

La misura di MDS e IMD nei ricevitori per onde corte

Queste note riguardano la descrizione delle apparecchiature e le disposizioni circuitali da adottare per la misura del livello del minimo segnale ricevibile (MDS), e del livello di due segnali, aventi pari ampiezza, che - applicati all'ingresso del ricevitore - generano nei circuiti del ricevitore prodotti d'intermodulazione del terzo ordine di livello pari al livello del minimo segnale ricevibile: questa ultima misura viene spesso detta "misura di IMD" (MDS è l'abbreviazione di "minimum discernible signal", IMD è l'abbreviazione di "intermodulation distortion"); vengono inoltre riportati i risultati delle misure di MDS e IMD effettuate su di un ricevitore, ed una breve analisi dei risultati delle misure.

Apparecchiature necessarie per poter eseguire le misure

a) Generatori di segnale RF

Per poter misurare sia il livello di IMD che quello di MDS, sono necessari due generatori di segnale RF, con elevata stabilità, purezza spettrale (in particolare minima ampiezza delle bande laterali dovute al rumore prodotto dal generatore stesso), bassissima irradiazione dispersa (RF leakage), livello d'uscita regolabile tra circa -140 dBm e circa -20 dBm, impedenza interna pari a quella d'ingresso del ricevitore in prova (generalmente 50 Ω).

I "normali" generatori RF non hanno, in generale, caratteristiche adeguate (in particolare per ciò che riguarda la purezza spettrale e la irradiazione dispersa).

Una adeguata e poco costosa soluzione consiste nell'autocostruirsi due generatori RF su due frequenze fisse, distanti tra loro circa 20 kHz, all'interno della banda in cui si vogliono eseguire le misure.

I generatori in questione — alimentati da batterie, facenti uso di risuonatori piezoelet-

trici, con livello d'uscita non regolabile, ed impedenza interna pari a 50 Ω — sono stati più volte descritti nella letteratura tecnica (vedi Bibliografia 1, 2, 3).

La fig. 1 riporta lo schema di quelli costruiti dall'autore, per misure sulla banda dei 40 metri; essi hanno due uscite: una a basso livello (-73 dBm) per la misura di MDS, una seconda ad alto livello (-24 dBm) per la misura di IMD.

La frequenza del segnale generato è pari a 7025 kHz e 7047 kHz.

b) Attenuatore calibrato

Da usare nella regolazione del livello del segnale RF, qualora i generatori RF usati abbiano livello d'uscita non regolabile.

L'attenuatore in questione, se usato con generatori RF simili a quelli costruiti dall'A., dovrà essere regolabile, a gradini di un dB, tra zero e circa 70 dB, la sua impedenza sarà pari a 50 Ω ; anch'esso è stato più volte descritto nella letteratura tecnica (vedi Bibliografia 1, 4).

La fig. 2 riporta lo schema di quello costruito dall'A.

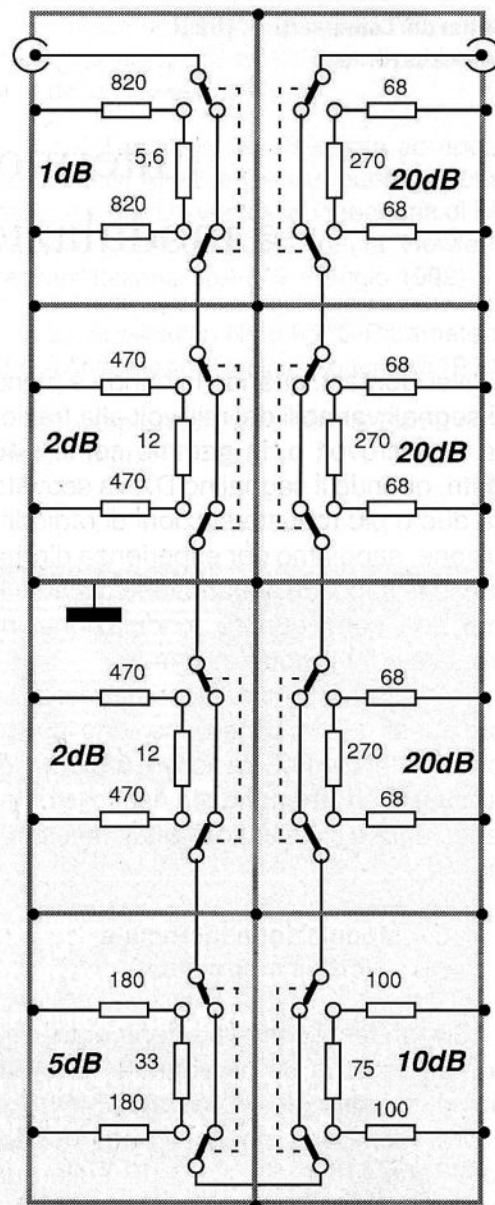


Fig. 2 - Attenuatore ($Z = 50\Omega$)

c) Accoppiatore ibrido

Consente di applicare, nella misura di IMD, i segnali prodotti dai due generatori RF al ricevitore in prova, senza che un generatore provochi modulazione di fase sul segnale generato dall'altro; anch'esso è stato descritto più volte (vedi Bibliografia 1, 2, 4). E' necessario che esso abbia impedenza interna pari a quella dei generatori e a quella d'ingresso del ricevitore in prova (in generale 50 Ω).

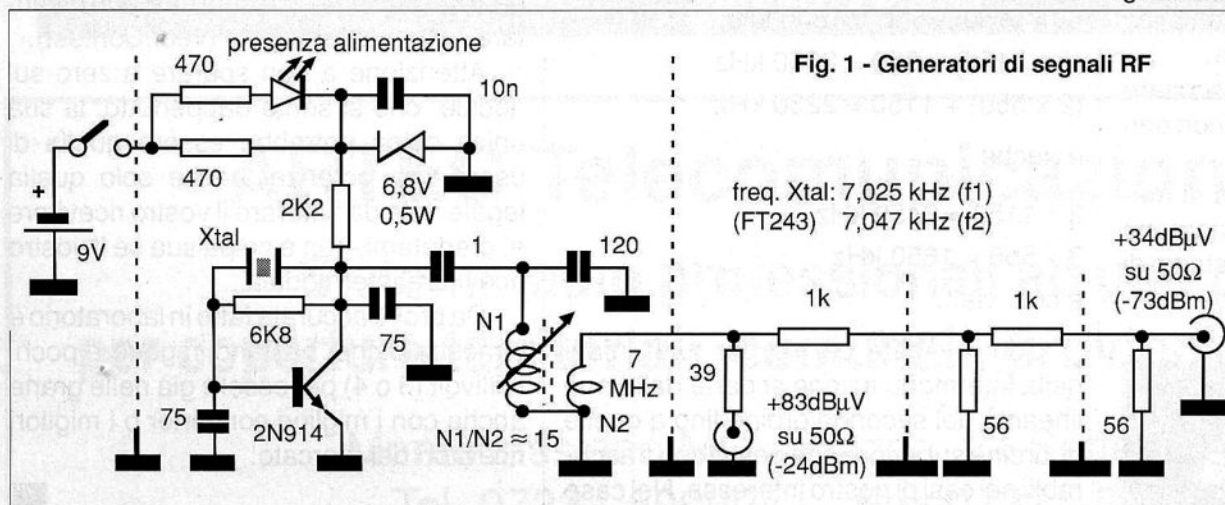


Fig. 1 - Generatori di segnali RF

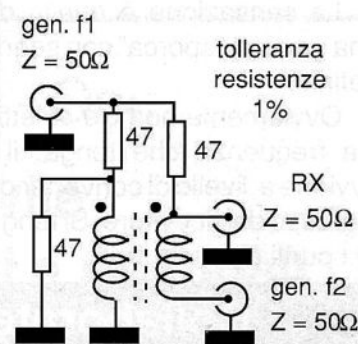


Fig. 3 - Accoppiatore ibrido

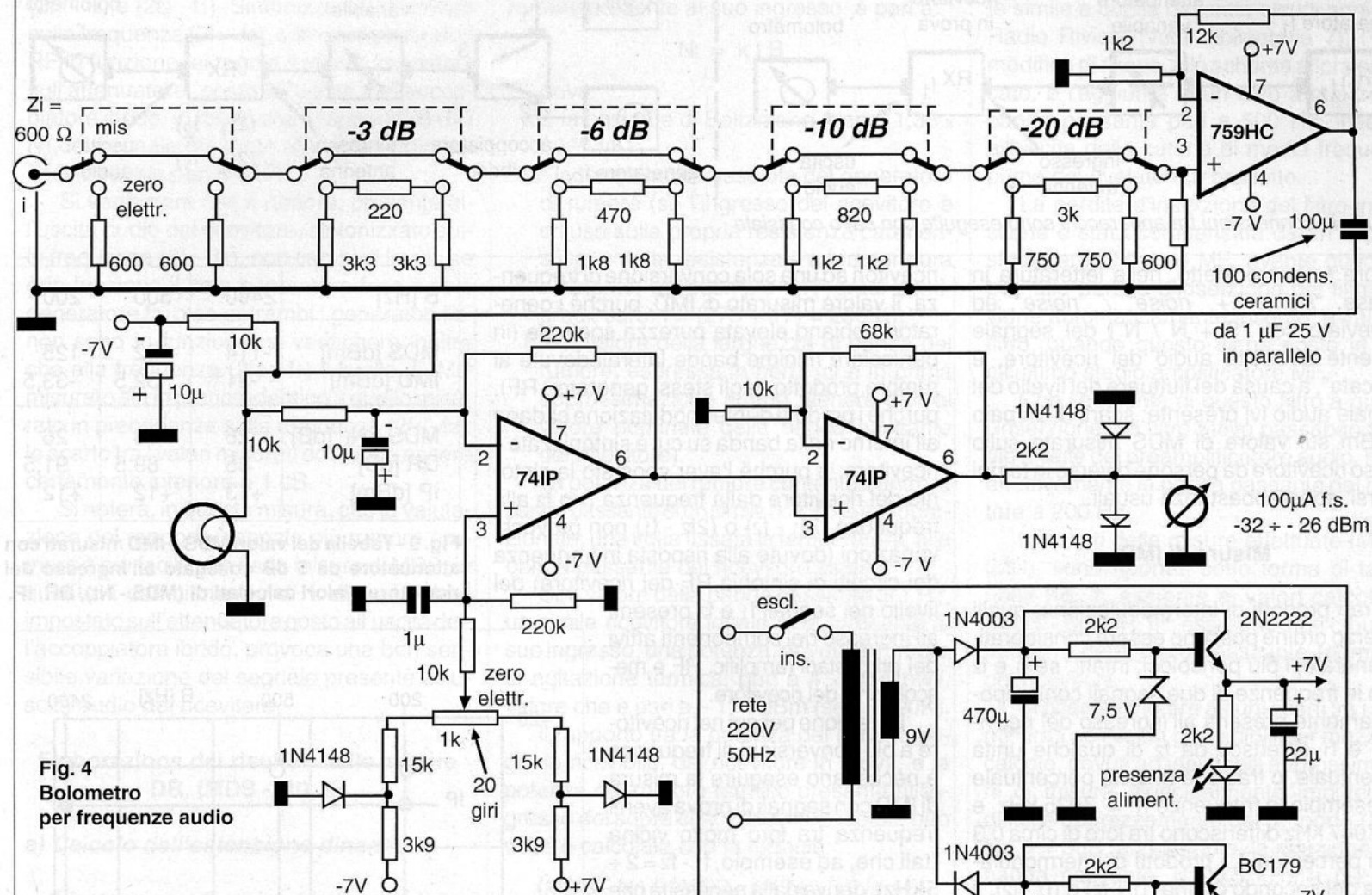


Fig. 4
Bolometro
per frequenze audio

La **fig. 3** riporta lo schema di quello costruito dall'A. Nel calcolo del valore di IMD si dovrà tener conto che il livello dei segnali presenti all'uscita dell'accoppiatore ibrido è di 6 dB inferiore al livello dei segnali applicati ai due ingressi dell'accoppiatore stesso.

d) Voltmetro per corrente alternata, per frequenze audio.

Serve per la misura del livello del segnale presente all'uscita audio del ricevitore in prova, durante le misure di IMD e MDS (se manca l'uscita audio, il voltmetro in questione andrà collegato in parallelo all'altoparlante o alla cuffia).

Sarebbe bene che il voltmetro in questione misurasse il valore quadratico medio, poiché il rumore ha un elevato rapporto tra valore di picco e valore efficace (rapporto che può essere superiore a tre).

Sono adatti strumenti a termocoppia o bolometri. Sull'argomento vedi Bibliografia 8.

La **fig. 4** riporta lo schema di quello costruito dall'A.: il termoconvertitore consiste in cinque microlampade da 1,2 V collegate in serie (microlampade per illuminare l'indicatore numerico LCD degli orologi da polso); lo strumento, con attenuatori d'ingresso posti su 0 dB, misura livelli compresi tra -32 dBm e -26 dBm (0 dBm = 1 mW su 600 Ω); la risposta in frequenza, entro 1 dB, è compresa tra 200 Hz e qualche decina di kilohertz.

Nella costruzione dei generatori RF, dell'attenuatore, dell'accoppiatore ibrido, è necessario curare la schermatura dei circuiti, in modo da evitare, per quanto possibile, l'irradiazione dispersa di segnali RF.

Una adeguata e poco costosa soluzione consiste nel montare i circuiti RF all'interno di scatole, suddivise in scomparti, costruite con ritagli di vetronite ramata, saldati tra loro a stagno. Un'utile precauzione, durante la misura di MDS (a livelli dell'ordine di -135 dBm) sarà di chiudere, con un tappo non cortocircuitante, l'uscita ad alto livello del generatore RF in funzione.

Misura del minimo segnale ricevibile

Per definizione, il minimo segnale ricevibile (a volte detto nella letteratura tecnica in inglese *noise floor*) ha livello pari a quello del rumore internamente prodotto dal ricevitore in prova; di conseguenza un segnale ha livello pari al MDS se, applicato all'ingresso del ricevitore, provoca la presenza di un segnale audio demodulato che fa aumentare di tre dB il livello del segnale presente all'uscita audio del ricevitore in prova. In queste condizioni il rapporto segnale più rumore / rumore, del segnale presente all'uscita au-

dio del ricevitore, è pari a tre dB. La disposizione delle apparecchiature, nella misura del MDS, è riportata nella **fig. 5**.

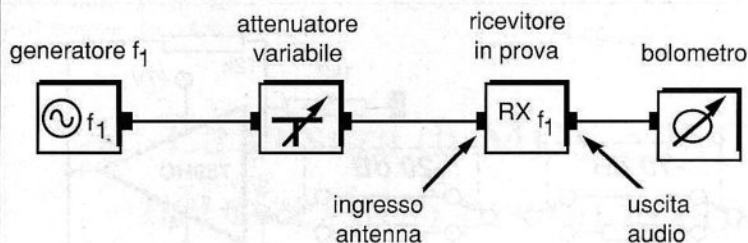
La misura si effettua sintonizzando il ricevitore sulla frequenza del segnale prodotto dal generatore RF; regolando il valore della attenuazione, impostata sull'attenuatore collegato tra uscita a basso livello del generatore RF ed ingresso del ricevitore in prova, si farà in modo che il segnale presente all'uscita audio del ricevitore abbia livello superiore di 3 dB al rumore misurato con generatore RF non in funzione.

Si ritoccherà, se necessario, la sintonia del ricevitore in prova, per il massimo livello del segnale presente all'uscita audio con generatore RF in funzione, e si verificherà che esso sia di 3 dB superiore al rumore prodotto dal ricevitore, quando il generatore RF non è in funzione.

La misura di MDS, già con livelli dell'ordine di -135 dBm, è davvero delicata: l'irradiazione dispersa dalle apparecchiature RF, la loro non perfetta schermatura, possono portare a valutazioni non corrette del valore di MDS (ciò porta ad una stima "eccessiva" della sensibilità del ricevitore in prova).

La valutazione del rapporto segnale più

Fig. 5 - Disposizione degli apparati: misura di MDS



Tutte le connessioni fra apparecchi sono eseguite con cavo coassiale

rumore / rumore (detto, nella letteratura in inglese, "signal + noise / noise", ed abbreviato con "S + N / N") del segnale presente all'uscita audio del ricevitore, è "delicata", a causa del fluttuare del livello del segnale audio ivi presente: scarti di un paio di dBm sul valore di MDS misurato sullo stesso ricevitore da persone diverse in tempi diversi, sono abbastanza usuali.

Misura di IMD

Tra i prodotti di intermodulazione, quelli del terzo ordine possono essere considerati, in generale, i più pericolosi; infatti, se f_1 e f_2 sono le frequenze di due segnali contemporaneamente presenti all'ingresso del ricevitore, e f_1 differisce da f_2 di qualche unità percentuale, o frazione di unità percentuale (ad esempio le frequenze $f_1 = 7025$ kHz e $f_2 = 7047$ kHz differiscono tra loro di circa 0,3 unità percentuali), i prodotti di intermodulazione del secondo ordine ($f_1 + f_2$) e ($f_1 - f_2$), il cui livello è, in generale, maggiore dei prodotti di intermodulazione del terzo ordine, cadono, in generale, fuori dalla banda di frequenza su cui il ricevitore è sintonizzato.

Infatti, la banda su cui il ricevitore è di volta in volta sintonizzabile è, salvo alcuni particolari ricevitori, ben inferiore ad una ottava (ad esempio, la banda degli 80 metri, da 3,5 MHz a 4 MHz, ha ampiezza poco superiore a 1/8 di ottava; quella dei 10 metri, da 28 MHz a 30 MHz, ha ampiezza di poco superiore a 1/16 di ottava). I prodotti del terzo ordine ($2f_1 - f_2$) e ($2f_2 - f_1$), qualora f_1 e f_2 siano tra loro vicine, cadono, in generale, all'interno della banda nella quale il ricevitore è sintonizzato.

La distanza tra f_1 e f_2 non influenza, nei

B [Hz]	2400	500	200
MDS [dBm]	-118	-125	-130
IMD [dBm]	-35	-36,5	-39
MDS - Nt [dB]	22	22	21
DR [dB]	83	88,5	91
IP [dBm]	+6,5	+7,5	+6,5

$$\begin{aligned} \text{MDS} - N_t &= [\text{MDS} - (-174 + 10 \log B)] \\ \text{DR} &= \text{IMD} - \text{MDS} \\ \text{IP} &= 3/2 \text{ DR} + \text{MDS} \end{aligned}$$

Fig. 7 - Tabella riassuntiva dei valori MDS e IMD misurati; valori calcolati di (MDS - Nt), DR, IP [senza attenuatore all'ingresso del ricevitore].

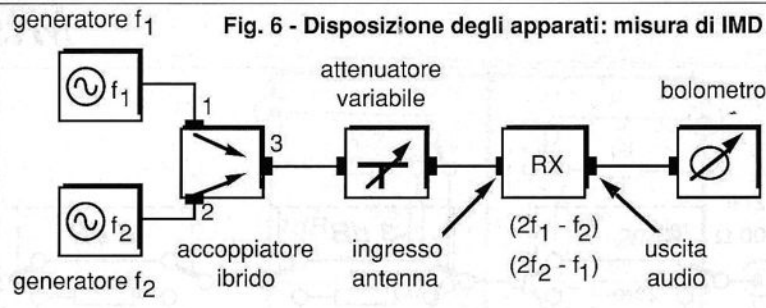
ricevitori ad una sola conversione di frequenza, il valore misurato di IMD, purché i generatori abbiano elevata purezza spettrale (in particolare minime bande laterali dovute al rumore prodotto dagli stessi generatori RF), purché i prodotti di intermodulazione cadano all'interno della banda su cui è sintonizzato il ricevitore, e purché l'aver spostato la sintonia del ricevitore dalla frequenza f_1 o f_2 alla frequenza ($2f_1 - f_2$) o ($2f_2 - f_1$) non provochi variazioni (dovute alla risposta in frequenza dei circuiti di sintonia RF del ricevitore) del livello dei segnali f_1 e f_2 presenti all'ingresso dei componenti attivi dei primi stadi (amplific. RF e mescolatore) del ricevitore.

La ragione per cui nel ricevitore a più conversioni di frequenza è necessario eseguire la misura di IMD con segnali di prova aventi frequenza tra loro molto vicina (tali che, ad esempio, $f_1 - f_2 = 2 \div 5$ kHz), deriva dalla necessità che i segnali di prova, dopo la prima conversione, cadano all'interno della banda passante dei successivi stadi a frequenza intermedia, posti a monte del filtro di banda che determina il valore finale della banda passante del ricevitore (su questo argomento si veda l'articolo segnato con 5 nella Bibliografia).

La disposizione delle apparecchiature, per la misura di IMD, è riportata nella fig. 6. Il livello del segnale prodotto dal generatore f_1 deve essere uguale a quello prodotto dal generatore f_2 .

Sulle frequenze ($2f_1 - f_2$) e ($2f_2 - f_1$), il ricevitore in prova deve avere MDS pari a quello misurato in precedenza sulla frequenza f_1 o f_2 ; ciò è generalmente vero, in caso di dubbio (perché, ad esempio, i prodotti di intermodulazione cadono al limite della banda sintonizzabile, dove si può sospettare una significativa variazione di MDS) è bene procedere alla verifica del valore di MDS, misurandone il valore sulla frequenza

Fig. 6 - Disposizione degli apparati: misura di IMD



B [Hz]	2400	500	200
MDS [dBm]	-114	-122	-125
IMD [dBm]	-31	-32,5	-33,5
MDS - Nt [dB]	26	26	26
DR [dB]	85	89,5	91,5
IP [dBm]	+13	+12	+12

Fig. 9 - Tabella dei valori MDS e IMD misurati con attenuatore da 5 dB collegato all'ingresso del ricevitore; valori calcolati di (MDS - Nt), DR, IP.

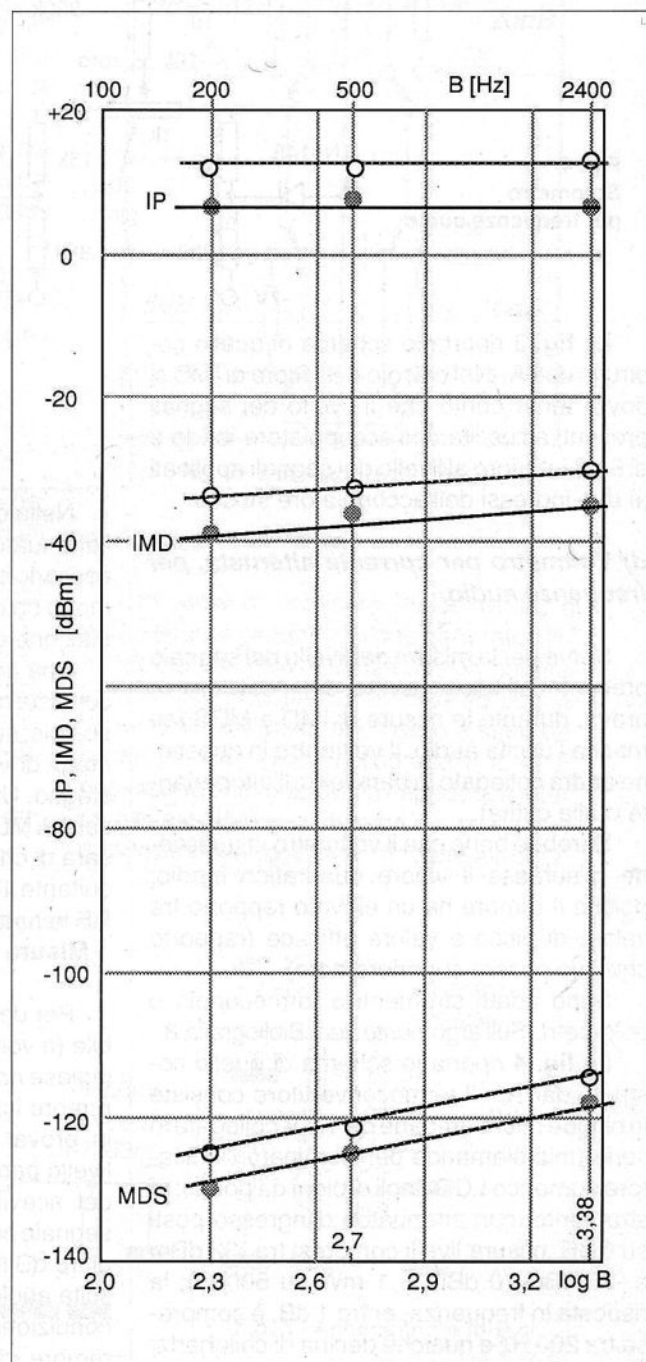


Fig. 8 - Grafico dei valori di MDS, IMD, IP, in funzione della banda passante B.

($2f_1 - f_2$) e ($2f_2 - f_1$). Sintonizzato il ricevitore sulla frequenza ($2f_1 - f_2$), con i due generatori RF in funzione, si regola il valore impostato sull'attenuatore, posto all'uscita dell'accoppiatore ibrido, in modo che il rapporto ($S+N/N$) del segnale presente all'uscita audio del ricevitore, sia pari a 3 dB.

Si verificherà che il rumore, presente all'uscita audio del ricevitore, sintonizzato sulla frequenza ($2f_1 - f_2$), non cambi di livello se è in funzione il solo generatore f_1 , o il solo generatore f_2 , o se entrambi i generatori RF non sono in funzione; si verificherà inoltre che alla frequenza ($2f_2 - f_1$) il livello di IMD misurato sia in pratica identico a quello misurato in precedenza sulla frequenza ($2f_1 - f_2$): lo scarto tra i valori misurati dovrebbe essere certamente inferiore a 1 dB.

Si noterà, in questa misura, che la valutazione del rapporto segnale più rumore / rumore è più facile che nella misura di MDS, in quanto il cambiamento di 1 dB sul valore impostato sull'attenuatore posto all'uscita dell'accoppiatore ibrido, provoca una ben sensibile variazione del segnale presente all'uscita audio del ricevitore.

Elaborazione dei risultati delle misure DR, (MDS - N_t), IP

a) Calcolo dell'estensione dinamica

L'estensione dinamica (detta nella letteratura in inglese "dynamic range", ed abbreviata in "DR") è data per definizione dal rapporto tra il livello dei segnali di prova che, applicati all'ingresso del ricevitore, provocano prodotti di intermodulazione del terzo ordine di livello pari al minimo segnale ricevibile, e il livello di MDS.

Ricordando la definizione di decibel (pari a dieci volte il logaritmo decimale del rapporto tra due generiche potenze), di dBm (pari a dieci volte il logaritmo decimale del rapporto tra la potenza in esame e la potenza di riferimento presa pari a un milliwatt), e che il logaritmo del rapporto tra due numeri è pari alla differenza tra i logaritmi del dividendo e del divisore, se i livelli di IMD e MDS sono stati espressi in dBm, per ricavare l'estensione dinamica si userà la formula:

$$DR = IMD - MDS$$

(il valore di DR, in quanto rapporto tra i valori di IMD e MDS, sarà espresso in dB).

b) Calcolo del rapporto tra il livello del minimo segnale ricevibile ed il livello del rumore dovuto all'agitazione termica presente, alla temperatura ambiente, ai capi della resistenza d'ingresso del ricevitore.

La potenza, espressa in watt, del rumore presente all'ingresso di un ricevitore ideale, cioè di un ricevitore che non aggiunga ulteriore rumore, creandone al suo interno, al

rumore presente al suo ingresso, è pari a:

$$N_t = k t B$$

dove:

k è la costante di Boltzmann (pari a $1,38 \times 10^{-23}$ J/K);

t è la temperatura assoluta del generatore di rumore (se l'ingresso del ricevitore è chiuso sulla propria resistenza caratteristica, e detta resistenza è a temperatura ambiente, ad esempio +17 gradi centigradi, sarà: $t = (273 + 17) = 290$ K);

B è il valore della larghezza di banda del rumore, espressa in hertz (che in prima approssimazione si può ritenere pari al valore nominale della banda passante del ricevitore).

La potenza del rumore contenuta entro la banda passante di un simile ricevitore è proporzionale, una volta fissata la temperatura, alla banda passante del ricevitore stesso.

Con valore della banda passante di 1 Hz, un simile ricevitore ideale avrà, presente al suo ingresso, una potenza, dovuta al rumore di agitazione termica, pari a 4×10^{-18} mW, valore che è pari a -174 dBm (se $t = 290$ K).

Il rapporto tra la potenza del minimo segnale ricevibile, dal ricevitore in prova, e la potenza del rumore termico presente all'ingresso del sopra citato ricevitore ideale, può essere calcolata con la formula:

$$(MDS - N_t) = [MDS - (-174 + 10 \log B)]$$

In questa formula i valori di MDS e N_t sono espressi in dBm, il valore di B è espresso in hertz; il valore di ($MDS - N_t$) è quindi espresso in dB (sull'argomento del rumore, nei circuiti lineari passivi e nei circuiti attivi, si veda la Bibliografia 6).

c) Calcolo del punto d'intercetta

Il livello dei due segnali di prova, aventi la stessa ampiezza, che applicati all'ingresso del ricevitore provocherebbero la creazione, da parte del ricevitore, di prodotti di intermodulazione del terzo ordine di livello pari al livello dei segnali di prova applicati, viene detto nella letteratura inglese "intercept point" (abbreviato in "IP").

Dai valori di DR (espresso in dB), e di IMD (espresso in dBm), si può ricavare il valore di IP mediante la formula:

$$IP = 3/2 \times DR + MDS$$

In questa formula il valore di IP sarà espresso in dBm.

Risultati delle misure eseguite su di un ricevitore. Elaborazione e commento

Il ricevitore su cui si sono eseguite le misure è una supereterodina ad una sola conversione, autocostruita, sostanzialmen-

te simile a quella descritta alcuni anni fa su Radio Rivista (vedi Bibliografia 7); l'unica modifica di rilievo, allo schema allora pubblicato, è l'aggiunta di un filtro a quarzo con banda passante pari a 500 Hz, inseribile all'uscita della catena di media frequenza, prima del rivelatore a prodotto.

La perdita d'inserzione del filtro in questione è stata compensata da un apposito stadio amplificatore MF, avente guadagno pari alla perdita d'inserzione del filtro, che viene automaticamente inserito, a valle del filtro, quando questo viene posto in serie all'ultimo stadio amplificatore MF.

Con l'aggiunta di questo filtro a quarzo, l'inserzione del filtro attivo passabanda audio a valle del preamplificatore audio, riduce effettivamente la banda passante del ricevitore a 200 Hz.

I risultati delle misure effettuate (MDS e IMD), sono riportati sotto forma di tabella nella **fig. 7**, assieme ai valori calcolati di ($MDS - N_t$), DR, IP: essi sono stati tabulati in funzione della banda passante (nominale) del ricevitore.

Si possono notare alcuni scarti tra i valori misurati ed i valori prevedibili per mezzo del calcolo, dovuti ad inevitabili approssimazioni di misura, principalmente imputabili al difficile apprezzamento del rapporto ($S+N/N$) = 3dB; ad esempio, la riduzione della banda passante, da 0,5 kHz a 0,2 kHz, dovrebbe migliorare di 4 dB il valore di MDS, e non di 5 dB come dai valori misurati, ecc.

I valori di MDS, IMD, IP, sono riportati sotto forma di grafico nella **fig. 8** (i corrispondenti valori sono segnati con un puntino grigio). L'inserzione di un attenuatore all'ingresso del ricevitore (nel caso specifico è stata usata una cella d'attenuazione da 5 dB), sposta verso l'alto, di un valore pari al valore dell'attenuazione prodotta dalla cella, i valori di MDS, IMD, e conseguentemente i valori calcolati di ($MDS - N_t$), IP.

I valori di MDS e IMD, misurati in questa condizione di prova, ed i valori calcolati di ($MDS - N_t$), DR, IP sono riportati sotto forma di tabella nella **fig. 9**, e sotto forma di grafico nella **fig. 8** (i corrispondenti valori sono segnati, nel grafico, con un cerchietto bianco).

Bibliografia

- 1 W. Hayward, D. DeMaw: Solid state design for the radio amateur, capitolo 7, ed. ARRL, 1977.
- 2 W. Hayward: Defining and measuring receiver dynamic range, QST, luglio 1975.
- 3 S. Kaiser: Measuring receiver dynamic range, Ham Radio, novembre 1977.
- 4 ARRL Handbook, capitolo 25, ed. ARRL, 1987.
- 5 J.R. Sherwood, G.B. Heidelman: Present day receivers - some problems and cures, Ham Radio, dicembre 1977.
- 6 Reintjes, Coate: Principles of radar, capitolo 6 (receivers), ed. Mc Graw-Hill, (esiste una traduzione in italiano dei capitoli 6, 7, 8, 9, ed. Celi, 1968).
- 7 G. Vanin: Un ricevitore per onde corte di buone prestazioni, Radio Rivista, marzo 1986, sett. 1986, ottobre 1986.
- 8 F.E. Terman, S.M. Pettit: Electronic measurements, Cap. 8, ed. Mc Graw - Hill (esiste una traduzione italiana, in due volumi, ed. Celi, 1967).