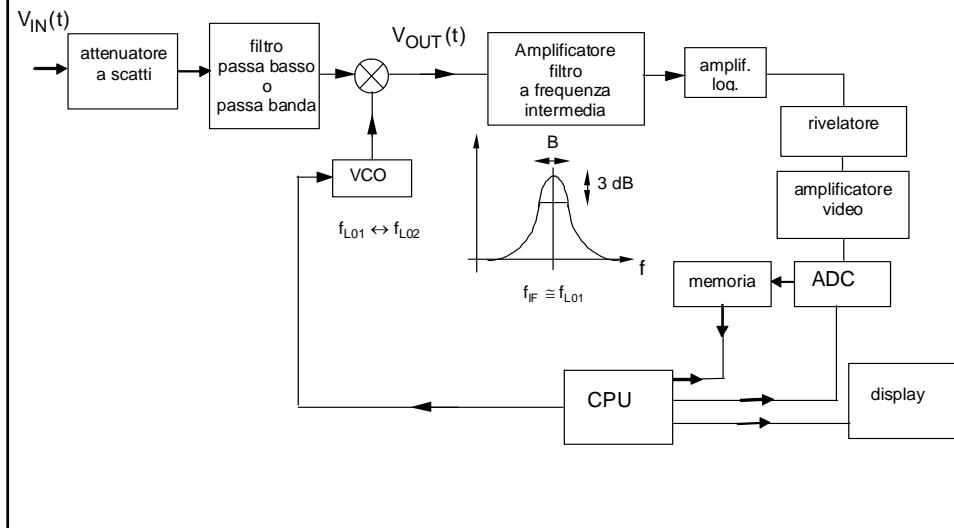


## ***Analizzatori di Spettro***

### ***Analizzatore di spettro***

- L'analizzatore di spettro è uno strumento che fornisce una rappresentazione del segnale in ingresso nel dominio della frequenza, diversamente da un oscilloscopio che ne fornisce una rappresentazione nel dominio del tempo. Entrambi questi strumenti, per poter presentare sullo schermo un segnale stabile, hanno bisogno di un segnale in ingresso periodico.
- Il principale vantaggio dell'analizzatore di spettro è che con esso si raggiungono sensibilità dell'ordine del  $\mu\text{V}$ , superiori quindi a quelle dell'oscilloscopio ( $\text{mV}$ ). Questo è dovuto al fatto che l'analizzatore di spettro, pur essendo in grado di coprire un intervallo di frequenze compreso, a seconda dei modelli, tra 10 kHz e 100 GHz, deve essere considerato uno strumento a banda stretta e quindi a basso rumore. Contrariamente l'oscilloscopio, essendo un dispositivo a larga banda, trova nel rumore la sua principale limitazione.

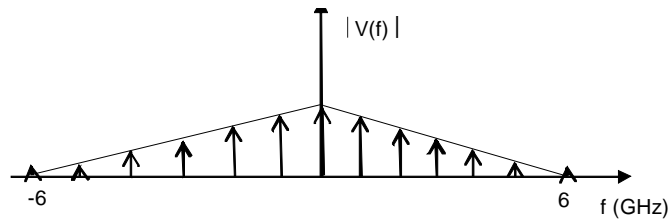
## Struttura A.S.



- In questi sistemi si utilizzano oscillatori locali basati su risonatori YIG spazzolati oppure a sintesi indiretta. In questo caso per evitare di perdere informazione si sceglie uno step in frequenza (quarzo) inferiore alla larghezza di banda di risoluzione (ad es.  $0.1 B$ )
- L'attenuatore a scatti serve ad evitare che il mixer lavori fuori dal suo range dinamico
- Dopo il filtro IF il segnale è amplificato e compresso su una scala logaritmica per essere adattato alla dinamica del rivelatore

## Segnale d'ingresso periodico

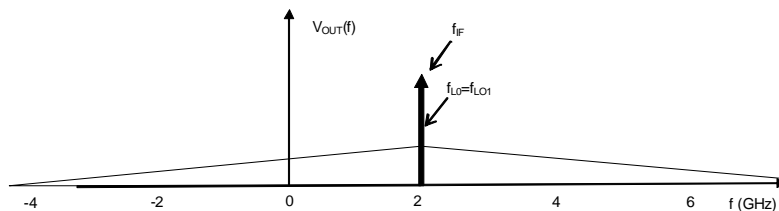
$$V_{IN}(f) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} V_i \delta(f - i \cdot f_0) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} V_i \delta(f - f_i)$$



modulo dello spettro di un possibile segnale con una banda di 6 GHz

## Segnale di uscita (mixer come up-converter)

$$V_{OUT}(f) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} V_i \delta(f - f_i - f_{LO})$$

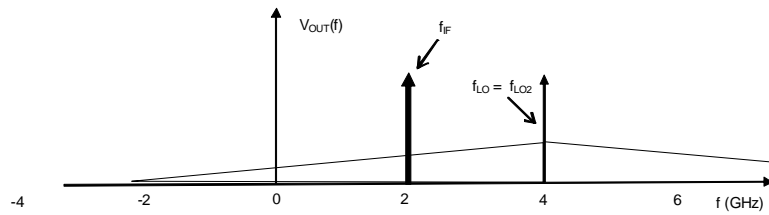


modulo dello spettro di uscita per il caso  $f_{LO} = 2$  GHz

In uscita al filtro IF ho lo spettro a  $f_{IN} = 0$

## Segnale di uscita (mixer come up-converter)

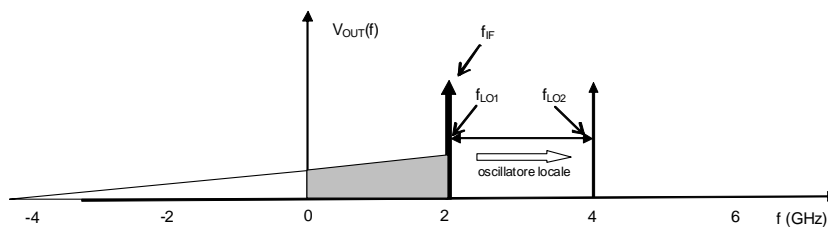
$$V_{\text{OUT}}(f) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} V_i \delta(f - f_i - f_{\text{LO}})$$



modulo dello spettro di uscita per il caso  $f_{\text{LO}} = 4$  GHz

In uscita al filtro IF ho lo spettro a  $f_{\text{IN}} = 2$  GHz

## Segnale di uscita (mixer come up-converter)



Solo la componente del segnale di ingresso a frequenza  $f_i$  che differisce di  $f_{IF}$  dalla frequenza generata dall'oscillatore locale passa attraverso l'amplificatore IF e quindi si ha:

$$f_{LO} - f_i = f_{IF}$$

cioè

$$f_i = f_{LO} - f_{IF}$$

Supposto, a titolo di esempio, che  $f_{IF} = 2$  GHz e che l'oscillatore locale sia sintonizzabile tra  $f_{LO1} = 2$  GHz e  $f_{LO2} = 4$  GHz si avranno, in uscita al ricevitore, i segnali compresi nella banda:

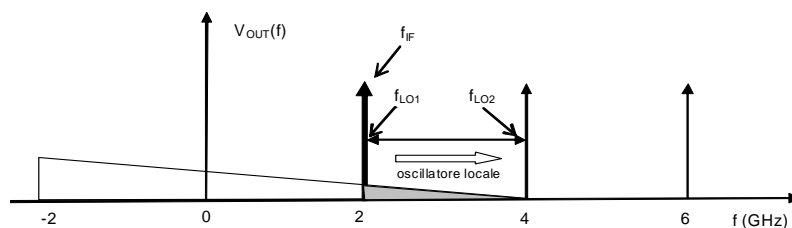
$$f_{iMIN} = f_{LO1} - f_{IF} = 2 \text{ GHz} - 2 \text{ GHz} = 0$$

$$f_{iMAX} = f_{LO2} - f_{IF} = 4 \text{ GHz} - 2 \text{ GHz} = 2 \text{ GHz}$$

## Mixer come down-converter

effetto della frequenza negativa della sinusoide generata dal VCO  
(prodotto nel tempo = convoluzione in frequenza)

$$V_{OUT}(f) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} V_i \delta(f - f_i + f_{LO})$$



In uscita al ricevitore si troveranno, quindi, anche i segnali per i quali:

$$f_i - f_{LO} = f_{IF}$$

cioè

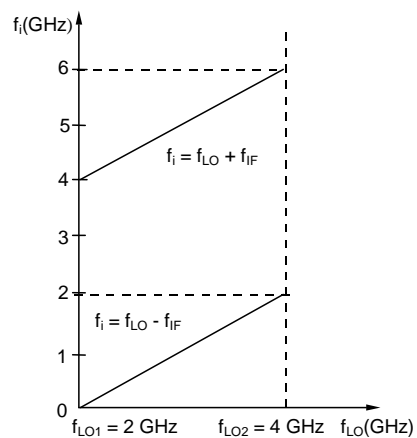
$$f_i = f_{LO} + f_{IF}$$

Con riferimento ai dati dell'esempio, saranno rivelati i segnali compresi nella banda:

$$f_{iMIN} = f_{LO1} + f_{IF} = 2 \text{ GHz} + 2 \text{ GHz} = 4 \text{ GHz}$$

$$f_{iMAX} = f_{LO2} + f_{IF} = 4 \text{ GHz} + 2 \text{ GHz} = 6 \text{ GHz}$$

## Carta di accordo

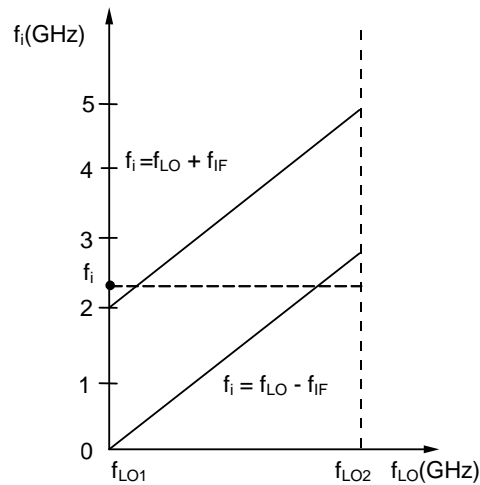


## Sovrapposizione

- La carta di accordo di figura mostra che più segnali in ingresso possono produrre la stessa uscita (Es. 1 e 5 GHz in figura).
- Per ovviare a questo inconveniente si può inserire un filtro passa-basso, con una frequenza di taglio di 3 GHz, in ingresso all'analizzatore.
- In questo modo le componenti del segnale tra 4 e 6 GHz sono tagliate dal filtro e non danno contributi in uscita.

## Carta di accordo

Un altro possibile andamento per la carta di accordo è mostrato in figura. Questo andamento si può ottenere se si vuole aumentare  $f_{LO2}$  e quindi la banda dell'analizzatore.



## Risposta multipla

In questo caso, ad alcune frequenze  $f_i$  corrispondono due diverse righe sullo schermo (risposta multipla).

Per ovviare a questo ulteriore inconveniente si deve progettare l'analizzatore affinché sia soddisfatta la disuguaglianza:

$$f_{LO2} - f_{IF} < f_{LO1} + f_{IF}$$

Poiché in generale si assume  $f_{LO1} = f_{IF}$  si ha:

$$f_{LO2} < 3 f_{LO1}$$

ed inoltre:

$$f_{iMAX} = f_{LO2} - f_{IF} < 3f_{IF} - f_{IF} = 2f_{IF}$$

Questo risultato ci dice che con  $f_{IF} = 2$  GHz e con un oscillatore locale variabile tra 2 e 6 GHz si potrebbero visualizzare segnali in ingresso compresi tra 0 e 4 GHz ( $B = 2 f_{IF}$ ) e che, come visto in precedenza, per evitare sovrapposizioni basta filtrare il segnale in ingresso a partire da  $f = 4$  GHz.

## Conclusione

- Tuttavia l'analisi condotta non tiene conto del fatto che il mixer non è ideale ed in particolare non presenta un isolamento infinito tra le porte RF ed IF.
- Per cui, quando in ingresso al mixer è presente un segnale a frequenza  $f_i = f_{IF}$ , una frazione di questo segnale attraversa il mixer e viene rivelata provocando un'uscita indesiderata.
- In conclusione, volendo evitare che i segnali a frequenza  $f_{IF}$  creino dei disturbi si mette in ingresso un filtro passa basso con frequenza di taglio pari a  $0.8f_{IF}$  e quindi, con riferimento all'esempio, minore di 1.6 GHz, in modo che il filtro presenti una elevata attenuazione a  $f_{IF}$ .
- In questo modo il mixer è in grado di trattare segnali fino a  $f_{iMAX} \cong 0.8f_{IF}$



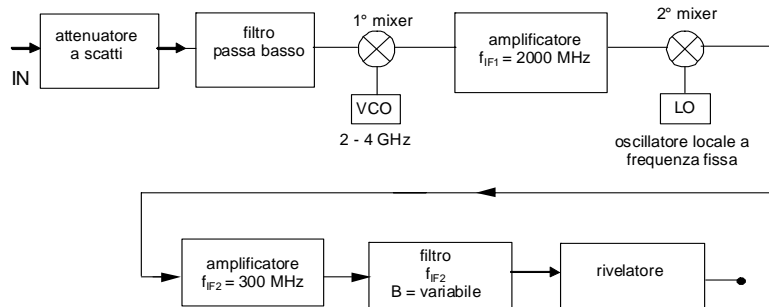
## Oscillatore locale passante

- Si noti che avendo posto  $f_{LO1} = f_{IF}$ , quando l'oscillatore locale genera il segnale  $f_{LO1}$  questo può passare direttamente in uscita al mixer e quindi dentro il filtro IF e viene rivelato generando all'estremo sinistro dello schermo una riga detta "indicatore di frequenza zero" o "oscillatore locale passante".
- Questa riga è presente anche se il segnale di ingresso non contiene la continua, che in genere è eliminata con un filtro all'ingresso dell'analizzatore.

## Conversioni multiple

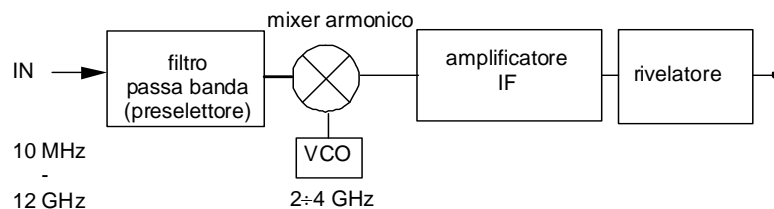
- E' inoltre importante osservare che per una data  $f_{IF}$  non si riescono a realizzare filtri con una banda stretta a piacere.
- La banda percentuale di un filtro ( $\Delta f / f_0$ ) dipende dalla tecnologia con cui lo si realizza. Si ottengono valori del 10% con elementi concentrati, 1% con strutture planari, 0.1% con risonatori dielettrici, 0.01% con guide chiuse.
- Come si vedrà meglio nel seguito dalla banda dell'amplificatore dipende la risoluzione in frequenza dell'analizzatore di spettro in particolare, per avere buone risoluzioni, occorre avere un amplificatore con una banda la più stretta possibile. Per migliorare la risoluzione in frequenza si utilizza la tecnica delle conversioni multiple.

## Conversioni multiple



## Mixer armonico

Come visto in precedenza se si vuole aumentare l'intervallo di frequenze visualizzabili con l'analizzatore si deve aumentare  $f_{IF}$ . Allo stesso risultato si può arrivare utilizzando un mixer armonico.



## Mixer armonico

$$V_{\text{OUT}}(f) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} V_i \delta(f - f_i - n f_{\text{LO}}) \quad \text{con } n = 1, 2, \dots, N$$

$$V_{\text{OUT}}(f) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} V_i \delta(f - f_i + n f_{\text{LO}}) \quad \text{con } n = 1, 2, \dots, N$$

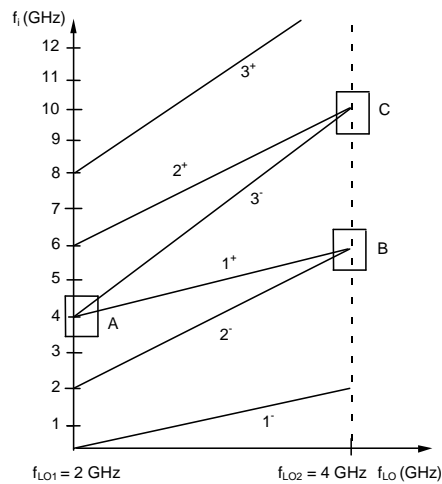
$$f_i = n f_{\text{LO}} \pm f_{\text{IF}}$$

## Mixer armonico

Ad esempio con  $f_{\text{LO}}$  variabile tra  $f_{\text{LO}1} = 2 \text{ GHz}$  e  $f_{\text{LO}2} = 4 \text{ GHz}$  e con  $f_{\text{IF}} = 2 \text{ GHz}$  si hanno in uscita al ricevitore le frequenze riportate in Tab. per  $N=3$ .

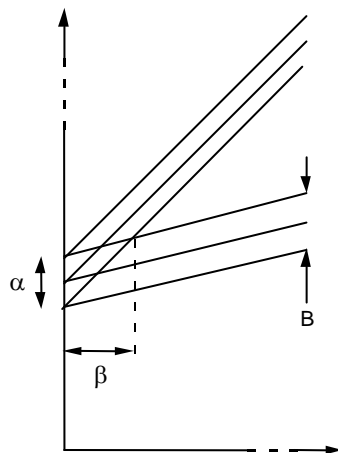
n	$n f_{\text{LO}}$	$n f_{\text{LO}} \pm f_{\text{IF}}$	
1	2 - 4	0 - 2	1 <sup>-</sup>
		4 - 6	1 <sup>+</sup>
2	4 - 8	2 - 6	2 <sup>-</sup>
		6 - 10	2 <sup>+</sup>
3	6 - 12	4 - 10	3 <sup>-</sup>
		8 - 14	3 <sup>+</sup>

## Carta di accordo mixer armonico



Con il mixer armonico si estende notevolmente la banda delle frequenze visualizzabili ma si presenta il problema delle risposte multiple su armonica (sovrapposizione e sdoppiamento). Per ovviare a questo inconveniente si inserisce un filtro passa banda in ingresso (filtro preselettore). Si tratta di un filtro accordabile la cui frequenza centrale viene variata in base al modo di funzionamento scelto. Se ad esempio si vuole lavorare sul modo 2+ la frequenza centrale della stop band del filtro di ingresso deve variare tra 6 e 10 GHz mentre l'oscillatore locale varia tra 2 e 4 GHz.

## Problema agli estremi



rimane qualche problema, in corrispondenza di zone della carta dei modi quali le A, B e C, dovuto alla larghezza di banda non nulla del filtro di uscita.

Per effetto della larghezza di banda non nulla dell'amplificatore di uscita, si può avere una risposta multipla per segnali di ingresso compresi nella regione  $\alpha$  (sdoppiamento) con uscite nella zona  $\beta$ . L'inconveniente si elimina cercando di non operare in queste regioni cioè andando a lavorare su altri modi.

# Signal Analyzer

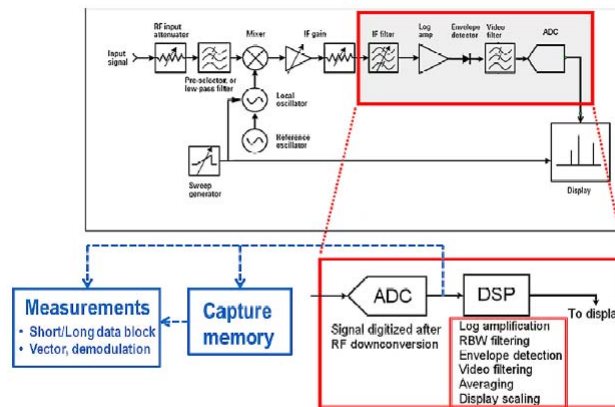


Figure 14. The signal-processing architecture of a vector signal analyzer is primarily a software extension of that used in a spectrum/signal analyzer with a digital IF. This architecture may be consistent with that of a real-time analyzer as well, as in the case of the Agilent PXA or MXA.

# Agile radar signal

The signal in question is one a receiving antenna would expect to see when a transmitter with a narrow beam performs a scan. The signal is a repeating sequence of radar pulses, each with a width of  $6 \mu\text{s}$  and a pulse repetition interval (PRI) of  $600 \mu\text{s}$ . Each pulse group consists of seven pulses that step in  $10 \text{ MHz}$  increments from  $-30 \text{ MHz}$  to  $+30 \text{ MHz}$  relative to the  $3 \text{ GHz}$  center frequency. The scanning is shown schematically in Figure 1.

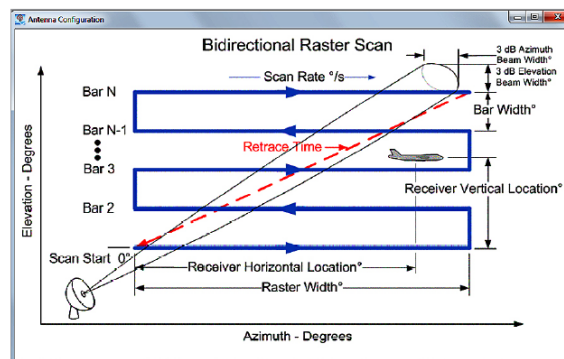


Figure 1. The scan pattern of an S-band acquisition radar.

# Swept spectrum analyzer

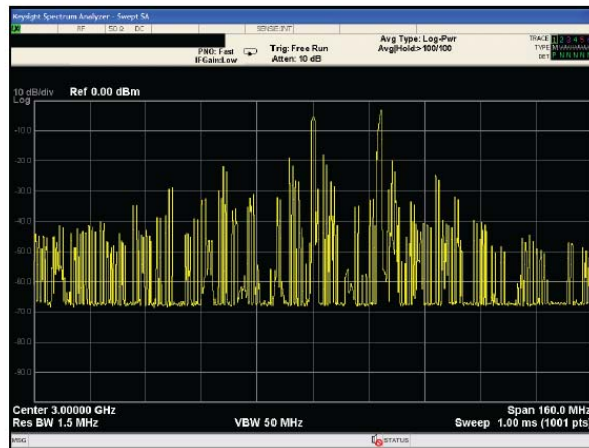
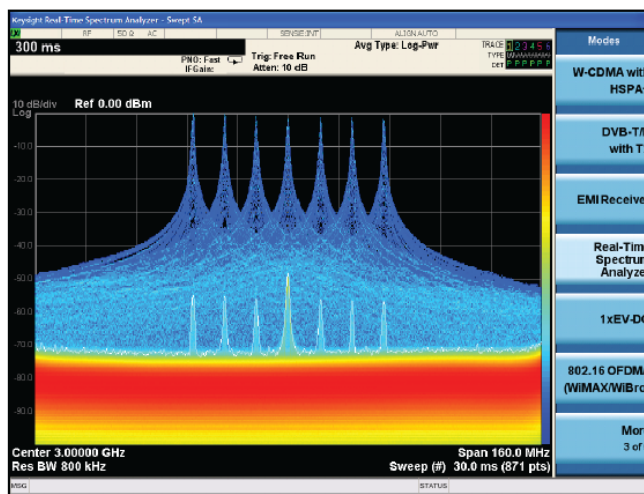


Figure 8-7 . Even when you use fast sweeps and max hold over a period of many seconds, the swept spectrum analyzer view of the radar signal is not very informative

# Signal Analyzer



The blue color of all but the noise floor indicates that the pulses, while prominent, have a very low frequency -of-occurrence

Figure 8-8. Real-time capture of S-band acquisition radar signal

## 2.45 GHz ISM band

The 2.45 GHz ISM band is thus both dynamic and complex, and a good example of the challenges of agile signal analysis. Traditional swept spectrum analysis is not a very effective tool for understanding the activity in this band, as shown in Figure 9.

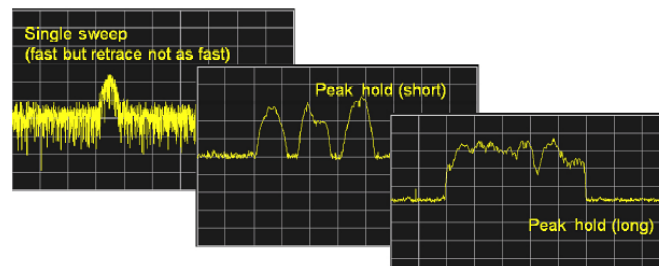


Figure 9. With multiple agile signals sharing a 100 MHz frequency band, it can be difficult to understand signal behavior using a swept spectrum analyzer. Using the peak-hold function over a period of time can catch some signal activity but subsequent activity can also obscure it.

## Signal Analyzer

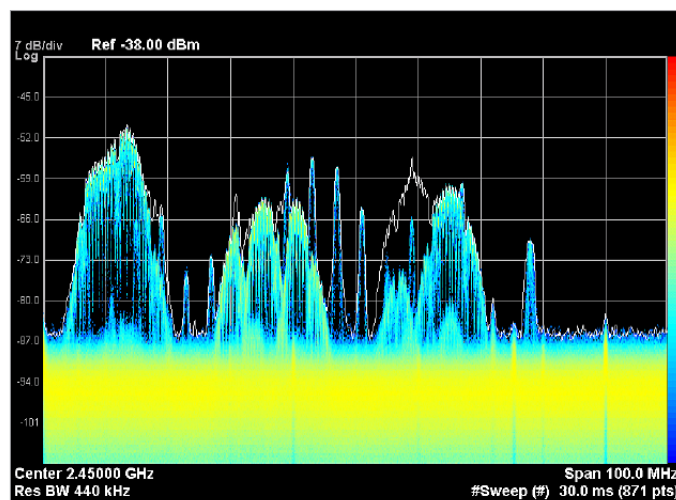


Figure 10. With a similar setup to the swept spectrum analysis approach (Figure 9) the real-time density display quickly reveals detail about the spectral occupancy of this band.

# Real time spectrograms

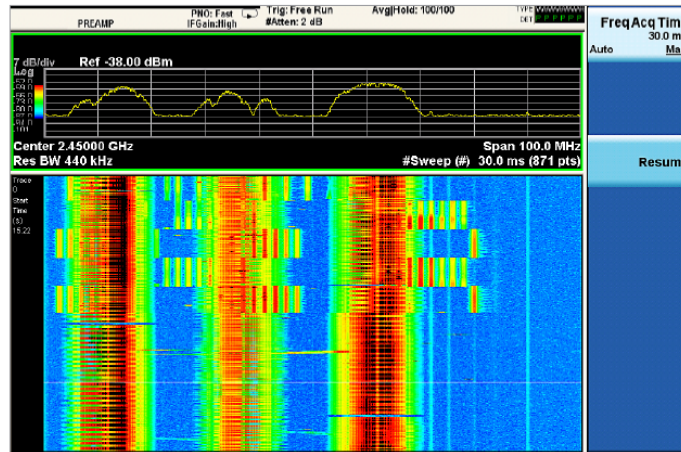
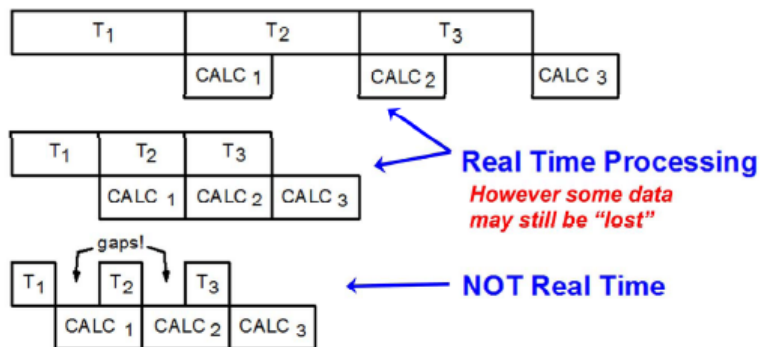


Figure 11. The spectrogram display of the ISM band summarizes signal behavior over a period of seconds, revealing mostly WLAN and Bluetooth signals.

## Real-Time Operation

In Real-Time Operation the Analyzer's Processing (CALC) is Fast Enough to Keep Up with All Data Samples

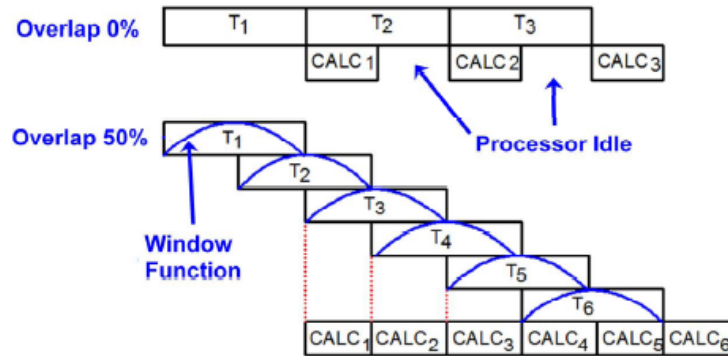


**CALC** Time Includes FFT or Power Spectrum, Averaging, Display Updates, etc.



## Overlap Processing

If Processing is **Faster than Sampling**, Perform Additional FFTs With Partially-New Time Records as Samples Come In



Avoid Loss of Data Due to Windowing

Accurate Amplitude Measurements of Short Duration Signals

Anticipate — Accelerate — Achieve

Agilent Technologies

Aerospace & Defense Symposium  
© Agilent Technologies, 2013

11