

Analisi del segnale

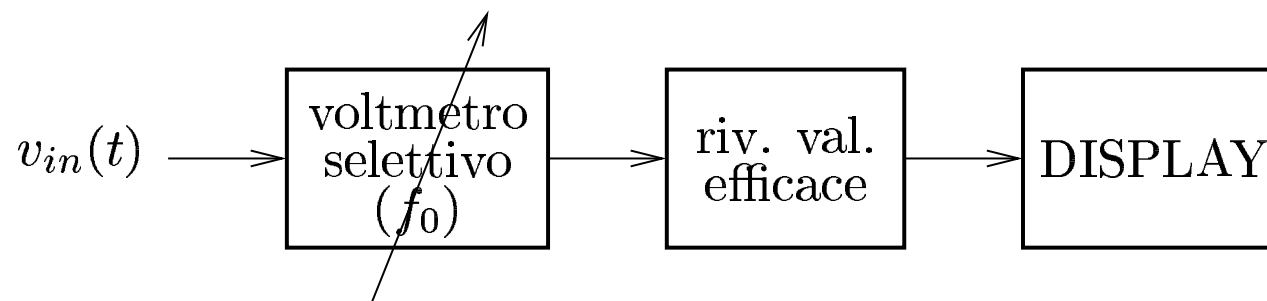
Analisi dei segnali:

- Nel dominio del tempo (d.t.), con l'oscilloscopio
 - Nel dominio della frequenza
 - per evidenziare aspetti difficilmente visibili nel d.t.
presenza di armoniche, distorsione ...
 - per valutare parametri difficili da apprezzare nel d.t.
es.: quantificare la distorsione, ...
- ⇒ analisi di Fourier ($|S(f)|$, F.F.T., ecc.)

Strumenti:

- Analizzatori di spettro a scansione
- Analizzatori di spettro in tempo reale
 - Analizzatore a banco di filtri
 - Dynamic Signal Analyzer (D.S.A.)

Analizzatore di spettro a scansione

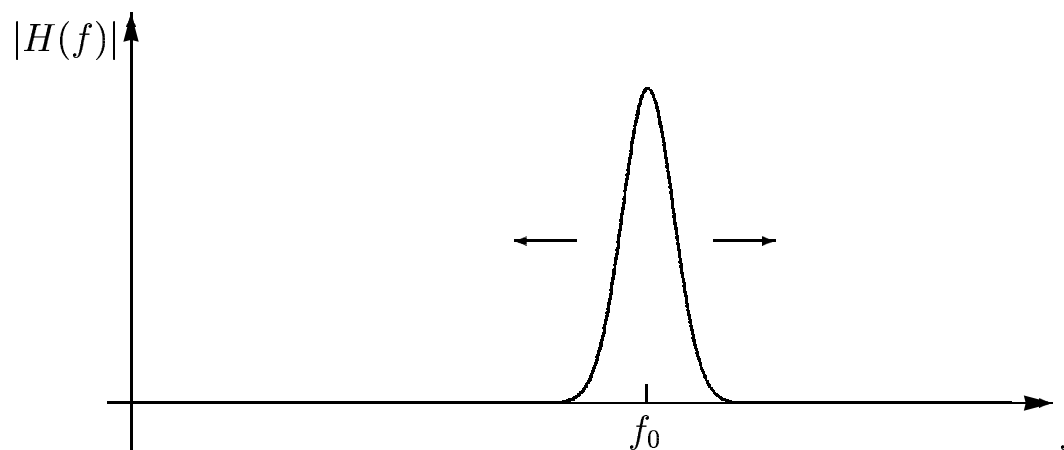


Voltmetro selettivo:

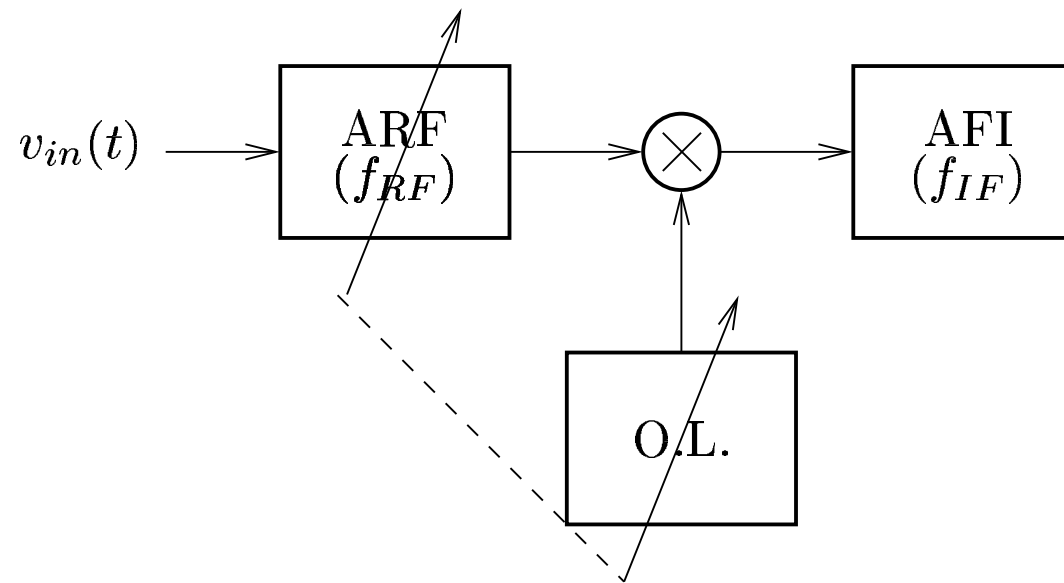
filtro accordabile con banda passante “molto stretta”

(idealmente: una riga)

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} \gg 1$$



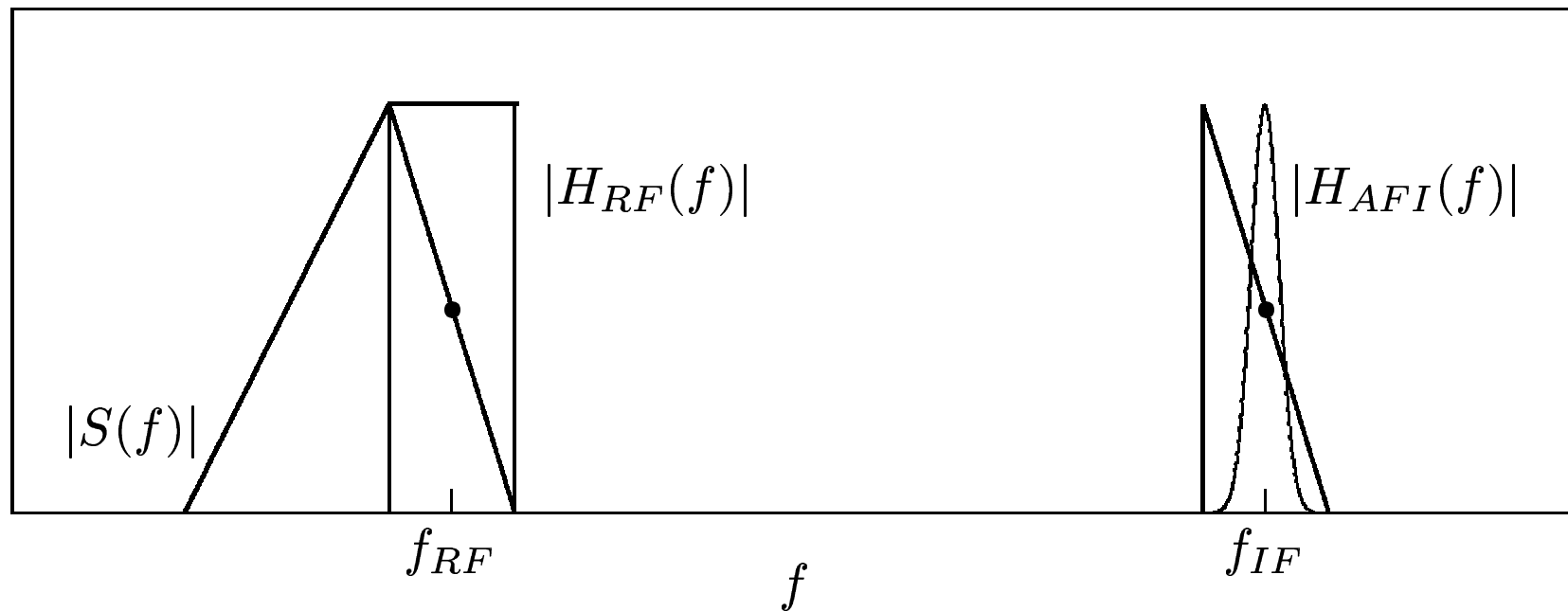
Conversione eterodina



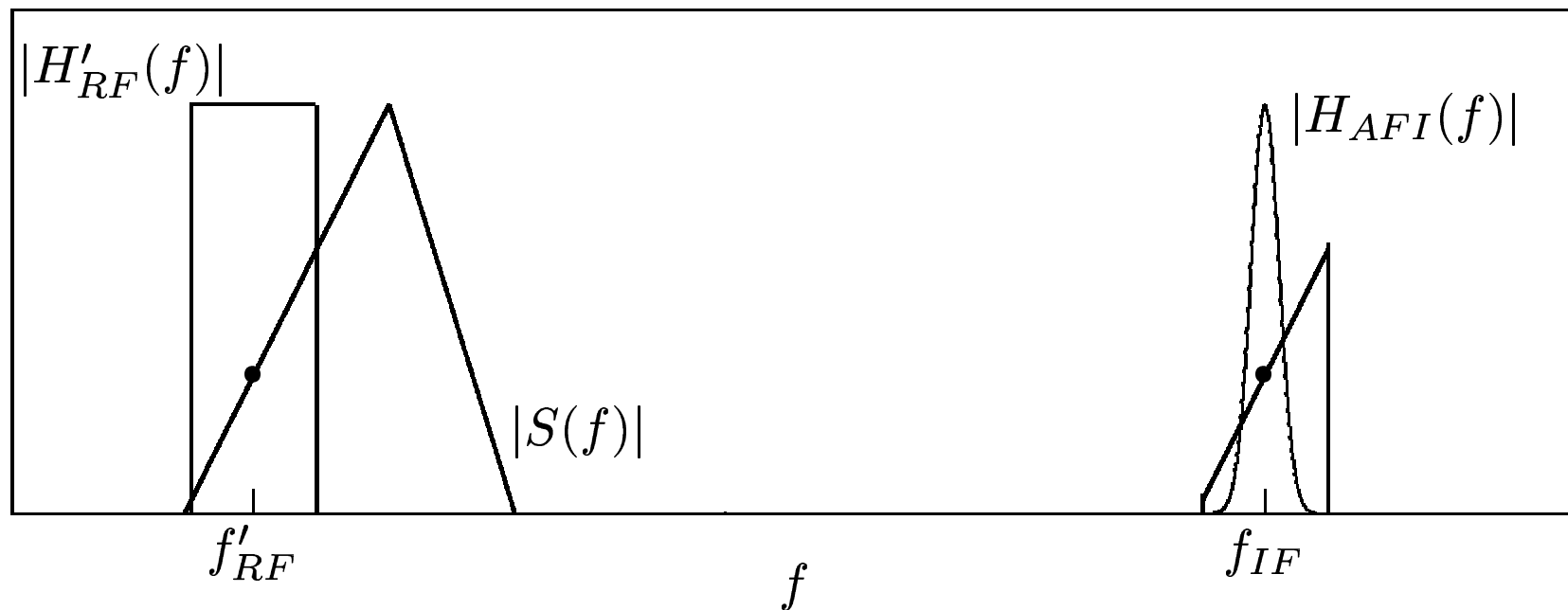
- ARF: Amplificatore a radiofrequenza (Q non elevato)
- O.L.: Oscillatore locale
- AFI: Amplificatore a frequenza intermedia (Q elevato)

Conversione eterodina (2)

| · |



| · |



Frequenza immagine

- Traslazione a frequenza intermedia:
la riga a frequenza f_{RF} , in conseguenza della traslazione in frequenza, finisce all'interno della banda dell'A.F.I..

$$f_{IF} = f_{OL} - f_{RF} \quad \rightarrow \quad f_{RF} = f_{OL} - f_{IF}$$

- Anche un'altra riga finisce all'interno della banda dell'A.F.I.
frequenza immagine:

$$f_{IM} = f_{OL} + f_{IF}$$

- ma (eguagliando le espressioni di f_{OL})

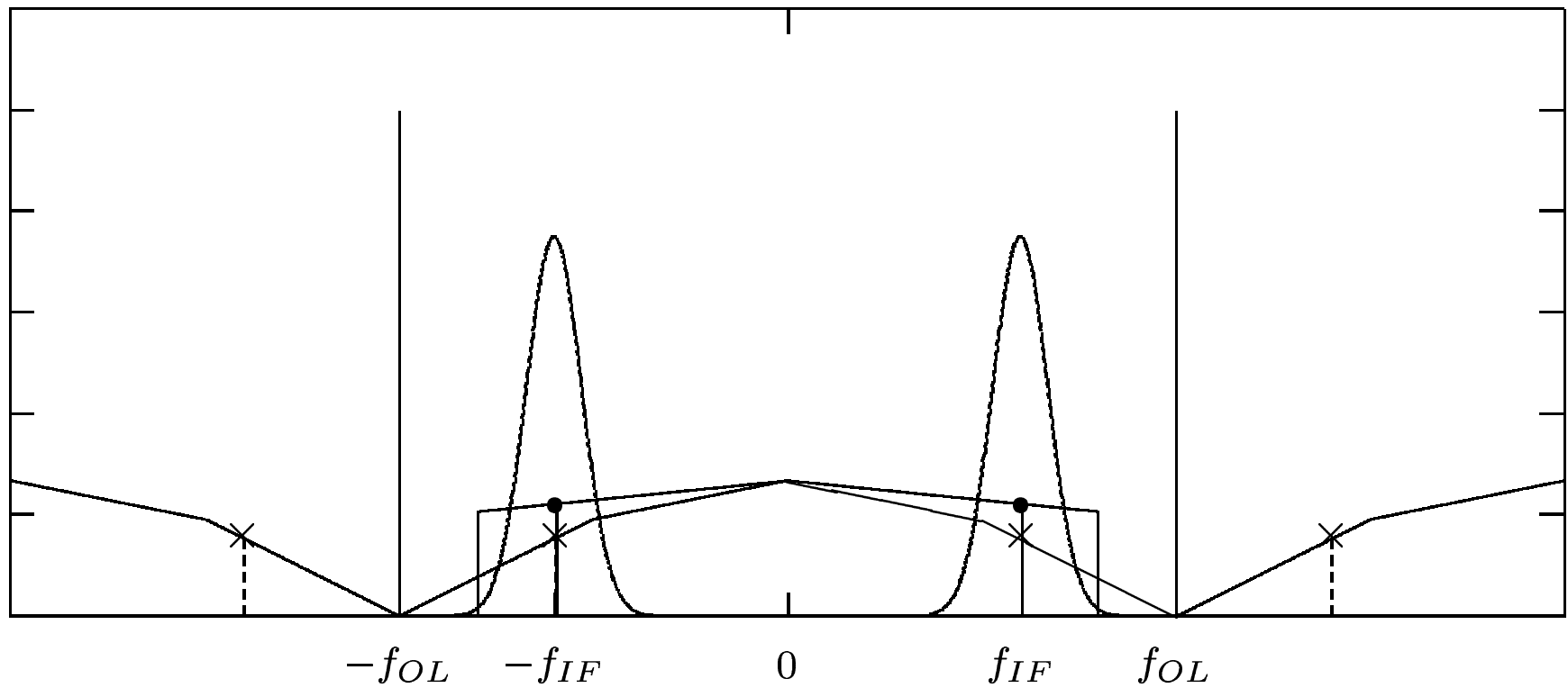
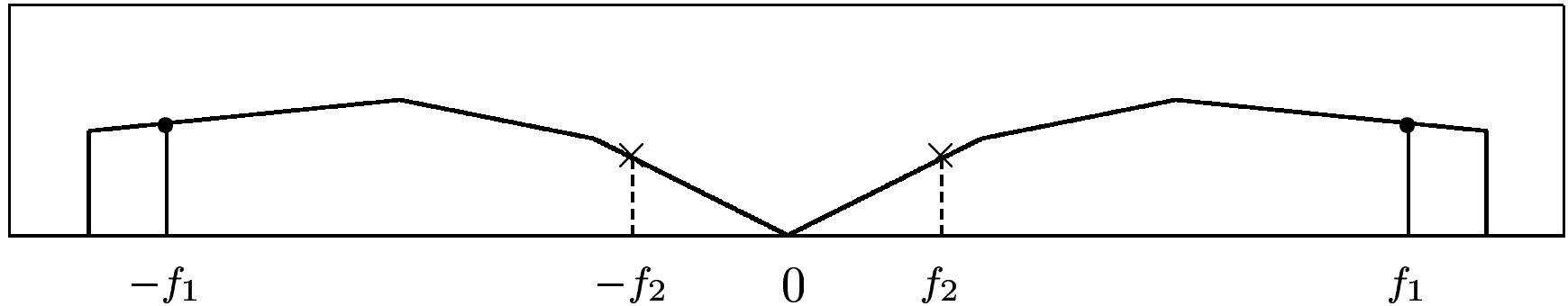
$$f_{IM} = f_{RF} + 2f_{IF}$$

Dunque le due righe sono tanto più distanti quanto maggiore è f_{IF}

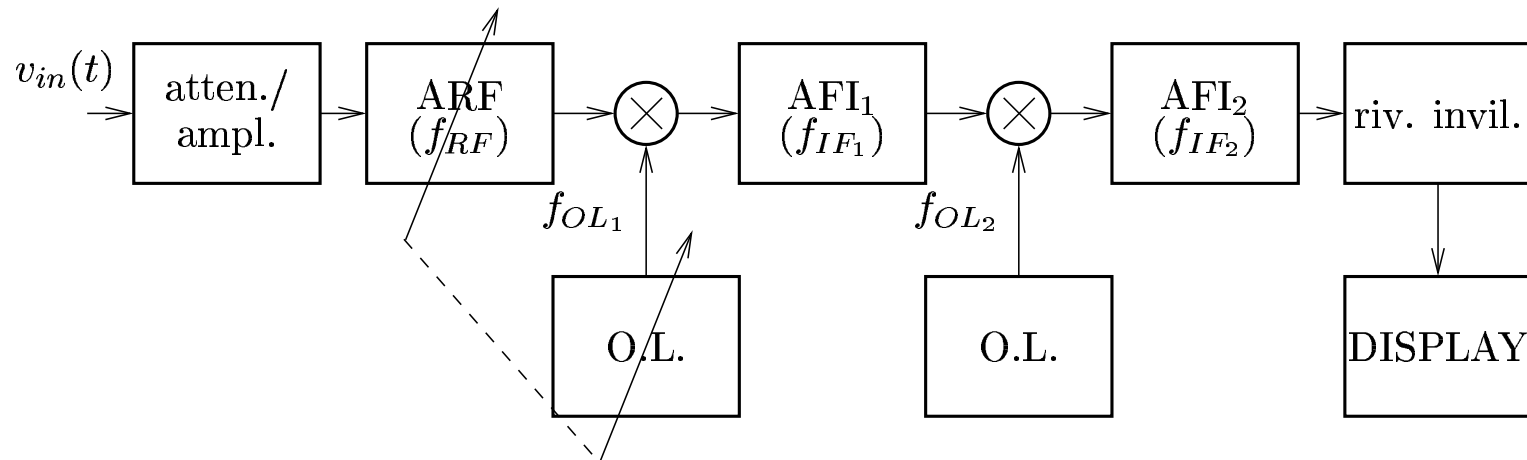
- Più lontane sono le due righe e più è facile reiettare f_{IM} anche con un filtro (H_{RF}) non particolarmente selettivo.

Frequenza immagine

$|S(f)|$



Doppia conversione



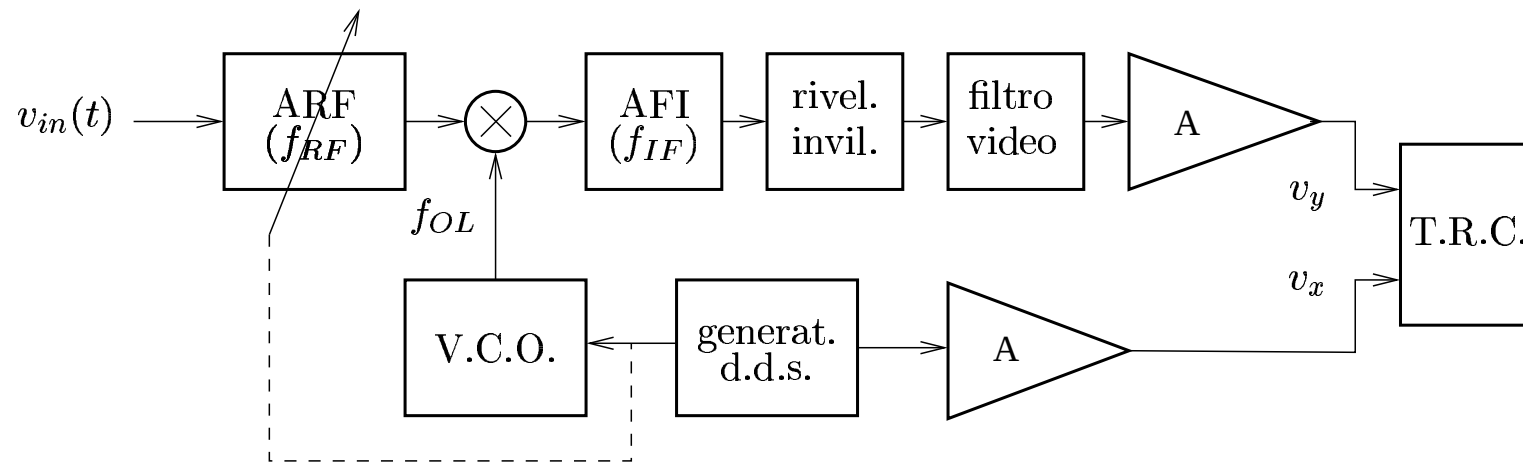
- La prima conversione - verso l'alto - favorisce la reiezione della frequenza immagine
- La seconda conversione - verso il basso - favorisce la selettività del filtro a f. intermedia.

$$f_{IF2} = f_{OL2} - f_{IF1}$$

- Il rivelatore d'involuppo estrae una tensione proporzionale all'ampiezza "della riga" alla frequenza di interesse:

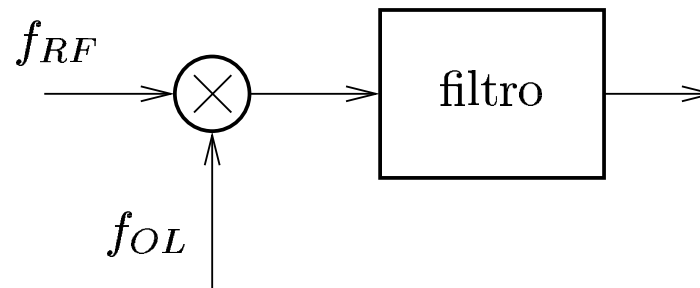
$$Q_1 = Q_2 \quad \text{e} \quad f_{IF1} \gg f_{IF2} \Rightarrow \Delta f_{AFI1} \gg \Delta f_{AFI2}$$

Analizzatore di spettro a scansione

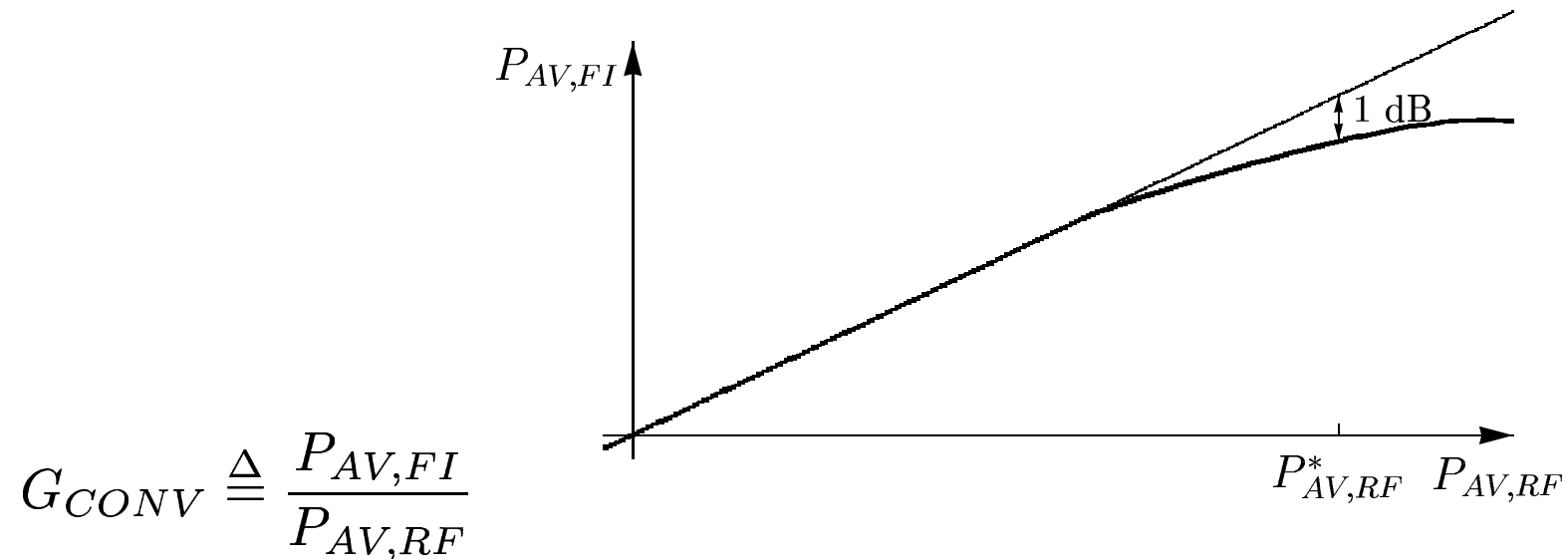


- f_{OL} varia (linearmente) su un certo intervallo (in un certo Δt);
- per ogni valore di f_{OL} si ha una traslazione dello spettro di v_{in} ;
- nell'intervallo Δt una porzione dello spettro di v_{in} passa attraverso la risposta di A.F.I.
- i valori (massimi) del segnale in uscita dall'A.F.I. vengono inviati in sequenza a pilotare la deflessione verticale del T.R.C.
- la deflessione orizzontale è pilotata dalla stessa tensione che pilota il generatore di f_{OL} .

Mixer



- il filtro seleziona la riga di interesse ($f_{OL} - f_{RF}$ oppure $f_{OL} + f_{RF}$);
- Il guadagno di conversione non è costante al variare di $P_{AV,RF}$



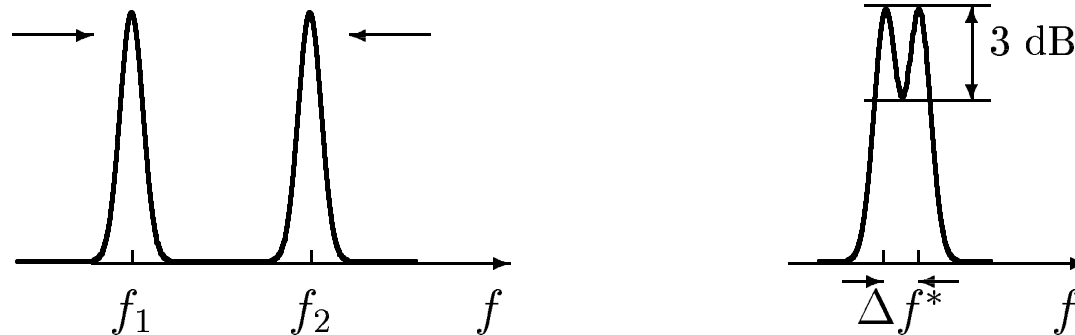
$P_{AV,RF}^*$: punto di compressione a 1 dB

Analizzatore di spettro a scansione - parametri caratteristici (1)

- Resolution bandwidth (RBW)
 - determina la risoluzione frequenziale dello strumento
 - è determinata dal filtro più selettivo (generalmente AFI_2)
 - regolabile dall'utente (velocità vs. selettività)

$$\frac{\Delta f}{\Delta T} \ll RBW^2$$

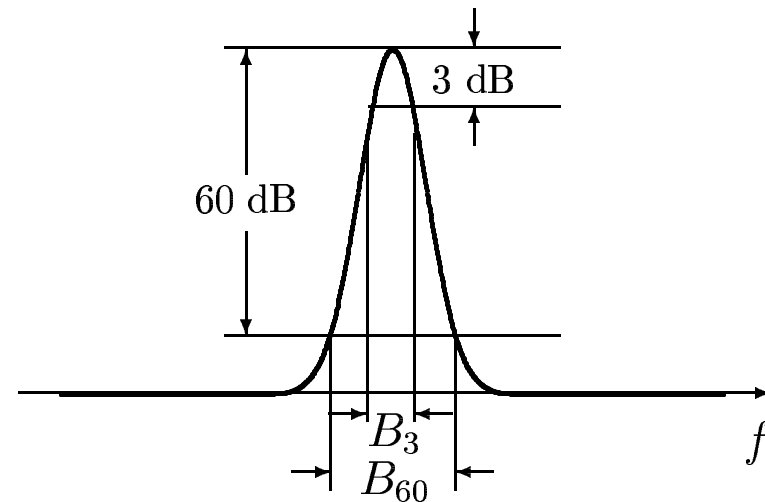
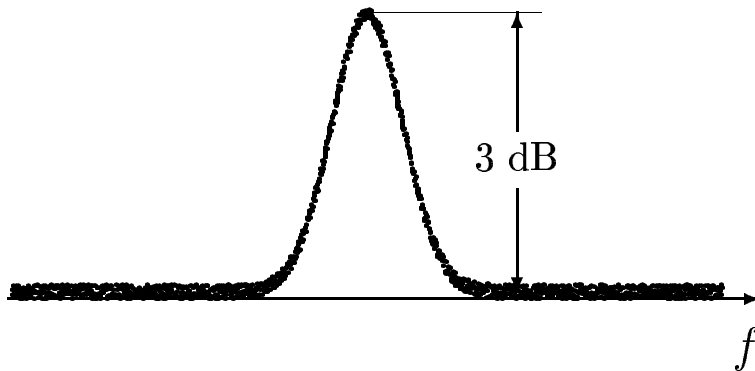
- Risoluzione in frequenza (misura)



Analizzatore di spettro a scansione - parametri caratteristici (2)

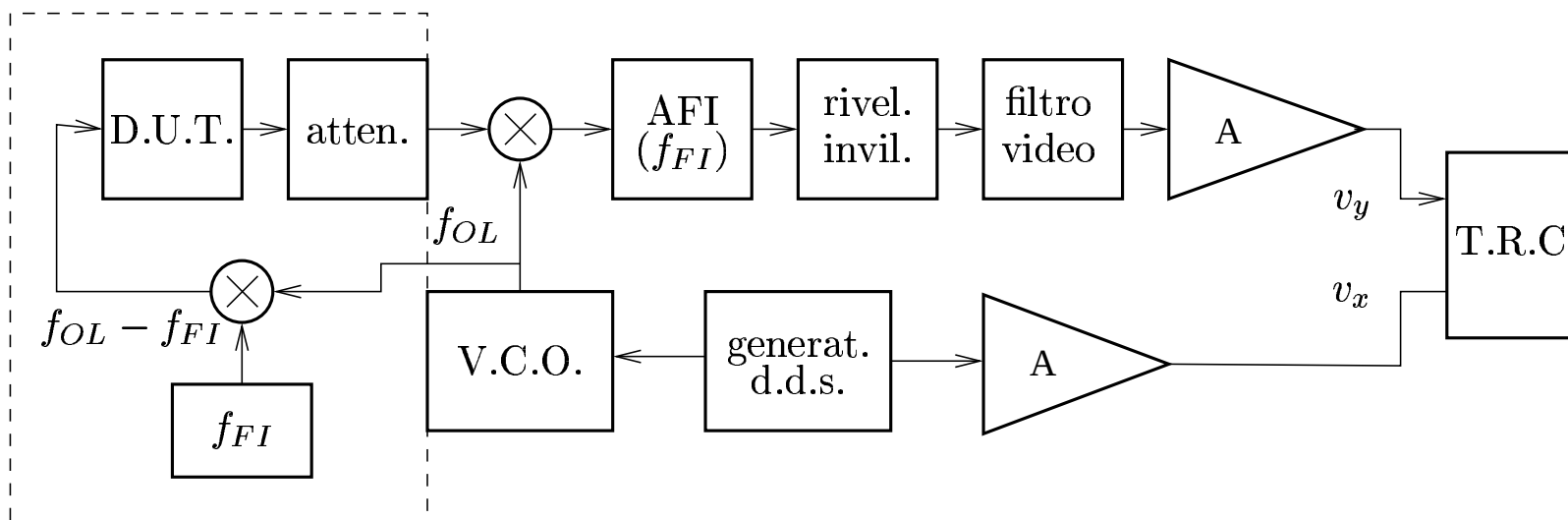
- Sensitività: capacità di fornire una risposta che “emerge” sul rumore di fondo.
- Selettività: capacità di reiettare frequenze vicine alla frequenza centrale dell'A.F.I.

$$SEL = \frac{B_{60}}{B_3}$$

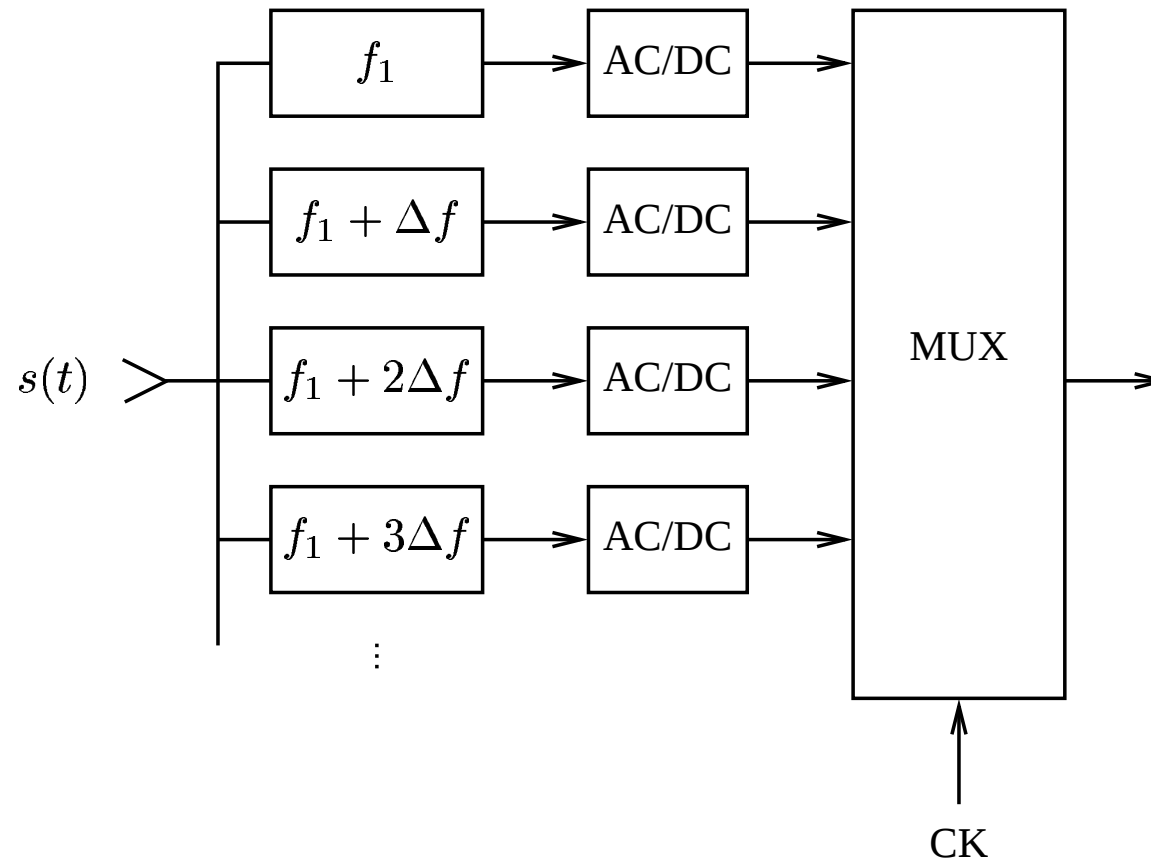


Analizzatore di spettro a scansione con generatore di tracking

Rilievo della risposta in frequenza ($|A(f)|$) di un quadripolo lineare.



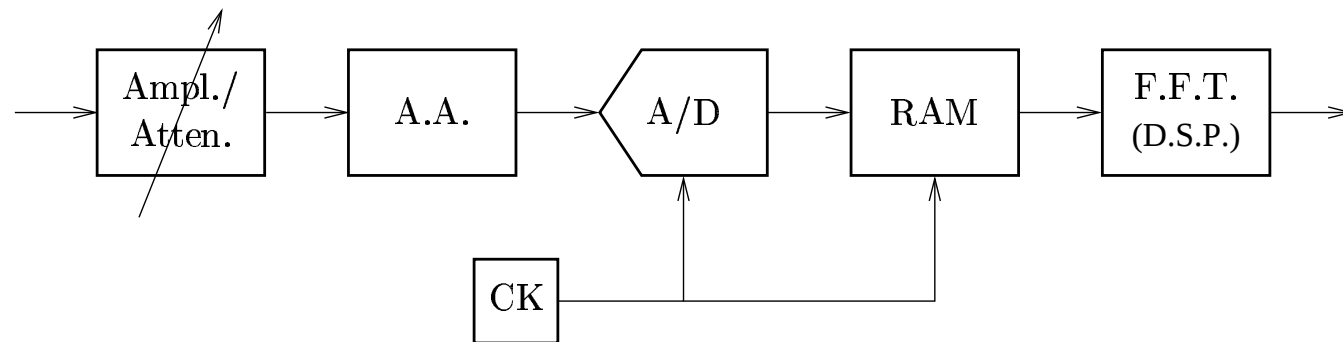
Analizzatore a banco di filtri



- lavora in tempo reale
- ingombro eccessivo per bande molto ampie
- difficoltà a realizzare filtri a banda stretta ad alta frequenza

Analizzatore dinamico di segnali (DSA)

- strumento digitale
- opera in tempo reale
- calcola la FFT del segnale in ingresso



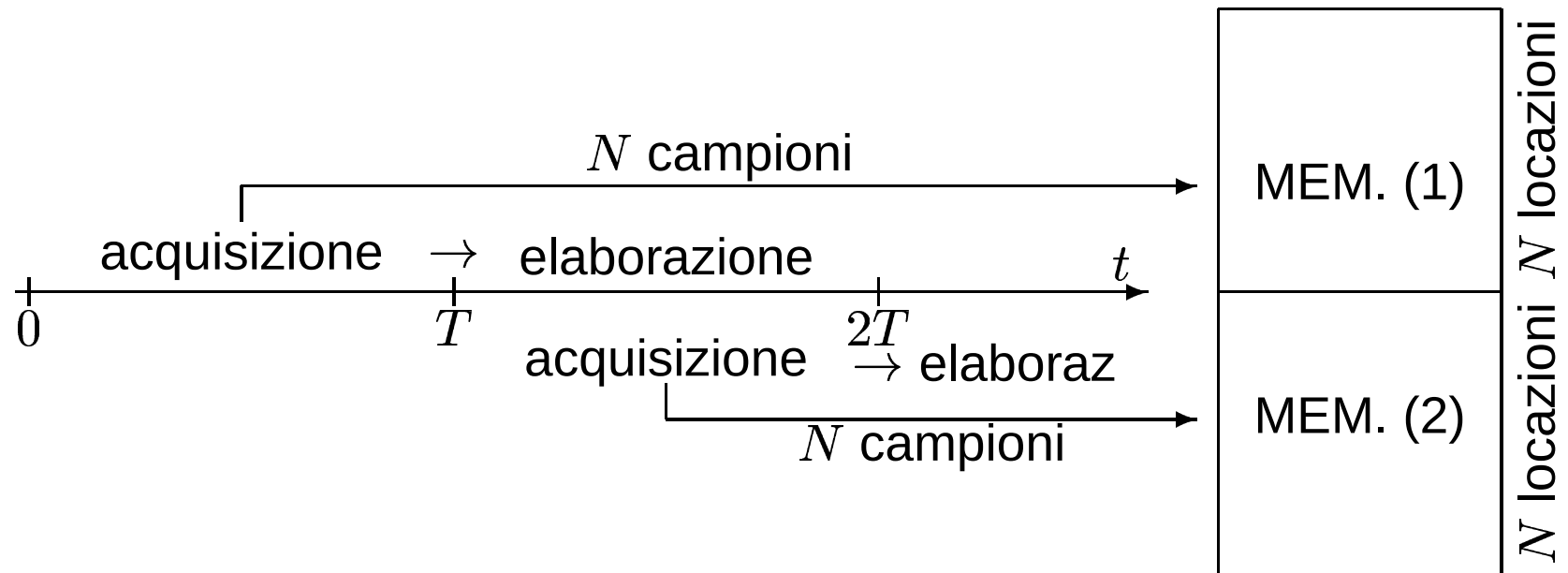
- campionamento a frequenza adeguata:

$$f_C > 2f_H \quad \dots \quad f_H < 0.4f_C$$

- f_H fino a 1 MHz
- convertitori a elevata risoluzione (fino a 16 bit - *flash-pipeline*)

DSA (2)

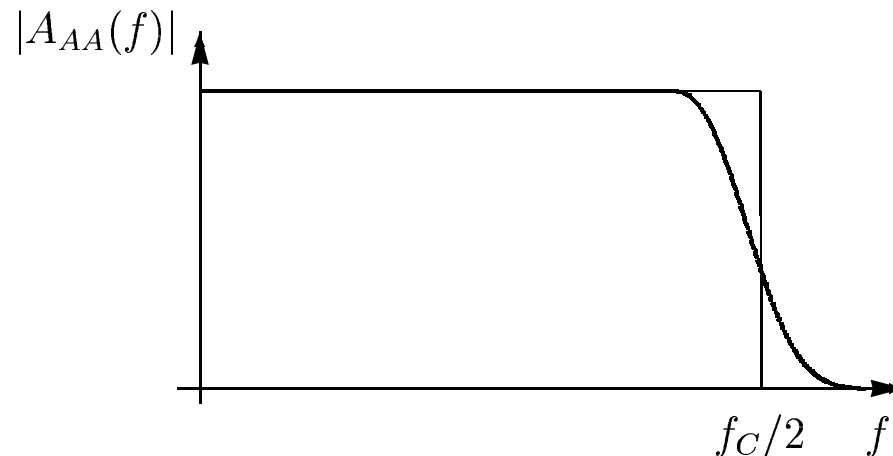
- Il segnale viene campionato “durante l’elaborazione numerica”



- $T_{\text{elab}} < T = \frac{N}{f_C} \rightarrow f_C < \frac{N}{T_{\text{elab}}}$
- *Real Time Bandwidth:* $RTBW = 0.4 \frac{N}{T_{\text{elab}}}$
- il D.S.P. deve assicurare elevata velocità di elaborazione

La T.D.F.

- È “lo spettro” del segnale in corrispondenza di N frequenze spaziate di $\Delta f = \frac{1}{T} = \frac{1}{NT_C} = \frac{f_C}{N}$
- calcolato via F.F.T.
- spettro simmetrico (in f) **perché** il segnale è reale.
- l'informazione utile è contenuta in $N/2$ valori di spettro
- la risposta del filtro anti-alias non è ideale:



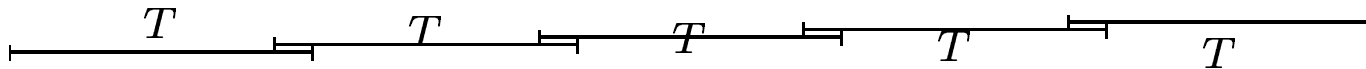
- le frequenze “più alte” risentono dell'errore di alias, per cui si scarta una parte degli $N/2$ valori ($\simeq 20\%$)

DSA - Risoluzione in frequenza

- minima frequenza, risoluzione: $f_{min} = \Delta f = \frac{f_C}{N} = \frac{1}{T_C N}$
- la risoluzione in frequenza potrebbe essere migliorata aumentando T , cioè aumentando T_C (N è imposto dalle caratteristiche del D.S.P.), cioè riducendo f_C
- questo richiede di ridurre la banda del filtro a.a.
- servirebbero tanti filtri, quanti sono i valori impostabili per Δf !
- è possibile “simulare” una frequenza di campionamento più bassa decimando i campioni prelevati a frequenza f_C (1 ogni M)
- la distanza temporale tra campioni successivi utilizzati adesso è M/f_C , equivalente a un campionamento a frequenza f_C/M .
- $\Delta f' = \frac{f_C}{MN}$, $f_{max} = \frac{N}{2} \Delta f' = 0.5 \frac{f_C}{M} \rightarrow 0.4 \frac{f_C}{M}$

DSA - funzioni

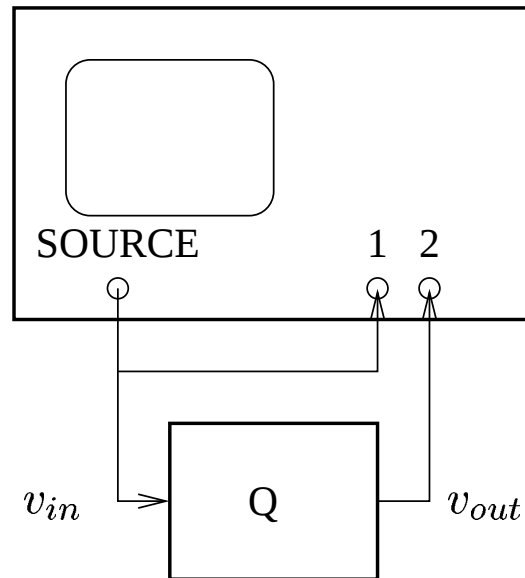
- *Average*: medie su n record del segnale, n selezionabile dall'operatore ($1 \div 65536$)
 - media lineare: media nel tempo dei record acquisiti (riduce il rumore a v.m. nullo)
 - media rms: fornisce l'ampiezza media dello spettro (val. quadratico medio, solo ampiezza)
 - diverse funzioni peso: uniforme, esponenziale, ecc.
aumenta l'accuratezza, ma anche il tempo di misura! $\rightarrow$ *overlap*



- *Windowing*: ogni record temporale è il prodotto del segnale per una funzione *Gate*; lo spettro è modificato (convoluzione con $\text{sinc}(f)$).
 - diversi tipi di finestre alterano diversamente lo spettro del segnale privilegiando alcune caratteristiche (risoluzione in ampiezza, risposta in fase, selettività, ...) a scapito di altre

DSA - rilievo della risposta in frequenza

- Analizzatori a 2 canali
- Sorgente di segnale interna ($\sin(\omega t)$, rumore bianco, rumore $1/f, \dots$)



- il quadripolo è sollecitato contemporaneamente a tutte le frequenze (di interesse)
- lo strumento calcola e visualizza $\text{FFT}(2)/\text{FFT}(1)$ (ampiezza e fase)

Analisi delle distorsioni

Distorsione:

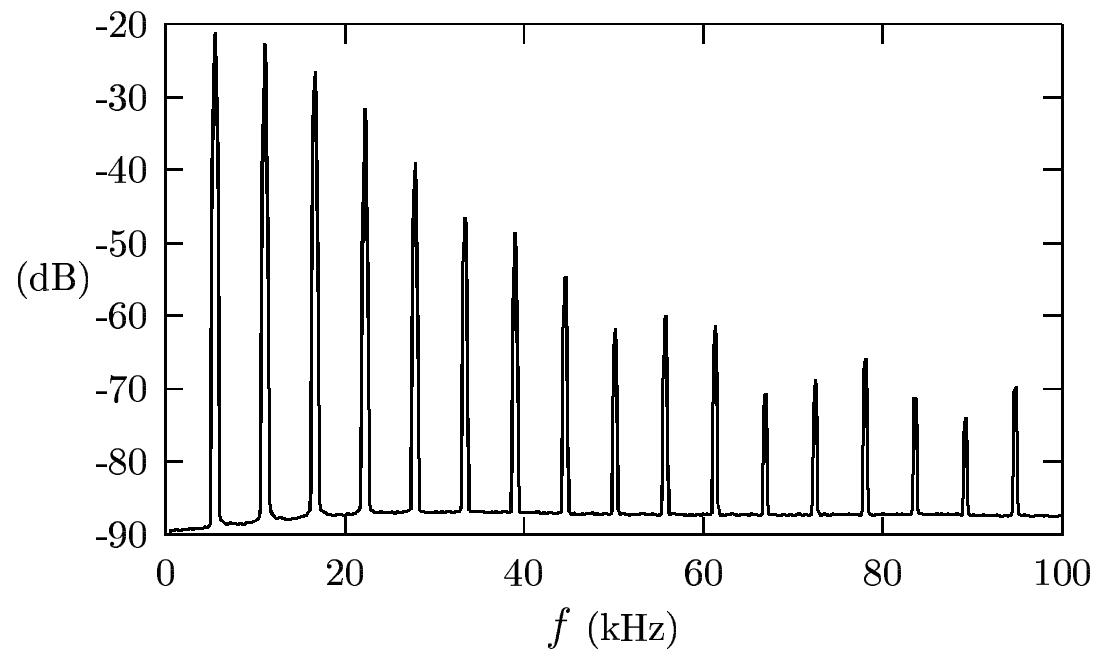
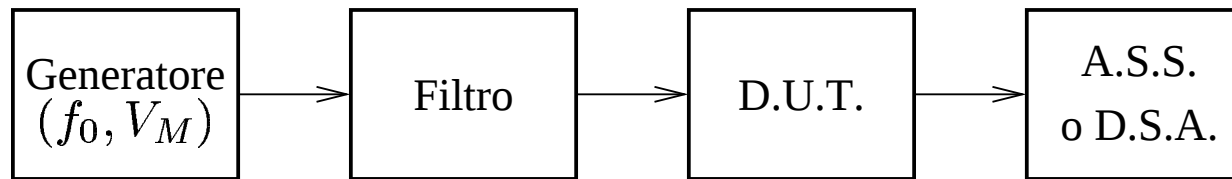
- distorsione armonica*: presenza di armoniche ($k f_0$) (in un sistema nominalmente lineare) sollecitato da segnale monocromatico (f_0);
- distorsione da intermodulazione: presenza di altre componenti spettrali ($a f_1 \pm b f_2$), oltre a quelle di sollecitazione (f_1, f_2)
- distorsione da transitorio

⚠️ difficili da apprezzare e quantificare con l'oscilloscopio

Total Harmonic Distortion* (THD):

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1}$$

Misura della distorsione

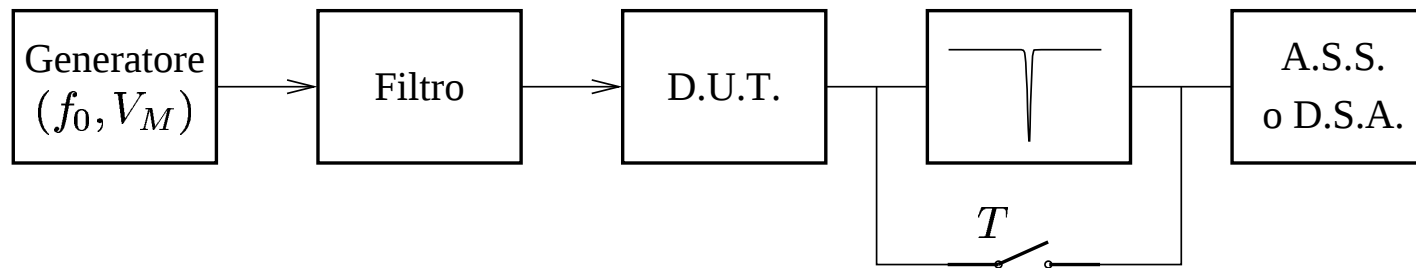


Con un D.S.A.:

- indicare f_0 ed n
- si ottiene direttamente il valore di THD

Misura della distorsione (2)

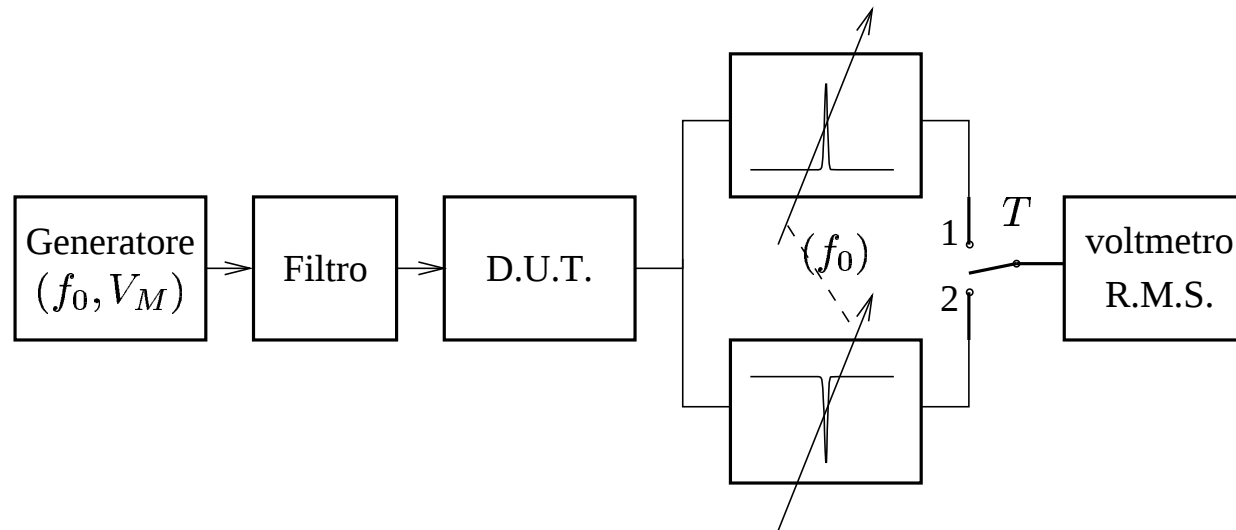
Per distorsioni di piccola entità:



- T chiuso: fondamentale e armoniche $\simeq$ fondamentale
- T aperto: solo le armoniche

Misura della distorsione (3)

Soluzione più economica:



- T in posizione 1: misura della fondamentale (+ rumore in b.p.)
- T in posizione 2: misura del valore efficace associato alle armoniche (+ rumore)
- non si ha la possibilità di distinguere i diversi contributi
- è importante la selettività del filtro (2).
- è possibile misurare il rumore di fondo

Misura delle distorsioni da intermodulazione

