

Capitolo 14

*Tecniche di misura dei campi
elettromagnetici:
misura a banda stretta*

Impatto ambientale dei campi elettromagnetici

Introduzione

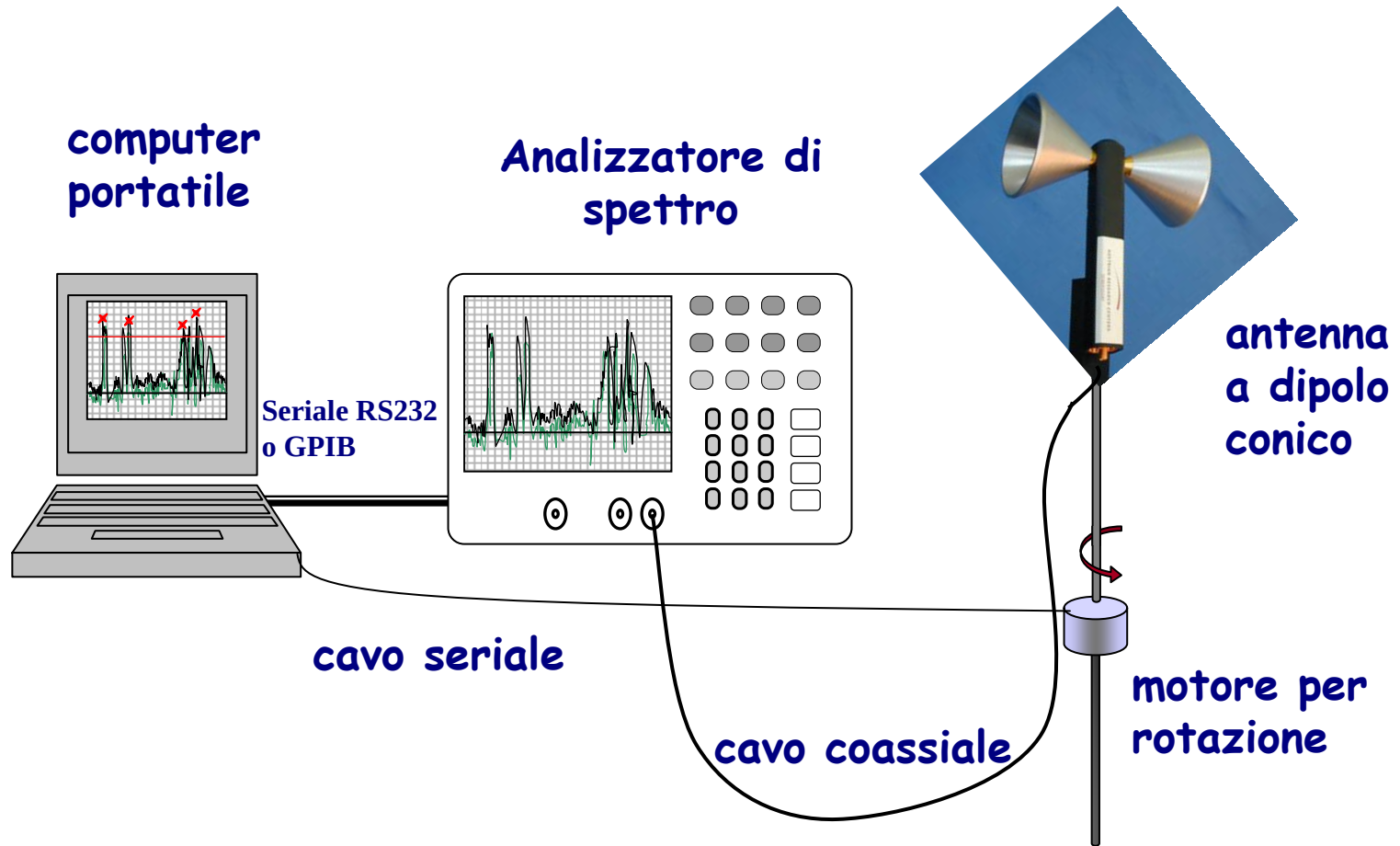
- Con la dizione 'misure a banda stretta' si intende la possibilità di valutare il campo elettromagnetico in piccole parti dello spettro di frequenza (al limite in corrispondenza di ogni valore di frequenza), così da poter discriminare i contributi legati alle diverse sorgenti di campo.
- La strumentazione per la misura a banda stretta è sostanzialmente costituita da un'antenna ricevente, usualmente a banda larga, dal cavo di collegamento, dall'analizzatore di spettro.
- Nello svolgimento delle misure bisogna assicurarsi che la strumentazione non perturbi il campo di misura.

☹ Sono complesse e costose

😊 Si hanno indicazioni sui singoli contributi in frequenza

😊 È possibile estrapolare dei valori cautelativi di campo (valori massimi raggiungibili)

Strumentazione



Esempi di antenne



log periodica
(80 MHz - 2000 MHz)



dipolo corto conico
(80 - 2500 MHz)



Yagi



dipolo conico

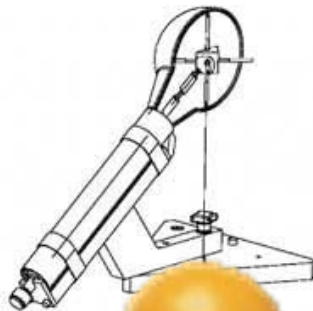
Esempi (NARDA "solutions")



Isotropic Antenna E-field



- ▲ 75MHz to 3 GHz (UKW till UMTS)
- ▲ Triaxial passive E-Field Antenna
- ▲ Three to each electrical right angled dipoles
- ▲ Very easy to use without the thinking over polarization of the signal
- ▲ Nearly usable for all applications



Single Axis Antenna E-Field

- ▲ 100 kHz to 300 MHz
- ▲ Active dipole antenna for low frequency measurements
- ▲ Made for field strength measurements on transmitting equipment in the range from long wave right up to VHF
- ▲ Also for RF frequencies used in industry e.g. for drying, etc...



Antenne

Per la misura a banda stretta si possono sostanzialmente considerare due situazioni legate al sensore (antenna) utilizzato:

- **antenne a dipolo accordato o a bassa direttività:** in questo caso si acquisiscono tre spettri, per tre direzioni mutuamente ortogonali, con il centro elettrico dell'antenna sempre nella medesima posizione. Lo spettro risultante è dato dalla somma quadratica dei tre valori misurati per ogni frequenza dello spettro. Ciò vale se i segnali sono persistenti nel tempo. Se i segnali sono impulsivi, non si può stabilire la situazione puntuale dei campi con precisione.....
$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 E_{i,j}^2}$$
- **antenne ad elevata direttività:** se la direzione da cui proviene il campo è ben individuata, si orienta l'antenna verso tale direzione e si acquisiscono i due spettri relativi alle due polarizzazioni ortogonali alla direzione di propagazione del campo. Il campo risultante è dato dalla somma quadratica dei valori delle due polarizzazioni. Se si è in presenza di più sorgenti, con il segnale che proviene da diverse direzioni, la procedura deve essere ripetuta per ogni direzione. E' poi da ricordare che l'antenna riceve senza attenuazione significativa da un assegnato settore angolare... (e.g. $\pm 15^\circ$ antenna log-periodica)
$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 E_{i,j}^2}$$

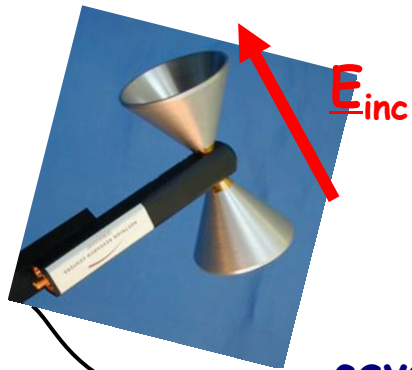
Antenne ad elevata direttività

- E' da tener presente che...
 - la misura direzionale non tiene in considerazione gli effetti di riflessione elettromagnetica su direzioni diverse dall'asse di ricezione o di eventuali depolarizzazioni del campo lungo la direzione di ricezione
 - si deve conoscere la direzione di provenienza del campo, ovvero si deve effettuare la misura in condizioni di visibilità

CEI 211-10

Misura

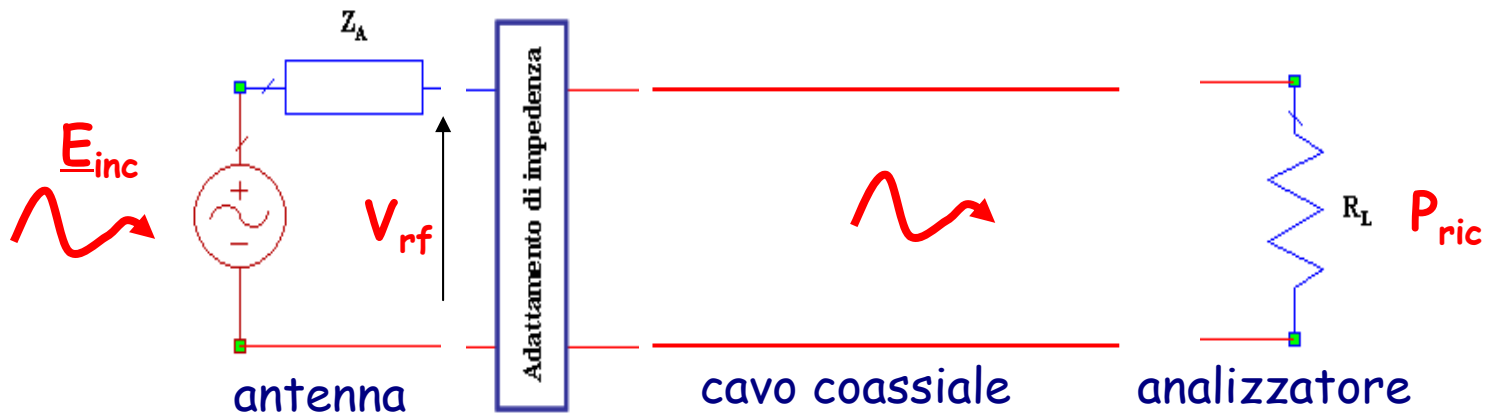
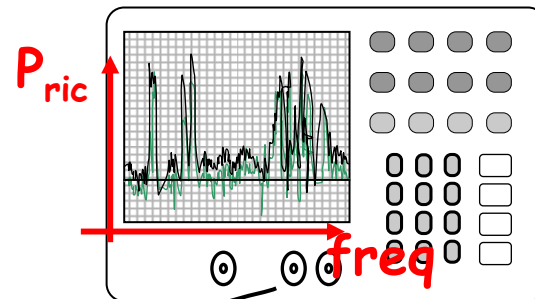
antenna
a dipolo conico



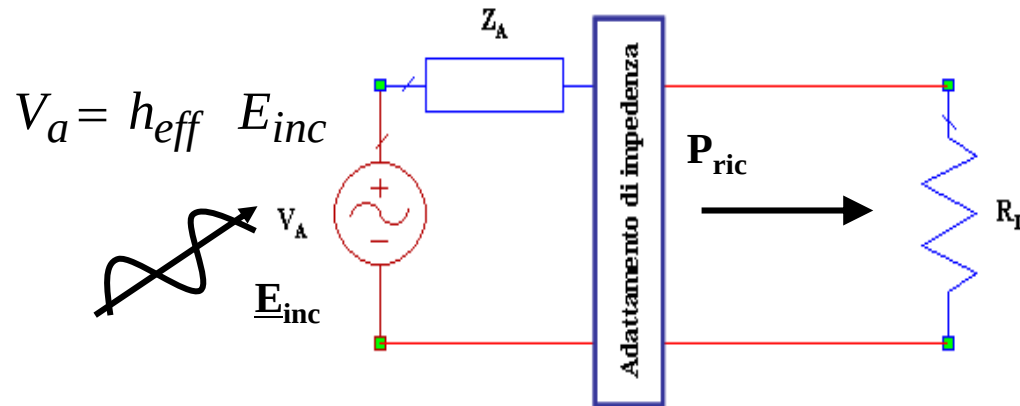
cavo coassiale

V_{rf}

Analizzatore di
spettro



Misura di campo



La misura viene effettuata in condizioni di adattamento coniugato $R_L = R_A^*$ pertanto la potenza ricevuta (P_{ric}) è legata a E_{inc} secondo la:

$$P_{ric} = \frac{|V_A|^2}{8 R_A} = \frac{h_{eff}^2(\theta, \varphi)}{8 R_A} E_{inc}^2 \left| \underline{p}_0(\theta, \varphi) \cdot \underline{p}_{inc}^* \right|^2 = \frac{h_{eff}^2(\theta, \varphi)}{8 R_A} E_{0inc}^2$$

$$R_A = R_R + R_P$$

parte reale impedenza antenna
= resistenza di radiazione +
resistenza di perdita

$$P_{ric} = \frac{h_{eff}^2 E_{inc,rms}^2}{4 R_A}$$

$$E_{0inc}^2 = E_{inc}^2 \left| \underline{p}_0(\theta, \varphi) \cdot \underline{p}_{inc}^* \right|^2 = 2 E_{inc,rms}^2 \quad \text{valore di picco campo}$$

Fattore di antenna (AF)

- La potenza ricevuta viene riferita alla resistenza R_0 del cavo (usualmente $50\ \Omega$), pertanto:

$$P_{ric} = \frac{h_{eff}^2(\theta, \varphi) R_0}{4 R_A} \frac{1}{R_0} E_{inc\ rms}^2$$

- se si considera anche l'attenuazione introdotta dal cavo di collegamento

$$P_{ric} = \frac{h_{eff}^2 R_0}{4 R_A} \frac{1}{R_0} E_{inc, rms}^2 e^{-2\alpha \ell}$$

- passando ai dB:

$$10 \log_{10} P_{ric} = 10 \log_{10} \frac{h_{eff}^2 R_0}{4 R_A} - 10 \log_{10} R_0 + 20 \log_{10} E_{inc, rms} - 20 \log_{10} e^{\alpha \ell}$$

$10 \log_{10} P_{ric}$ is circled in blue and has an arrow pointing to a box containing $P_{dBW} = P_{dBm} - 30$.

$10 \log_{10} R_0$ is circled in blue and has an arrow pointing to a box containing 17.

Fattore di antenna (AF)

$$10 \log_{10} P_{ric} = 10 \log_{10} \frac{h_{eff}^2 R_0}{4 R_A} - 10 \log_{10} R_0 + 20 \log_{10} E_{inc,rms} - 20 \log_{10} e^{\alpha \ell}$$

$$P_{dBW} = P_{dBm} - 30$$

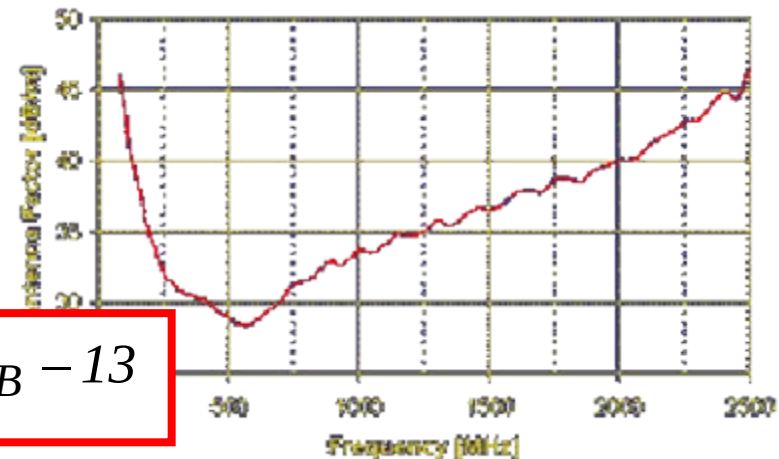
17

$$E_{inc,rms} \Big|_{dB_{V/m}} = P_{ric} \Big|_{dBm} - 10 \log_{10} \frac{h_{eff}^2 R_0}{4 R_A} + 20 \log_{10} e^{\alpha \ell} + 17 \Big|_{dB_{\Omega}} - 30$$

ANTENNA FACTOR (AF)

$$AF = 10 \log_{10} \frac{4 R_A}{h_{eff}^2 R_0}$$

Il fattore d'antenna e l'attenuazione del cavo vengono forniti dai costruttori in funzione della frequenza.



$$E_{inc,rms} \Big|_{dB_{V/m}} = P_{ric} \Big|_{dBm} + AF \Big|_{dB_{1/m}} + A_c \Big|_{dB} - 13$$

Analizzatore di spettro Will' tek 5101



Alla potenza ricevuta che leggo sull'analizzatore si deve applicare la

$$E_{inc,rms}|_{dB_{V/m}} = P_{ric}|_{dBm} + AF|_{dB_{1/m}} + A_c|_{dB} - 13$$

per ottenere l'effettivo valore di campo.

Misure a banda stretta

La misura per la valutazione del campo elettromagnetico in accordo con la normativa vigente viene effettuata secondo la:

CEI 211 - 7

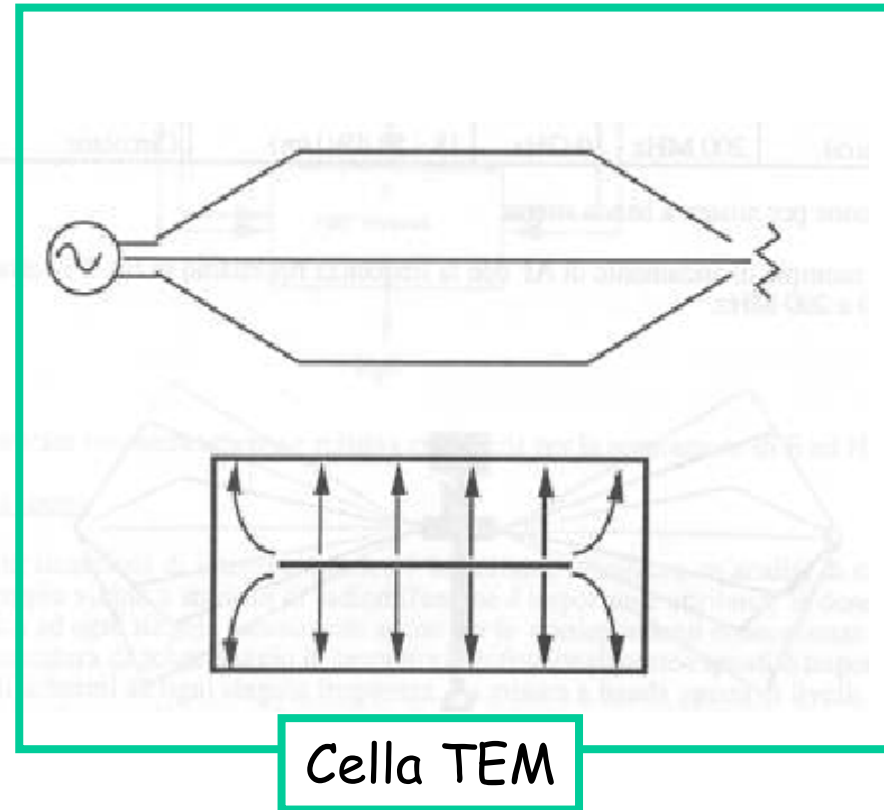
Guida per la misura e valutazione dei campi elettromagnetici
nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento
all'esposizione umana

Esecuzione delle misure

Calibrazione strumenti

Taratura (o calibrazione)

- La taratura consiste in un insieme di operazioni tramite le quali è stabilita una relazione tra i valori delle quantità in misura visualizzati dallo strumento e i corrispondenti valori realizzati sotto precise condizioni di riferimento.
- Viene realizzata in appositi laboratori dove le condizioni di riferimento vengono a loro volta periodicamente verificate.
- Per la misura dei campi elettromagnetici nell'ambiente, l'elemento critico del sistema, che quindi deve essere periodicamente controllato, è il sensore.
- La taratura del sensore consiste nella valutazione del comportamento del sensore rispetto alla frequenza e all'intensità del campo di misura, e rispetto all'orientazione del sensore stesso. Viene effettuata, ad esempio, misurando un campo elettromagnetico noto generato all'interno di una cella TEM (fino a ca 500 MHz), GTEM (fino a qche GHz), o camera anecoica (400 MHz - qche GHz)
- Anche analizzatore di spettro e cavo devono essere calibrati



Esecuzione delle misure

Calibrazione strumenti

Verifiche e valutazioni preliminari

- verifiche del corretto funzionamento della strumentazione;
- scelta opportuna del punto di misura;
- valutazione livelli e tipologia di segnale che ci si può aspettare.



Valutazioni preliminari

- acquisire il maggior numero possibile di informazioni sulle sorgenti (anche quelle fuori banda) e sulla propagazione del campo;
- si può quindi valutare in che zona di campo ci si trova (vicino reattivo, radiativo) e quale grandezza del campo deve essere valutata;
- valutazione di massima del campo con calcoli semplificati (anche questi potrebbero essere sufficienti per la valutazione di conformità se il valore ottenuto è sufficientemente lontano dal limite...).

Se si stanno considerando impianti per onde medie e lunghe che sfruttano il terreno nella propagazione del campo, allora il terreno dovrebbe essere tenuto in conto...

Per prove di conformità con i limiti di legge:

- le misure di campo devono essere effettuate in zone accessibili alle persone ma in assenza delle persone stesse ("campo di esposizione");
- l'area in esame deve essere suddivisa in zone omogenee, all'interno delle quali i punti di misura devono essere in numero statisticamente significativo;
- per caratterizzare completamente l'area, dopo le misure si devono calcolare i valori statistici associati al campo, quali medie e deviazioni standard.



Verifiche preliminari

- Per poter effettuare correttamente la misura devono essere scrupolosamente seguite alcune **precauzioni** fondamentali:
 - i cavi di collegamento sensore - strumento di misura, se non in fibra ottica, devono essere posti ortogonalmente alla direzione di polarizzazione del campo; altrimenti verifica durante la misura che non vi è un accoppiamento diretto cavo collegamento - campo di misura;
 - durante la misura lo strumento non deve subire interferenze;
 - il sensore non deve poggiare su strutture conduttrici;
 - l'operatore deve distare almeno 3 metri dal sensore;
 - se la misura avviene in un ambiente confinato, i punti di misura devono trovarsi ad una distanza di almeno 3 volte la dimensione massima del sensore dalle pareti;
 - se la misura viene effettuata in luogo aperto, ci si deve trovare in assenza di precipitazioni atmosferiche ed in clima asciutto.
- **Prima di effettuare la misura si deve:**
 - verificare gli strumenti effettuando prove funzionali, ad esempio verificando l'isotropia di un sensore ponendolo in diverse direzioni (centro elettrico sempre lo stesso) e verificando che la lettura del campo non cambi, o verificando la taratura, etc;
 - verificando il set-up sperimentale, ad esempio, variando la posizione dei cavi, etc.

Lo svolgimento delle misure dipende dalla finalità delle stesse.

Esecuzione delle misure

Calibrazione strumenti

Verifiche e valutazioni preliminari

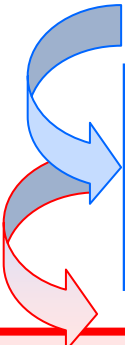
- verifiche del corretto funzionamento della strumentazione;
- scelta opportuna del punto di misura;
- valutazione livelli e tipologia di segnale che ci si può aspettare.

Esecuzione misure a banda larga



Esecuzione misure: criteri generali

- Per scegliere la catena strumentale:
 - obiettivo misure e tipo di segnale da misurare (banda)



In alcuni casi basta una misura a banda larga che è più semplice ed immediata; in altri è invece necessario affinare l'indagine con misure a banda stretta...

E' sufficiente una misura a banda larga se:

- si vogliono individuare punti critici (punti con valori di campo superiori alla legge) in una zona in cui coesistono più impianti;
- il valore misurato è inferiore al 75% del limite più basso applicabile fra quelli relativi alle frequenze di emissione delle sorgenti presenti.

E' necessaria una misura a banda stretta se:

- sono presenti più sorgenti che emettono a frequenze a cui corrispondono diversi valori limite e il valore misurato a banda larga è superiore al 75% del limite più basso applicabile;
- il valore misurato a banda larga è superiore al 75% del limite.

Esecuzione delle misure



Criteri generali

- Se le misure effettuate a banda larga e quelle effettuate a banda stretta forniscono valori diversi,
 - sono considerati validi ai fini della conformità ai limiti i valori misurati a banda stretta;
 - se la differenza supera il 50% del valore più basso, è comunque necessario indagare sulle cause di tale differenza.
- Distribuzione spaziale
 - un numero di punti adeguato alla lunghezza d'onda del campo e alle dimensioni della sonda
 - se antenne direttive “grosse” basta un punto;
 - se dimensioni “piccole” (rispetto dimensioni corpo..) si consiglia 3 posizioni a 1.1 m , 1.5 m, 1.9 m dal livello dei piedi (per misura segnali WLAN si aggiunge punto di misura se persona seduta a 70 cm)
- Distribuzione temporale delle misure
 - durata misura: per segnali molto variabili nel tempo si fa riferimento all'intervallo previsto nelle norme (i.e. 6 minuti);
 - se il segnale è stabile (e.g. radio FM...) allora il tempo si può ridurre.

Esecuzione delle misure

Esecuzione misura

Valori come medie spaziali

Se si usano antenne accordate di dimensioni non trascurabili (circa 2 m per radio FM..) allora basta una sola altezza dal suolo (1.5 m)

Se si usano antenne di piccole dimensioni (e.g. dipolo conico) allora sono necessarie 3 misure: a 1.1 m, 1.5 m, 1.9 m di altezza dal suolo. (WLAN: anche 0.7, 1.1 e 1.5 altra media)
Campo totale: somma quadratica valori.

Valori come medie temporali

La normativa chiede valori di campo mediati su 6 minuti

• Nel caso di segnali con valori praticamente costanti nel tempo l'intervallo di misura può essere considerevolmente ridotto.

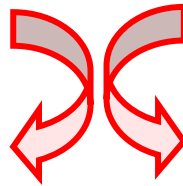
• Se la sorgente ha condizioni di funzionamento variabili nel tempo, la misura deve essere preferibilmente effettuata in condizioni di massima emissione

Estrapolazione valori massimi

Valutazione dell'incertezza

Criteri specifici di misura: impianti radio AM

- Misure a banda larga: attenzione ad accoppiamenti diretti cavo - campo e a problemi di anisotropicità sensore.
- Misure a banda stretta:
 - sensore (dimensione minore di λ , deve lavorare in condizioni di linearità) + analizzatore di spettro;
 - per la misura, due strade:

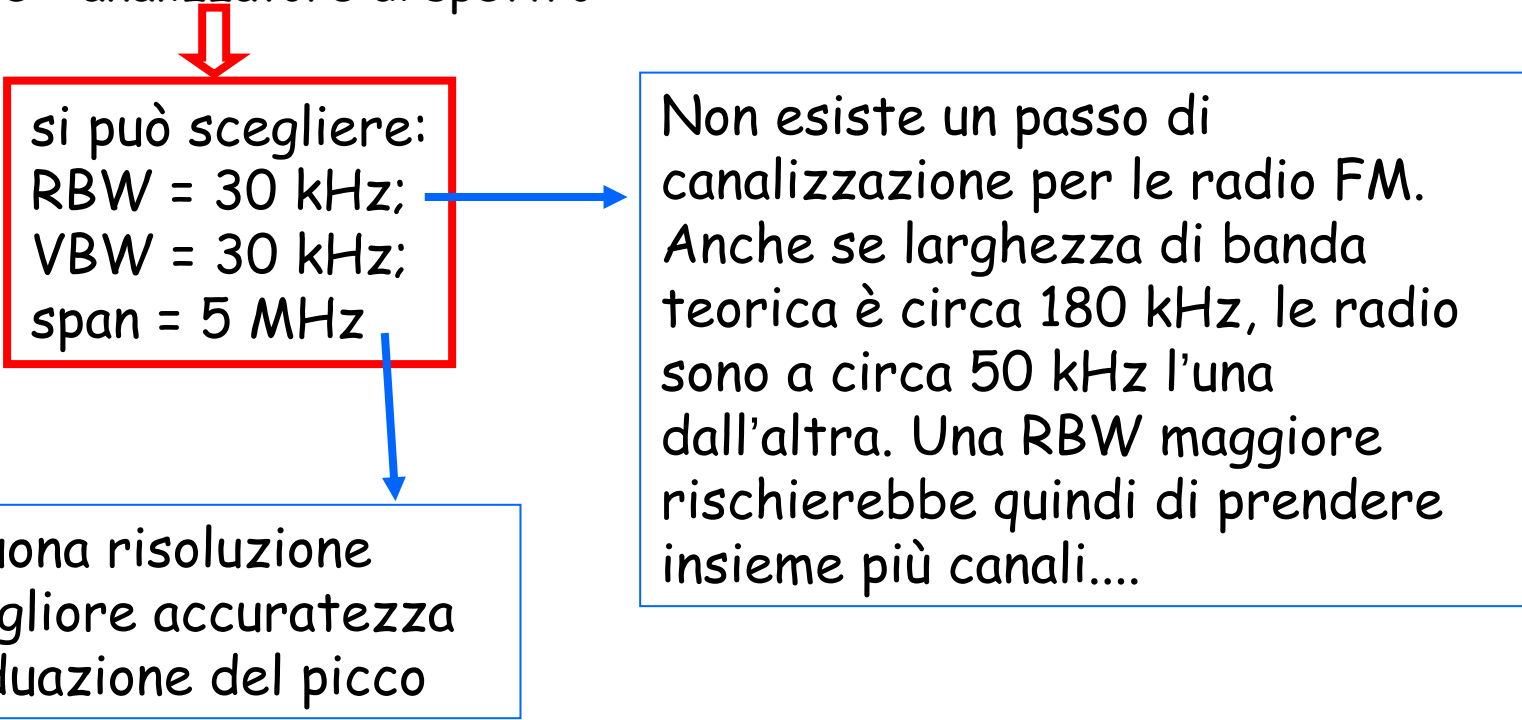


- 1
- misura del valore di picco (Max Hold per un tempo elevato). Da tener presente che lo vedo effettivamente solo se il filtro IF dell'analizzatore fa passare la frequenza portante in corrispondenza del picco della modulazione.
 - Valore effettivo = misurato - 4.3 dB (ITU326)

- 2
- misura del contributo della sola portante
 - Valore effettivo segnale modulato = valore portante + 1.2 dB (hp: modulazione 80%)

Criteri specifici di misura: impianti radio FM

- Le misure a banda larga sono meno problematiche che nelle radio AM per le frequenze maggiori in gioco.
- Misure a banda stretta:
 - $\lambda \sim 2-3\text{m}$, quindi in ambienti aperti ok antenne accordate, in ambienti confinati sono necessarie antenne piccole;
 - sensore + analizzatore di spettro



si può scegliere:
RBW = 30 kHz;
VBW = 30 kHz;
span = 5 MHz

Non esiste un passo di canalizzazione per le radio FM. Anche se larghezza di banda teorica è circa 180 kHz, le radio sono a circa 50 kHz l'una dall'altra. Una RBW maggiore rischierebbe quindi di prendere insieme più canali....

per una buona risoluzione video e migliore accuratezza nell'individuazione del picco

Spectrum Analyzer 9101

Device Name: HSA 9101

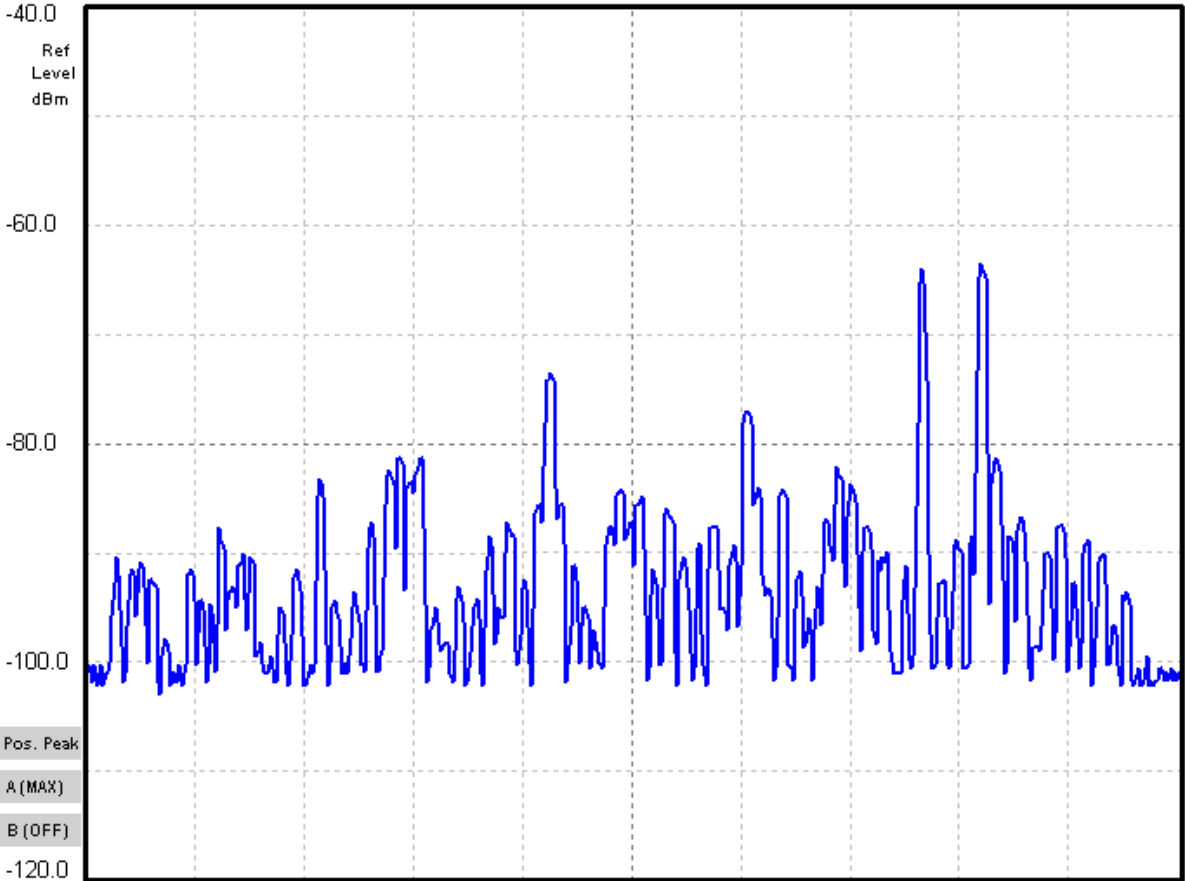
07.04.2005 15:53:45

RBW: 30 kHz

VBW: 30 kHz

SWT: 293.3 ms

will'tek



2.200 MHz/Div

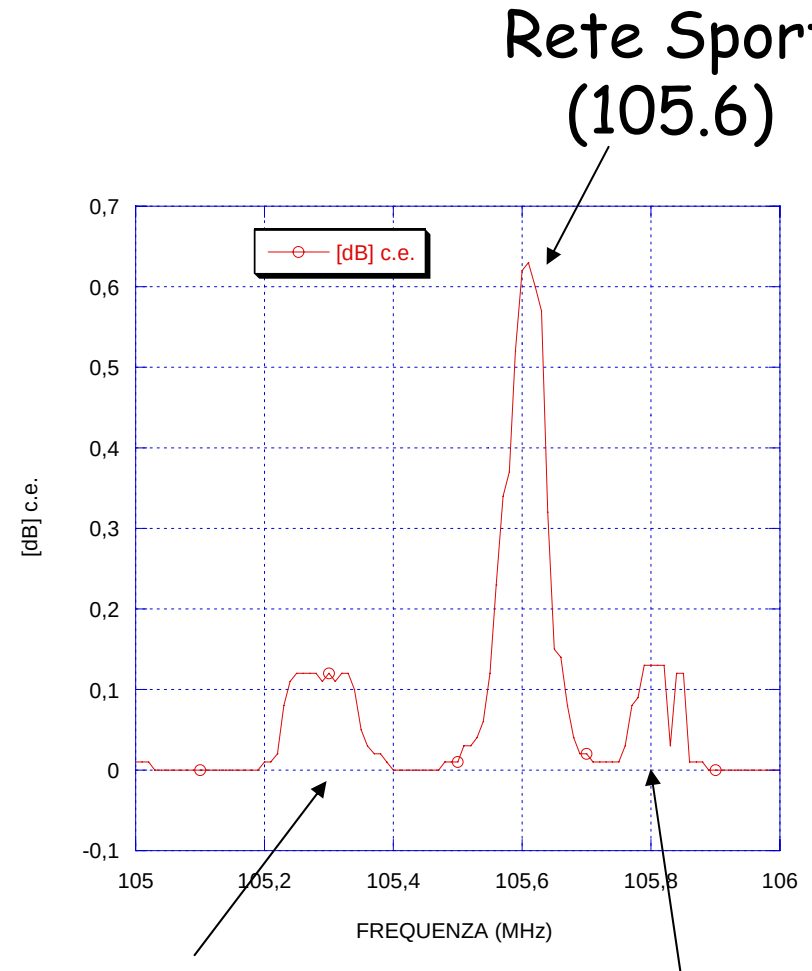
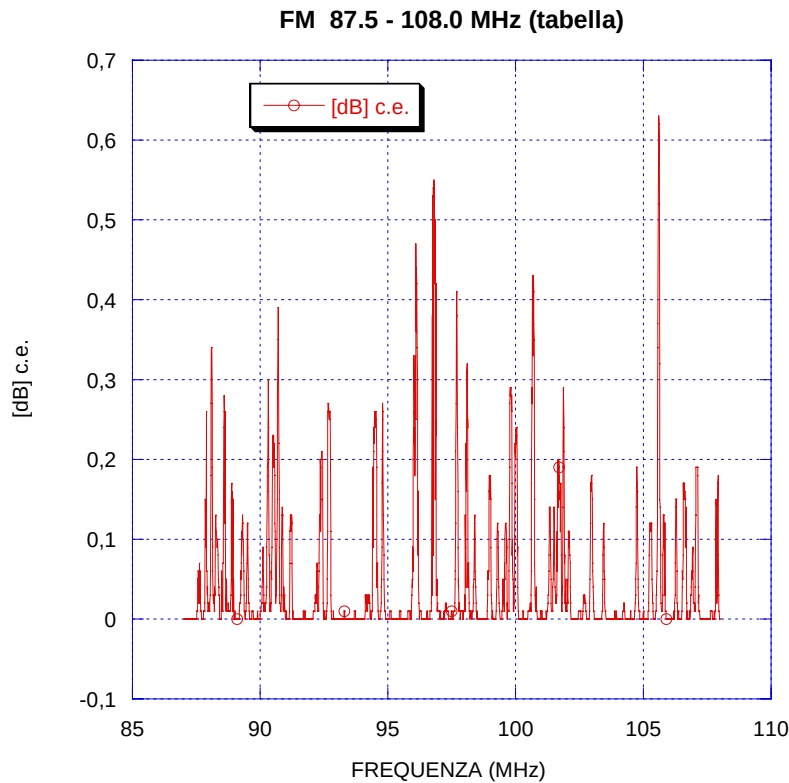
Center: 98.00000 MHz

Span: 22.00000 MHz

Comments:

Impedance	: 50 Ohm
Ext. Device Comp.	: -
Ref. Level	: -40.0 dBm
Attenuation	: 0 dB
Scale	: 10
Mode:	Spectrum Analysis
Center	: 98.00000 MHz
Span	: 22.00000 MHz
Start	: 87.00000 MHz
Stop	: 109.0000 MHz
Measure Mode	: -
Detect	: Pos. Peak
Trace A	: (MAX)
Trace B	: (OFF)
Average Count	: 5
Trigger	: OFF
Trigger Level	: -
Trigger Edge	: -
Single Count	: 1
SW Version	: 2.21.0100
Boot Version	: -
Serial Number	: 0004011
Calibration Date	: 09.09.2003
Last Check	: 09.09.2003
by	: Willtek
Next Check	: 09.09.2004

Radio - misura



Dimensione suono 2
(105.3)

Radio incontro
(105.8)

Criteri specifici di misura: impianti TV analogica

- Le misure a banda larga non hanno problemi sostanziali.
- Misure a banda stretta:
 - sensore + analizzatore di spettro



- campo totale = somma quadratica valori misurati per componente video e componente audio.
- Poiché video e audio hanno modulazioni e caratteristiche diverse, si devono utilizzare due diverse configurazioni dell'analizzatore di spettro



VIDEO (AM)

- misura del valore di picco di sincronismo (è stabile, mentre il segnale video, che corrisponde all'immagine, varia)
- valore efficace = picco sincronismo - 2.7 dB (ITU326 rif. Italia) NERO
- valore efficace = picco sincronismo - 7.5 dB (ITU326 rif. Italia) BIANCO

AUDIO (FM)

Criteri specifici di misura: impianti TV analogica

- Analizzatore di spettro

SEGNALE VIDEO

SEGNALE AUDIO

RBW = 1 MHz (tra picco video e audio c'è 5.5 MHz e tra due canali adiacenti 8 MHz)
VBW = 300 kHz (per aumentare rapporto segnale/rumore)

RBW = 30 kHz (analogo radio FM)
VBW = 30 kHz

SPAN $\geq$ 8 MHz così si possono visualizzare insieme segnale video e audio e intervallo di 1 MHz che a volte è usato per ponti di trasferimento e che va eventualmente valutato

TV - segnale luminanza

Spectrum Analyzer 9101

Device Name: HSA 9101

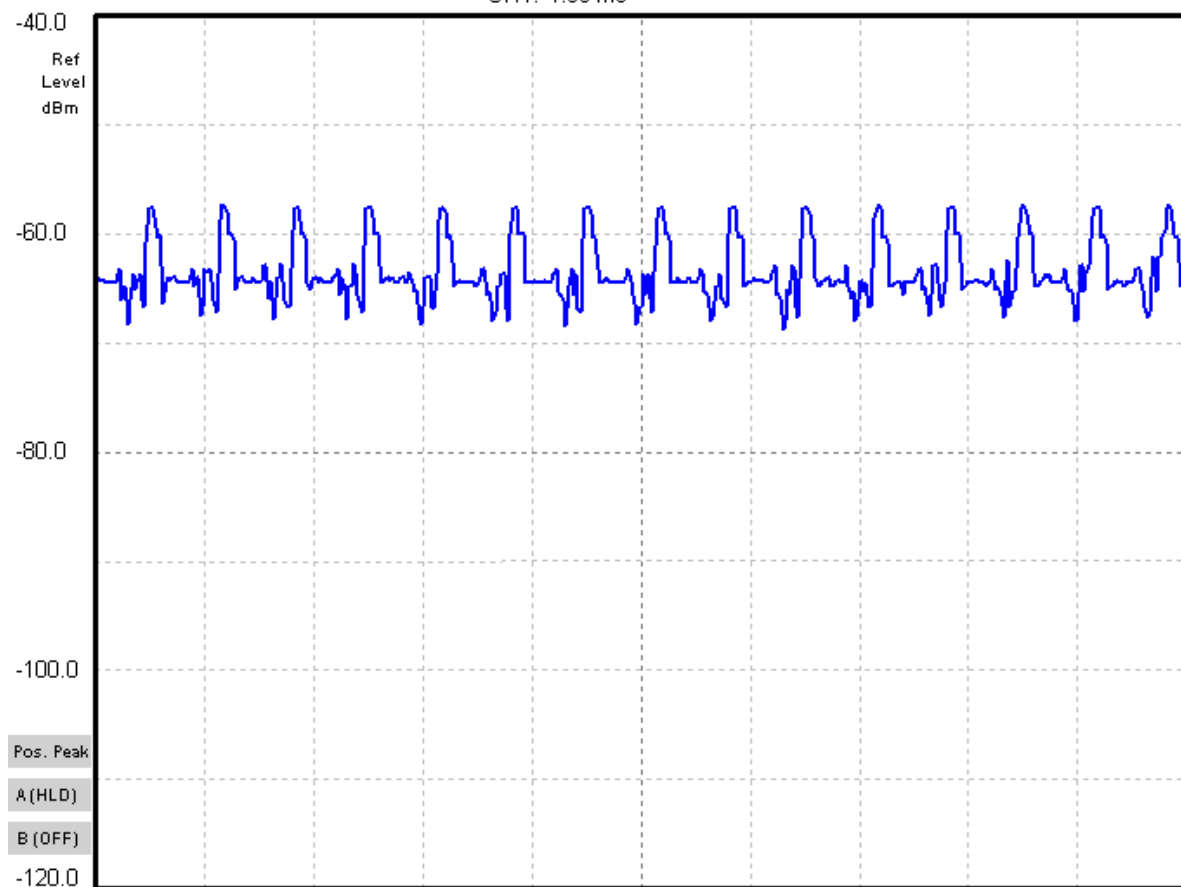
07.04.2005 15:58:30

RBW: 1 MHz

VBW: 1 MHz

SWT: 1.00 ms

will'tek



100.0 μ s/Div

Center: 647.3120 MHz

Span: 0.000000 Hz

Comments:

Impedance : 50 Ohm

Ext. Device Comp. : -

Ref. Level : -40.0 dBm

Attenuation : 0 dB

Scale : 10

Mode: Spectrum Analysis

Center : 647.3120 MHz

Span : 0.000000 Hz

Start : 647.3120 MHz

Stop : 647.3120 MHz

Measure Mode : -

Detect : Pos. Peak

Trace A : (HLD)

Trace B : (OFF)

Average Count : 5

Trigger : OFF

Trigger Level : -

Trigger Edge : -

Single Count : 1

SW Version : 2.21.0100

Boot Version : -

Serial Number : 0004011

Calibration Date : 09.09.2003

Last Check : 09.09.2003

by Willtek

Next Check : 09.09.2004

TV - misura portante video

07.04.2005 15:57:32

will'tek

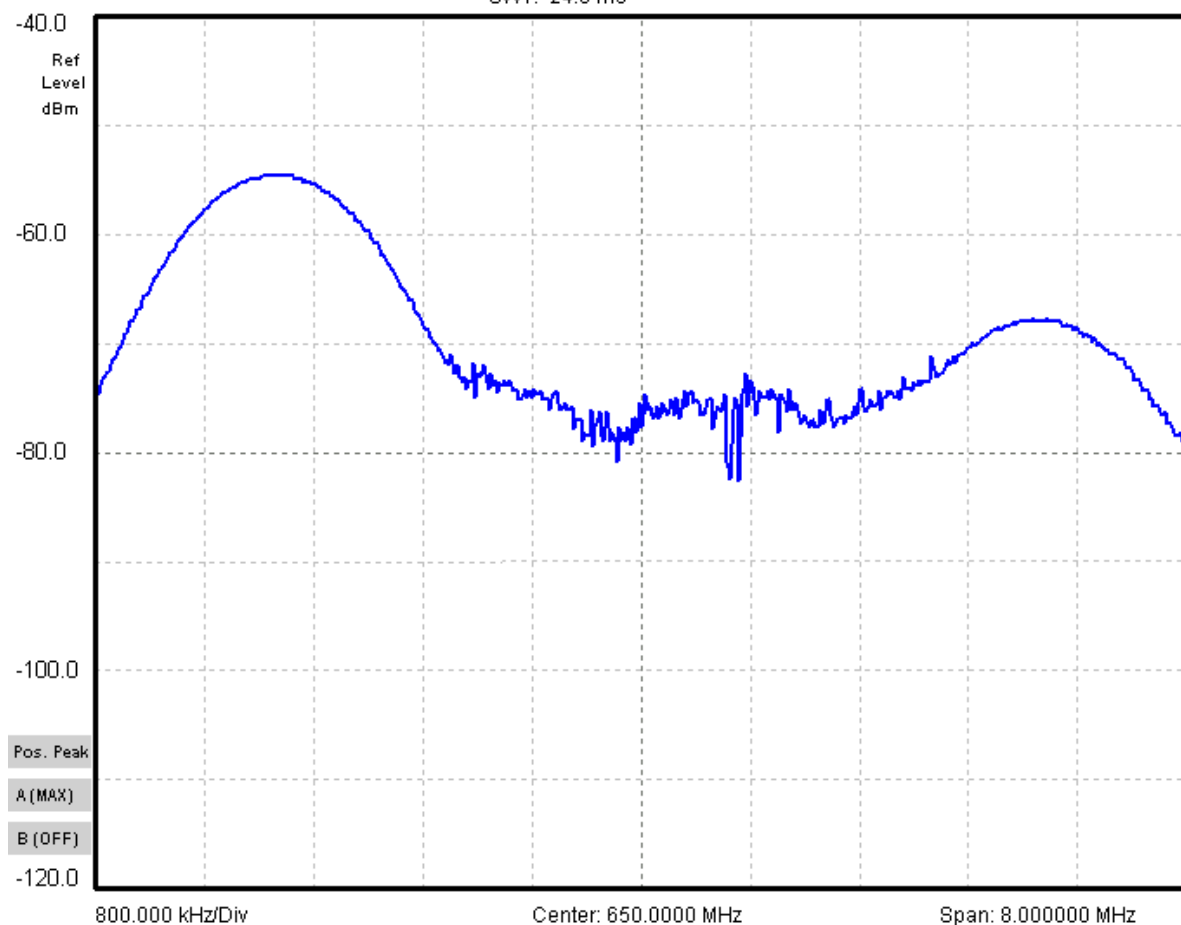
Spectrum Analyzer 9101

Device Name: HSA 9101

RBW: 1 MHz

VBW: 1 MHz

SWT: 24.0 ms



Comments:

Impedance	: 50 Ohm
Ext. Device Comp.	: -
Ref. Level	: -40.0 dBm
Attenuation	: 0 dB
Scale	: 10

Mode:	Spectrum Analysis
Center	: 650.0000 MHz
Span	: 8.000000 MHz
Start	: 646.0000 MHz
Stop	: 654.0000 MHz
Measure Mode	: -

Detect	: Pos. Peak
Trace A	: (MAX)
Trace B	: (OFF)
Average Count	: 5

Trigger	: OFF
Trigger Level	: -
Trigger Edge	: -
Single Count	: 1

SW Version	: 2.21.0100
Boot Version	: -

Serial Number	: 0004011
Calibration Date	: 09.09.2003
Last Check	: 09.09.2003
by	: Willtek
Next Check	: 09.09.2004

TV - misura portante audio

Spectrum Analyzer 9101

Device Name: HSA 9101

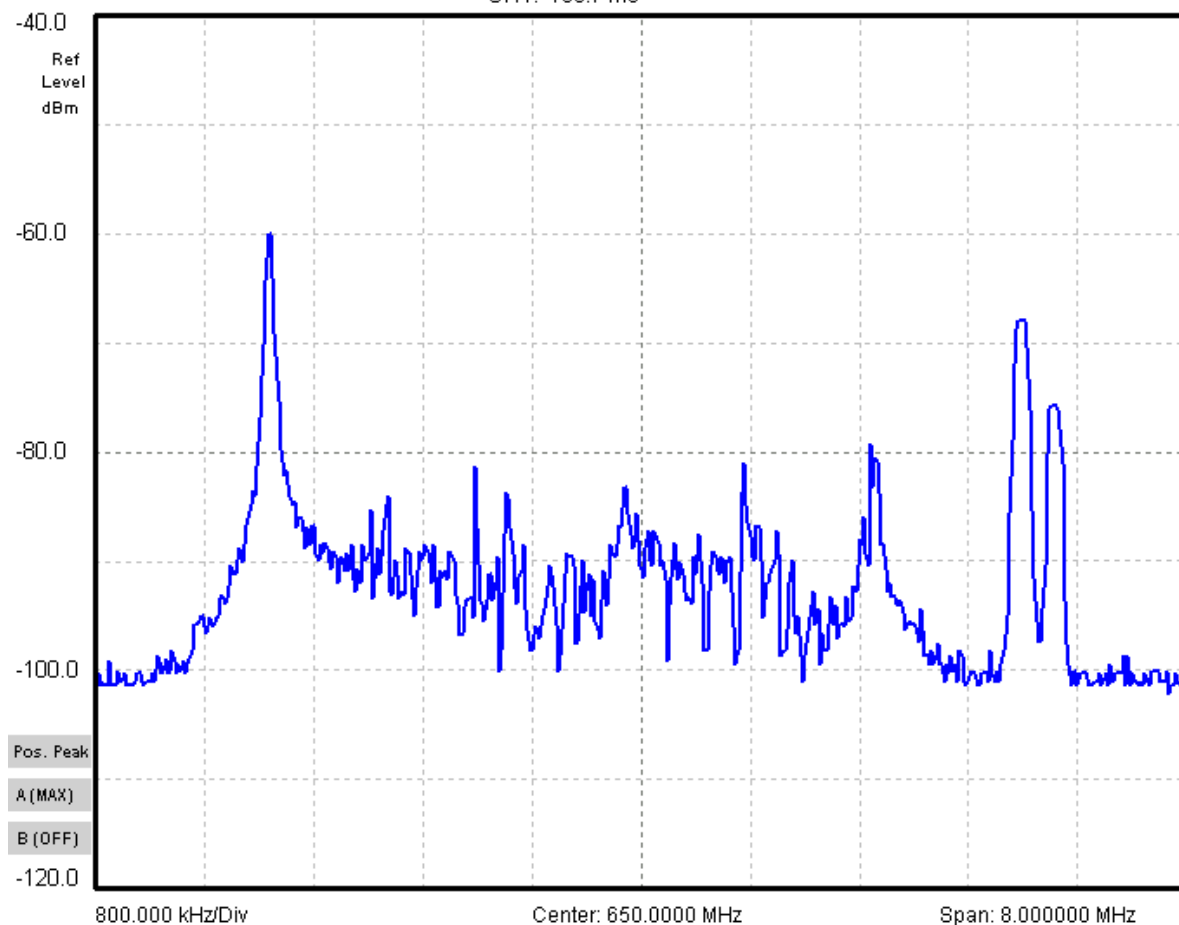
RBW: 30 kHz

VBW: 30 kHz

SWT: 106.7 ms

07.04.2005 15:56:20

will'tek



Impedance : 50 Ohm

Ext. Device Comp. : -

Ref. Level : -40.0 dBm

Attenuation : 0 dB

Scale : 10

Mode: Spectrum Analysis

Center : 650.0000 MHz

Span : 8.000000 MHz

Start : 646.0000 MHz

Stop : 654.0000 MHz

Measure Mode : -

Detect : Pos. Peak

Trace A : (MAX)

Trace B : (OFF)

Average Count : 5

Trigger : OFF

Trigger Level : -

Trigger Edge : -

Single Count : 1

SW Version : 2.21.0100

Boot Version : -

Serial Number : 0004011

Calibration Date : 09.09.2003

Last Check : 09.09.2003

by Willtek

Next Check : 09.09.2004

Comments:

Criteri specifici di misura: impianti TV digitale

- Le misure a banda larga non hanno problemi sostanziali.
- Misure a banda stretta:
 - sensore + analizzatore di spettro



- componente video e componente audio sono all'interno del segnale, per cui con un'unica misura si ottiene tutto il campo associato ad un canale.
- Modulazione COFDM per cui il segnale è "spalmato" su un canale di 8 MHz



- misura con channel power
- rivelatore rms o sample
- **banda integrazione: larghezza canale (8 MHz)**
- **RBW: 100 kHz**
- **$VBW \geq 3 \cdot RBW$**

Channel power

La funzione Channel Power (CP) valuta l'integrale della densità spettrale di potenza sull'intera banda del canale

$$CP = 10 \times \log_{10} \left(\frac{B_s}{NBW} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{P_i/10} \right) \right)$$

dove:

- B_s è la banda di integrazione (larghezza banda canale);
- NBW è la banda equivalente di rumore dell'analizzatore di spettro (pari ad $\alpha \cdot RBW$, con α parametro dipendente dal tipo di filtro IF utilizzato dall'analizzatore);
- N è il numero di pixel contenuti nella banda di integrazione (usualmente 501)
- P_i è la potenza associata a ciascun pixel.

La formula è quella indicata nella Appendice H della Norma CEI 211-10

Criteri specifici di misura: ponti radio

- Prima di eseguire le misure è necessario ottenere informazioni sul tipo di segnale trasmesso (frequenza, banda occupata, tipo di trasmissione - CW, pulsed-
- Analizzatore di spettro:
 - si può usare la modalità Max Hold (sovrastimo); se il segnale è ad impulsi si deve mediare il valore ottenuto sull'effettivo periodo di trasmissione;
 - i parametri dell'analizzatore dipendono dal tipo di segnale che si deve misurare. In generale la RBW deve essere tale da comprendere lo spettro del segnale modulato, ovvero deve essere maggiore della banda occupata dal segnale.
 - Si possono usare RBW di 10 MHz per sistemi a bassa capacità di trasmissione (e.g. nelle reti GSM: 8 Mb/s); e 30-50 MHz per sistemi con capacità di trasmissione maggiori.

Criteri specifici di misura: stazioni radiobase

- Le misure a banda larga non hanno errori sostanziali. Con la modalità AVERAGE si può ottenere il valore di campo mediato su 6 minuti. Il problema è la conoscenza di cosa si è realmente misurato (chi e quanto rispetto al massimo stava trasmettendo nei 6 minuti...)
- Misure a banda stretta:
 - analizzatore di spettro: si possono utilizzare i valori massimi (Max Hold fino a che il segnale letto diventa stabile). Questi forniscono una sovrastima, in quanto le uniche portanti che trasmettono sempre al valore massimo sono quelle di segnalazione (1 per cella). Pertanto, si può considerare Max Hold per 6 minuti, e valutare il valore di picco in questo periodo delle portanti. Tuttavia, se il segnale è in modalità 'frequency hopping' (il segnale trasmesso utilizza una portante che varia nel tempo) si leggono portanti che in realtà non esistono....
 - valore massimo potenza = valore picco 1 portante x numero portanti

	RBW	VBW	SPAN
TACS	30 kHz	30 kHz	5 MHz
GSM	≥100 kHz	≥100 kHz	5-10 MHz

GSM - misura

Spectrum Analyzer 9101

Device Name: HSA 9101

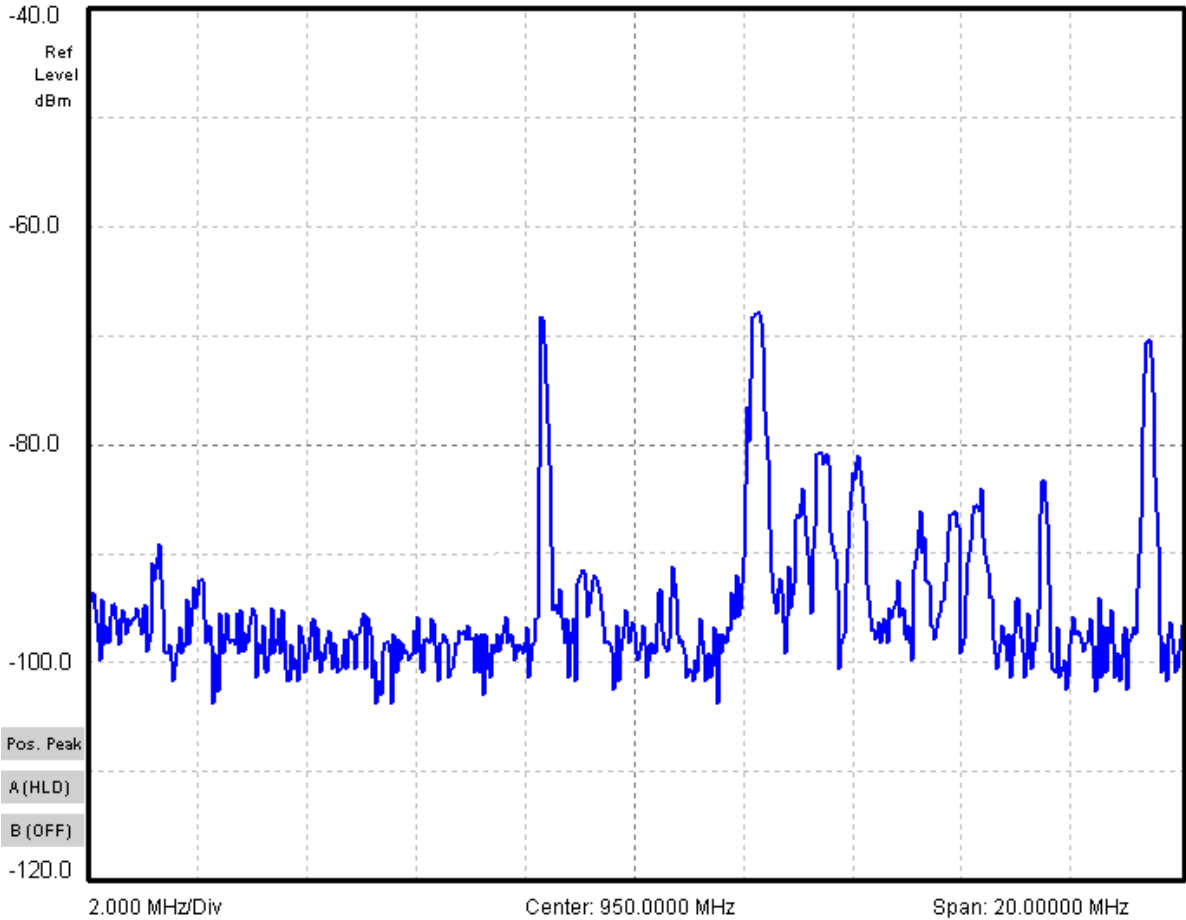
RBW: 100 kHz

VBW: 100 kHz

SWT: 24.0 ms

07.04.2005 16:00:29

will'tek



Impedance	: 50 Ohm
Ext. Device Comp.	: -
Ref. Level	: -40.0 dBm
Attenuation	: 0 dB
Scale	: 10
Mode:	Spectrum Analysis
Center	: 950.0000 MHz
Span	: 20.00000 MHz
Start	: 940.0000 MHz
Stop	: 960.0000 MHz
Measure Mode	: -
Detect	: Pos. Peak
Trace A	: (HLD)
Trace B	: (OFF)
Average Count	: 5
Trigger	: OFF
Trigger Level	: -
Trigger Edge	: -
Single Count	: 1
SW Version	: 2.21.0100
Boot Version	: -
Serial Number	: 0004011
Calibration Date	: 09.09.2003
Last Check	: 09.09.2003
by	: Willtek
Next Check	: 09.09.2004

Comments:

GSM - misura

Spectrum Analyzer 9101

Device Name: HSA 9101

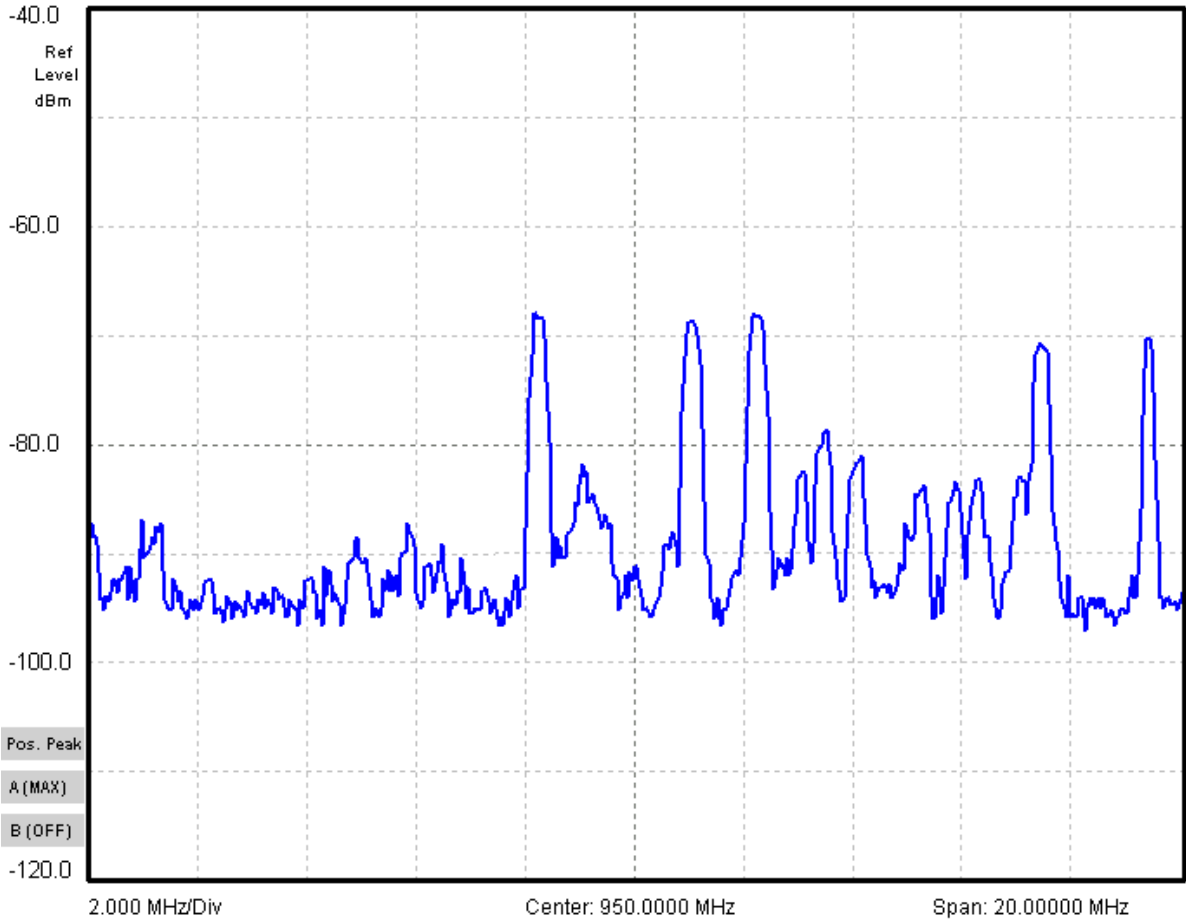
RBW: 100 kHz

VBW: 100 kHz

SWT: 24.0 ms

07.04.2005 16:00:51

will'tek



Impedance	: 50 Ohm
Ext. Device Comp.	: -
Ref. Level	: -40.0 dBm
Attenuation	: 0 dB
Scale	: 10
Mode:	Spectrum Analysis
Center	: 950.0000 MHz
Span	: 20.00000 MHz
Start	: 940.0000 MHz
Stop	: 960.0000 MHz
Measure Mode	: -
Detect	: Pos. Peak
Trace A	: (MAX)
Trace B	: (OFF)
Average Count	: 5
Trigger	: OFF
Trigger Level	: -
Trigger Edge	: -
Single Count	: 1
SW Version	: 2.21.0100
Boot Version	: -
Serial Number	: 0004011
Calibration Date	: 09.09.2003
Last Check	: 09.09.2003
by	: Willtek
Next Check	: 09.09.2004

Comments:

GSM - andamento temporale

Spectrum Analyzer 9101

Device Name: HSA 9101

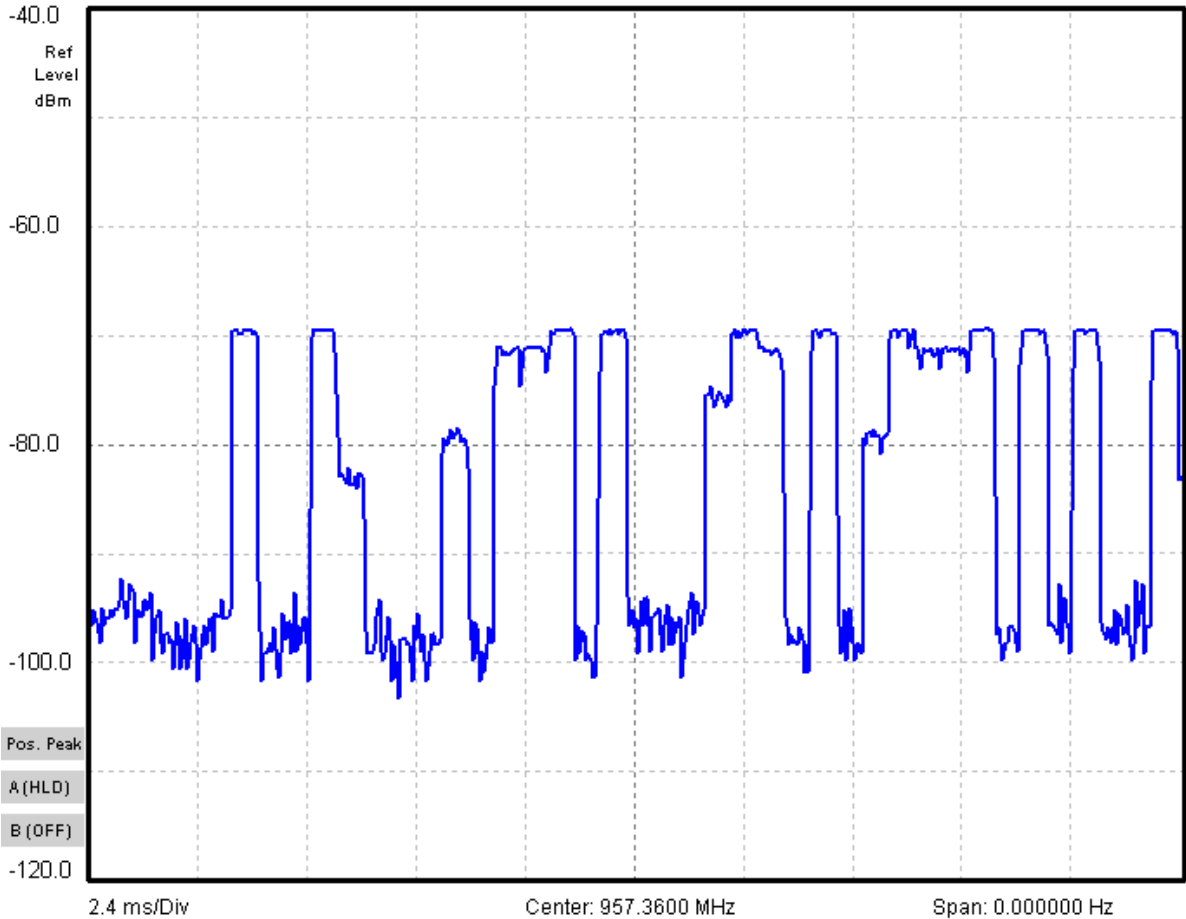
07.04.2005 16:02:36

RBW: 100 kHz

VBW: 100 kHz

SWT: 24.0 ms

will'tek



Impedance	: 50 Ohm
Ext. Device Comp.	: -
Ref. Level	: -40.0 dBm
Attenuation	: 0 dB
Scale	: 10
Mode:	Spectrum Analysis
Center	: 957.3600 MHz
Span	: 0.000000 Hz
Start	: 957.3600 MHz
Stop	: 957.3600 MHz
Measure Mode	: -
Detect	: Pos. Peak
Trace A	: (HLD)
Trace B	: (OFF)
Average Count	: 5
Trigger	: OFF
Trigger Level	: -
Trigger Edge	: -
Single Count	: 1
SW Version	: 2.21.0100
Boot Version	: -
Serial Number	: 0004011
Calibration Date	: 09.09.2003
Last Check	: 09.09.2003
by	: Willtek
Next Check	: 09.09.2004

Comments:

Tecniche di estrapolazione per SRB

- Le tecniche di estrapolazione, effettuate successivamente alla misura, non hanno valenza di misura, ma possono essere usate per mostrare l'impossibilità che in un dato punto si possa mai raggiungere il valore limite del campo.

BANDA LARGA:

- Se la sorgente ha condizioni di funzionamento variabili nel tempo, è inutile applicare delle tecniche di estrapolazione se le misure sono state effettuate nel momento di massima emissione
- Se con SRB non si conosce il momento di massimo traffico si può:

$$E_{max} = E_{mis} \sqrt{k}$$

con k = numero max portanti. Chiaramente il valore misurato già comprende un valore di fondo e le portanti attive nel momento di misura. Quindi E_{max} rappresenta un valore massimo estremamente cautelativo.

BANDA STRETTA:

- Per le SRB si può misurare il valore di campo relativo alla portante di servizio e quindi moltiplicarlo per la radice del numero massimo di portanti. Il valore ottenuto corrisponderebbe ad una situazione di tutti i canali di traffico occupati da altrettanti clienti, tutti in conversazione e in posizione critica (potenza massima)....

Criteri specifici di misura: SRB UMTS

- Le misure a banda larga non hanno errori sostanziali. Con la modalità AVERAGE si può ottenere il valore di campo mediato su 6 minuti. Il problema è la conoscenza di cosa si è realmente misurato (chi e quanto rispetto al massimo stava trasmettendo nei 6 minuti...)
- Misure a banda stretta:
 - analizzatore di spettro: si può utilizzare il valore letto con la funzione "channel power", integrando lo spettro sulla banda occupata dal singolo canale UMTS (5 MHz). La misura andrebbe fatta in un periodo di assenza di traffico, in modo da essere certi di misurare la potenza dei soli canali pilota. In pratica si misura anche il contributo di SRB vicine (lavorano tutte alla stessa frequenza, ma con codici diversi...). Si ha quindi una sovrastima...
 - valore massimo potenza = valore letto per i soli canali pilota / percentuale potenza canali pilota su potenza complessiva installata

si può scegliere:

$RBW \geq 50 \text{ kHz}$;

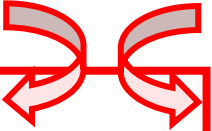
$VBW \geq 3 \times RBW$;

span = 5 MHz

Channel bandwidth = 5 MHz (channel power measurement)

Criteri specifici di misura: segnali digitali

- Le misure a banda larga mostrano problematiche legate all'occupazione elevata di banda del segnale che portano il rivelatore a funzionare fuori dalla zona di risposta quadratica. Questo è tanto più vero tanto più i segnali sono di livello elevato. La misura risulta pertanto valida se il valore letto sullo strumento non supera 3 V/m
- Misure a banda stretta:
 - uso ricevitore numerico vettoriale (fornisce tutto...)
 - analizzatore di spettro: funzione "channel power" con rivelatore rms. Al momento non sono disponibili procedure per l'estrapolazione del valore massimo a partire dal valore misurato (non si può conoscere i dati di traffico...)
 - due impostazioni a seconda che segnali downlink e uplink siano a FDD (div canali in frequenza) o TDD (div tempo)



FDD si consiglia:
 $RBW \geq 100 \text{ kHz}$;
 $VBW \geq 3 \times RBW$;
channel bandwidth = larghezza canale
span = $1.5 \times \text{channel bandwidth}$

TDD si consiglia:
misura con span zero
 $RBW \geq \text{banda del segnale}$;
 $VBW \geq 3 \text{ RBW}$;
sweep time $\geq 10 \text{ msec}$
NB il filtro IF deve avere forma quadra.
Gaussiano si può usare solo se i canali
adiacenti sono liberi

Criteri specifici di misura: segnali digitali

- Media spaziale:
 - Nel caso di segnali WLAN si devono effettuare due diverse medie spaziali, in modo da poter considerare anche il caso di persona seduta. Si chiede allora



4 misure:

70 cm, 1.1 m, 1.5 m, 1.9 m.

2 valori medi:

1. somma quadratica misure a 70 cm, 1.1 m, 1.5 m;

2. somma quadratica misure a 1.1 m, 1.5 m, 1.9 m.

Entrambi i valori medi andranno confrontati con il limite

Incertezza della misura

- Il sistema di misura è costituito di diverse parti ognuna delle quali contribuisce all'incertezza complessiva della misura.
- L'incertezza della strumentazione dovrebbe essere opportunamente documentata
- L'incertezza deriva da:
 - risposte fuori banda;
 - incertezza di taratura;
 - non isotropia;
 - attenuazione dei cavi;
 - effetto della temperatura sulla risposta degli strumenti
- All'incertezza si aggiungono possibili risposte spurie degli strumenti, come ad esempio quelle legate all'accoppiamento diretto dei cavi di collegamento con il campo di misura



Guida CEI:
UNI CEI 9 (1997)

Presentazione risultati

- La relazione tecnica comprenderà:

Premessa:

- luogo e data,
- caratteristiche impianto misurato;
- strumentazione misura;
- punti di misura;

Misure:

- valori misurati;
- valori calcolati

Limiti di riferimento adottati

Conclusioni

Esecuzione delle misure



Esecuzione delle misure

Esecuzione misura

Valori come medie spaziali

Se si usano antenne accordate di dimensioni non trascurabili (circa 2 m per radio FM..) allora basta una sola altezza dal suolo (1.5 m)

Se si usano antenne di piccole dimensioni (e.g. dipolo conico) allora sono necessarie 3 misure: a 1.1 m, 1.5 m, 1.9 m di altezza dal suolo (o 70 cm, 1.1 m, 1.5 m).

Campo totale: somma quadratica valori.

Valori come medie temporali

La normativa chiede valori di campo mediati su 6 minuti

• Nel caso di segnali con valori praticamente costanti nel tempo l'intervallo di misura può essere considerevolmente ridotto.

• Se la sorgente ha condizioni di funzionamento variabili nel tempo, la misura deve essere preferibilmente effettuata in condizioni di massima emissione

Estrapolazione valori massimi

Valutazione dell'incertezza

Nella guida

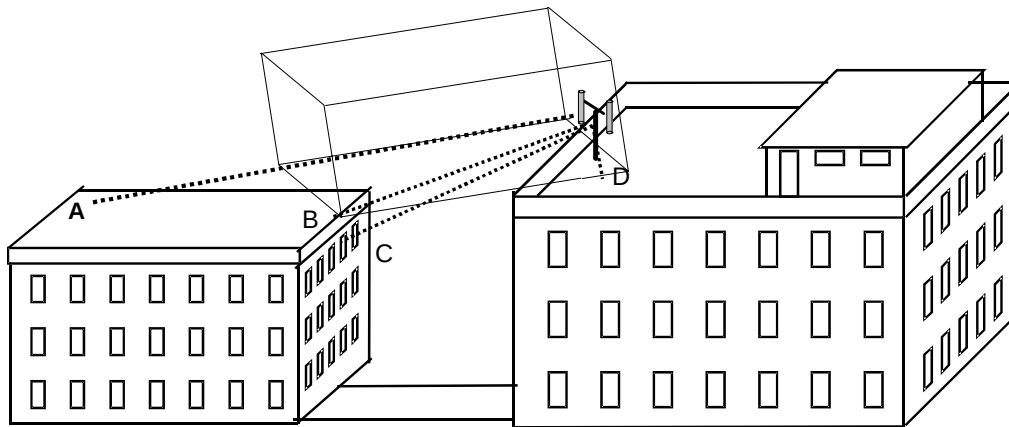
CEI 211 - 10

Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per
rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in
alta frequenza

si fa riferimento alle Stazioni Radio Base di telefonia cellulare e alle SRB punto-multipunto (PMP). La guida è volta alla progettazione di una SRB conforme alla normativa vigente. Allo scopo illustra metodologie di calcolo e misura del campo elettromagnetico radiato dalla SRB considerata isolata o in presenza di altri impianti già funzionanti nel sito

Volume di rispetto

- Il calcolo (o la misura) del campo elettromagnetico irradiato da una SRB possono far riferimento al **VOLUME DI RISPETTO**, inteso come quella regione di spazio che circonda l'antenna al di fuori del quale il campo è sicuramente conforme ai limiti di legge.
- Il volume di rispetto può essere rappresentato come un'isosuperficie ottenuta collegando i punti in corrispondenza dei quali si raggiunge il valore limite, ma può anche essere definito in forme più semplici, come parallelepipeda o cilindrica a base ellittica



Valutazione campo emesso SRB: metodi numerici

- Il calcolo del campo elettromagnetico irradiato da una sorgente è risolvibile con metodi numerici quali:
MoM, FDTD, FEM
- In spazio libero: formulazione di campo lontano
 - non si considerano le riflessioni
 - in genere sovrastima
 - se più sorgenti, campo pari alla somma quadratica dei campi ottenuti per le singole sorgenti
- In spazio libero: formulazione di campo vicino
 - si può usare la formula di campo lontano fino a poche lunghezze d'onda dalla sorgente, in quanto si ottengono valori sicuramente conservativi;
 - si può usare la scomposizione del campo in onde cilindriche o sferiche;
 - si possono ricostruire i valori di campo a partire dal diagramma di radiazione sui piani principali
- Calcolo con tecniche raggistiche
 - quando si deve effettuare il calcolo del campo in presenza di pareti riflettenti, o dentro edifici;
 - metodo dell'ottica geometrica con rifrazione e diffrazione
- ACCURATEZZA:
 - siccome è macchinoso fornire l'accuratezza di un metodo numerico, si deve almeno fornire la precisione con cui si hanno i dati di ingresso (caratteristiche SRB, territorio, etc) e confrontare le uscite del calcolo con situazioni note

Valutazione campo emesso SRB: misure

- Requisiti della strumentazione a banda larga
 - sonda isotropa
 - sensibile al valore efficace del campo elettrico
 - deve essere in grado di valutare la media nel tempo secondo la
(n = numero di campioni misurati nell'intervallo di tempo considerato):

$$E_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n E_i^2}{n}}$$

- Procedura di misura a banda larga
 - le misure si possono effettuare sia nel campo lontano che in campo vicino
 - se misure esplorative, allora si considerano i valori istantanei, letti a sonda ferma. Infatti, in presenza di campi statici si possono generare tensioni sui sensori della sonda durante gli spostamenti della sonda stessa che possono provocare sovrastime eccessive dei valori di campo
 - se misura in un punto, allora la sonda deve essere collocata su un sostegno dielettrico, controllata in remoto dall'operatore, e non deve essere spostata durante la misura, in particolare se sono state impostate funzioni di memoria quali media o max hold.

Valutazione campo emesso SRB: misure

- Requisiti della strumentazione a banda stretta
 - gli strumenti devono essere tutti tarati
 - si deve conoscere il fattore d'antenna e l'attenuazione del cavo per ogni frequenza
 - i livelli di campo devono essere elaborati dalle grandezze misurate secondo la:

$$E_{inc,rms}|_{dB_{V/m}} = P_{ric}|_{dBm} + AF|_{dB_{1/m}} + A_c|_{dB} - 13$$

- Procedura di misura a banda stretta
 - le misure si possono effettuare sia nel campo lontano che in campo vicino, con distanza limite data dalla più stringente tra:
 $R \geq 3\lambda; \quad R \geq 2D_{probe}^2 / \lambda$
 - se misure direttive, allora si devono valutare le due polarizzazioni; vanno bene in visibilità della sorgente (non considerano riflessioni o depolarizzazioni)
 - se misure isotrope, misura delle 3 componenti
 - le misure devono essere effettuate su segnali persistenti nel tempo e trasmessi con la massima potenza. A questo scopo: sui canali di guardia del TACS e sul BCCH del GSM/DCS (con Max Hold e RBW, VBW come CEI 211-7);
 - estrapolazione:

$$E_{TACS} = E_{mis} \sqrt{N_{TACS}}$$

$$E_{GSM} = E_{mis} \sqrt{1 + (N_{GSM} - 1) \alpha_{PC} \alpha_{DTX}}$$

In genere
posti = 1