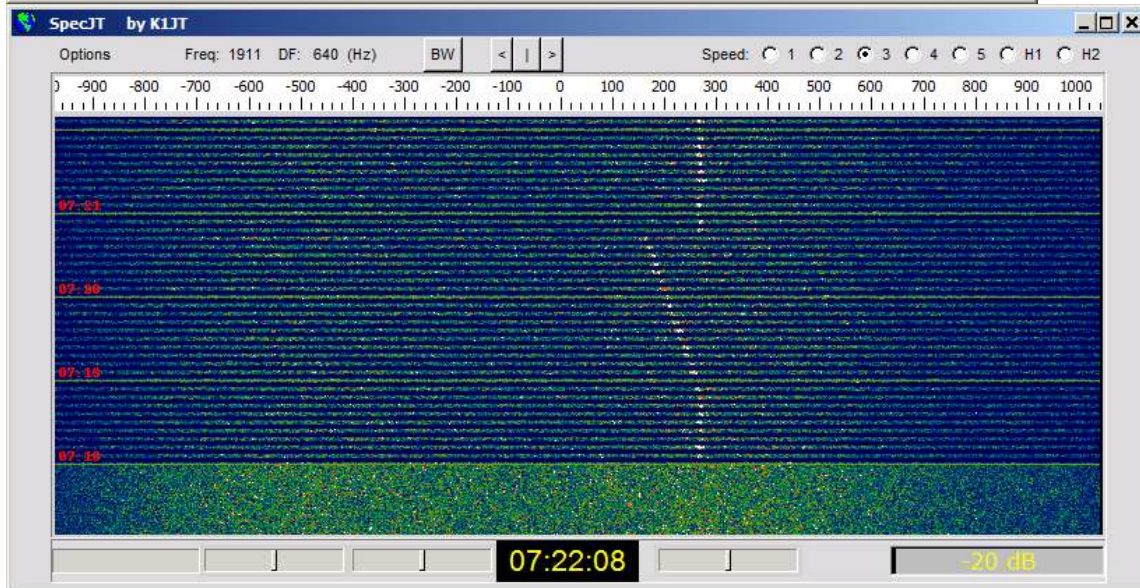
$$T_S = T_{SKY} + T_G + T_{bM} + T_{Rx} = T_e + T_{Rx}$$



ECHO



**Větší „spread“
- averaging**



Jednotlivé odrazy

SSPA



50 W GaN SSPA for 10 GHz



Drain efficiency

□ > 40 %



SSPA je v ohnisku s WG přepínačem a LNA



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

Atomový oscilátor – Cesium (GPS) nebo Rubidium



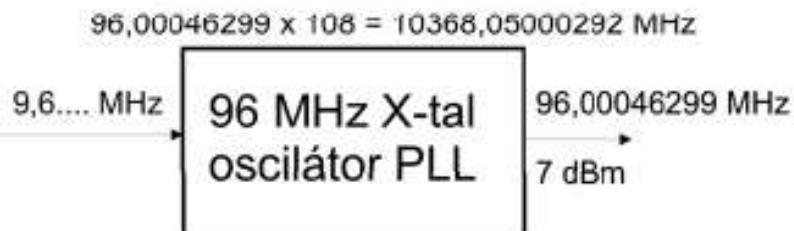
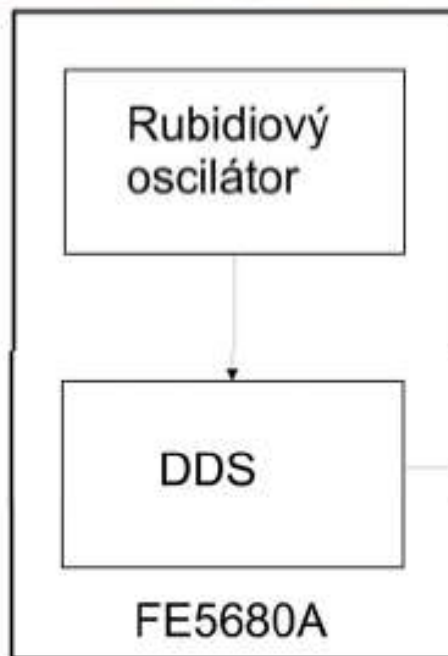
Přesný oscilátor pro mikrovlnná zařízení
(maják nebo lokální oscilátor)

Mirek Kasal



1PPS (D4)

PC - čas musí být
přesnější než 1s



KOMPENZACE DOPPLEROVA POSUVU

WSJT-X - Astronomical Data

2016 Oct 30
UTC: 10:41:46
Az: 183.3
El: 30.8
SelfDop: -1966
Width: 230
Delay: 2.69
DxAz: 231.1
DxEI: -23.8
DxDop: -9362
DxWid: 96
Dec: -9.9
SunAz: 181.3
SunEl: 26.8
Freq: 10368
Tsky: 3
Dpol: 37.3
MNR: 11.6
Dgrd: -2.2

Doppler tracking

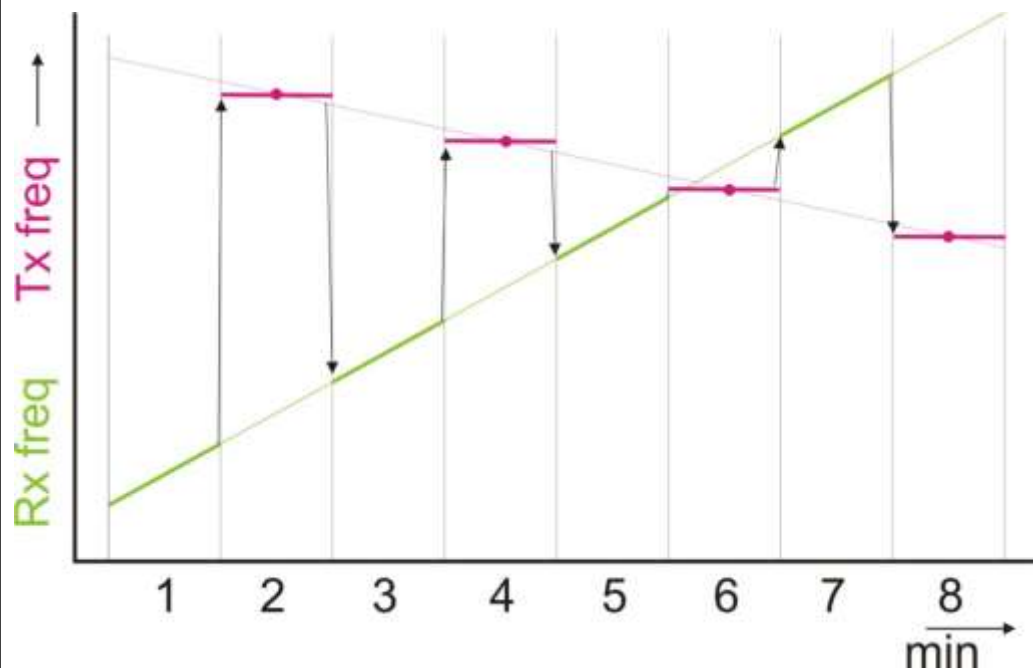
- ☐ Full Doppler to DX Grid
- ☐ Receive only
- ☐ Constant frequency on Moon
- ☒ None

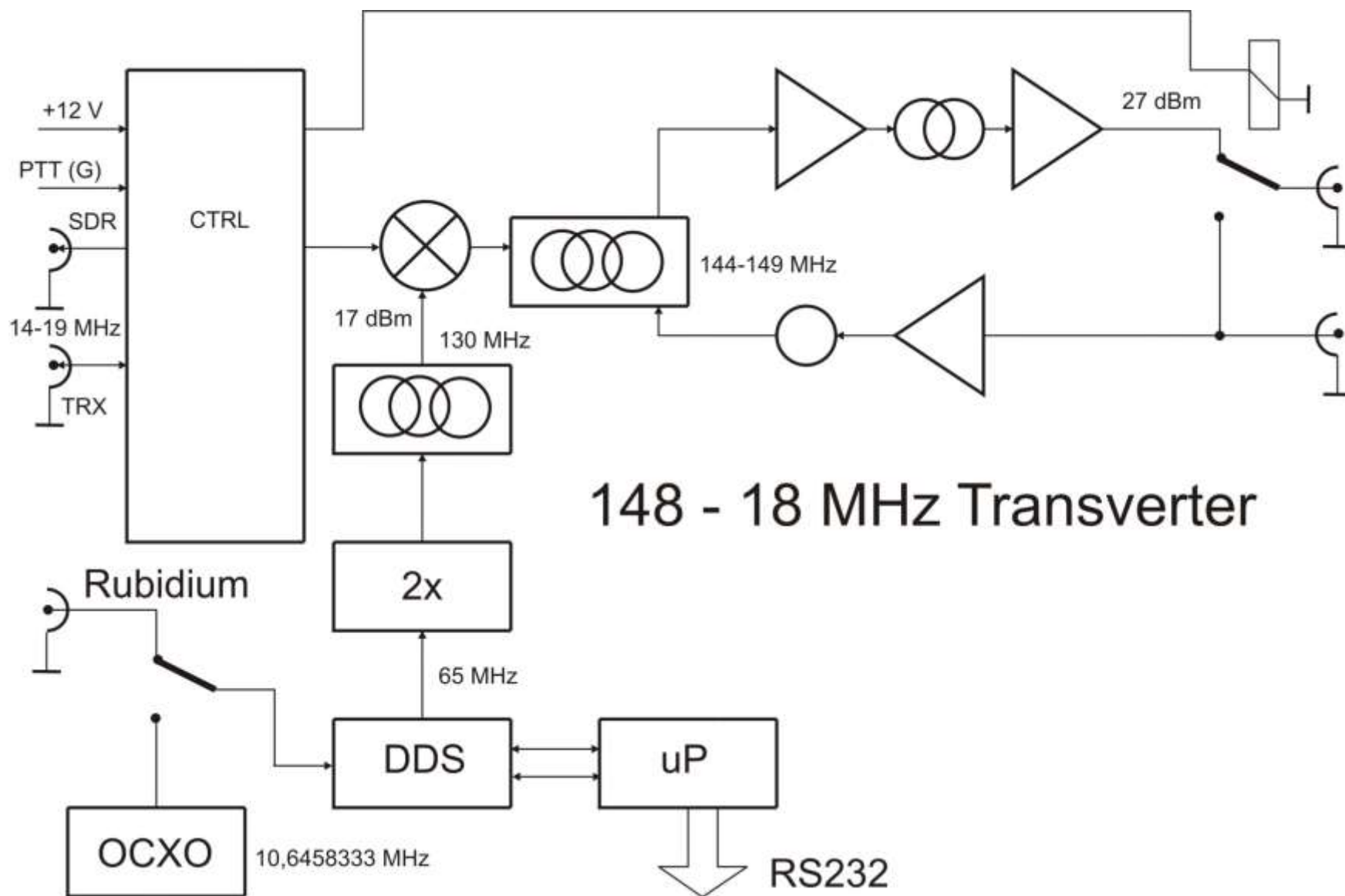
Sked frequency

Rx: 10,368.100 000
Tx: 10,368.100 000

Press and hold the CTRL key to adjust the sked frequency manually with the rig's VFO dial or enter directly into the band edit.

☒ Doppler tracking





148 - 18 MHz Transverter

WSJT-X EME DopplerShift Compensation by OK2AQ & G3WDG

Frequency	DxDopp	SelfDopp	DxEcho
10368	-11389	-21371	-1407
☐ None ☒ Full Doppler	☐ Full Doppler ☒ RxFreq ☐ 2x	☐ ConstFreqMoon ☒ TxFreq ☐ 2x	☒ On DxEcho
Period [s] 0.1	RxFull 3	21371	18:56:03 Stop
Reset			Rx



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/lina-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