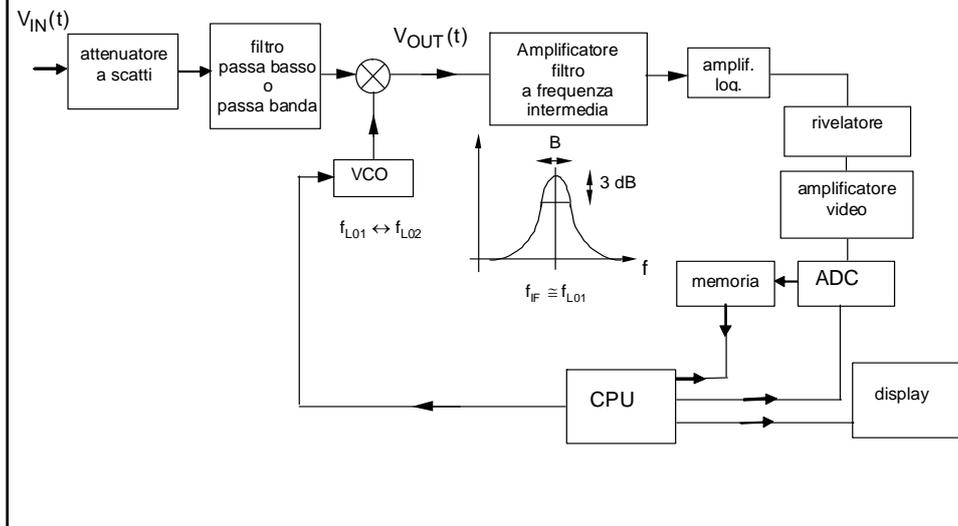


Analizzatori di Spettro

Analizzatore di spettro

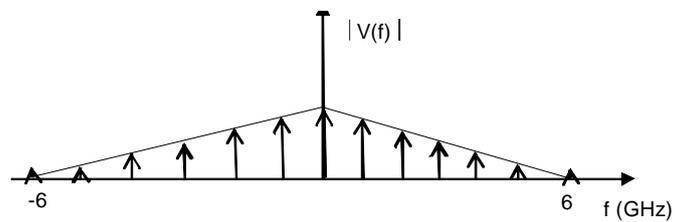
- L'analizzatore di spettro è uno strumento che fornisce una rappresentazione del segnale in ingresso nel dominio della frequenza, diversamente da un oscilloscopio che ne fornisce una rappresentazione nel dominio del tempo. Entrambi questi strumenti, per poter presentare sullo schermo un segnale stabile, 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 μV , superiori quindi a quelle dell'oscilloscopio (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.



Segnale d'ingresso periodico

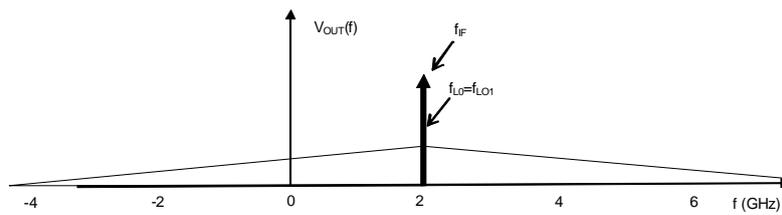
$$V_{IN}(f) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} V_i \delta(f - i \cdot f_0) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} V_i \delta(f - f_i)$$



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

Segnale di uscita (mixer come up-converter)

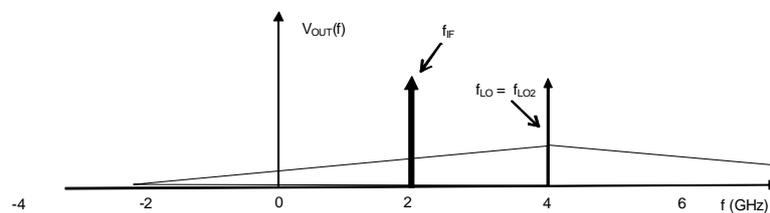
$$V_{\text{OUT}}(f) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} V_i \delta(f - f_i - f_{L0})$$



modulo dello spettro di uscita per il caso $f_{L0} = 2 \text{ GHz}$

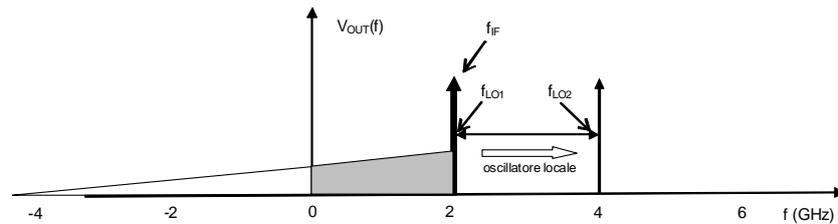
Segnale di uscita (mixer come up-converter)

$$V_{\text{OUT}}(f) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} V_i \delta(f - f_i - f_{L0})$$



modulo dello spettro di uscita per il caso $f_{L0} = 4 \text{ GHz}$

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:

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

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

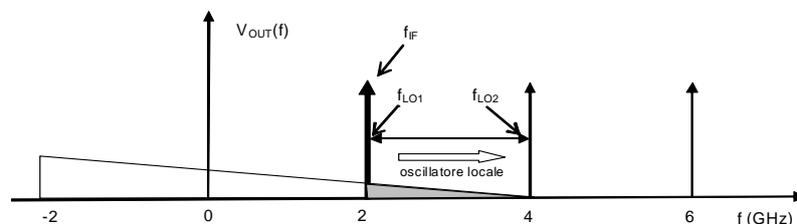
Oscillatore locale passante

- 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.

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

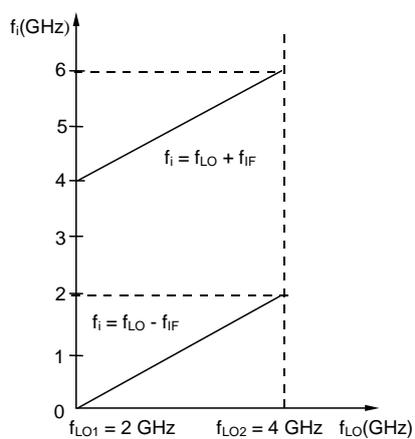
$$f_i = f_{LO} + f_{IF}$$

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

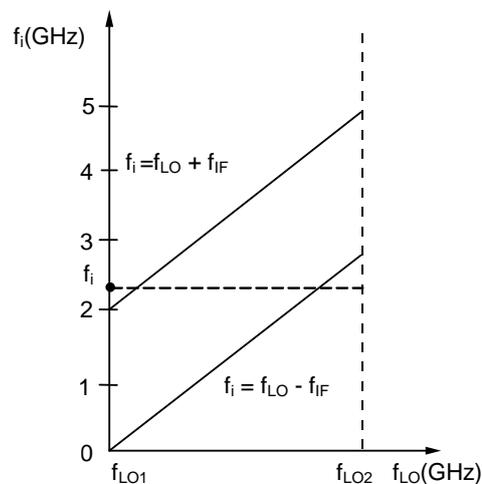


Sovrapposizione

- 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 4 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 o riducendo f_{IF} o aumentando f_{LO2} .



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.

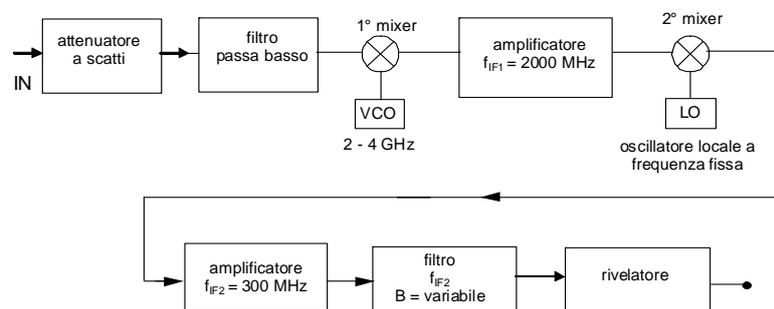
Conclusione

- 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 $f_{iMAX} \cong 0.8f_{IF}$

Conversioni multiple

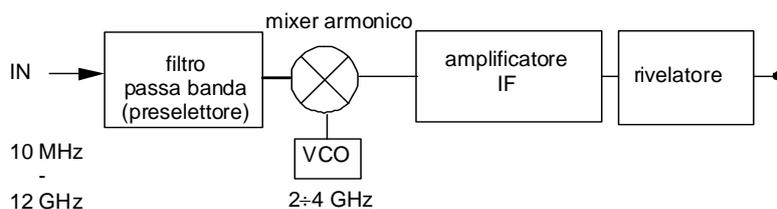
- E' inoltre importante osservare che per una data f_{IF} non si riescono a realizzare filtri con una banda stretta a piacere.
- La banda percentuale di un filtro ($\Delta f / f_0$) dipende dalla tecnologia con cui lo si realizza. Si ottengono valori del 10% con elementi concentrati, 1% con strutture 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

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

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

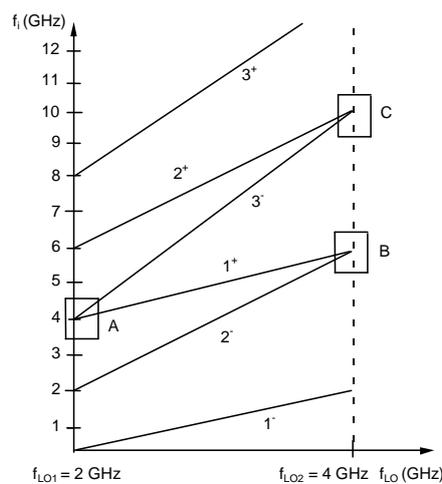
$$f_i = n f_{LO} \pm f_{IF}$$

Mixer armonico

Ad esempio con f_{LO} variabile tra $f_{LO1} = 2$ GHz e $f_{LO2} = 4$ GHz e con $f_{IF} = 2$ GHz si hanno in uscita al ricevitore le frequenze riportate in Tab. per $N=3$.

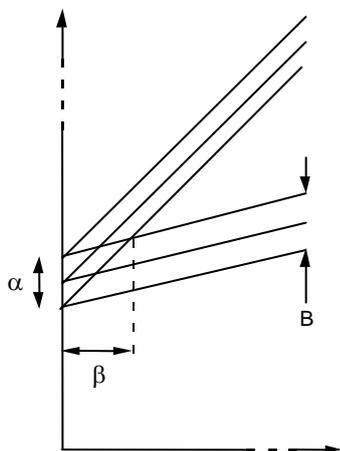
n	nf_{LO}	$nf_{LO} \pm f_{IF}$	
1	2 - 4	0 - 2	1 ⁻
		4 - 6	1 ⁺
2	4 - 8	2 - 6	2 ⁻
		6 - 10	2 ⁺
3	6 - 12	4 - 10	3 ⁻
		8 - 14	3 ⁺

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 α (sdoppiamento) con uscite nella zona β . L'inconveniente si elimina cercando di non operare in queste regioni cioè andando a lavorare su altri modi.