

METODO DI CARATTERIZZAZIONE DI FOTODIODI A LARGA BANDA TRAMITE PHOTOMIXING CON LASER A BASSO COSTO

Michele Norgia, Riccardo Miglierina, Guido Giuliani, Silvano Donati
Dipartimento di Elettronica, Università di Pavia, Via Ferrata 1, 27100 Pavia

In this paper we present a low-cost frequency-response characterization method for high bandwidth photodiodes, based on the photomixing technique. Experimental results on commercial devices are shown.

1. Introduzione

Le misure di caratterizzazione di fotorivelatori che operano a larga banda (decine di GHz) comportano tipicamente l'uso di costosa strumentazione a radiofrequenza, quali network analyzer, generatori ad alta frequenza e modulatori ottici ad alta velocità. Inoltre una misura basata sulla modulazione di ampiezza a radiofrequenza è particolarmente critica dal punto di vista dell'interferenza elettromagnetica, essendo molto difficile schermare tali frequenze.

Per svincolarsi dai suddetti problemi è possibile generare il segnale a radiofrequenza attraverso il battimento di due frequenze ottiche, ottenuto tramite rivelazione coerente sul fotodiode stesso. Le due frequenze possono consistere in due modi di uno stesso laser multimodale [1] o provenire da sorgenti diverse [2]. Tale tecnica è nota come *photomixing* ed è utilizzata principalmente per generazione di onde millimetriche e sub-millimetriche [3]. Questo metodo di misura, applicato alla caratterizzazione di fotodiode, presenta comunque alcune difficoltà: prima di tutto, è molto difficile mantenere due sorgenti laser ad una precisa differenza di frequenza; inoltre, per effettuare le misure di risposta in frequenza è necessario poter variare tale differenza con continuità.

In questo lavoro presentiamo un metodo di misura basato su due sorgenti laser Fabry-Perot a basso costo, il quale ha consentito di caratterizzare fotodiode campione, con banda di decine di GHz, a diverse lunghezze d'onda.

2. Configurazione sperimentale

Per ottenere la sovrapposizione di due fasci laser sul fotodiode sotto misura è stata utilizzata una configurazione sperimentale in fibra ottica, la quale consente di evitare le procedure di allineamento nonché l'utilizzo di un banco ottico. Nella Figura 1 riportiamo lo schema del *setup* sperimentale impiegato.

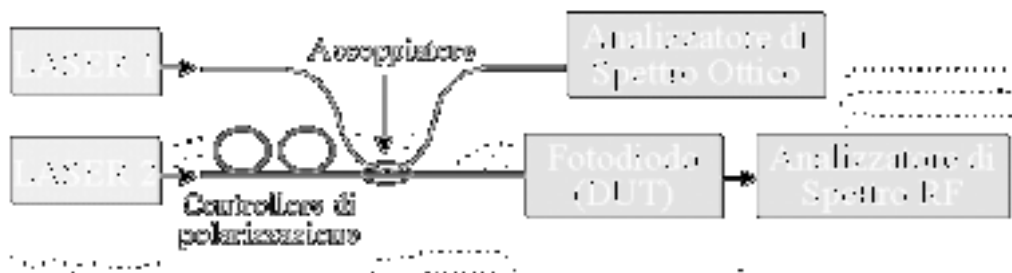


Figura 1: Configurazione sperimentale utilizzata per la caratterizzazione di fotodiode a larga banda.

I due fasci laser vengono lanciati nei due rami di ingresso di un accoppiatore in fibra ottica 50/50; in uno di tali rami è stato introdotto un controllore di polarizzazione al fine di massimizzare il segnale di battimento. I due rami di uscita sono diretti rispettivamente in un analizzatore di spettro ottico e nel fotodiodo da caratterizzare.

L'analizzatore di spettro ottico è utile per controllare la sovrapposizione in lunghezza d'onda dei due laser: soprattutto per i laser Fabry-Perot è necessaria una procedura di regolazione della temperatura e della corrente per portare i due modi alla stessa lunghezza d'onda. L'uscita elettrica del fotodiodo è collegata direttamente ad un analizzatore di spettro elettrico a radiofrequenza, tramite cui è possibile visualizzare il segnale di battimento.

Tale segnale consiste in un picco alla frequenza differenza delle due portanti ottiche, la cui ampiezza dipende dalla responsività del fotodiodo, dalla potenza incidente, dall'efficienza della sovrapposizione modale dei due fasci e dalla risposta in frequenza del fotodiodo stesso; poiché le prime tre componenti si possono ritenere costanti durante la misura, l'ampiezza del segnale, al variare della frequenza, permette di risalire alla curva di risposta del dispositivo.

È importante notare come il segnale di battimento presenti una notevole instabilità in frequenza, direttamente riconducibile alle fluttuazioni di lunghezza d'onda delle sorgenti laser utilizzate (dell'ordine di 10 MHz/s): pertanto, una misura sistematica dell'ampiezza del picco risulta particolarmente difficoltosa, in quanto lo strumento stesso può incorrere in errori dovuti al movimento del picco durante la scansione della traccia.

Tale problema è stato risolto tramite l'utilizzo della modalità *max-hold*, presente in ogni convenzionale analizzatore di spettro elettrico: essa consente di mantenere visualizzata, per ogni frequenza, la massima ampiezza acquisita in una serie di scansioni consecutive.

3. Modalità di misura

Inizialmente la lunghezza d'onda dei due laser viene variata agendo sul controllore di temperatura, in modo tale da sovrapporre i due modi al limite della risoluzione dell'analizzatore di spettro ottico (nel nostro caso 0,1nm, corrispondenti a circa 50GHz a 800nm). Attraverso un analizzatore di spettro elettrico è dunque possibile osservare il picco di battimento, situato ad una frequenza tipicamente inferiore ai 10GHz.

Prima di effettuare la misura è consigliabile massimizzare il segnale di battimento tramite il controllore di polarizzazione (operazione non indispensabile, in dipendenza dal livello del segnale).

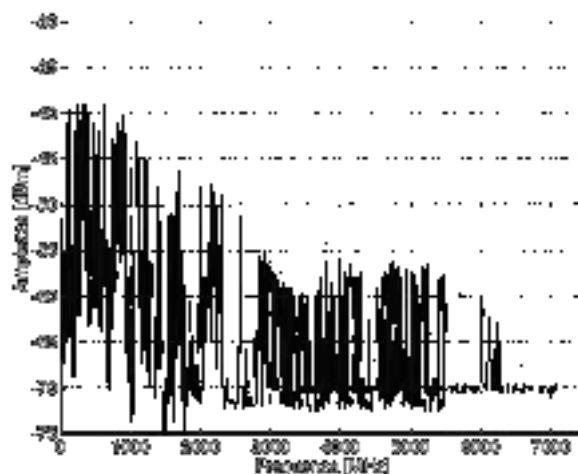


Figura 2: Acquisizione della traccia dell'analizzatore di spettro elettrico Tektronics 492PGM configurato nella modalità *max-hold*.

A questo punto è possibile effettuare la misura vera e propria utilizzando la modalità *max-hold*; la variazione fine della frequenza di battimento viene realizzata controllando la corrente di alimentazione di uno dei due laser. Tipiche variazioni sono dell'ordine di 4GHz/mA per i laser Fabry-Perot da noi utilizzati, per cui su decine di GHz di variazione può essere necessario tenere in conto la variazione di potenza del laser, che resta comunque inferiore ad 1dB sull'intera dinamica di misura.

Tramite una lenta variazione della frequenza, si possono visualizzare sulla traccia dell'analizzatore di spettro l'insieme dei picchi di battimento, la cui ampiezza è proporzionale alla risposta in frequenza del dispositivo. In Figura 2 vengono mostrati i risultati relativi alla misura effettuata a 825nm su un fotodiodo FGA04, con banda nominale di 2GHz; la traccia è stata acquisita tramite l'analizzatore di spettro elettrico Tektronics 492PGM.

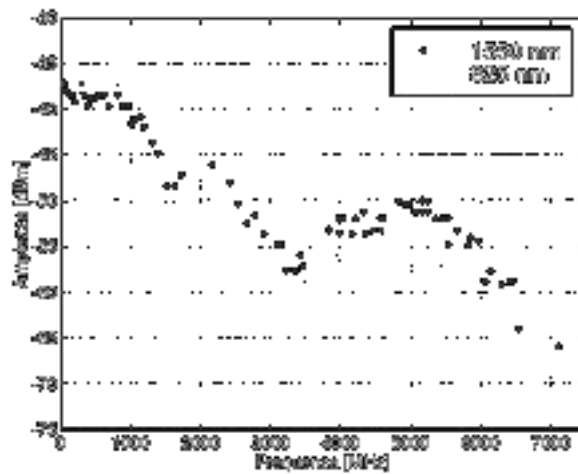


Figura 3: Misura della risposta in frequenza di un fotodiodo FGA04; vengono mostrati i risultati per due valori di lunghezza d'onda.

4. Risultati delle misure effettuate su fotodiodi campione

Effettuando un'opportuna post-elaborazione della traccia acquisita (Figura 2), consistente in una rivelazione di involuppo, si ottiene una curva proporzionale alla risposta in frequenza del dispositivo misurato.

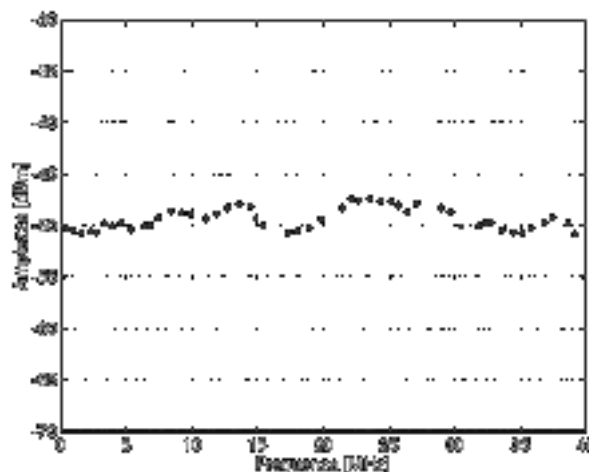


Figura 4: Misura della risposta in frequenza di un fotodiodo New Focus 1004 effettuata alla lunghezza d'onda di 825nm.

In Figura 3 viene mostrata la curva di caratterizzazione del fotodiode campione ottenuta dalla rielaborazione della traccia mostrata in Figura 2, confrontata con la misura dello stesso dispositivo effettuata alla lunghezza d'onda di 1550nm.

La stessa procedura è stata poi ripetuta per diversi fotodiode campione; a titolo di esempio, riportiamo in Figura 4 la curva di caratterizzazione di un fotodiode New Focus 1004 con banda nominale di 40GHz, il quale ha mostrato una risposta in frequenza particolarmente uniforme.

Il metodo di *photomixing* è stato inoltre applicato ad un dispositivo che non dimostrava un corretto funzionamento elettrico; la misura ha evidenziando un comportamento di tipo passa-alto (Figura 5) con frequenza di taglio attorno ai 5GHz, dovuto probabilmente ad una saldatura fredda, che spiega la mancanza di segnale in continua.



Figura 5: Misura della risposta in frequenza di un fotodiode danneggiato a causa di una saldatura fredda (lunghezza d'onda 1550nm).

5. Conclusioni

I risultati ottenuti dimostrano come sia possibile utilizzare la tecnica di *photomixing* per la caratterizzazione in frequenza di fotodiode a larga banda, impiegando sorgenti laser di tipo Fabry-Perot a basso costo.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare Telecom Italia Lab, Torino, per il supporto fornito per la realizzazione di questo lavoro.

Bibliografia

- [1] D. Wake et al., "Optical Generation of Millimeter-Wave Signals for Fiber-Radio Systems using a dual-mode DFB Semiconductor Laser", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol.43, No.9, Settembre 1995, pp. 2270-2276.
- [2] E. Peyatavit et al., "Terahertz electromagnetic generation via optical frequency difference", *IEE Proc.-Optoelectron.*, Vol.149, No.3, Giugno 2002, pp. 82-87.
- [3] R.P. Braun et al., "Optical Microwave Generation and Transmission Experiment in the 12- and 60-GHz Region for Wireless Communications", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol.46, No.4, Aprile 1998, pp. 320-330.