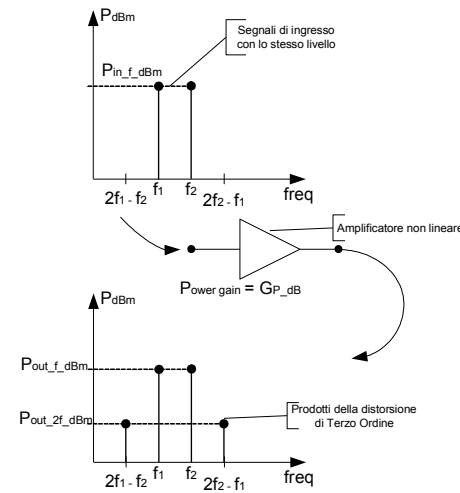
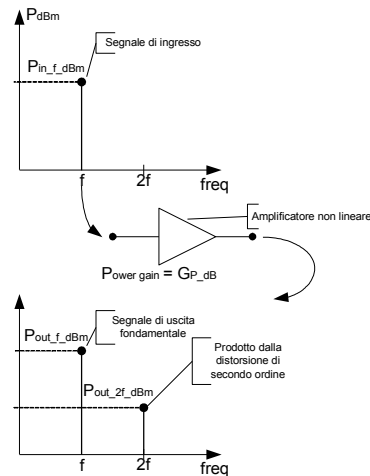


Elettronica per le telecomunicazioni

AA 2014 – 2015

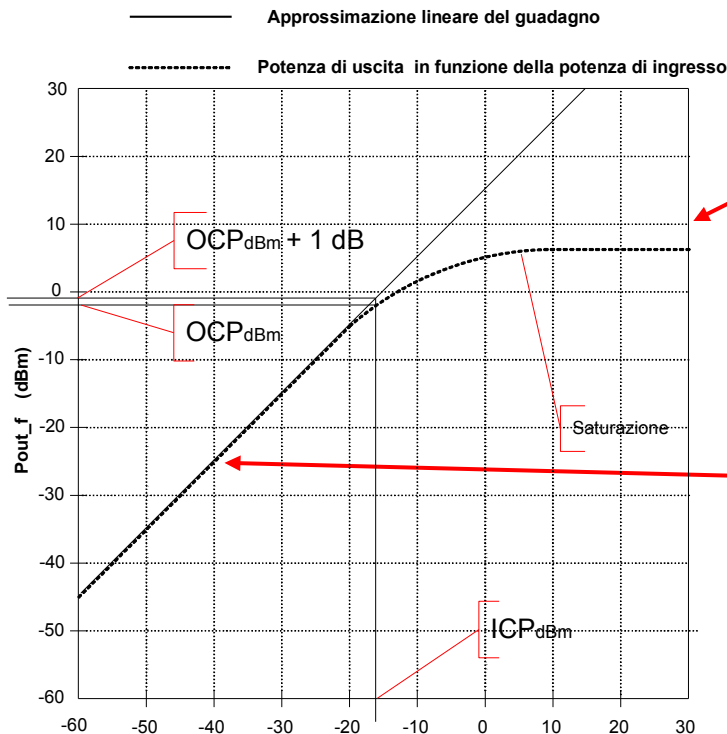
Punto di compressione a 1 dB CP, IP2 e IP3



Il punto di compressione a 1 dB

Un concetto per descrivere la linearità di un dispositivo è il *punto di compressione del guadagno a 1 dB (CP Compression point)*.

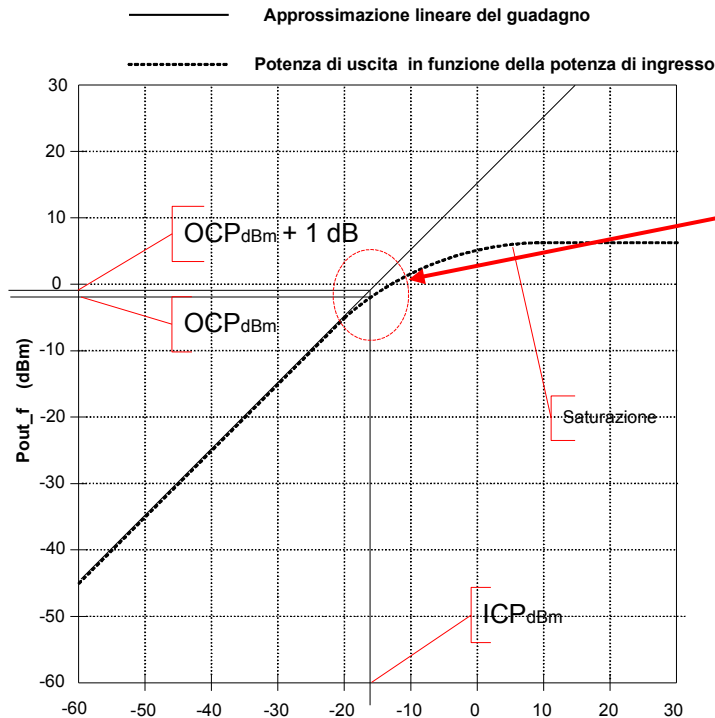
La potenza di uscita cresce linearmente fino ad un certo punto poi comincia a manifestarsi la non linearità del dispositivo.



Il grafico mostra l'andamento della potenza di uscita, di un amplificatore, in funzione della potenza di ingresso, l'amplificatore è considerato non lineare.

La curva è una retta, che mostra l'andamento della potenza di uscita è una retta per bassi valori della potenza di ingresso; all'aumentare della potenza di ingresso di n dB anche la potenza di uscita aumenta di n dB.

Il punto di compressione a 1 dB



Il punto dove la curva si scosta di 1 dB dalla curva ideale (= andamento lineare rappresentato dalla linea retta) viene chiamato *punto di compressione a 1 dB* (*1 dB Compression Point, CP*).

Si definisce:

a) ICP_{dBm} , il punto di compressione a 1 dB di **ingresso**, come il livello della potenza del segnale di ingresso per cui il guadagno dell'amplificatore diminuisce di 1 dB.

b) OCP_{dBm} , il punto di compressione a 1 dB di uscita, corrisponde alla potenza di uscita quando all'ingresso è applicato un segnale di potenza di pari a ICP_{dBm}

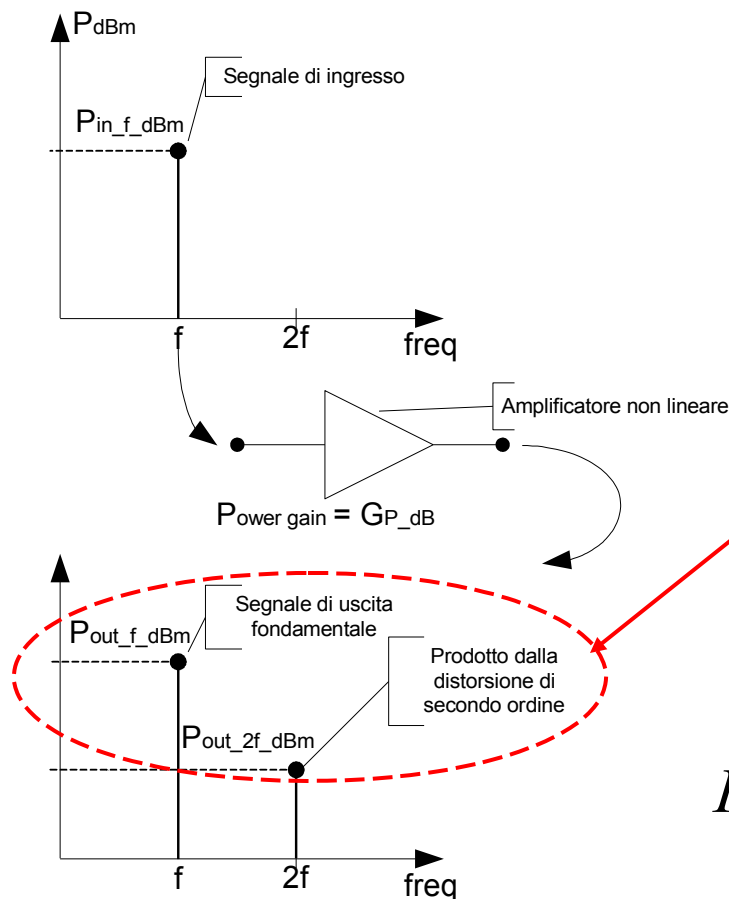
$$OCP_{dBm} = ICP_{dBm} + (G_{P_dB} - 1)$$

Il punto di compressione a 1 dB da una indicazione della linearità di un amplificatore, ma **non consente di calcolare i valori della distorsione**, cosa che è invece possibile fare conoscendo i punti di intercetta di secondo ordine **SO** (second order) e di terzo ordine **TO** (third order).

La misura della non linearità di un amplificatore

Distorsione di secondo ordine

Per **misurare la distorsione di secondo ordine** si applica all'ingresso, del dispositivo in esame, un segnale sinusoidale e si misura alla sua uscita la differenza in potenza fra il segnale fondamentale e quello alla frequenza della seconda armonica.



Il segnale fornito all'ingresso dal generatore **non deve** contenere energia sulla seconda armonica.

L'analizzatore di spettro **non deve** generare prodotti sulla seconda armonica.

$$A_{d_SO_dB} = P_{out_f_dBm} - P_{out_2f_dBm}$$

Riferito all'ingresso

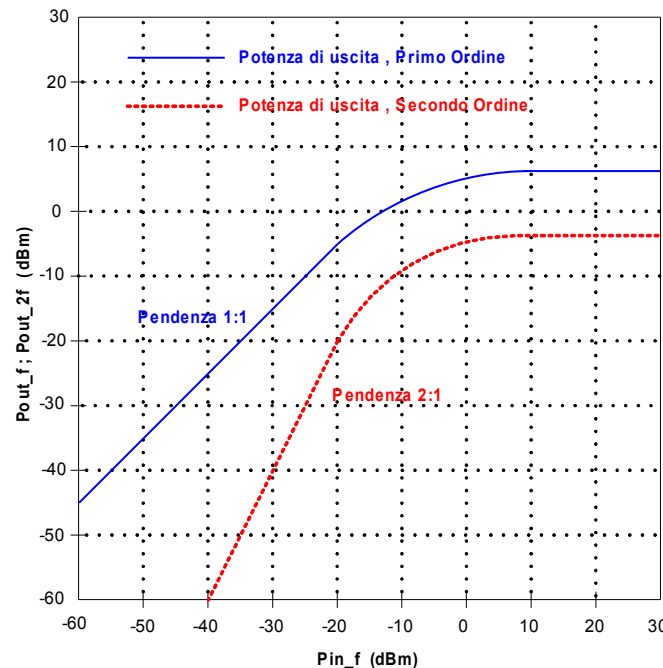
$$P_{out_2f_dBm} = P_{in_2f_dBm} + G_{p_dBm}$$

Il punto di intercetta di secondo ordine

Se si traccia una curva che rappresenti l'andamento della potenza di uscita in funzione della potenza di ingresso si ottiene un grafico con una pendenza 1:1 (in dB) fino alla saturazione dell'amplificatore, questo grafico rappresenta l'andamento del guadagno.

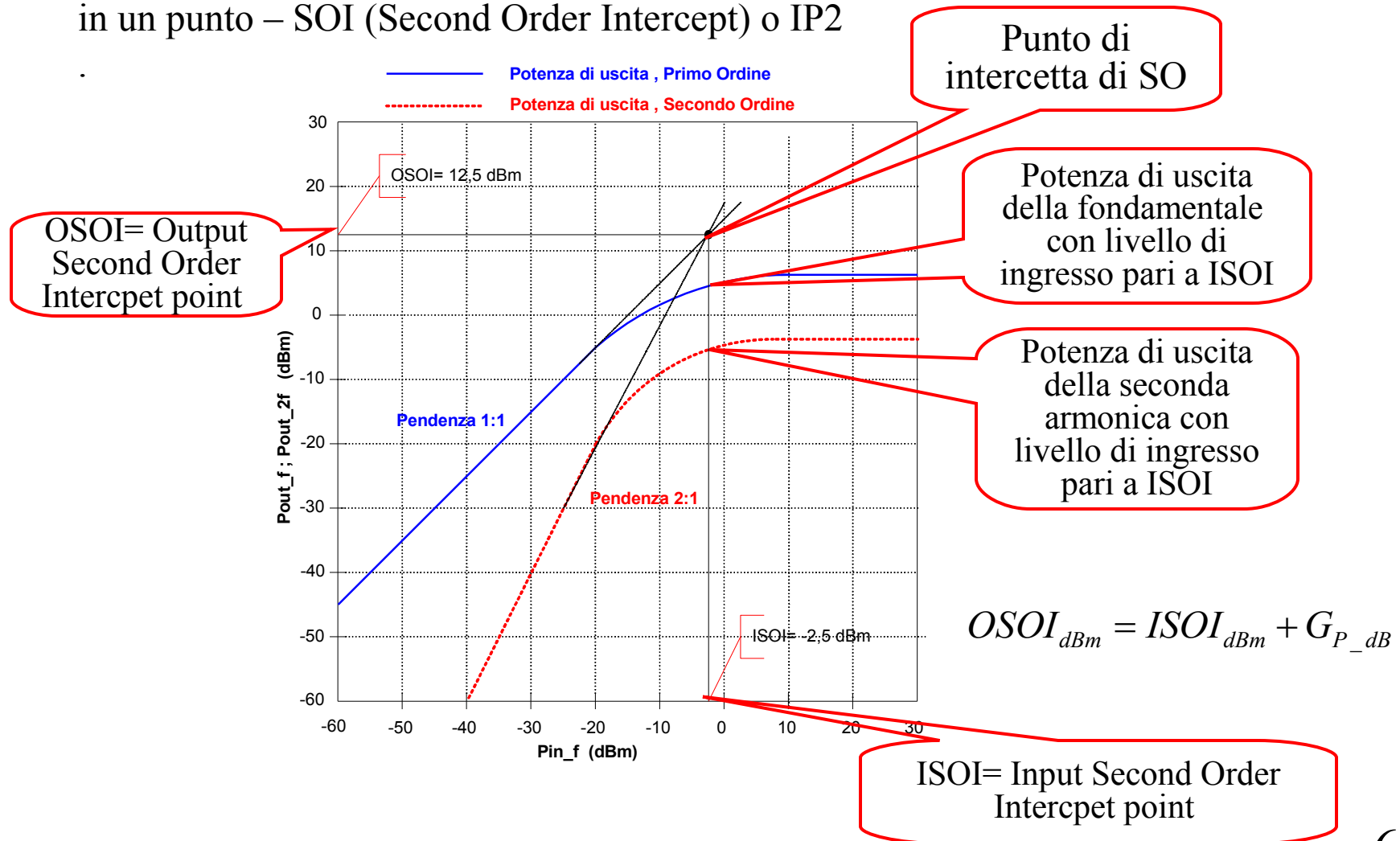
Il grafico che lega l'uscita di secondo ordine (SO) alla potenza di ingresso avrà invece una pendenza 2:1 (in dB). Questo è dovuto al fatto che la componente di SO è provocata dal termine

$$V_{out} = k_2 V_{in}^2$$

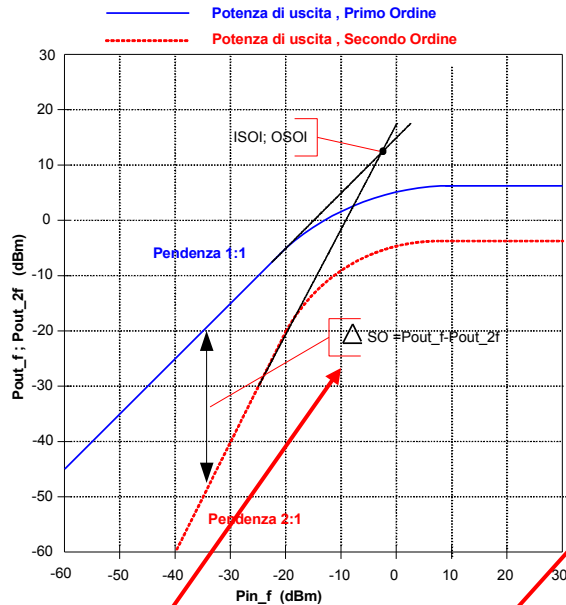


Il punto di intercetta di secondo ordine

Se si prolungano i tratti rettilinei della curva di uscita della fondamentale e della curva dell'uscita di SO, ad un certo punto queste due linee si intersecano in un punto – SOI (Second Order Intercept) o IP2



Il punto di intercetta di secondo ordine



L'equazione di una retta che passa per due punti è

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

per la fondamentale diventa

$$P_{out_f_dBm} - OSOI_{dBm} = 1 \bullet (P_{in_f_dBm} - ISOI_{dBm})$$

$$P_{out_f_dBm} = P_{in_f_dBm} - ISOI_{dBm} + OSOI_{dBm}$$

per la seconda armonica

$$P_{out_2f_dBm} - OSOI_{dBm} = 2 \bullet (P_{in_f_dBm} - ISOI_{dBm})$$

$$P_{out_2f_dBm} = 2P_{in_f_dBm} - 2ISOI_{dBm} + OSOI_{dBm}$$

$$\Delta_{SO_dB} = P_{out_f_dBm} - P_{out_2f_dBm}$$

$$\Delta_{SO_dB} = P_{in_f_dBm} - ISOI_{dBm} + OSOI_{dBm} - (2P_{in_f_dBm} - 2ISOI_{dBm} + OSOI_{dBm})$$

$$\Delta_{SO_dB} = ISOI_{dBm} - P_{in_f_dBm}$$

Il punto di intercetta di secondo ordine

$$\Delta_{SO_dB} = ISOI_{dBm} - P_{in_f_dBm}$$

Δ_{SO_dB} si può esprimere anche in un modo diverso

$$OSOI_{dBm} = ISOI_{dBm} + G_{P_dB}$$

$$ISOI_{dBm} = OSOI_{dBm} - G_{P_dB} \quad \leftarrow G_{P_dB} = P_{out_f_dBm} - P_{in_f_dBm}$$

$$ISOI_{dBm} = OSOI_{dBm} - P_{out_f_dBm} + P_{in_f_dBm}$$

$$\Delta_{SO_dB} = ISOI_{dBm} - P_{in_f_dBm}$$

$$\Delta_{SO_dB} = OSOI_{dBm} - P_{out_f_dBm} - P_{in_f_dBm} + P_{in_f_dBm}$$

$$\Delta_{SO_dB} = OSOI_{dBm} - P_{out_f_dBm}$$

Il punto di intercetta di secondo ordine

$$P_{out_f_dBm} = P_{in_f_dBm} + G_{p_dB}$$

$$P_{out_2f_dBm} = P_{in_2f_dBm} + G_{p_dB}$$

$$\Delta_{SO_dB} = P_{out_f_dBm} - P_{out_2f_dBm}$$

$$\Delta_{SO_dB} = P_{in_f_dBm} + G_{p_dB} - (P_{in_2f_dBm} + G_{p_dB}) \quad \Rightarrow \quad \Delta_{SO_dB} = P_{in_f_dBm} - P_{in_2f_dBm}$$

$$P_{in_2f_dBm} = P_{in_f_dBm} - \Delta_{SO_dB} \quad \leftarrow \quad \Delta_{SO_dB} = ISOI_{dBm} - P_{in_f_dBm}$$

$$P_{in_2f_dBm} = P_{in_f_dBm} - ISOI_{dBm} + P_{in_f_dBm} \quad \Rightarrow \quad P_{in_2f_dBm} = 2P_{in_f_dBm} - ISOI_{dBm}$$

$$\Delta_{SO_dB} = P_{out_f_dBm} - P_{out_2f_dBm}$$

$$\Delta_{SO_dB} = OSOI_{dBm} - P_{out_f_dBm}$$

$$P_{out_2f_dBm} = P_{out_f_dBm} - \Delta_{SO_dB}$$

$$P_{out_2f_dBm} = P_{out_f_dBm} - OSOI_{dBm} + P_{out_f_dBm}$$

$$P_{out_2f_dBm} = 2P_{out_f_dBm} - OSOI_{dBm}$$

Riassumendo

Per ricavare le relazioni si scrivono le equazioni della retta che passa per due punti per ciascuna delle due rette, quella della potenza utile e quella della potenza dovuta alla distorsione.

Un punto è definito dal punto di intercetta SOI, un secondo punto da un valore di potenza qualsiasi.

Si ricavano così le equazioni della potenza $P_{out_f_dBm}$ e $P_{out_2f_dBm}$ da cui si ricava Δ_{SO_dB} in un punto qualsiasi.

Si ricavano le equazioni che:

- individuano il valore della attenuazione della distorsione in funzione del livello di potenza se è noto OSOI oppure ISOI.
- consentono di calcolare il valore della potenza dovuta alla distorsione in funzione di ISOI oppure OSOI in funzione della potenza utile.

La misura della non linearità di un amplificatore

Distorsione di terzo ordine

La distorsione di **terzo ordine** non si può attenuare completamente con una appropriata scelta del filtro, come per la distorsione di SO, essa dipende esclusivamente dalla linearità del dispositivo e quindi su questo bisogna lavorare per ridurla.

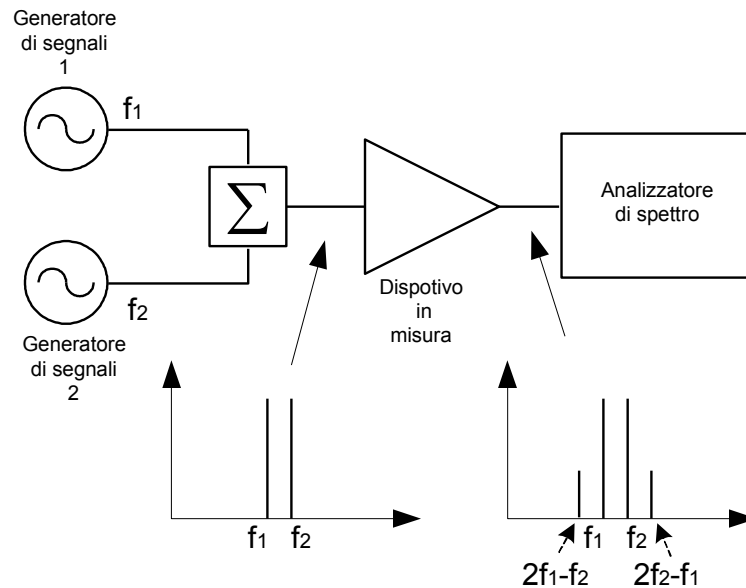
Il **metodo di misura** potrebbe essere quello usato per la distorsione di SO cioè pilotando un amplificatore con un singolo segnale sinusoidale a frequenza f e misurare in uscita l'attenuazione fra la componente a frequenza f e quella a frequenza $3f$.

I termini che danno più fastidio sono quelli che non possono essere filtrati dal filtro preselettore, cioè le componenti a frequenza $2f_1 - f_2$ e $2f_2 - f_1$ (ciascuna in banda utile).

La misura della non linearità di un amplificatore

Distorsione di terzo ordine

Le componenti in banda si presentano quando l'amplificatore è pilotato con due segnali e quindi si preferisce fare la misura con due segnali di ingresso di potenza uguale.

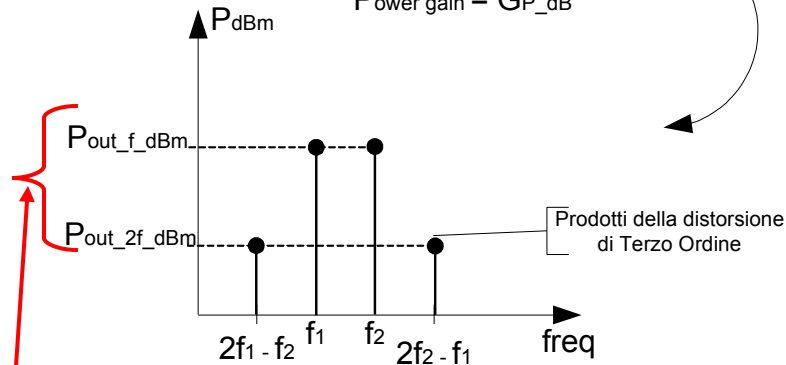
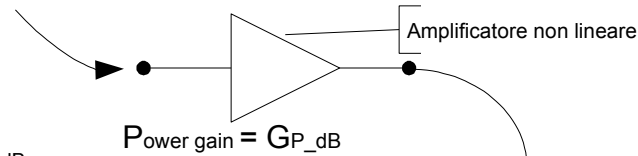
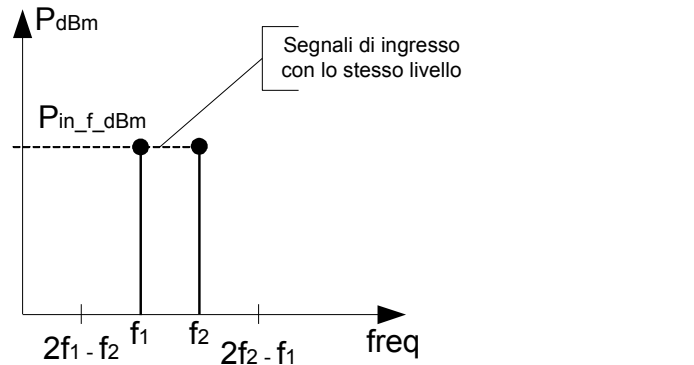


Il segnale fornito dal generatore non deve contenere energia sulla terza armonica.

L'analizzatore di spettro non deve generare prodotti sulla terza armonica.

La misura della non linearità di un amplificatore

Distorsione di terzo ordine



$$P_{out_f_dBm} = P_{in_f_dBm} + G_{P_dB}$$

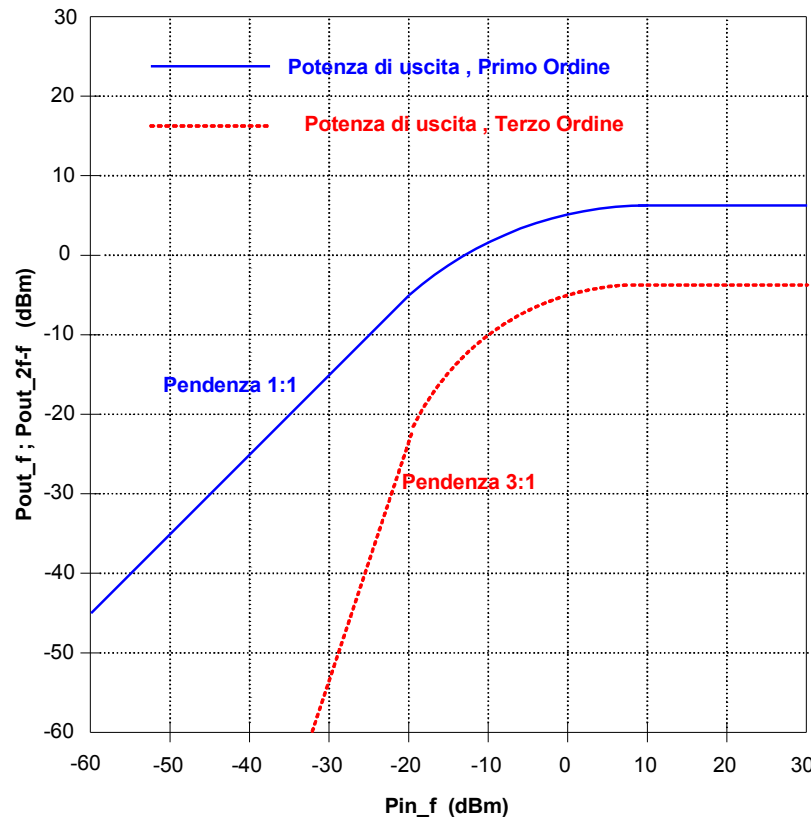
$$P_{out_2f_dBm} = P_{in_2f_dBm} + G_{P_dB}$$

Riferita all'ingresso

$$\Delta_{TO_dB} = P_{out_f_dBm} - P_{out_2f_dBm}$$

Il punto di intercetta di terzo ordine

Se si misurano $P_{in_f_dBm}$, $P_{out_f_dBm}$ e $P_{out_2f-f_dBm}$ per molti valori di potenza e si traccia un grafico di queste quantità in funzione di $P_{in_f_dBm}$ si ottiene un grafico di questo tipo



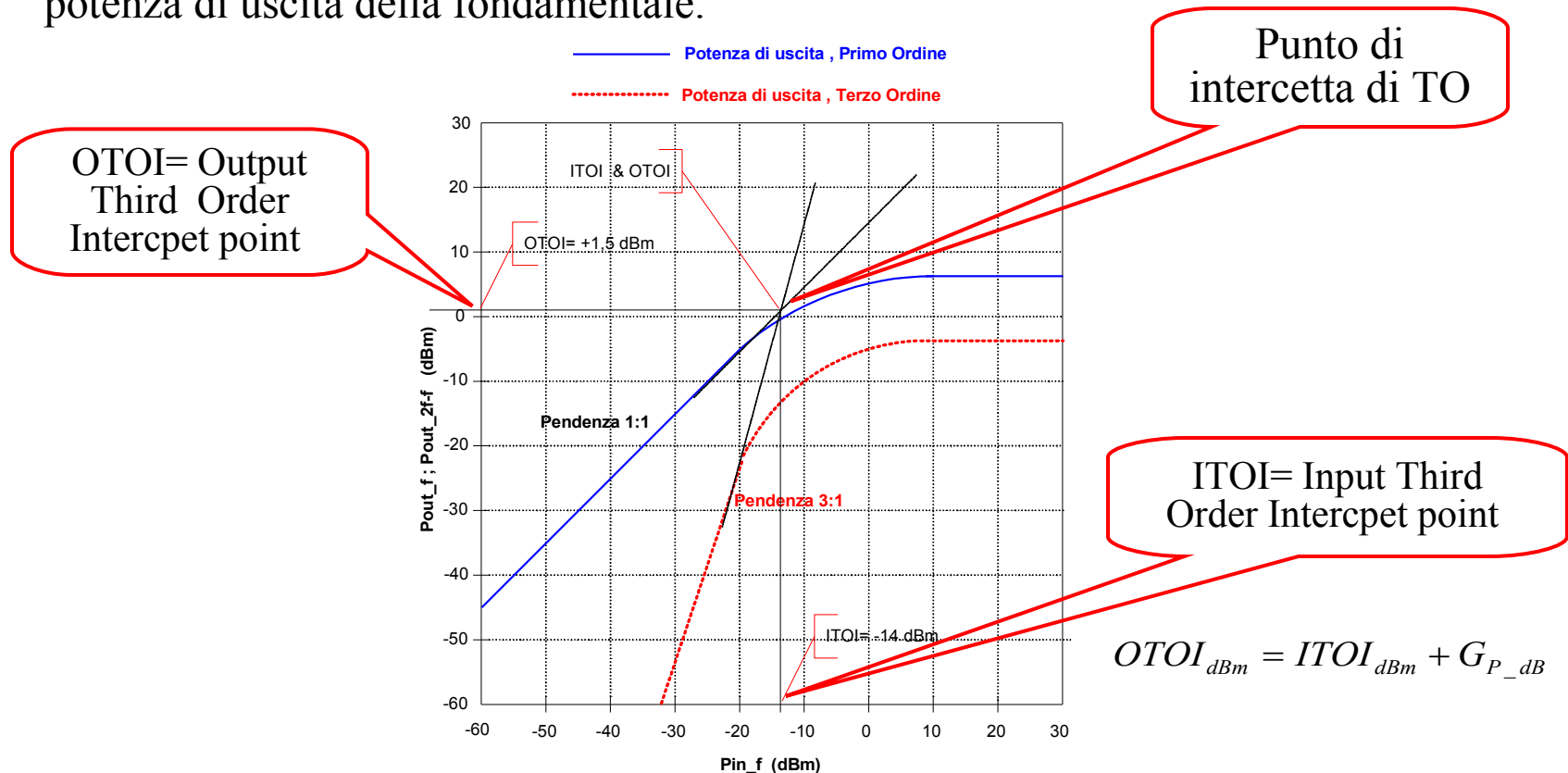
Nel grafico in figura si nota che la potenza di uscita della fondamentale sale con pendenza 1:1 nei confronti dell'incremento della potenza di ingresso

La potenza di uscita delle componenti di TO salgono con pendenza 3:1. Questo dipende dal fatto che le componenti di Terzo Ordine sono generate dal termine

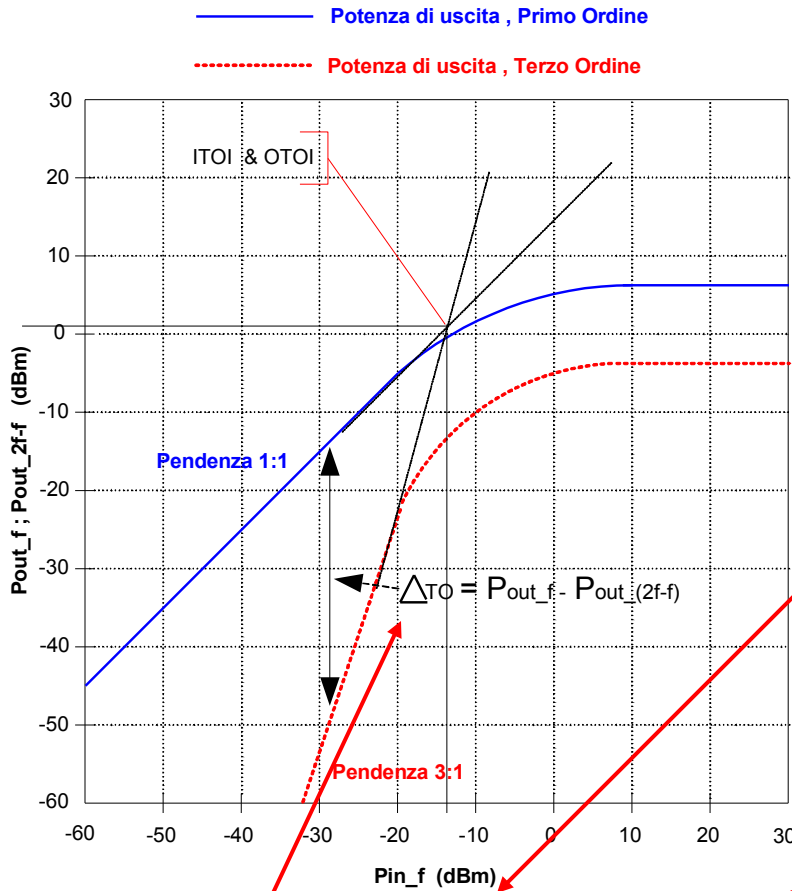
$$k_3 V_{in}^3$$

Il punto di intercetta di terzo ordine

Se si prolungano i tratti rettilinei della curva di uscita della fondamentale e della curva dell'uscita di TO fino ad intersecarsi in un punto. Questo punto viene chiamato **punto di intercetta di terzo ordine** (Third Order Intercept point = **TOI**, si userà il termine inglese) o **IP3**, esso rappresenta il punto, ideale, in cui la potenza dell'uscita di TO raggiunge lo stesso livello della potenza di uscita della fondamentale.



Il punto di intercetta di terzo ordine



L' equazione della retta che passa per due punti è

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

per la fondamentale diventa

$$P_{out_f_dBm} - OTOI_{dBm} = 1 \bullet (P_{in_f_dBm} - ITOI_{dBm})$$

$$P_{out_f_dBm} = P_{in_f_dBm} - ITOI_{dBm} + OTOI_{dBm}$$

per le componenti TO

$$P_{out_ (2f-f)_dBm} - OTOI_{dBm} = 3 \bullet (P_{in_f_dBm} - ITOI_{dBm})$$

$$P_{out_ (2f-f)_dBm} = 3P_{in_f_dBm} - 3ITOI_{dBm} + OTOI_{dBm}$$

$$\Delta_{TO_dB} = P_{out_f_dBm} - P_{out_ (2f-f)_dBm}$$

$$\Delta_{TO_dB} = P_{in_f_dBm} - ITOI_{dBm} + OTOI_{dBm} - (3P_{in_f_dBm} - 3ITOI_{dBm} + OTOI_{dBm})$$

$$\Delta_{TO_dB} = 2(ITOI_{dBm} - P_{in_f_dBm})$$

$$\Delta_{TO_dB} = 2(ITOI_{dBm} - P_{in_f_dBm})$$

Δ_{TO_dB} si può esprimere anche diversamente

$$OTOI_{dBm} = ITOI_{dBm} + G_{P_dB}$$

$$ITOI_{dBm} = OTOI_{dBm} - G_{P_dB} \quad \leftarrow G_{P_dB} = P_{out_f_dBm} - P_{in_f_dBm}$$

↓

$$ITOI_{dBm} = OTOI_{dBm} - P_{out_f_dBm} + P_{in_f_dBm}$$

↘

$$\Delta_{TO_dB} = 2(ITOI_{dBm} - P_{in_f_dBm})$$

↓

$$\Delta_{TO_dB} = 2(OTOI_{dBm} - P_{out_f_dBm} + P_{in_f_dBm} - P_{in_f_dBm})$$

↓

$$\Delta_{TO_dB} = 2(OTOI_{dBm} - P_{out_f_dBm})$$

$$\Delta_{TO_dB} = P_{out_f_dBm} - P_{out_(2f-f)_dBm}$$



$$P_{out_(2f-f)_dBm} = P_{out_f_dBm} - \Delta_{TO_dB} \quad \leftarrow \Delta_{TO_dB} = 2(OTOI_{dBm} - P_{out_f_dBm})$$



$$P_{out_(2f-f)_dBm} = P_{out_f_dBm} - 2(OTOI_{dBm} - P_{out_f_dBm})$$



$$P_{out_(2f-f)_dBm} = 3P_{out_f_dBm} - 2OTOI_{dBm}$$