

## **EP333: una sonda innovativa per la misura di segnali a modulazione digitale e di segnali pulsati in genere**

Gilberto Basso

PMM Costruzioni Elettroniche Centro Misure Radioelettriche S.r.l.,  
Via Benessea, 29/b - 17035 CISANO sul NEVA (SV), [basso@pmm.it](mailto:basso@pmm.it)

Rainer Bitzer

Narda Safety Test Solutions GmbH,  
Sandwiesenstrasse, 7 - 72793 Pfullingen, Germany, [rainer.bitzer@narda-sts.de](mailto:rainer.bitzer@narda-sts.de)

Domenico Festa

IBD International Business Development S.a.s.,  
Via San Rocco, 8/a - 25032 CHIARI (BS), [d.festa@ibdonline.it](mailto:d.festa@ibdonline.it)

Alessandro Gandolfo

PMM Costruzioni Elettroniche Centro Misure Radioelettriche S.r.l.,  
Via Benessea, 29/b - 17035 CISANO sul NEVA (SV), [gandolfo@pmm.it](mailto:gandolfo@pmm.it)

### **Riassunto**

Negli ultimi anni si sono sempre più affermate sonde e sensori per la misura del campo elettrico basati su una struttura dipolo-diodo, che rappresenta oggi la tecnologia dominante per questo genere di strumenti. Questa configurazione ha però un comportamento dipendente dal livello dei segnali analizzati: rivelazione RMS per bassi livelli ai capi del diodo, di picco per alti livelli, con una possibile conseguente sovrastima – anche molto significativa - dei valori misurati.

Con l'avvento sempre più diffuso di segnali modulati con tecniche numeriche, la classica sonda a diodo inizia a mostrare i limiti legati a questo fenomeno, limiti che si esprimono in una maggiore incertezza del risultato, solo in parte riducibile conoscendo a priori la natura del segnale sotto analisi.

Non volendo ricorrere a costose sonde a termocoppia, poco sensibili rispetto ai limiti vigenti in Italia, PMM ha sviluppato un nuovo tipo di sonda per la misura di segnali numerici o pulsati che, seppure basata su una classica struttura diodo-dipolo, consente di superare le limitazioni intrinseche di questa tecnologia grazie ad opportuni accorgimenti costruttivi.

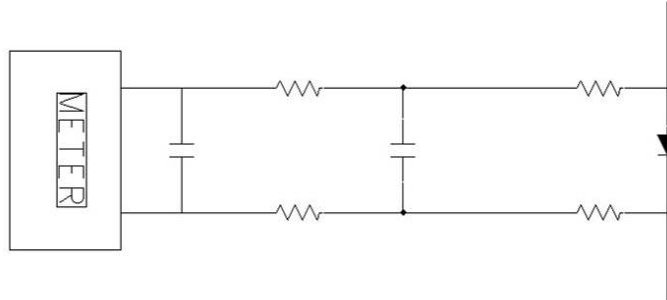
Con questa sonda innovativa diventa pertanto possibile misurare anche campi generati da segnali con elevati fattori di cresta in un'ampia gamma dinamica, e nell'articolo si presentano i frutti dell'attività di ricerca che ha portato allo sviluppo delle nuove sonde e i relativi risultati di prove effettuate con il nuovo tipo di sensore. Al momento l'attenzione è stata concentrata su quei segnali televisivi la cui diffusione sul territorio nazionale è in forte espansione. Test analoghi su segnali radar sono previsti a seguire, anche per la minore disponibilità della strumentazione necessaria e per la maggiore difficoltà a controllare i parametri significativi delle sorgenti.

### **A) COMPORTAMENTO DELLE SONDE A DIODO PER SEGNALI BROADCAST DIGITALI**

La maggior parte dei sensori di campo elettrico utilizzati per la valutazione dei livelli di campo elettromagnetico in ambienti abitativi e di lavoro è basato su una struttura dipolo-diodo che negli ultimi anni si è affermata come la più affidabile e versatile nella maggior parte delle situazioni di misura, rappresentando il migliore compromesso tra qualità del risultato e costo. Questa struttura è in linea di principio piuttosto semplice, come illustrato nella seguente figura 1 in cui si può notare il diodo utilizzato per la rivelazione al centro di un dipolo di determinata lunghezza e collegato attraverso opportune discese resistive necessarie per trasferire l'informazione introducendo il minimo possibile di fenomeni di scattering ad una unità di misura e controllo. In prossimità del diodo e dell'unità di misura e controllo possono essere impiegate idonee reti RC per modificare, entro certi limiti, la risposta della sonda.

Naturalmente questa configurazione si riferisce ad un solo asse, pertanto le sonde isotropiche utilizzeranno 3 gruppi dipolo-diodo mutuamente ortogonali tra di loro così da rispondere in modo omogeneo a qualsivoglia direzione di campo incidente.

Figura 1 - Schema di principio di una struttura dipolo-diodo per misura di campo su un asse

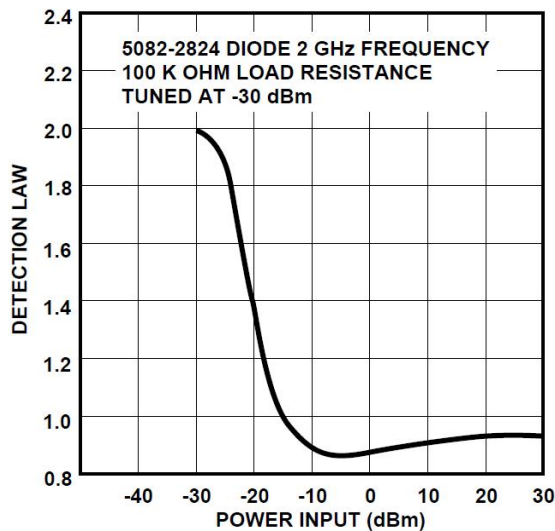


Questa configurazione, che come detto si è rivelata vincente nella maggior parte delle situazioni di misura, è basata sul funzionamento della giunzione del diodo che fornisce una risposta con legge quadratica per basse potenze, per poi mutare per alti segnali con una velocità che dipende principalmente dal diodo impiegato e dagli altri parametri del circuito. Per quanto riguarda il comportamento del rivelatore, in un circuito a 50 ohm tale risposta è esprimibile nella forma:

$$V = K(\sqrt{P})^\alpha$$

dove V la tensione in uscita, P la potenza in ingresso ed  $\alpha$  dipende da quest'ultima secondo il grafico riportato in figura 2 (*detection law* è proprio l'esponente  $\alpha$ ) per uno specifico diodo.

Figura 2 – Legge di variazione per un dato diodo in funzione del segnale in ingresso



*I valori si riferiscono ad un circuito a 50 Ohm*

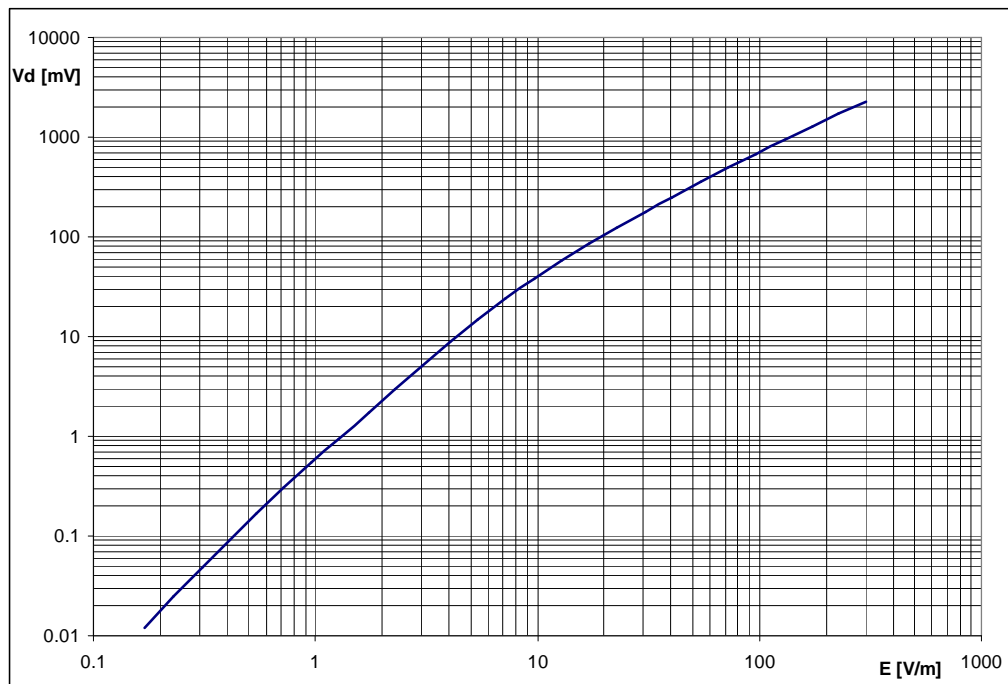
Ne consegue che un tradizionale sensore a diodo non è in grado di misurare con egual comportamento segnali di basso livello e segnali di alto livello, portando di fatto ad una sovrastima – anche pesante in determinate condizioni – di segnali con fattore di cresta elevato.

Sino a tempi relativamente recenti tali segnali con elevato fattore di cresta erano per lo più solamente segnali di tipo radar, ma il recente diffondersi di moderne tecniche di modulazione numeriche in numerose applicazioni wireless e broadcast ha ripresentato in modo prepotente il problema della misura affidabile di campi elettrici con sensorialargabanda.

## B) COMPORTAMENTO CLASSICA SONDA A DIODO SU SEGNALI OFDM.

Una tradizionale sonda a larga banda del tipo dipolo-diodo quale è la EP330 di PMM presenta una funzione di trasferimento campo-tensione analoga a quella in figura 3. Ad altri modelli di sonde con differenti sensibilità (e diverse risposte in frequenza), ma comunque basate sulla medesima tecnica, corrisponderanno curve analoghe opportunamente traslate.

Figura 3 – Funzione di trasferimento campo-tensione per sonda PMM EP330



*Il segnale applicato è sinusoidale continuo (CW)*

Di fatto quella di figura 3 rappresenta una sorta di curva di taratura secondo la quale per sorgenti sinusoidali continue, sotto opportune condizioni, gli eventuali errori di misura solo sono marginalmente dovuti alla variazione della legge di rivelazione, mentre restano ovviamente presente tutti gli altri errori usuali: rumore per campi bassi, derive termiche, ecc..

In sostanza la necessità di correggere la variazione della legge di rivelazione impone l'adozione di una tabella di taratura, ma nel momento in cui si fa ciò in linea teorica si suppone il campo di impiego della sonda a situazioni molto vicine a quelle per le quali la tabella di taratura è stata ottenuta.

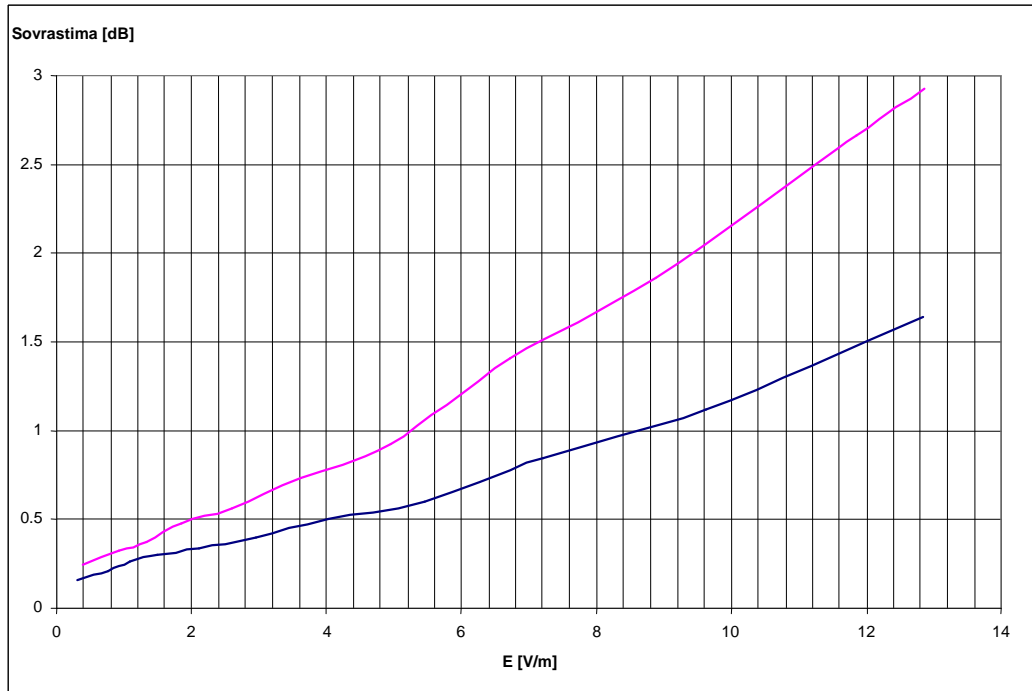
Quando infatti i segnali in ingresso al dipolo-diodo non sono più quelli utilizzati per la caratterizzazione - onde sinusoidali continue nel caso di cui sopra - allora la risposta risente pesantemente di un errore funzione della potenza (livello) in esame. In particolare, per un segnale OFDM con la sonda PMM EP330 si ottiene la risposta rappresentata in figura 4, dove le due curve rappresentano il caso in cui il campo incida sui tre assi con la medesima intensità (caso migliore) oppure quello in cui un solo asse sia allineato col campo incidente (caso peggiore).

Come si può osservare – e si noti il perfetto accordo concettuale col grafico di figura 2 - al crescere del livello del segnale in ingresso cresce anche l'errore di misura che è di 1 dB a 9 V/m nel caso migliore ed a soli 4,6 V/m di campo incidente nel caso peggiore. Ciò significa che per un campo applicato allineato ad un asse pari a 4,6 V/m (RMS) si ha una indicazione dello strumento di circa 5,16 V/m ( $4,6 \text{ V/m} = 13,25 \text{ dB}_{\text{V/m}}$ ;  $5,16 \text{ V/m} = 14,25 \text{ dB}_{\text{V/m}}$ )

Dandosi un obiettivo di qualità di 0,5 dB di errore massimo, si sarebbe costretti a limitare i segnali in ingresso ad un livello di circa 2 V/m, ovvero quelli che generano ai capi del diodo una tensione al massimo di 3 mV (vedasi sempre figura 3), con una limitazione della dinamica della sonda a soli 20 dB; questo naturalmente per la specifica sonda di cui al grafico di figura 3, ma come si è detto ad altre sonde analoghe corrisponderà un comportamento molto simile.

Dato che 20 dB di dinamica sono assolutamente insufficienti per misure di campo elettromagnetico – salvo applicazioni del tutto particolari e molto mirate – ecco che si rende necessario trovare una soluzione a questo problema oggettivo.

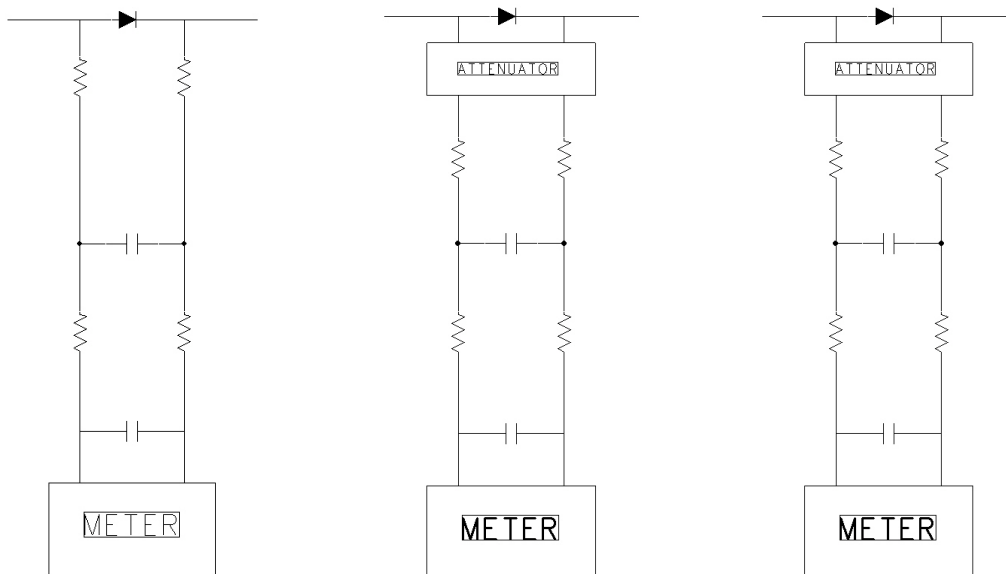
Figura 4 – Sovrastima su segnali OFDM per PMM EP330.



### C) EP333: UN APPROCCIO INNOVATIVO

L'idea alla base della sonda EP333 è quella di realizzare un dispositivo in cui più sensori di identica risposta in frequenza, ma con risposta in livello opportunamente scalata mediante attenuazione mirata, sono gestiti da un microcontrollore secondo idonee regole in modo da rappresentare sempre e solo la lettura relativa al canale la cui tensione rientra nella finestra di bontà indicata dal criterio precedentemente descritto.

Figura 5 – Schema di principio di sonda PMM EP333.



*Gli attenuatori del secondo e terzo canale sono in parallelo al diodo*

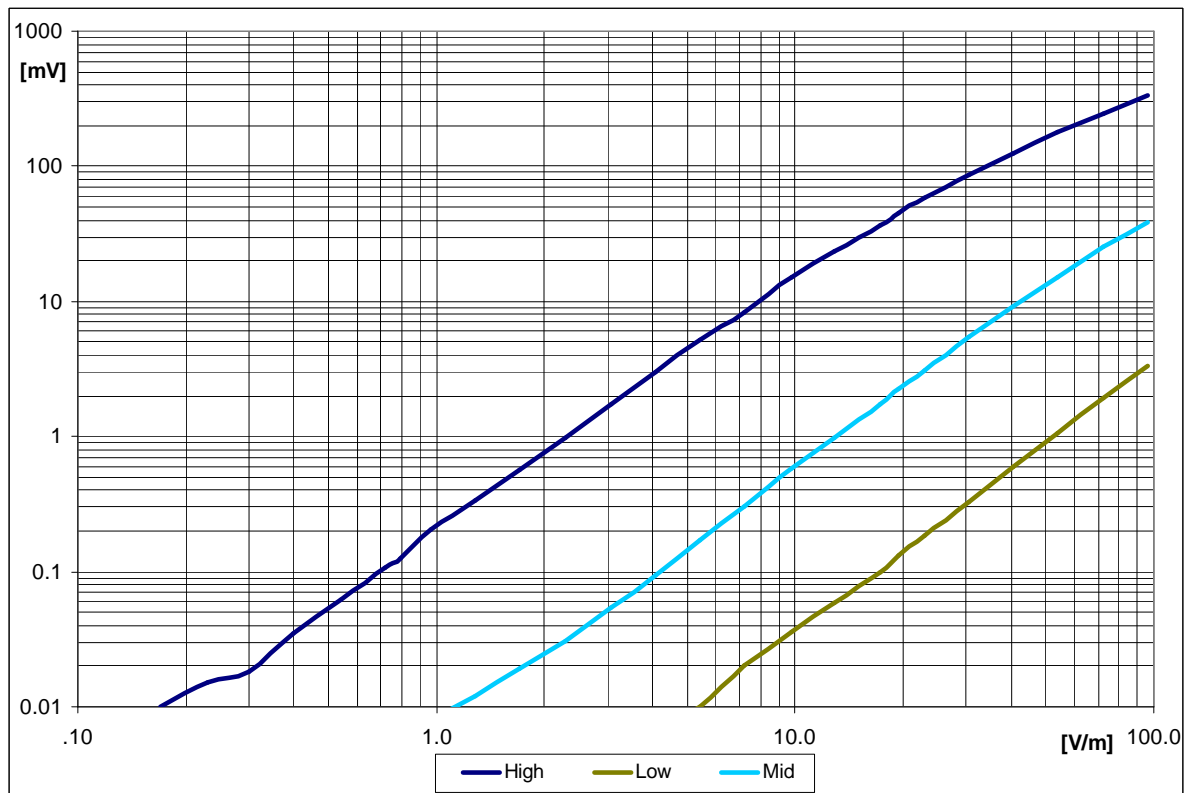
A dispetto della semplicità concettuale, si noti che da un punto di vista costruttivo questa configurazione si presenta alquanto complessa, dato che la sonda in oggetto è triassiale e isotropica e che comunque deve rispettare tutte le caratteristiche tipiche di una buona sonda (es. essere poco invasiva per il campo elettromagnetico e piccola rispetto alle frequenze in esame): in sostanza si tratta di avere 9 dipoli-diodi, ognuno con propria rete RC di pesatura e propria discesa resistiva. Non ultimo è necessario avere una risposta in frequenza di tutti i canali pressoché identica.

Con questo accorgimento costruttivo è possibile selezionare per i 3 assi X, Y e Z il gruppo dipolo-diodo che nell'istante della misura sta lavorando in regime di RMS e analizzare pertanto anche segnali con fattore di cresta particolarmente elevato: perché la risposta del gruppo dipolo-diodo è sempre in regime quadratico (RMS). La dinamica risultante della sonda nella sua completezza ritorna ad essere di circa 60 dB.

#### D) PRESTAZIONI DELL'EP333 PER SEGNALI BROADCAST DIGITALI E POSSIBILI SVILUPPI FUTURI

Benché questa nuova sonda sia ancora in fase di sviluppo e miglioramento, si può già dire che in termini di dinamica la sonda presenta una risposta decisamente interessante, come si vede dal grafico di figura 6 che mostra le funzioni di trasferimento campo-tensione per il canale diretto e per gli altri due opportunamente attenuati.

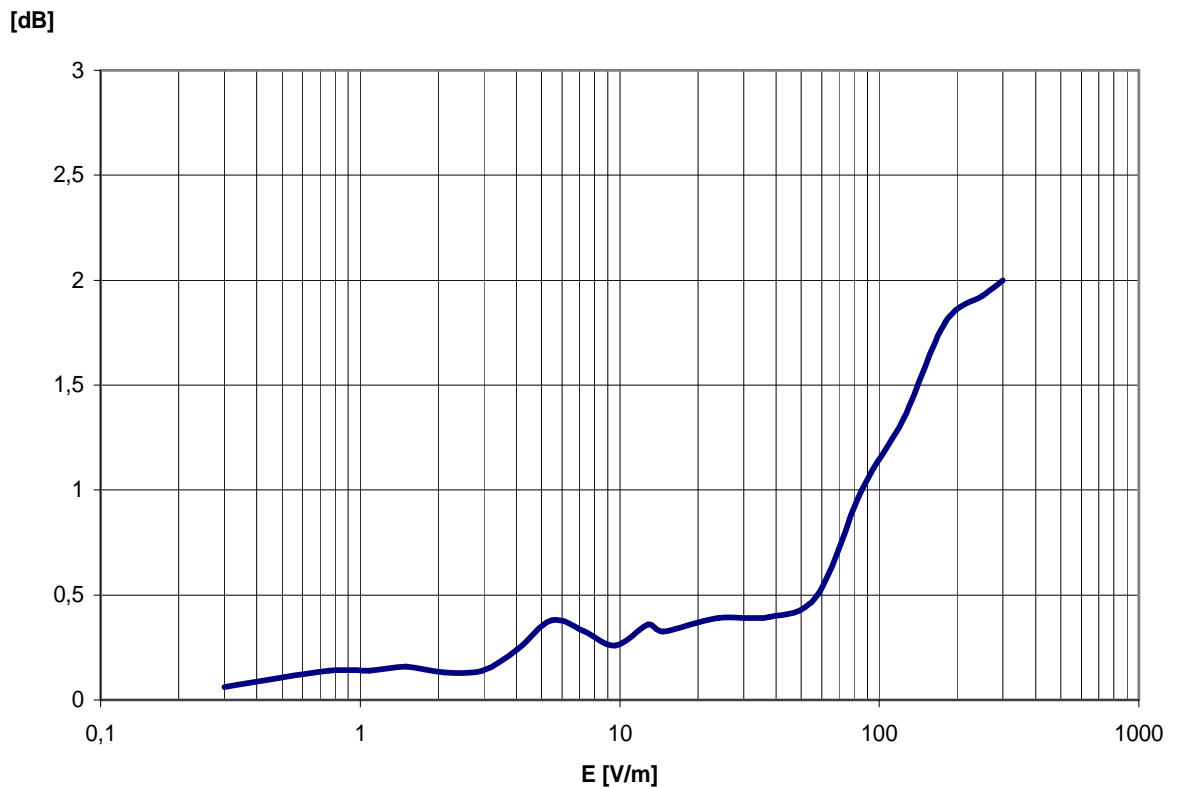
Figura 6 – Risposta dinamica della sonda PMM EP333 per segnali sinusoidali continui



Come si può osservare dal grafico, quando per un canale l'andamento della risposta inizia a deviare in maniera sensibile dalla retta ideale, allora – gestito dalla logica di controllo – interviene il canale successivo, sia esso superiore o inferiore, garantendo così una risposta sempre corretta indipendentemente dalle condizioni di lavoro del diodo.

Le prove effettuate hanno confermato che questa sonda, quando soggetta a campi digitali broadcast tipo OFDM, fornisce una risposta la cui sovrastima si mantiene entro i 0,5 dB tra 0,3 V/m (limite inferiore di sensibilità della sonda) e circa 60 V/m, per poi salire sino a un paio di dB attorno ai 300 V/m. A titolo di riferimento si confronti il grafico di figura 7 che illustra questo andamento tipico, ottenuto utilizzando il medesimo strumento PMM 8053B per la lettura e solo sostituendo la sonda.

Figura 7 – Andamento della sovrastima per sonda PMM EP333 sottoposta ad una sorgente tipo OFDM



Questo comportamento così promettente fa ben sperare che questa tipologia di sonda si presti particolarmente bene anche per misurare campi generati da sorgenti radar e pulsate in genere.

## Bibliografia

[1] “Square Law and Linear Detection” – Application Note 986 – Agilent Technologies, 5953-4444 (11/99).

[2] “Standards-compliant test of non-ionizing electromagnetic radiation on radar equipment” – Technical Note 2 – Narda Safety Test Solutions.