

## Misura del Rumore degli Oscillatori con strumentazione Amatoriale.

Relazione presentazione MadS 3°, Acicastello (CT) 17-18 Aprile 2010.

I4SBX Eraldo Sbarbati

- 1) Grazie agli Organizzatori per avermi invitato a questo Meeting e grazie ai Partecipanti per essere intervenuti.
- 2) Continuando sulla strada intrapresa dal 2° Merting cercherò di dimostrare come fare delle Misure con risultati professionali, ma con i mezzi a disposizione di ogni Radioamatore. Misureremo il Rumore degli Oscillatori.
- 3) Il segnale generato da un oscillatore ideale dovrebbe contenere una sola riga spettrale (monocromatico), purtroppo non è così. Un oscillatore a quarzo (alto Q) sarà spettralmente migliore di un oscillatore LC. Un PLL migliora un Oscillatore solo nell'intorno alla  $f_0$ . Alla base troveremo sempre il rumore termico =  $-174\text{dBm/Hz}$ , più il rumore caratteristico dei circuiti attivi.
- 4) Gli effetti del Rumore di Fase sono molteplici. In trasmissione è facilmente intuibile, in ricezione causa il Reciprocal-Mixing. Nel grafico (linea rossa) è mostrata la selettività e la dinamica della IF dell'IC-706, a causa del Phase Noise dell'Oscillatore locale abbiamo una perdita di dinamica di circa 20 dB (linea blu), ne è la controprova la linea Verde ottenuta con un PLL autocostruito.
- 5) Mi piace descrivere il Rumore di Fase con questa immagine del Rubinetto Aperto ed un Secchio fuori dal flusso d'acqua. Nel secchio arriveranno soltanto alcune goccioline (Phase-Noise) o alcuni piccoli flussi secondari (spurie). Il rapporto fra il flusso principale e l'acqua raccolta nel secchio ci darà la misura. Una goccia su un miliardo di gocce è un rapporto di 90 dBc, noi ci accingiamo a fare delle misure al limite di 150 dBc. Un secchio grande raccoglierà più acqua ma aumenta l'indeterminazione della distanza dalla fonte. Metteremo il secchio sotto il flusso principale solo per fare le calibrazioni. Per unificare i risultati e renderli indipendenti dalla grandezza del secchio divideremo la quantità d'acqua per la superficie del secchio. Sull'asse Y calibreremo la portante a 0 dB poi a distanze crescenti dalla  $f_0$  misureremo la potenza del Rumore con un filtro. Per unificare la misura divideremo la quantità di rumore per la BW del filtro dBc/Hz. Nel grafico l'uscita di uno strumento Agilent specifico per la misura del Rumore di Fase.
- 6) Anche nelle pubblicazioni per OM si usa lo stesso standard, a Sinistra vediamo il Rumore di un IC-7800 pubblicato su QST e a destra una serie di misure di vari Rx pubblicato su FunkAmateur. Da notare che i valori vanno fino  $-160\text{ dB}$  e da pochi Hz fino ad un MHz, ma la parte significativa, per noi si ferma prima dei 100 kHz.
- 7) Questo è uno strumento usato da un Radioamatore, N1UL, purtroppo non è alla portata di tutti.
- 8) Ci sono vari metodi per fare questo tipo di misure, qui prenderemo in esame gli ultimi 3 descritti, in particolare l'ultimo. Con un buon Analizzatore di Spettro possiamo avere una risposta come in figura. La linea Rossa mostra un segnale generato da un Oscillatore a Quarzo a 100 MHz. E' ben visibile la forma del filtro (10 Hz) dove non è possibile fare delle misure di Rumore (flusso principale dentro il secchio) Il resto è il rumore di fondo dell'analizzatore, ed è anche il limite della misura. La linea Blu indica la risposta del generatore Marconi 2019. La differenza fra le linee Rossa e Blu è il Rumore di fase. Per una misura standard dobbiamo dividere il valore letto sull'analizzatore per la larghezza del filtro. In questo caso  $BW=10\text{ Hz}$  equivale  $-10\text{ dBc/Hz}$ . I moderni analizzatori con l'opzione "Noise" calcolano automaticamente il valore riferiti ad 1 Hz.
- 9) A sinistra vediamo la stessa videata precedente, ma con l'asse a sinistra invece che al centro. A destra lo stesso segnale, ma con filtro di 1 kHz e span di 10 kHz/div. E' evidente che con filtri larghi abbiamo più precisione sull'asse Y, ma perdiamo determinazione sull'asse X.

Limiti delle misure con questo Analizzatore: X=100Hz e Y=-100dBc/Hz; X=10kHz e -120dBc/Hz.

- 10) Tentiamo di capire come è fatto un Analizzatore di Spettro. Ad un Mixer va il segnale d'ingresso, dopo opportune attenuazioni, e un Oscillatore Locale "sweepato". Il prodotto in uscita dal Mixer verrà filtrato, rivelato e visualizzato su uno schermo. Il Mixer introduce attenuazione, un po' di rumore, ma non introduce Rumore di Fase. Anche il rumore di fase proprio dell'Oscillatore Locale dell'Analizzatore contribuisce al rumore totale. Questo è il limite di misura con questo strumento.
- 11) Un Analizzatore di Spettro basato sulla trasformata di Fourier è un dispositivo completamente numerico e si comporta come una fila di filtri uno accanto all'altro.
- 12) In commercio ci sono Analizzatori di Spettro basati sulla FFT, ma non sono alla portata di tutti i radioamatori. Usando una Sound Card con dei programmi appropriati possiamo avere un Analizzatore FFT gratis. Questo programma (Spectrum Lab) di DL4YHF ci permette di vedere un segnale da 0 Hz fino alla metà della frequenza di campionamento con una dinamica fino a 160dBc/Hz e delle risoluzioni della frazione di Hz. Set asse X, [Oscilloscopio in basso a Dx, colore rosso a -3 dB].
- 13) Set principali: Spectrum Only. Numero bin FFT, Hanning windowing, Noise Bandwidth, media 0/8. Asse Y 0-160 dB, Copy from current spectrum.
- 14) Tabella sensibilità e rumore delle più comuni schede adatte per questo uso. La dinamica al rumore è stata rimisurata per i nostri scopi dBc/Hz, quelle ufficiali delle case costruttrici, si intendono per l'intero spettro audio ed hanno una "pesatura" secondo gli standard discografici.
- 15) Con lo Spectrum Lab possiamo lavorare da quasi 0 Hz al massimo di 24 kHz con le schede standard, e fino a 48 o 96 kHz con le schede professionali. Per poter fare delle misure sulle nostre frequenze è necessario un Mixer. Come negli Analizzatori classici il Mixer non introduce Rumore di Fase. Abbiamo bisogno di due oscillatori alla stessa frequenza o frequenze vicine ed entrambi contribuiscono sul Rumore di fase.
- 16) Questo è un comune Mixer Doppio Bilanciato a Diodi, solo per farVi notare che contrariamente allo schema ufficiale solo il pin 2 è fisicamente collegato a massa.
- 17) Questo è un possibile schema di Mixer, Diplexer e Amplificatore a basso rumore. Se si usa una scheda amplificata come le E-MU 0202 o 0404 l'amplificatore non serve. Il diplexer, invece è indispensabile per far vedere al mixer un carico da 50 Ohm dalla continua fino alle armoniche della RF in ingresso ed il segnale Audio deve essere filtrato affinché i residui RF non vadano a saturare l'OpAmp. Il secondo OpAmp a guadagno uno serve per invertire il segnale per alimentare in modo differenziale una possibile scheda professionale, ciò equivale ad un ulteriore guadagno di 6 dB.
- 18) Questo è un altro possibile Amplificatore a basso rumore. Qui ho sfruttato il fatto che nei Mixer SRA-1 i pin 5 e 6 non sono collegati a massa, così sono usciti in modo differenziale per entrare direttamente, in questo modo, sull'OpAmp. Qui il diplexer è semplificato, ma nulla vieta di usare il tipo appena visto o viceversa. L'uscita di questo OpAmp è differenziale, quindi adatto per le schede professionali.
- 19) Ho fatto una tabella dei guadagni minimi per gli OpAmp a Basso Rumore a seconda del mixer usato. Per ottenere la massima dinamica al rumore è bene lavorare vicino al punto di compressione dei Mixer, è bene non eccedere nel guadagno oltre qualche dB dai valori della tabella.
- 20) Per gli Oscillatori con uscita di livello basso si può usare come Mixer una cella di Gilbert tipo NA602-SA602-SA612. Con questo dispositivo non serve l'OpAmp, le impedenze di ingresso e di uscita sono di 1.5 Kohm, da tener conto per il diplexer.
- 21) Iniziamo a vedere i primi risultati. Queste sono semplicemente le linee del rumore di una scheda standard ~ -120 dBc/Hz, e di una scheda professionale E-MU 1212m dell'ordine di -160dBc/Hz. Questi sono i limiti del nostro sistema, simili o superiori di quelli professionali.

- 22) Tentiamo di usare la Sound Card fornita col PC. La linea Blu mostra il limite del sistema, la linea blu indica il rumore di un generatore Marconi 2019 (due generatori uguali) è possibile vedere il rumore vicino alla portante (span  $\pm 500$  Hz) è visibile la tipica risalita dei PLL.
- 23) Qui, come nelle slide successive, uso schede professionali E-MU. La linea gialla è come quella precedente ma con scan  $\pm 12$  kHz (notare lo 0 centrale), la linea blu indica il Rumore di fase dell'Oscillatore Locale dell'IC-706, notare le differenze.
- 24) Questo è ciò che esce da un DDS, il Rumore di Fase è veramente basso, ma si vedono tutte le spurie. Con un comune analizzatore sarebbero tutte invisibile, inferiori di 100 dBc/Hz. Linea Blu: rumore del sistema, Sound Card E-MU 0202.
- 25) Questa slide è dedicata a Pippo IOFTG che due anni fa al MadS 2°, per un PLL in un riferimento di frequenza, ci ha consigliato di usare l'integrato 9046 anziché il 4046. Queste sono le differenze.
- 26) Ritorno alla provocazione iniziale. Questa è la misura fatta da NIUL con uno strumento R&S. Notare l'asse X utile da 10 Hz al massimo di 100 KHz e l'asse Y fino a  $-150$  dBc/Hz.
- 27) Questa è una misura con la portante tutta a sinistra come nei strumenti professionali. Ci sono due modi per ottenere ciò.
- a) Battere i due generatori per avere il prodotto al centro dello schermo, selezionare la vista dal centro in poi, adattando i valori con il valore dell'Offset sull'asse X. Si perde metà banda.
  - b) Fare il battimento ZERO dei due generatori, in questo caso le spurie che avremo visto a sinistra si ribaltano sulla destra, mostrandosi insieme alle altre. Anche il rumore si somma avendo così un incremento di 3 dB sui valori. In questo caso o si compensa con un Offset sull'asse Y o più semplicemente si tiene la calibrazione della portante 3 dB sotto.
- La linea blu mostra il rumore di due oscillatori a quarzo, ci sono ancora oltre 10 dB di margine di misura, almeno a frequenze vicine alla portante. La linea blu mostra il rumore di due generatori Marconi 2019.
- 28) La linea blu è la stessa della precedente. La linea gialla mostra il Rumore di un Test Set R&S SMFS. In questo caso avendone uno solo lo ho fatto battere con l'oscillatore a quarzo, essendo il segnale del TestSet peggiore di oltre 40 dB rispetto a quello dell'oscillatore a quarzo, il contributo al rumore di quest'ultimo è infinitesimo, meno di 1/10000. Naturalmente in questo caso non vanno tolti i 3 dB dovuti al secondo Oscillatore.
- 29) Grazie e buon Divertimento.