



**3°**

**Meeting Autocostruttori del Sud  
e XXII Meeting V-UHF del Sud**



Acicastello (CT) President Park Hotel - sabato 17 e domenica 18 Aprile 2010

# **Misura del Phase-Noise con Strumentazione Amatoriale**

**Eraldo I4SBX**

# PHASE-NOISE

Avevo già:

l'Intermodulazione, la Modulazione incrociata, il Rumore termico, il QRM, il QRN, etc.  
Ora questo mi ha portato anche di **FASE**  
**IL RUMORE**



Se lo conosci lo **EVITI**

# Cos'è il “Phase Noise”

Il segnale generato da un oscillatore reale non consiste in una singola riga di spettro, ma ad un insieme di righe, con ampiezze che diminuiscono allontanandosi dalla frequenza centrale  $f_0$

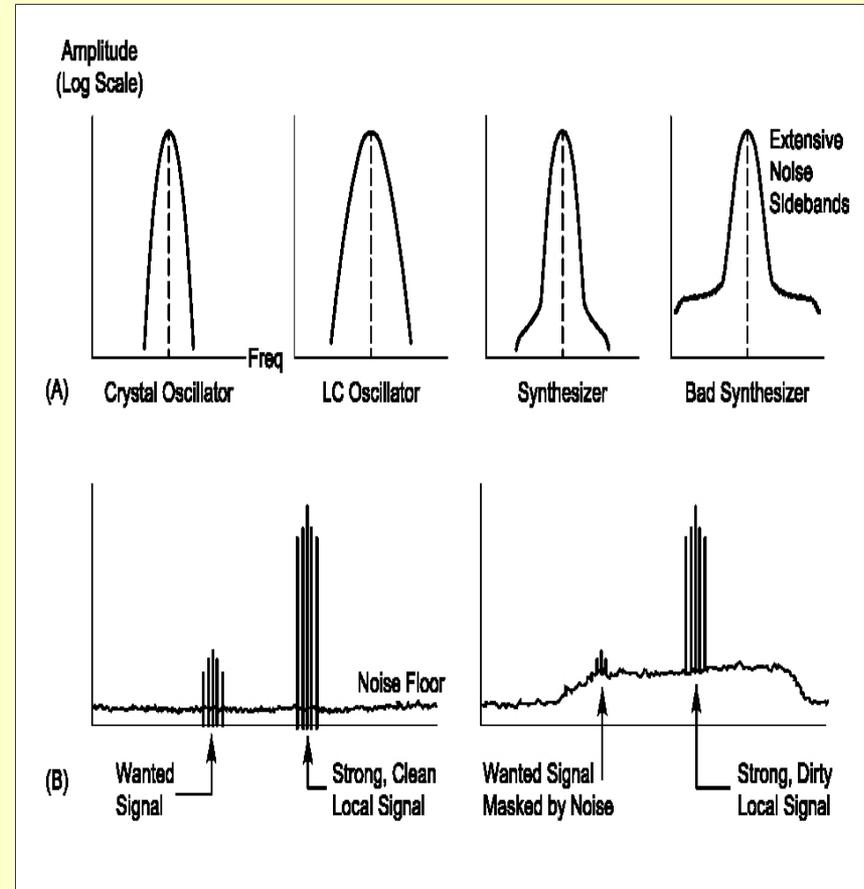
Se potessimo misurare la frequenza di ogni senoide vedremmo che questo valore non è costante e uguale a  $f_0$ , ma il valore delle frequenze di ogni periodo si dispongono in modo stocastico su una campana con il vertice su  $f_0$ , e con delle pendenze simili al fattore di qualità  $Q$ .

Alla base dello spettro troveremo l'inevitabile Rumore Termico.

$$P_n = kTB \quad [k=1.38 \cdot 10^{-23} \text{ j/}^\circ\text{K}]$$

$$P_n = 290^\circ\text{K} * 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ j/}^\circ\text{K} * 1\text{Hz} = 4 \cdot 10^{-21} \text{ W}$$

$$= \mathbf{-174 \text{ dBm / Hz}} \quad @ 17^\circ\text{C, BW}=1\text{Hz}$$



[I4SBX RR 11/2006 pag.101; ARRL Handbook 2005 Fig. 10.7]

# Alcuni effetti del Phase Noise

Disturba altre comunicazioni adiacenti.  
Aumenta l'incertezza nei risultati Radar.  
.....  
Produce Reciprocal-Mixing nei Ricevitori.

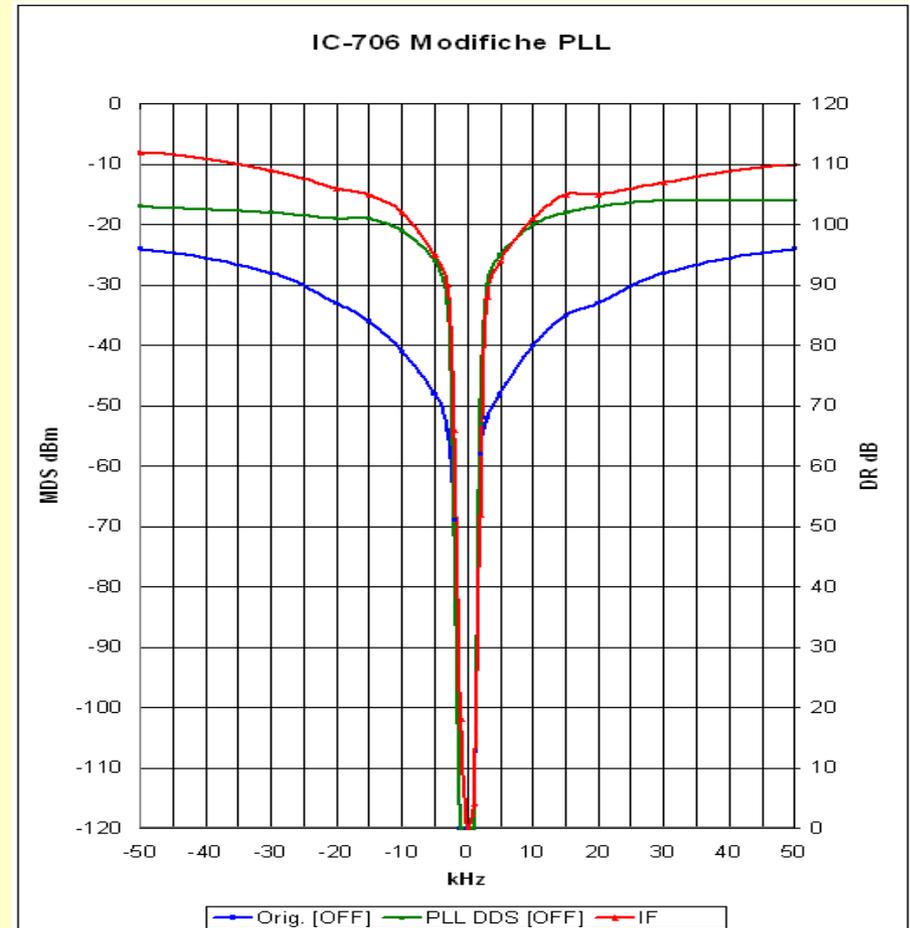
Reciprocal Mixing:

Linea **rossa**, IC-706 risposta IF SSB.

Linea **blu**, risposta effettiva a causa del Rumore del VFO.

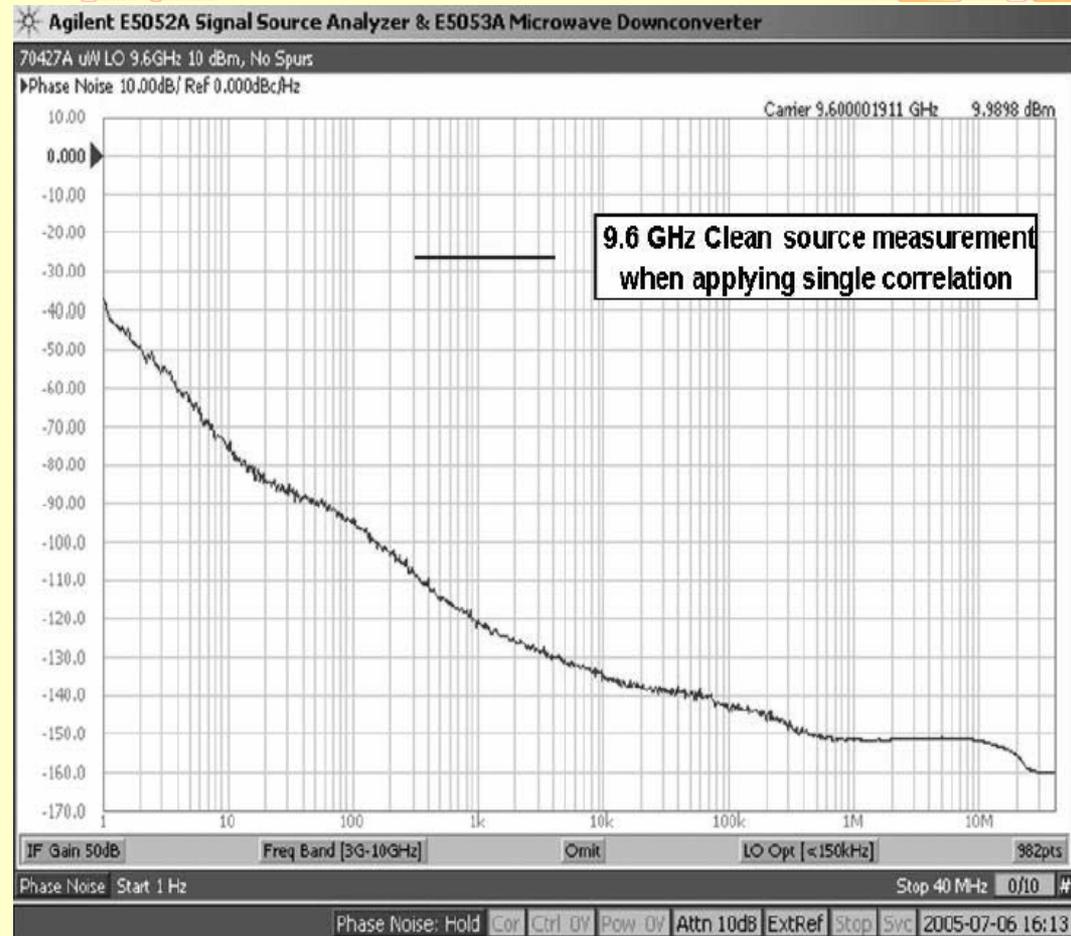
Linea **verde**, risposta complessiva con un VFO migliorato.

[2° MADS pag. 15].



# Come si Rappresenta il Phase-Noise

Asse X offset Hz.  
Asse Y dBc/Hz.



# Come si Rappresenta il Phase-Noise

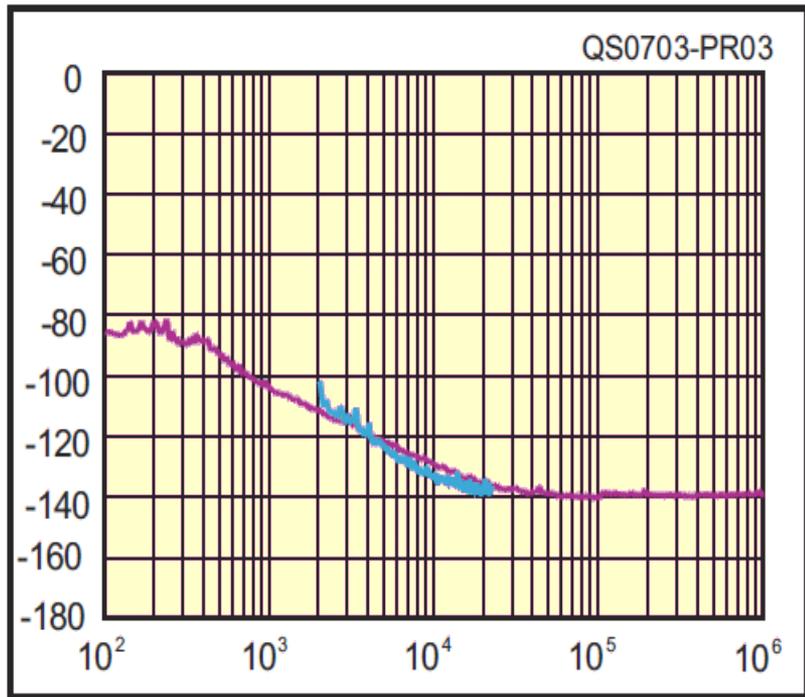
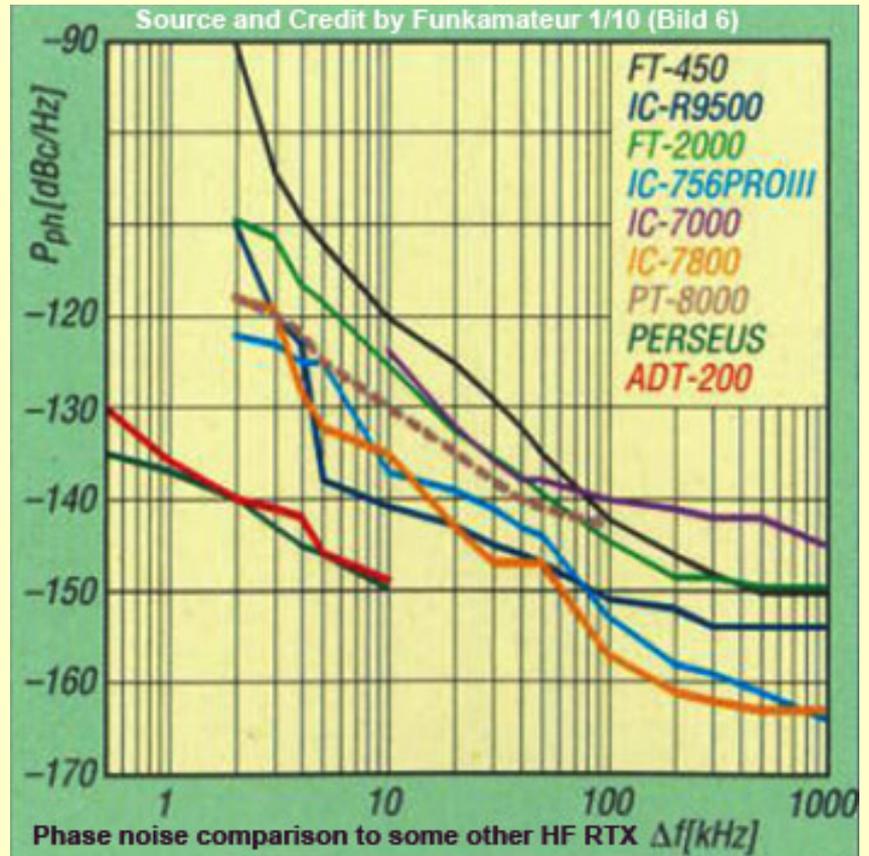


Figure 3 — Worst-case spectral display of the ICOM IC-7800 transmitter

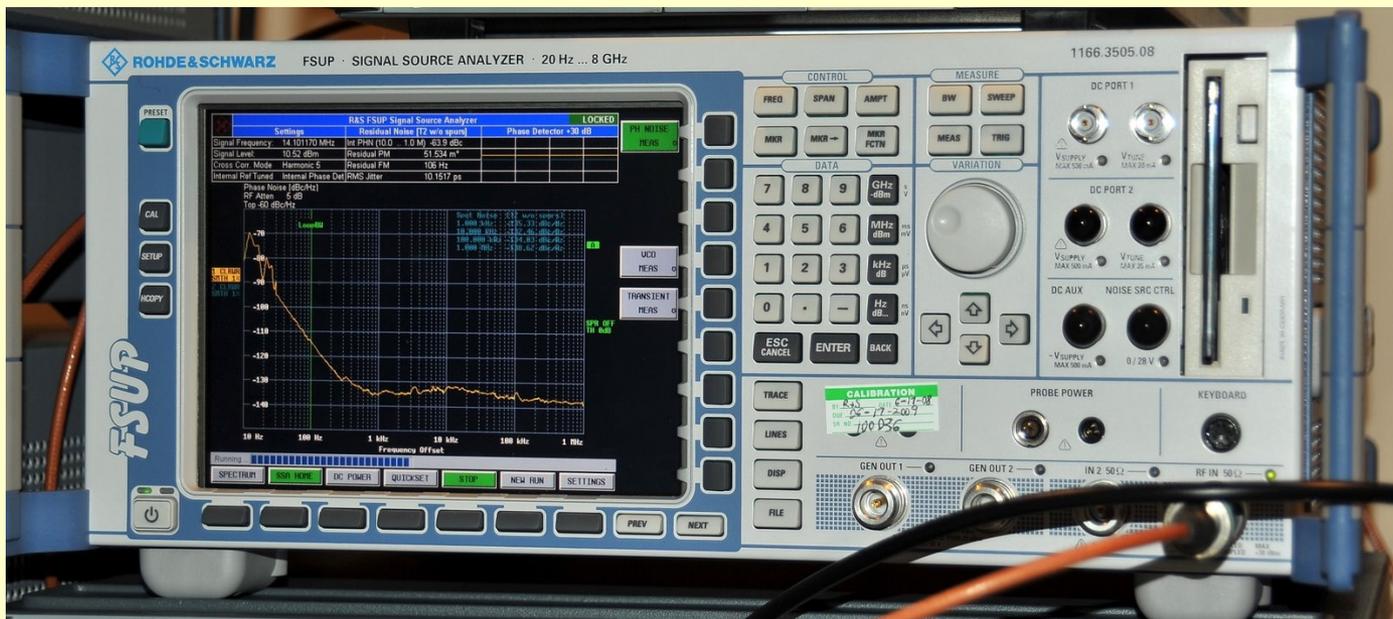
© ARRL QST March 2007



© Funkamateur 1/2010

# Misura del Phase-Noise con Strumentazione Amatoriale

Questo è uno strumento Amatoriale, appartiene ad Ulrich Rohde N1UL.

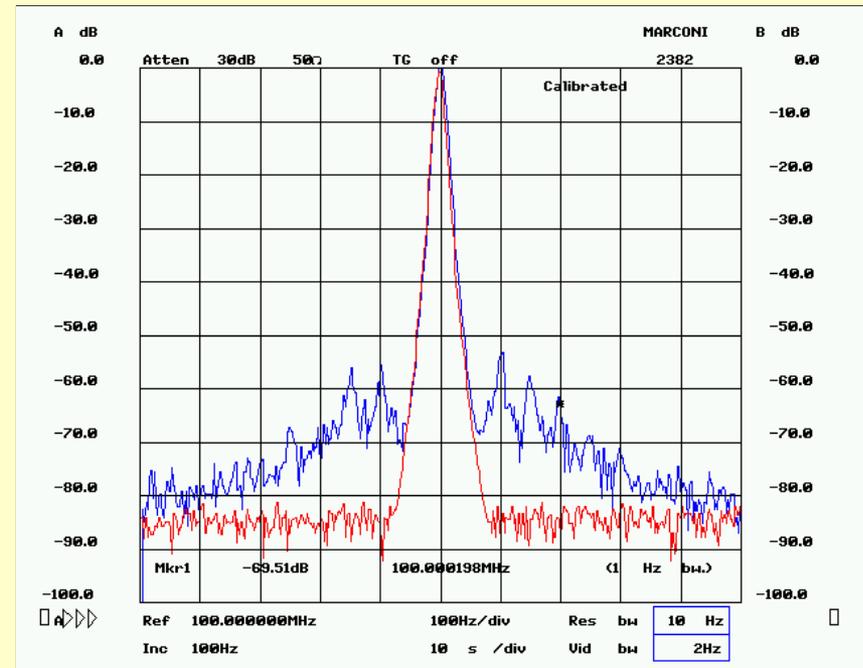


R&S FSUP Ricondizionato in offerta 39-59.000 € only.

Sullo schermo Phase-Noise del RTX ADAT-200A -134 dBc/Hz @1kHz

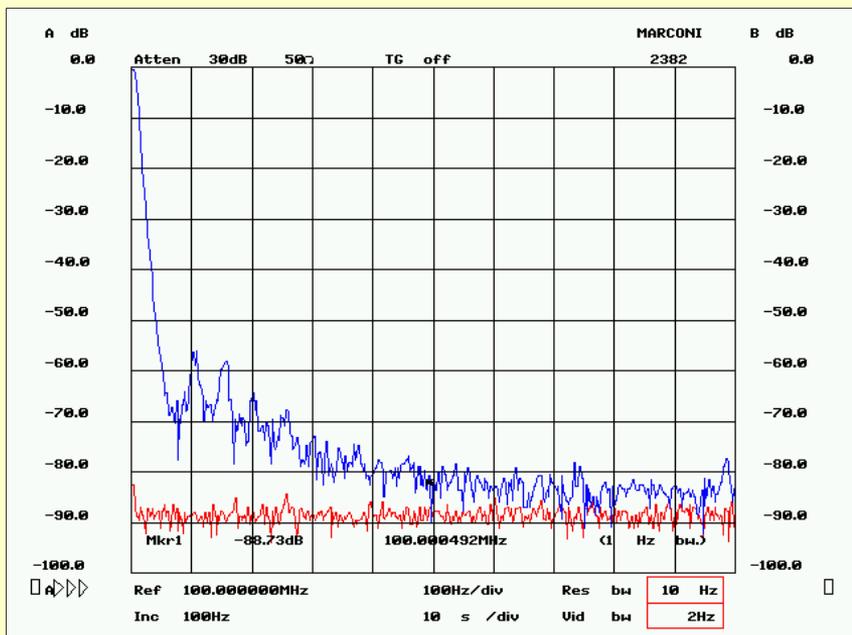
# Come si Misura il Phase-Noise

- Con strumentazione da banco ed opportuni set-up. [Notch, pll, discriminatori, delay-line.....]
- Con strumenti dedicati come esempio pagina precedente.
- Misurando gli effetti come il Reciprocal Mixing [Mads 2°].
- Con analizzatore di Spettro.
- Con sistemi FFT.
- ☺ Arrangiandosi ☺
- Esempio:
- Misura Phase-Noise con Analizzatore di Spettro.
- Calcolo Automatico compensazione larghezza del filtro.
- Linea Rossa Filtro IF e Noise strumento.
- Misura limitata a  $-95$  dBc/Hz.

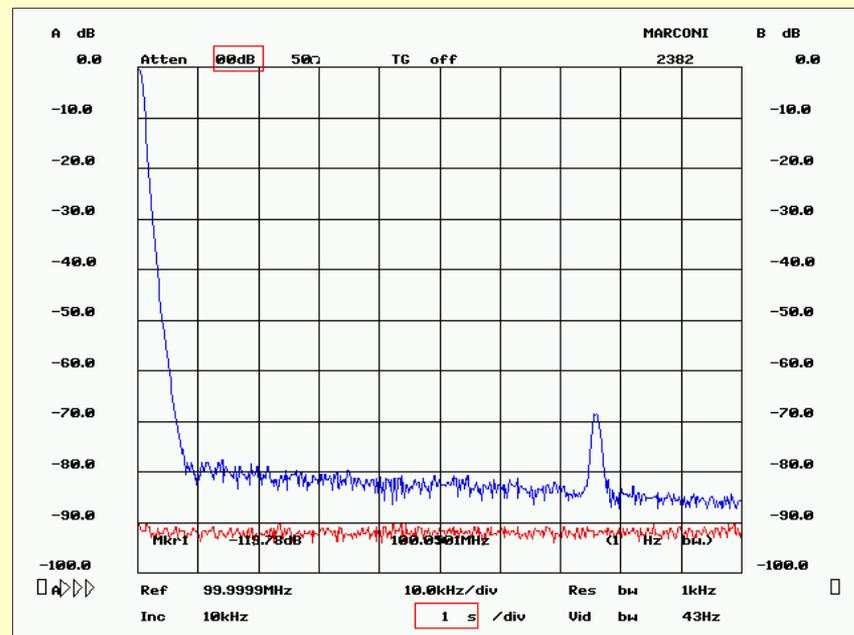


Immagini prese con pic-plot © Hotwater  
*Se li conosci non li eviti.*

# Misura del Phase-Noise con l'Analizzatore di Spettro

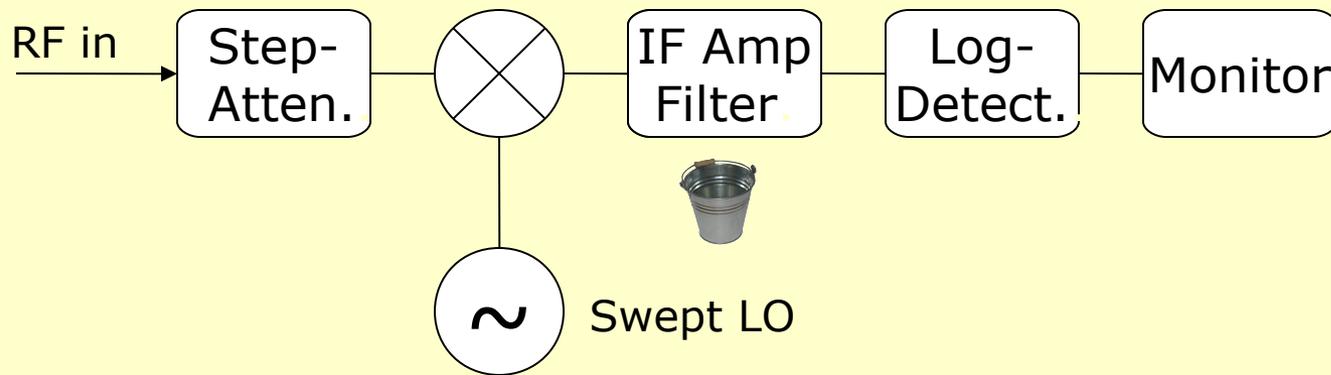


Stesso plot della pagina precedente con posizione  
 asse riferimento frequenza a sinistra. 100Hz/div.  
 BW filtro 10 Hz = -10 dBc @ 1Hz.  
 Limite misura -100dBc/Hz.  
 Linea **Rossa** Noise dello strumento.



10 kHz/div.  
 BW filtro 1kHz = -30 dB/Hz @ 1Hz.  
 Limite della misura -120 dBc/Hz.

# Schema semplificato di un Analizzatore di Spettro



- 1) Un Analizzatore di Spettro è simile ad un Ricevitore, con LO variabile, senza AGC e in genere con l'uscita rappresentata in forma logaritmica (dB) su un monitor.
- 2) Anche il Rumore del LO dell'Analizzatore influisce sulla qualità della misura, perciò il LO deve fornire un segnale di qualità migliore del segnale sotto misura.

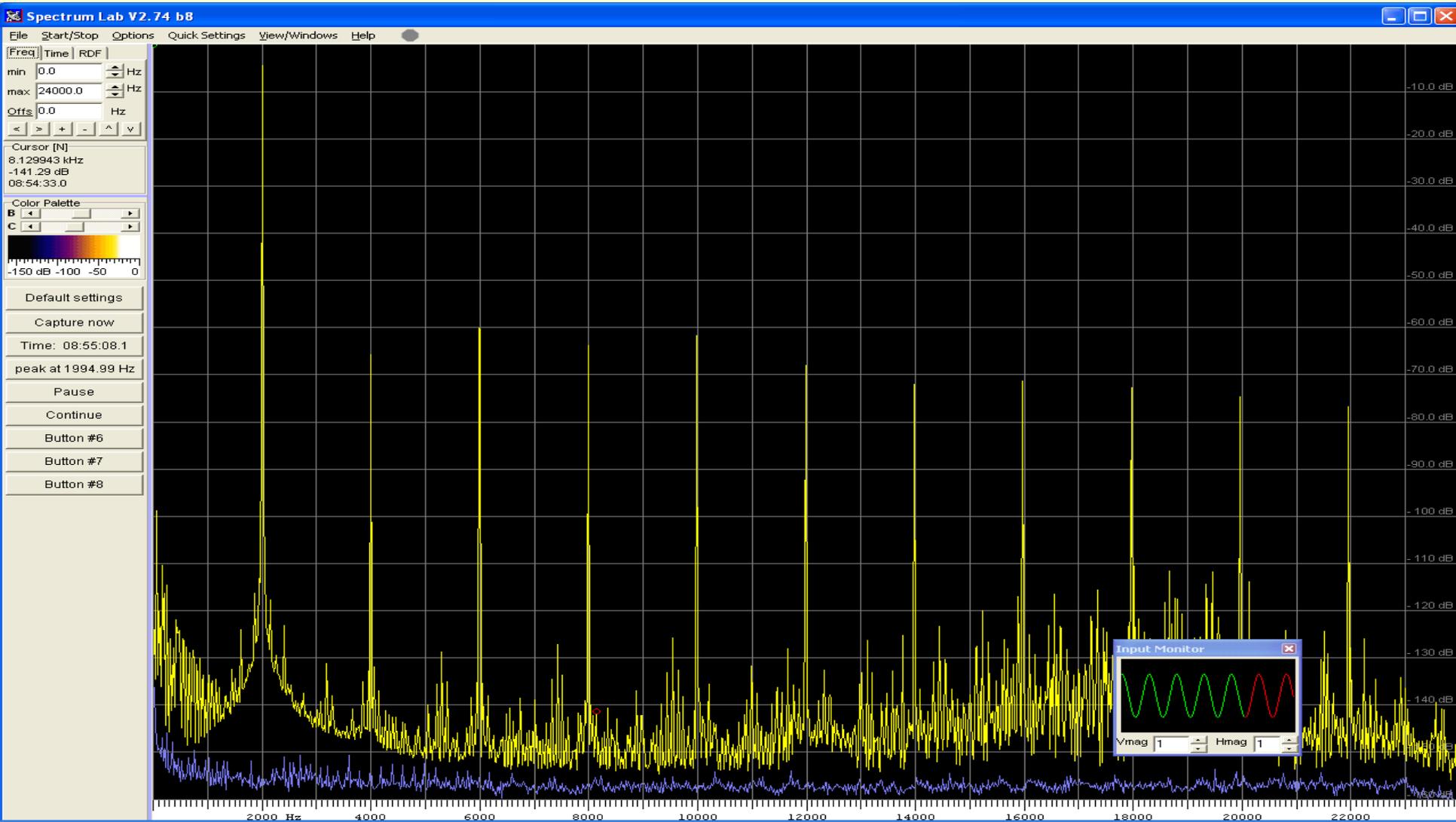
# Analizzatore di Spettro FFT (Fast Fourier Transform)

Un Analizzatore di Spettro basato sulla FFT, di solito, è realizzato con il calcolo numerico, DSP, su dei campioni del segnale d'ingresso.

Possiamo pensarlo come tanti filtri di frequenza (bin) posti l'uno accanto all'altro.



# Spectrum Lab - DL4YHF (HP-651B)



SpecLab Configuration and Display Control

TRX Control | Memory | Filenames | Wave Files | Markers | System | Freq-Resp

Spectrum (1) | .. (2) | .. (3) | .. (4) | Radio DF | FFT | Audio I/O | AD/DA Server

Vertical Frequency Axis  
 double-width waterfall lines  
 optimum waterfall average  
 triggered Spectrum more...  
 peak detecting cursor  
 emphasize MIN+MAX values  
 show spectrum as bargraph

Amplitude Grid (dB or %) Show: **Spectrum Graph or**  
 one pixel per FFT bin  
 multi strip WF, 100 pix/strip  
 non scrolling WF  
 peak holding graph, hold time (s): 5  
 long-term average clr

Maths: none

Spectrum graph area (pix) 100

Channels / Connections ...

Waterfall Scroll Interval: 341 ms

Waterfall Time Grid: Interval 60 sec, automatic

enabled  
 Style: dotted lines  
 Labels: hour:min:sec

automatic: 75 % overlap  
 smooth scroll, high CPU load

[More spectrum display settings on the next >>](#) and on the ["Radio Direction Finder" tab >>>](#)

Shown: Settings for Analyser 1, channel 1 (L)

Apply Close Help

SpecLab Configuration and Display Control

TRX Control | Memory | Filenames | Wave Files | Markers | System | Freq-Resp

Spectrum (1) | .. (2) | .. (3) | .. (4) | Radio DF | FFT | Audio I/O | AD/DA Server

FFT properties, frequency resolution

Decimate input by (divisor) 1

FFT input size ("length") 65536

FFT window function Hann

use anti-alias filter for decimation  
 same FFT params for all analyser channels

Effect of FFT settings with fs= 48.0000 kHz:  
 Width of one FFT-bin: 732.422 mHz  
 Equiv. noise bandwidth: 1.09863 Hz  
 Max freq range: 0.00000 Hz .. 24.0000 kHz  
 FFT window time: 1.365 s  
 Overlap from scroll interval: 75.0 %

FFT Type (same for all channels)  
 Type: Real FFT, starting at 0 Hz (audio)  
 Center frequency [Hz]: 0.0  
 Sweep [ Hz/sec ]: 0.0  
 Include F.O. calibrator what ?!

FFT Output  
 Type: Normal (amplitude only)  
 Unit: dB (userdef'd reference)  
 internal average (#FFTs): 8  
 smoothing (#bins): 0

Shown: Settings for Analyser 1, channel 1 (L)

Apply Close Help

SpecLab Configuration and Display Control

TRX Control | Memory | Filenames | Wave Files | Markers | System | Freq-Resp

Spectrum (1) | .. (2) | .. (3) | .. (4) | Radio DF | FFT | Audio I/O | AD/DA Server

Amplitude Range & Spectrogram Options

Range: -160 - 0 dB

Offset: -10\*log(1.09) -> -0.4 dB (expression) (calculated)

individual range/contrast/brightness per chnl  
 Visual AGC: off Ref: -100 dB

Amplitude bar (in spectrogram)  
 visible  with scale size (pix): 50

Show channels from watch-window:

display range: 100 % of full ADC swing

See also: [amplitude calibration](#)

Options for the Frequency Axis

Show grid in spectrum graph  
 Show grid in waterfall display  
 use dotted grid in waterfall  
 Split frequency scale  
 Logarithmic  LSB mirror  
 place freq scale on "other" side  
 Show Radio Station List (frequencies)

Frequency scale style: Ruler

Fixed size (0=auto) 0 pixel

Special display options

"stereo-color" waterfall for dual input  
 show labels like Ch1, Ch2, Correlation

[<<< Basic display settings on the previous tab](#) [Spectrum Colours and Trigger Options >>>](#)

Shown: Settings for Analyser 1, channel 1 (L)

Apply Close Help

SpecLab Configuration and Display Control

TRX Control | Memory | Filenames | Wave Files | Markers | System | Freq-Resp

Spectrum (1) | .. (2) | .. (3) | .. (4) | Radio DF | FFT | Audio I/O | AD/DA Server

Spectrum Reference

Visible graph Color  
 Subtract (for display only)

C:\Documents and Settings\sbx\Dc

Shown: Settings for Analyser 1, channel 1 (L)

Apply Close Help

# Audio-Cards

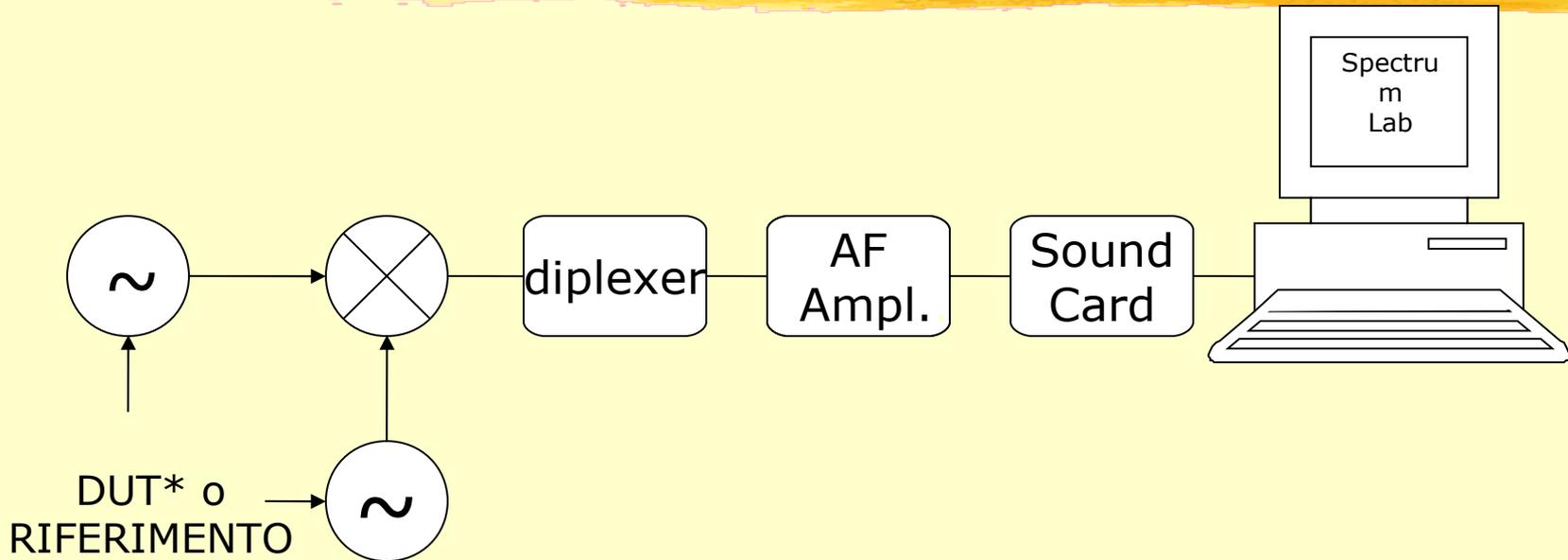
## Caratteristiche

Scheda	Ingresso	Liv.Max mV	Noise dBc/Hz
Sound Max [MME 16 bit]	Mic.	100	-118
Sound Max [MME 16 bit]	Aux (line)	400	-125
M-Audio Delta 44 [ASIO 24 bit]	-10dBV	1000	-141
M-Audio Delta 44 [ASIO 24 bit]	+4dBu	4000	-147
E-MU 1212m [ASIO 24bit]	-10dBV	1200	-158
E-MU 1212m [ASIO 24bit]	+4dBu	5000	-159
E-MU 0404 [ASIO 24 bit]	Vol_Max.	3,4	-120
E-MU 0404 [ASIO 24 bit]	Vol_Min.	2300	-151
E-MU 0202 [ASIO 24 bit]	Vol_Max.	3	-120
E-MU 0202 [ASIO 24 bit]	Vol_Min.	2240	-151

\*Le schede **Delta 44** ed **E-MU** accettano gli ingressi in modo differenziale. Sample Rate fino 96-192 kB/s

\***E-MU-0404** & **E-MU-0202** USB Cards

# Mixer + Spectrum Lab



Entrambi gli Oscillatori, agli ingressi del Mixer, contribuiscono sul rumore perciò si dovrà usare:

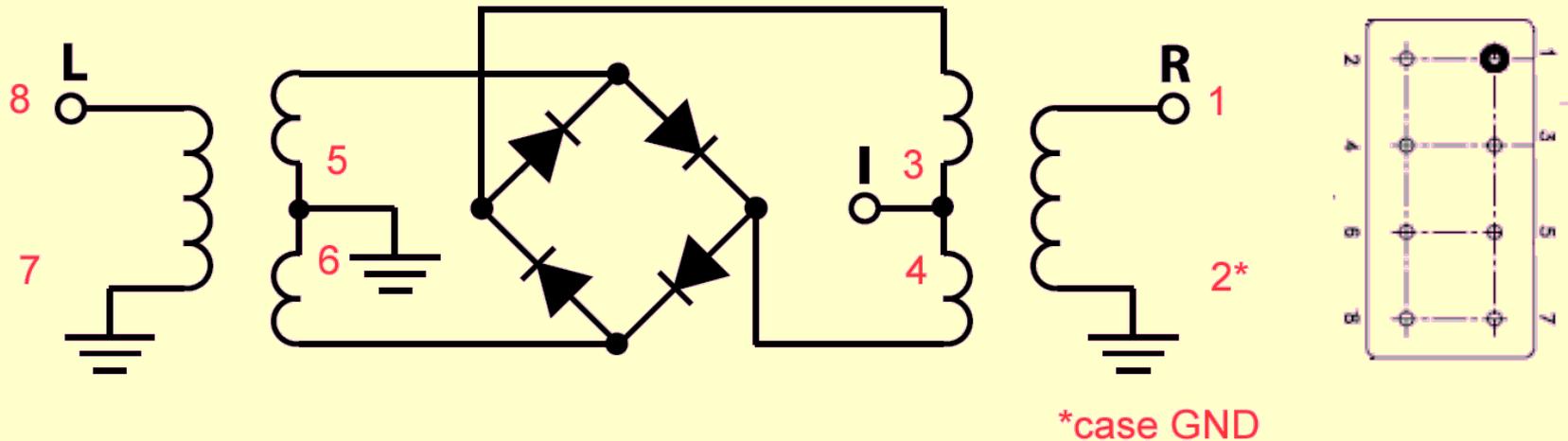
- 1) Un oscillatore molto migliore del DUT (Xtal Oscillator).
- 2) Un Oscillatore uguale al DUT sottraendo 3dB alla misura del Phase-Noise.\*\*

\* DUT Device Under Test.

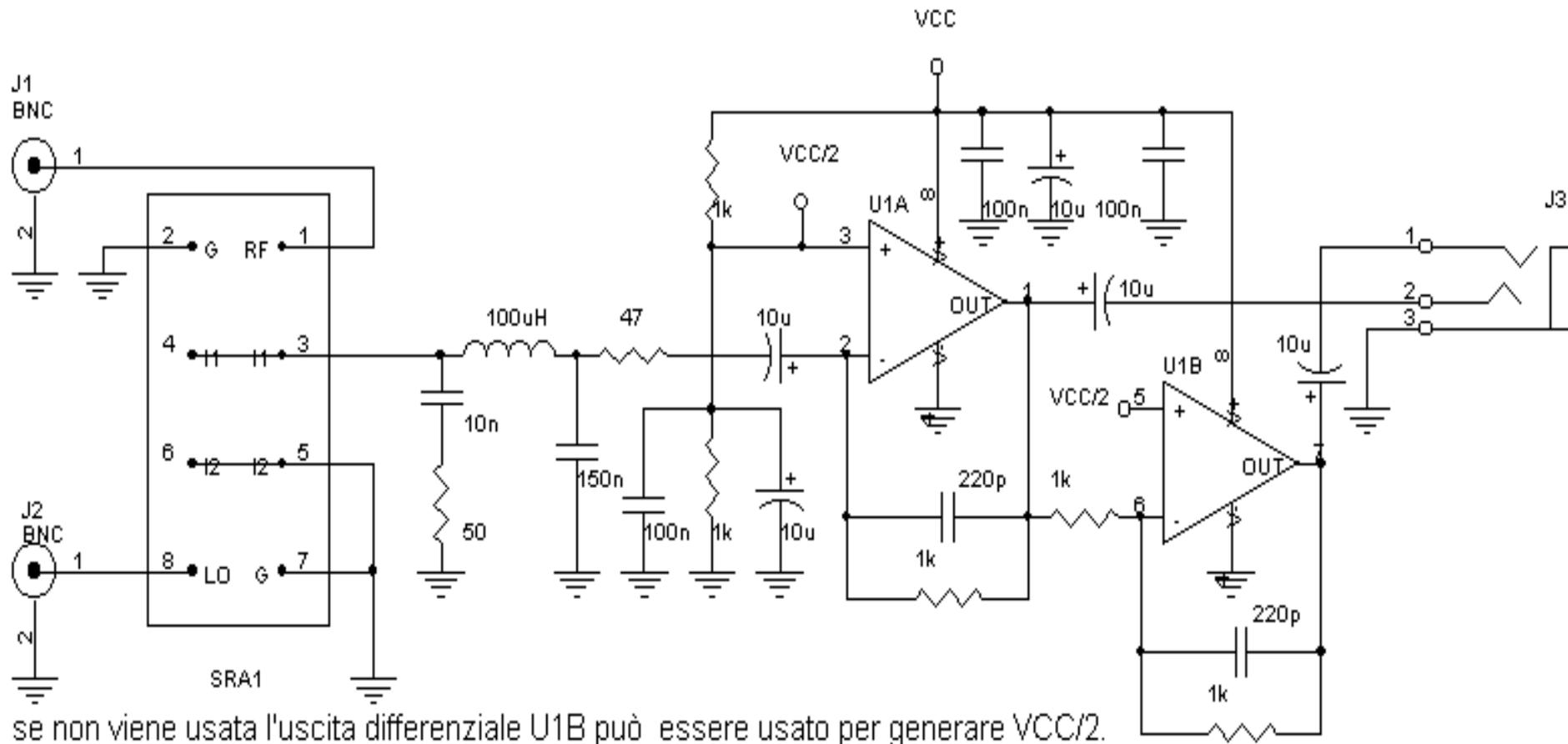
\*\*Per semplicità, il contributo al rumore degli oscillatori viene assunto uguale per entrambi.

# Mixer Doppio Bilanciati (SRA-1 & Simili)

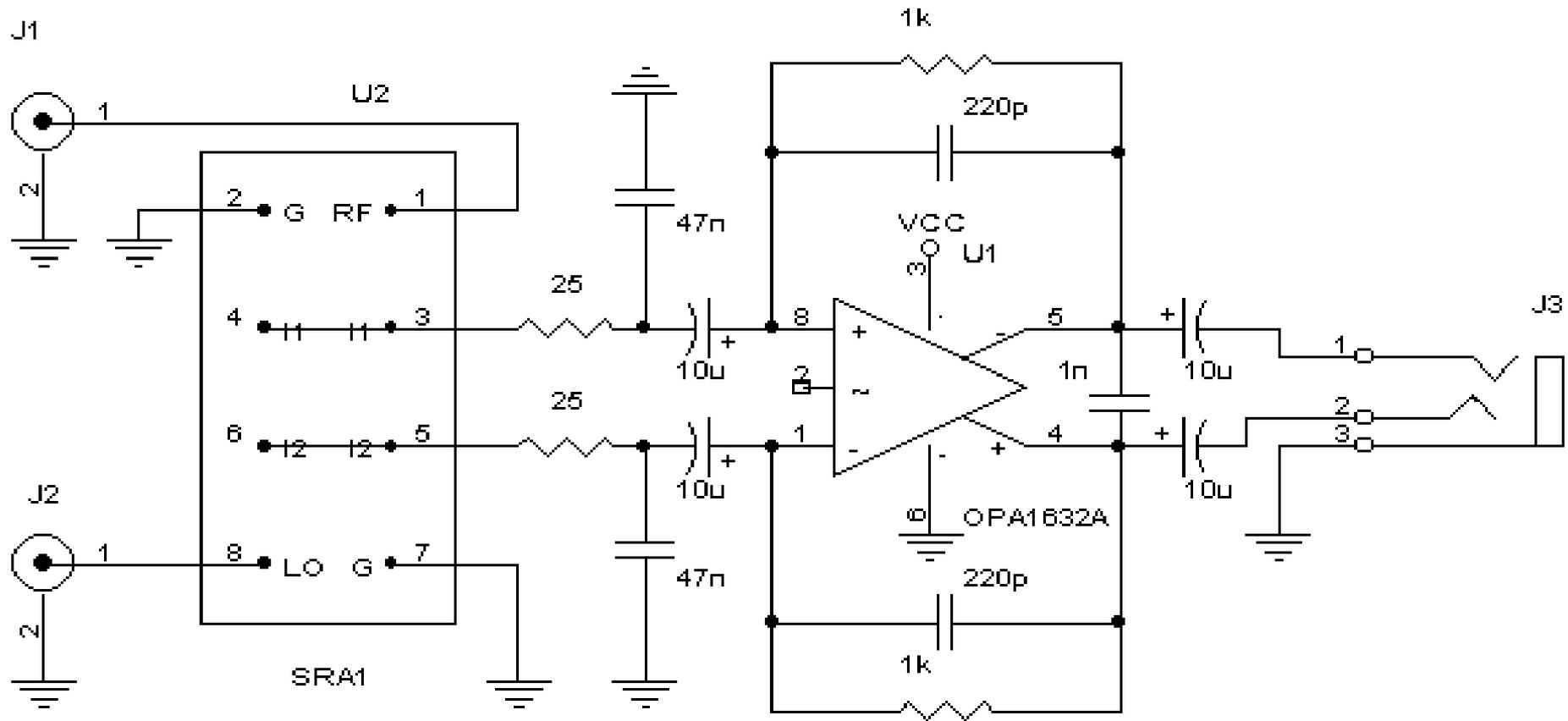
## Electrical Schematic



# Amplificatore Low Noise (LT6231, OPA2228, NE5532, [AD797], ....)



# Amplificatore Low Noise Doppio Bilanciato OPA1632



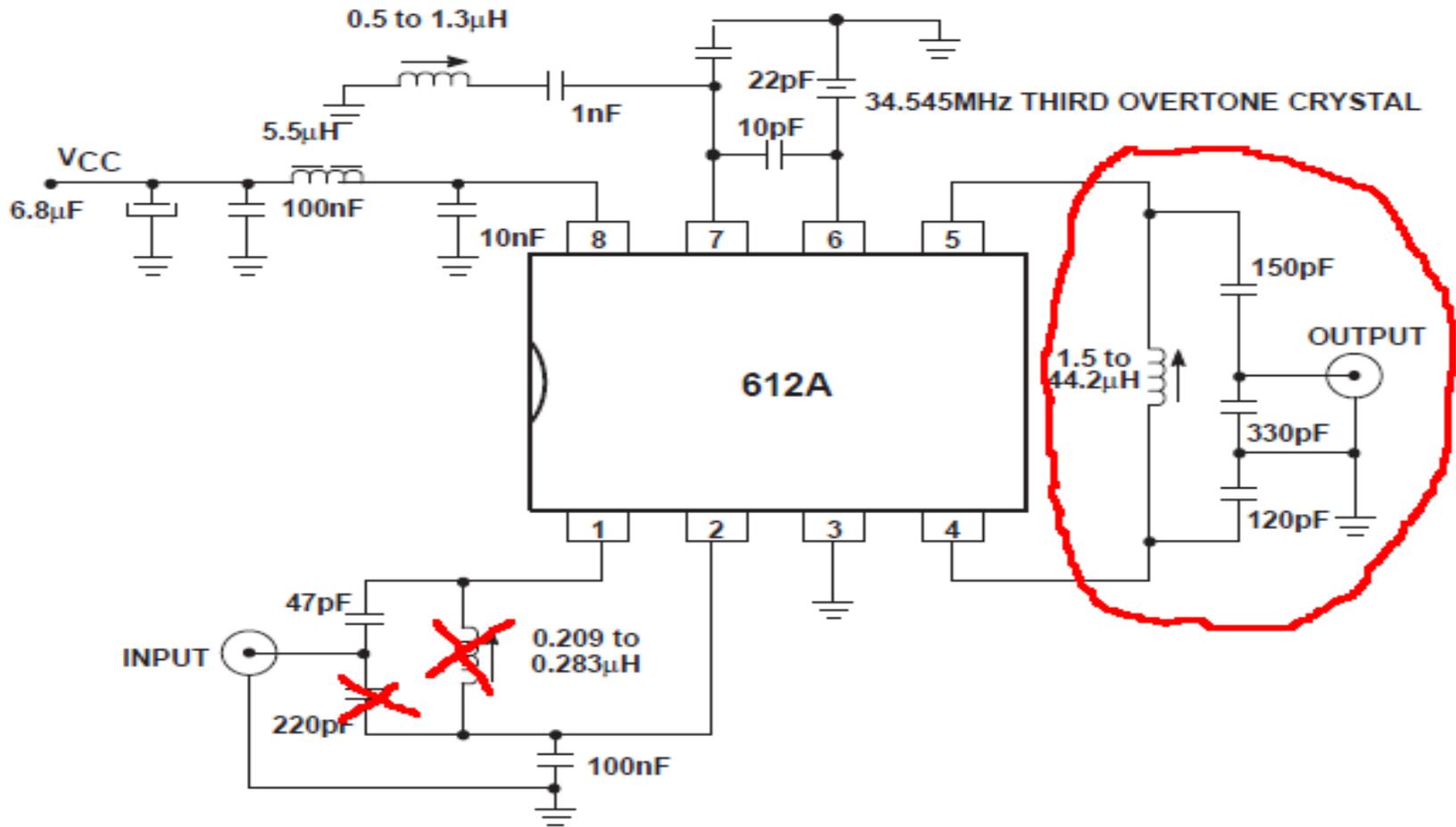
# Guadagno OpAmp

## Input $-10\text{dBV}$ (Sound Card prof.)

Mixer	LO	1dB comp.	Loss.	Out Mix	Gain min. per 1,2V
Type	dBm	dBm	dB	mV	dB
SRA-1	7	1	6	126	20
SRA-1H	17	10	6	354	11
RAY-1	23	15	6	630	6
SAY-1	23	20	6	1121	1

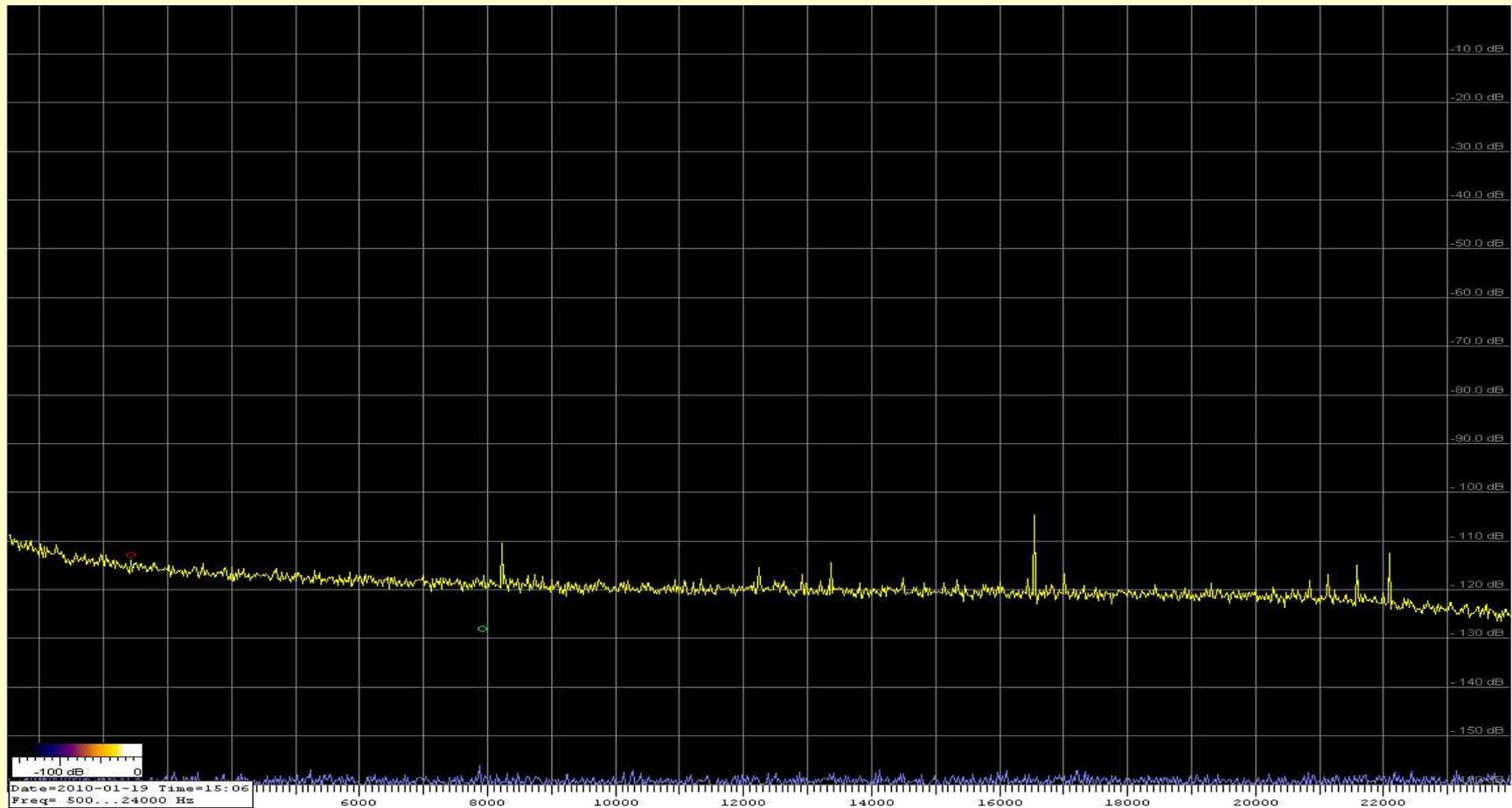
# Mixer NE602-SA602-SA612

## RF/LO 500/200MHz; Gain=14dB



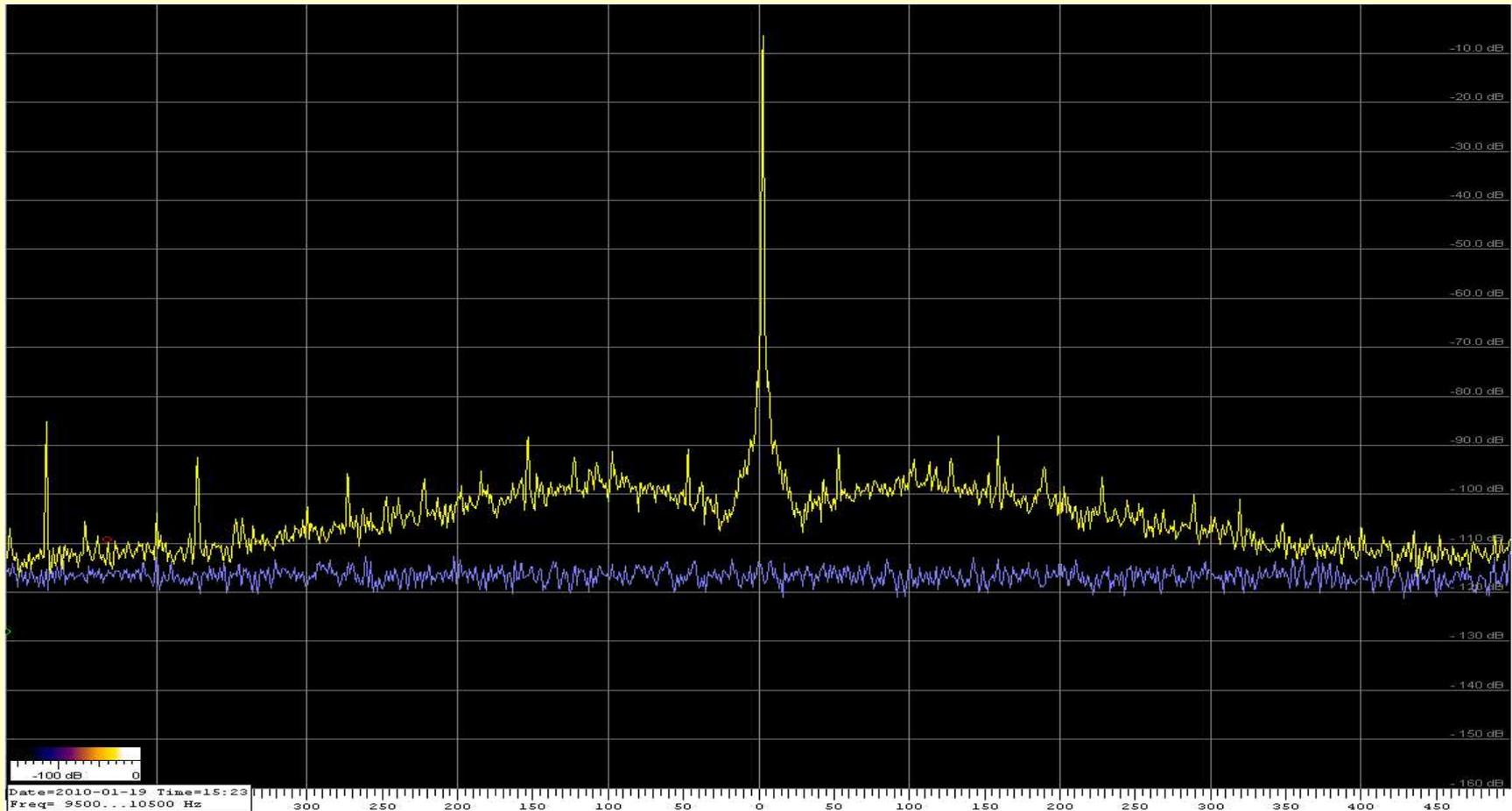
# Noise Sound-Cards

## Sound-Max / E-MU 1212m



Span=1kHz/div

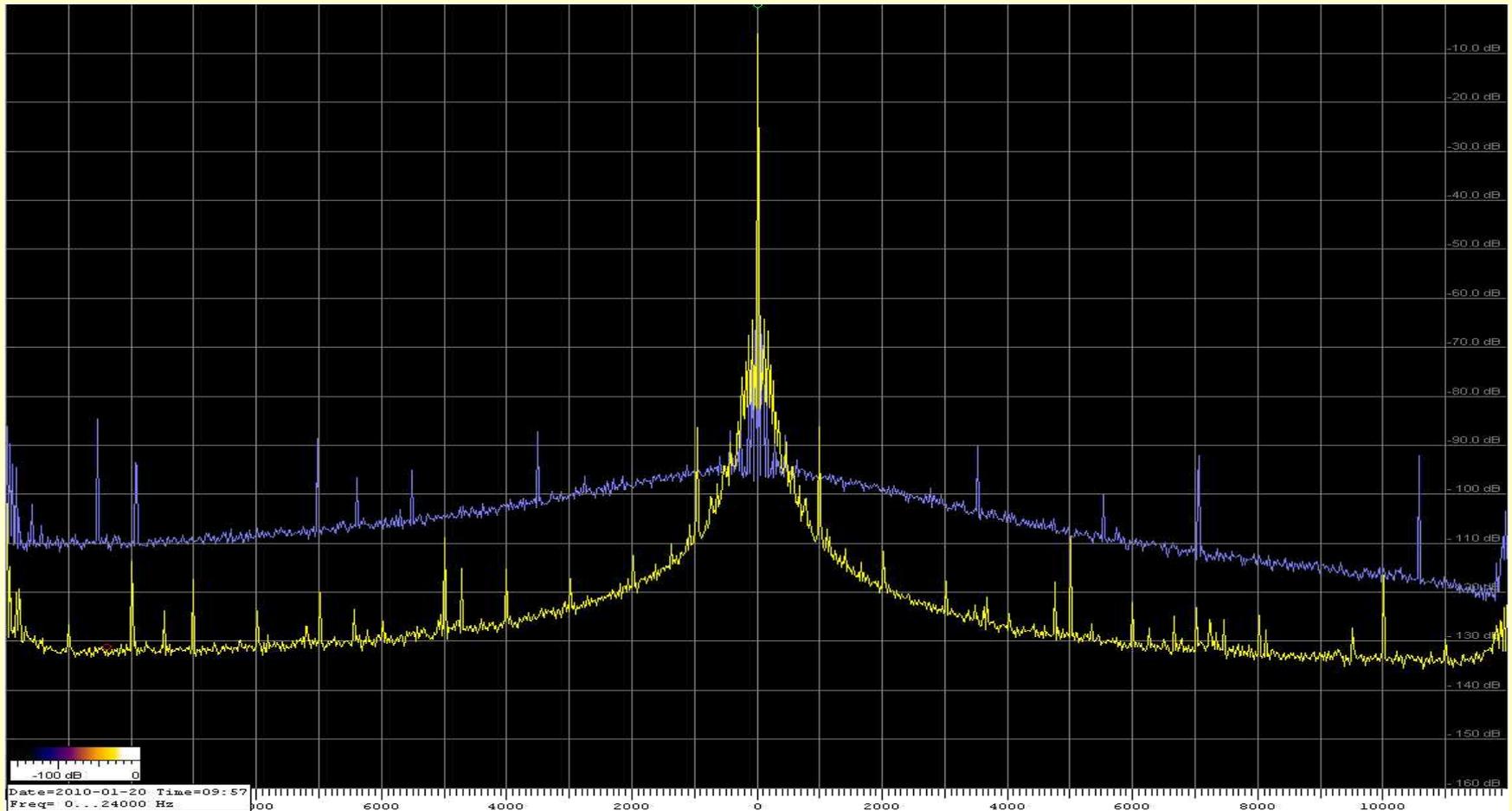
# Marconi 2019A (HP-8640) Sound-Max (C-Media)



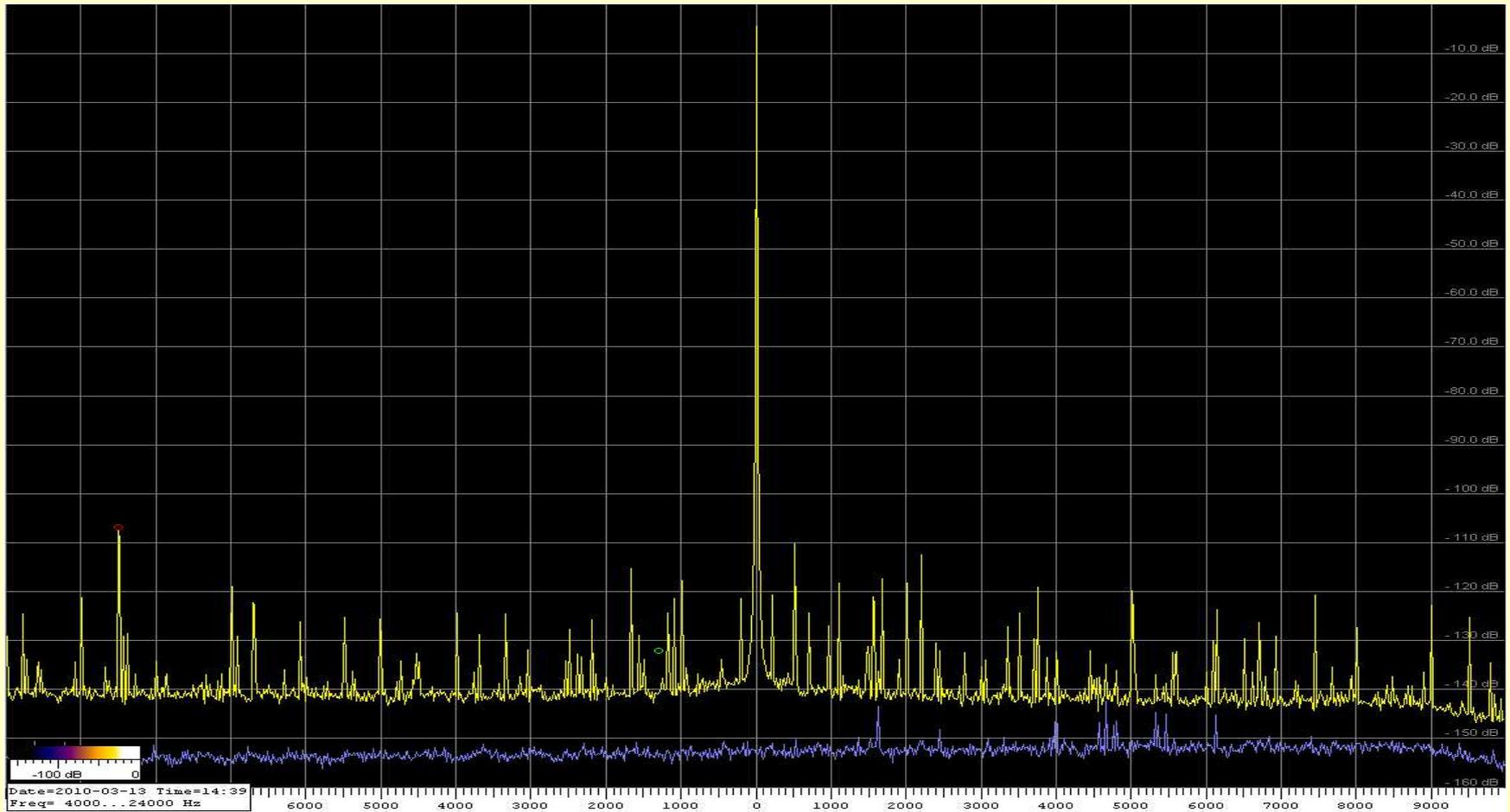
Span=100Hz/div

# PLL IC-706

## Marconi 2019A

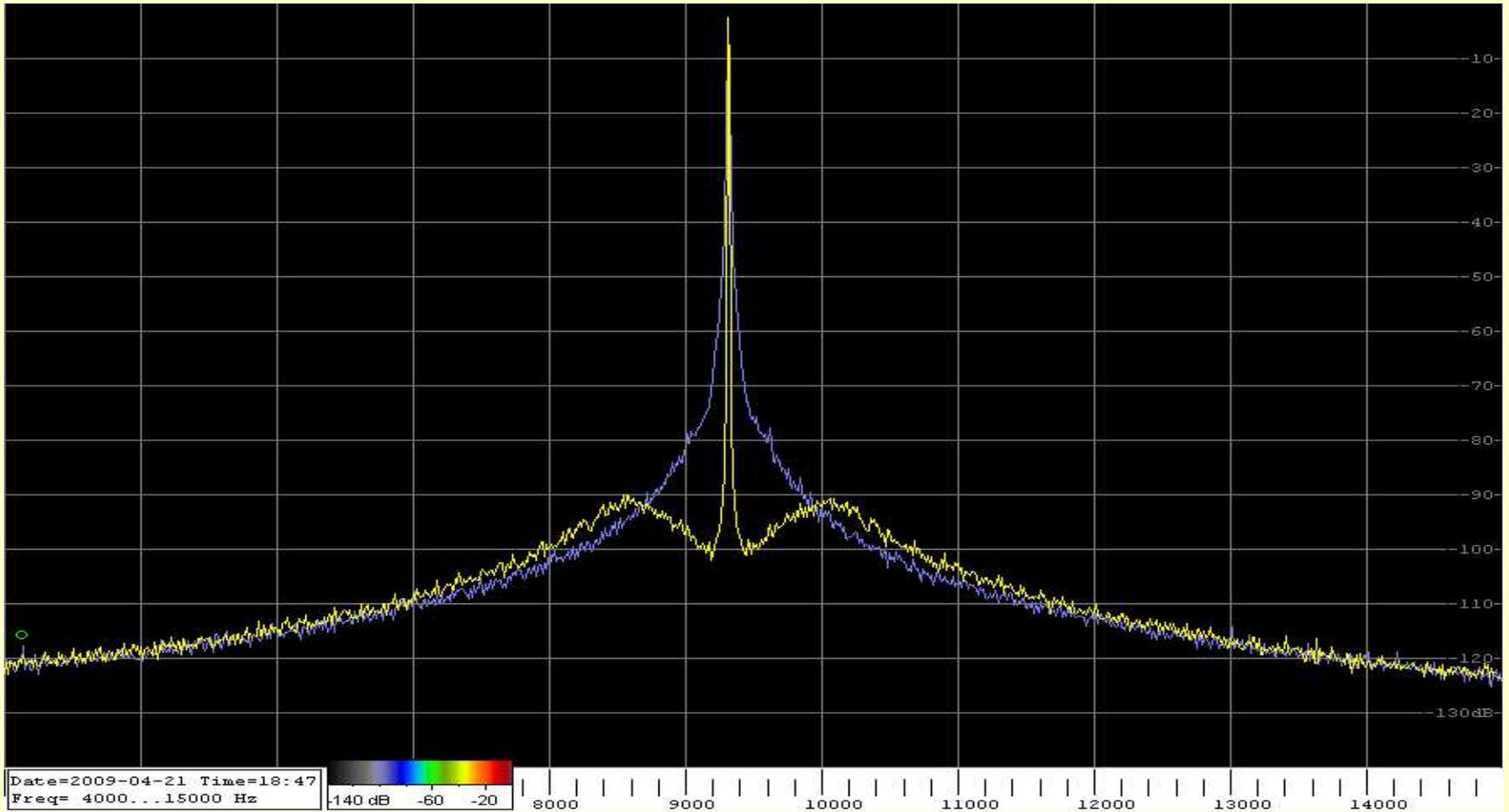


# 2xDDS (DAC 12bit)



# 4046-9046

## Osc. UHF / PLL ~6.4 MHz

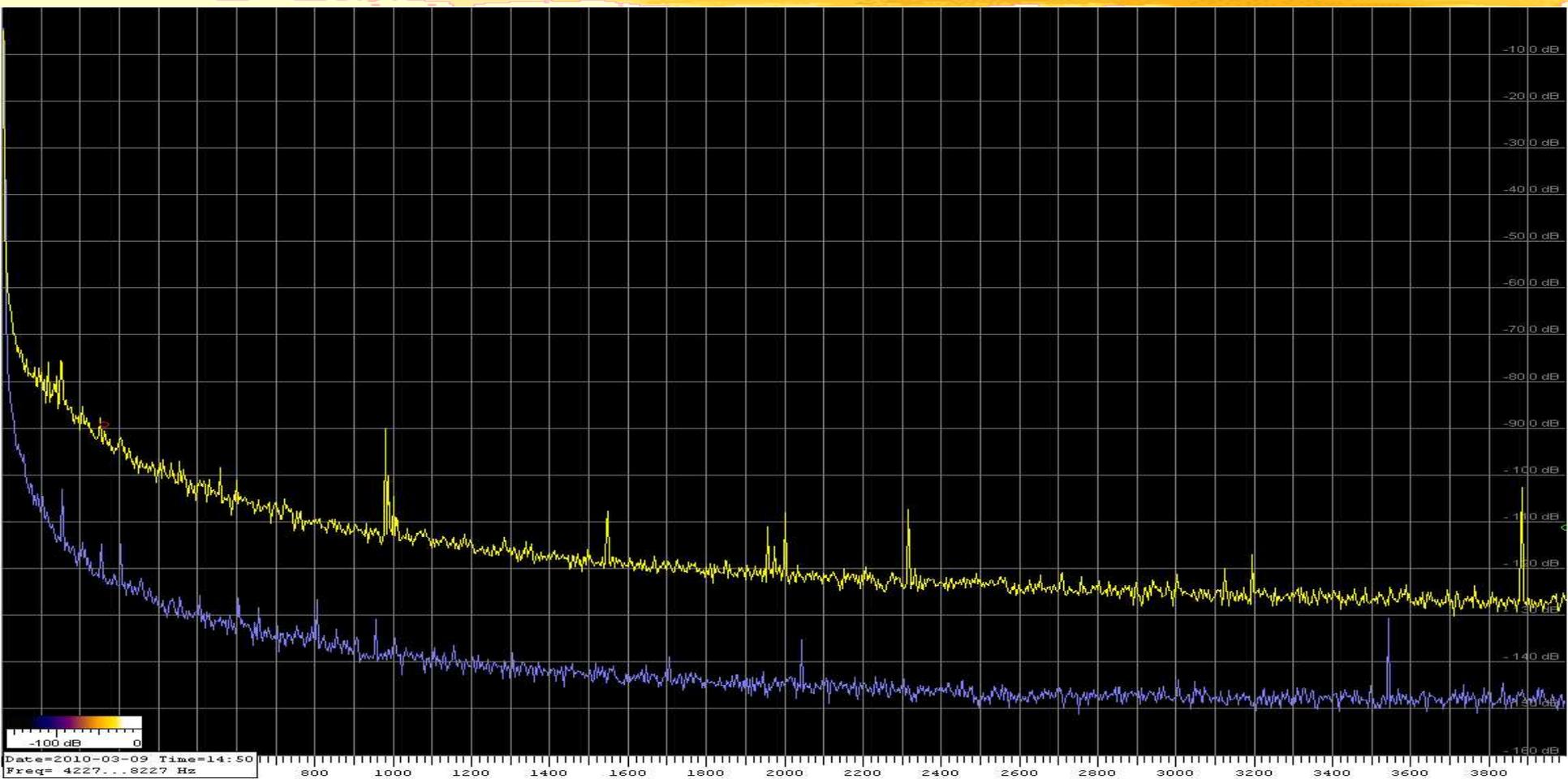


Span=100Hz/div

# FSPU R&S di N1UL (Phase-Noise ADAT-200A)



# 2x Xtal Osc. & 2x 2019A ( $f_0$ 27 MHz)

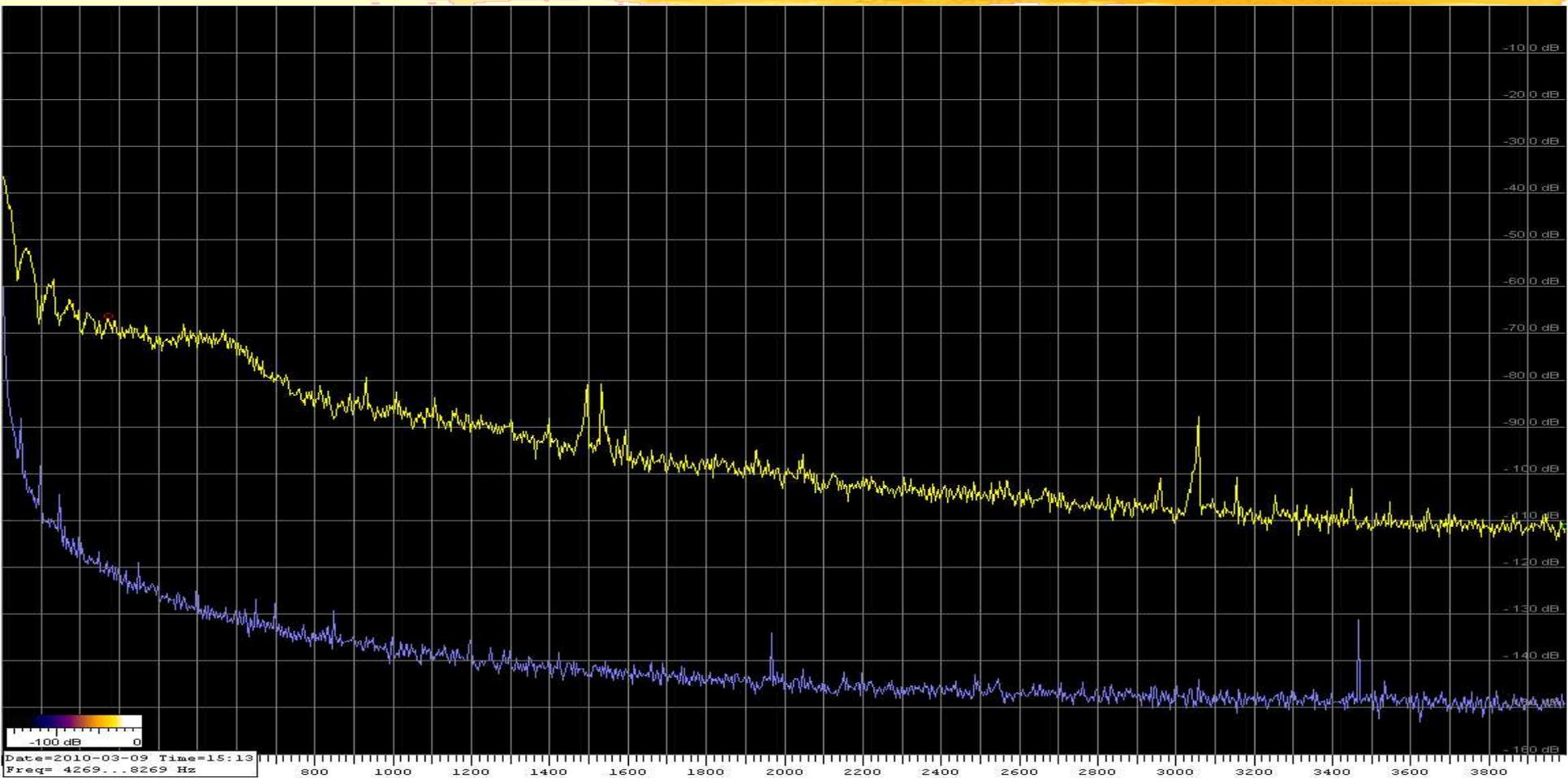


3° MAdS

Misura del Phase-Noise

Span=100Hz/div  
27

# 2x Xtal Osc. & SMFS (R&S) ( $f_0$ 27 MHz)



Span=100Hz/div

3° MAdS

Misura del Phase-Noise

28

# **3° Meeting Autocostruttori del Sud**



**Questo è ciò che sono riuscito ad  
ottenere con pochi €uro e tanta  
pazienza.**

**Grazie per l'Attenzione**

**73 de**

**I4SBX Eraldo**

**[i4sbx@libero.it](mailto:i4sbx@libero.it)**