

MODULAZIONE DI FREQUENZA LINEARE E NON LINEARE IN NANO-OSCILLATORI SPINTRONICI

V. Puliafito, B. Azzaroni, A. Calisto, G. Consolo, G. Finocchio, A. Romeo

Dipartimento di Fisica della Materia e Tecnologie Fisiche Avanzate
Università di Messina
Salita Sperone 31, Vill. S. Agata, 98166 Messina

Una corrente continua che attraversa una struttura a strati ferromagnetica può eccitare oscillazioni della magnetizzazione in un sottile strato magnetico, indicato come free layer [1]. La frequenza tipica delle oscillazioni ottenute è nel range delle microonde. Il fenomeno descritto avviene poiché l'attraversamento della struttura magnetica provoca la polarizzazione degli spin elettronici della corrente lungo la direzione della magnetizzazione di uno strato magnetico più spesso, il fixed layer, così, la risultante corrente spin-polarizzata può trasferire questo momento angolare di spin alla magnetizzazione del più sottile free layer. Se l'intensità della corrente spin-polarizzata è maggiore di una data soglia di eccitazione [1], la magnetizzazione del free layer sarà soggetta ad una coppia indotta dal trasferimento di spin (Spin Transfer Torque) che potrà indurre delle dinamiche nel layer stesso. Le dinamiche di magnetizzazione più frequentemente osservate (ed impiegate sperimentalmente) sono l'inversione (switching in memorie magnetiche) e la precessione (oscillazioni persistenti in nanooscillatori). Tutto ciò è stato ampiamente spiegato teoricamente [1] ed osservato sperimentalmente [2-4].

Una delle più efficienti configurazioni utilizzata con successo per ottenere dinamiche precessionali è la cosiddetta geometria a nanocontact o point-contact [1-3]. In queste strutture la frequenza d'uscita è regolabile sia tramite un campo magnetico statico esterno sia tramite una corrente continua [2,3].

Un fenomeno interessante osservato sperimentalmente dal gruppo del NIST riguarda la possibilità di progettare modulatori di frequenza spintronici mediante l'introduzione di una corrente alternata di piccola intensità che va a sommarsi alla corrente continua spin-polarizzata [3]. Inoltre, poiché la frequenza di uscita rilevata è generalmente una funzione non lineare della corrente d'ingresso [2,3], si ha la possibilità di ottenere nano-modulatori spintronici nonlineari [3].

Il nostro lavoro di ricerca si è pertanto focalizzato nello sviluppo parallelo di una trattazione analitica [5] delle leggi che governano le modulazioni FM non lineari e di simulazioni numeriche micromagnetiche delle dinamiche interessate in tale configurazione [6]. Un confronto tra risultati teorici, numerici e sperimentali è stato realizzato con successo [6].

Facendo uso del nostro framework di simulazioni micromagnetiche [7], abbiamo preso in considerazione un setup molto simile a quello proposto nell'esperimento di Ref. [3], in cui un point-contact è soggetto contemporaneamente all'azione combinata di una corrente continua, una corrente alternata ed un campo magnetico esterno inclinato di 80° rispetto al piano della struttura. La corrente continua è responsabile della frequenza portante del segnale d'uscita, mentre la corrente alternata è il segnale modulante. La relazione tra frequenza portante e corrente continua, in assenza di modulante, è descritta da una funzione nonlineare. Mediante sviluppo di Taylor nell'intorno di un dato punto, è stata sviluppata un'indagine numerico-teorica su modulatori lineari e non lineari. Per realizzare questo studio, impostiamo una

corrente diretta di polarizzazione $I_{dc}=18\text{mA}$ e variamo sia l'ampiezza (I_{ac}) sia la frequenza (f_m) del segnale modulante $m(t)=I_{ac}\cos(2\pi f_m t)$, corrispondente alla corrente alternata applicata. Per valori $I_{ac}<0.5\text{mA}$ otteniamo una modulazione di frequenza lineare mentre, per $I_{ac}>0.5\text{mA}$, si osserva un segnale FM non lineare.

I risultati ottenuti mostrano che lo spettro in frequenza di un segnale FM lineare è composto da un picco centrale (f_c), corrispondente alla frequenza portante, e da bande laterali simmetriche ($f_c \pm n f_m$) di uguale ampiezza, corrispondenti allo shift simmetrico della portante di multipli interi della frequenza modulante.

Nel caso di modulazione FM non lineare, lo spettro è composto da un picco centrale ad una frequenza shiftata dalla frequenza portante (f_c') e da bande laterali simmetriche di altezza diseguale.

Confrontando i nostri risultati numerici con le osservazioni sperimentali [3] e con l'analisi teorica di modulazione FM lineare [5] e non lineare, è stato derivato un accordo più che soddisfacente.

In particolare, con il nostro set di parametri, abbiamo potuto approssimare la relazione tra la frequenza eccitata $f_i(t)$ e la corrente applicata $I=I_{dc}+m(t)$ con un polinomio del 4° grado. Quindi, partendo dal polinomio in $m(t)$:

$$f_i(t) = f_c + k_1 m(t) + k_2 m(t)^2 + k_3 m(t)^3 + k_4 m(t)^4,$$

è stato possibile determinare teoricamente lo spettro del segnale modulato ottenendo per la frequenza del picco principale il valore:

$$f_c' = f_c + \frac{k_2 I_{ac}^2}{2} + \frac{3k_4 I_{ac}^4}{8}$$

che uguaglia in modo eccellente quanto ricavato dalle simulazioni numeriche.

Bibliografia

- [1] J.C. Slonczewski, J. Magn. Magn. Mater. 195, L261 (1999).
- [2] W.H. Rippard et al., Phys. Rev. B 70, 100406(R) (2004).
- [3] M.R. Pufall et al., Appl. Phys. Lett. 86, 082506 (2005).
- [4] W.H. Rippard et al., Phys. Rev. Lett. 92, 027201 (2004).
- [5] S.Haykin, Communications Systems (John Wiley & Sons) (2001).
- [6] V. Puliafito et al., Intermag Europe Conference 2008, Madrid (poster DP-12).
- [7] G.Consolo et al., Phys. Rev. B 75, 214428 (2007); G. Consolo et al., Phys. Rev. B 76, 104410 (2008)