

MODULAZIONE NON-LINEARE COMBINATA DI AMPIEZZA E FREQUENZA IN NANO-OSCILLATORI SPINTRONICI: MODELLO MATEMATICO, SIMULAZIONI MICROMAGNETICHE E CONFRONTO CON RISULTATI SPERIMENTALI

Vito Puliafito, Alessia Bramanti, Andrea Calisto, Giancarlo Consolo, Giovanni Finocchio, Alessandro Prattella, Bruno Azzarboni

Dipartimento di Fisica della Materia e Ingegneria Elettronica
Università di Messina
Salita Sperone 31, Vill. S. Agata, 98166 Messina

Lo studio che qui si descrive rientra nell'ambito di ricerca della spintronica (spin-transfer electronics), sebbene si raffigurino applicazioni in altri campi scientifici.

Una corrente continua che attraversa una eterostruttura costituita da due strati ferromagnetici separati da uno strato non magnetico diventa spin-polarizzata lungo la direzione della magnetizzazione dello strato magnetico più spesso e può trasferire questo momento di spin indotto alla magnetizzazione dello strato magnetico più sottile. Questo processo, sotto opportune condizioni, implica l'eccitazione di oscillazioni della magnetizzazione dello strato sottile [1]. Nel caso di una particolare struttura, detta geometria a point-contact, le dinamiche della magnetizzazione sono di tipo precessionale e la struttura si comporta da nano-oscillatore, regolato, in particolare, da un campo magnetico esterno e da una corrente continua [1-3].

La nostra attenzione si rivolge ora all'analisi dei fenomeni di modulazione osservabili negli oscillatori spintronici [3].

Abbiamo sviluppato un modello analitico generalizzato che descrive le dinamiche non-lineari di modulatori analogici combinati di frequenza e ampiezza [4-6]. Tale modello ha un carattere universale in quanto è indipendente dai fenomeni fisici originanti le non-linearità, e pertanto può avere potenziali applicazioni in molti settori dell'ingegneria dell'informazione, al di là della spintronica [7-8].

La validità del modello proposto è stata testata con successo mediante il confronto con i risultati di simulazioni micromagnetiche effettuate su un oscillatore spintronico. Nello specifico, si è considerata una geometria point-contact attraversata simultaneamente da una corrente continua e da una alternata. In questa configurazione la corrente continua determina il segnale portante del processo di modulazione, mentre la componente alternata funge da segnale modulante [4-6].

Recentemente, il modello ha trovato un ottimo riscontro anche negli esperimenti effettuati dal Royal Institute di Stoccolma, sia su strutture GMR (Magneto-Resistenza Gigante) sia TMR (Magneto-Resistenza ad effetto Tunnel) [9].

Alcuni risultati delle nostre investigazioni sono i seguenti.

Un segnale modulato non-linearmente in frequenza e ampiezza è generalmente caratterizzato da uno spettro in frequenza centrato ad una frequenza shiftata rispetto alla frequenza del segnale portante, e con bande laterali simmetricamente disposte rispetto a tale picco, ma aventi ampiezza diversa [4].

Un oscillatore spintronico, in virtù delle non-linearità intrinseche che pongono in stretta relazione le variazioni della frequenza d'uscita alle variazioni di ampiezza, si comporta da modulatore combinato e non-lineare della frequenza e dell'ampiezza [4-5].

Non può pertanto realizzarsi, tramite un oscillatore spintronico, un modulatore “puro” della sola frequenza. È stata individuata, tuttavia, una configurazione per la quale tali oscillatori possono funzionare da modulatori della sola ampiezza. Questo avviene quando l’oscillatore si trova in condizione di tunabilità nulla, cioè quando è nulla la variazione della frequenza d’uscita al variare della corrente d’ingresso [6].

Referenze

- [1] J.C. Slonczewski, “Excitation of spin waves by an electric current”, *J. Magn. Magn. Mater.* **195**, L261 (1999)
- [2] W.H. Rippard, M.R. Pufall, S. Kaka, T.J. Silva and S.E. Russek, “Current-driven microwave dynamics in magnetic point-contacts as a function of applied field angle” *Phys. Rev. B* **70**, 100406(R) (2004)
- [3] M.R. Pufall, W.H. Rippard, S. Kaka, T.J. Silva and S.E. Russek, “Frequency modulation of spin-transfer oscillators”, *Appl. Phys. Lett.* **86**, 082506 (2005)
- [4] G. Consolo, V. Puliafito, G. Finocchio, L. Lopez-Diaz, R. Zivieri, L. Giovannini, F. Nizzoli, G. Valenti and B. Azzarboni, “Combined frequency-amplitude nonlinear modulation: theory and applications”, *IEEE Trans. Magn.* (in stampa)
- [5] V. Puliafito, G. Consolo, L. Lopez-Diaz and B. Azzarboni, “Micromagnetic analysis of nonlinear dynamics in spintronic analog modulators”, *IEEE Trans. Magn.* **45**, 5239 (2009)
- [6] G. Consolo and V. Puliafito, “Analytical and Micromagnetic Study of Nonlinear Amplitude Modulation in Spintronic Modulators”, *IEEE Trans. Magn.* (in stampa)
- [7] J.J. Stoker, “Nonlinear vibrations in mechanical and electrical systems”, *Interscience Publishers*, New York (1950)
- [8] T. Collins and P. Atkins, “Nonlinear frequency modulation chirps for active sonar”, *IEEE Proc. Radar, Sonar Navig.* **146**, 312 (1999)
- [9] P.K. Muduli, Ye. Pogoryelov, S. Bonetti, G. Consolo, F. Mancoff and J. Akerman, “Non-linear frequency and amplitude modulation of a nano-contact based spin torque oscillator”, *Phys. Rev. B* **81**, 140408(R) (2010)